

Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej w Legionowie autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu

Spis treści

I.	Słownik pojęć	3
II.	Cel i podstawa przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści.....	5
III.	Metodyka przeprowadzenia analizy.....	9
IV.	Założenia i warianty przyjęte do analizy	11
V.	Ogólna charakterystyka systemu transportu publicznego	13
VI.	Analiza techniczna	20
VII.	Przegląd aktualnych kosztów inwestycyjnych	25
VIII.	Analiza finansowo-ekonomiczna	28
IX.	Oszacowanie efektów środowiskowych	41
X.	Analiza społeczno-ekonomiczna	43
XI.	Podsumowanie i rekomendacje.....	50
XII.	Spis ilustracji.....	54
XIII.	Spis tabel	55

I. Słownik pojęć

- 1) Analiza/AKK - Analiza kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem, przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej, autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu, w których do napędu wykorzystywane są wyłącznie silniki, których cykl pracy nie powoduje emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych, o którym mowa w ustawie z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.
- 2) BEV – (Battery Electric Vehicle) – autobus z napędem elektrycznym zasilany z bateryjnych magazynów pokładowych.
- 3) CNG – (Compressed Natural Gas) sprężony gaz ziemny.
- 4) ENPV – (Economic Net Present Value) ekonomiczna wartość bieżąca netto.
- 5) ERR – (Economic Rate of Return) ekonomiczna stopa zwrotu.
- 6) EURO – Europejski standard emisji spalin (norma dopuszczalnych emisji spalin w pojazdach sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej).
- 7) FRR – (Financial Rate of Return) finansowa stopa zwrotu.
- 8) FNPV – (Financial Net Present Value) finansowa wartość bieżąca netto.
- 9) FNPV/C – (Financial Net Present Value of the investment) finansowa wartość bieżąca netto inwestycji.
- 10) FNPV/K – (Financial Net Present Value on capital) finansowa wartość bieżąca netto kapitału.
- 11) FRR/C – (Financial Rate of Return of the investment) finansowa stopa zwrotu z Inwestycji.
- 12) FRR/K – (Financial Rate of Return on capital) finansowa stopa zwrotu z kapitału.
- 13) Obszar transportowy – obszar, na którym za organizację transportu zbiorowego odpowiada Prezydent Miasta Legionowo.
- 14) Operator – samorządowy zakład budżetowy lub przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie.

- 15) Organizator - właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze. Organizator publicznego transportu zbiorowego jest „właściwym organem”, o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1370/2007.
- 16) Sieć komunikacyjna - układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru.
- 17) Stopa dyskonta – stopa zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na rzecz aktualnie dostępnych środków. Istnienie stopy dyskontowej wynika ze zmienności wartości pieniądza w czasie i obrazuje stosunek, w jakim przyszły kapitał zrównuje swoją efektywną wartość z kapitałem bieżącym.
- 18) Ustawa/Ustawa o elektromobilności – Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r.
- 19) Wzkm – wozokilometr, jednostka miary długości drogi przebytej przez autobus komunikacji miejskiej.

II. Cel i podstawa przeprowadzenia analizy kosztów i korzyści

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%¹. 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.²

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 substancji³.

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

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

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

² Art. 86 ust. 4 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

³ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

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 r⁴. Miasto Legionowo, ostatnią Analizę wykonało w styczniu 2020 r., zatem w roku 2023 aktualizuje się obowiązek wykonania ponownej Analizy kosztów i korzyści.

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 środowisko⁵.

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analizę należy przekazać:

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

Z uwagi na fakt, iż Miasto Legionowo zamieszkuje 52 995 mieszkańców⁶, aktualizuje się obowiązek sporządzenia nowej Analizy Kosztów i Korzyści, o której mowa w art. 37 Ustawy.

Ustawa z dnia 2 grudnia 2021 r. o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw, wprowadziła wobec samorządów nowe obowiązki, których spełnienie ma charakter bezwzględny – nie jest uzależnione od wyników Analizy kosztów i korzyści. W wyniku nowelizacji dodane został m.in. art. 68, 68a o raz 68b, które nakładają na jednostki samorządowe nowe obowiązki.

Pierwszy z obowiązków zgodnie z art. 68 ust. 3 Ustawy o nakłada na wszystkie jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50.000), zobowiązanie do wykonywania, zlecania i

⁴ Art. 72 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

⁵ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r.

⁶ Liczba mieszkańców według Raportu o stanie Gminy Legionowo za 2022 r.

powierzenia wykonywania zadań określonych w przepisach ustawy odpowiednio o samorządzie gminnym, 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, w zakresie publicznego transportu drogowego,
 - b. CPV 60130000-8, w zakresie specjalistycznego transportu drogowego 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, w zakresie transportu paczek,
- g. CPV 64121100-1, dostarczanie poczty,
- h. CPV 64121200-2, dostarczanie paczek.

W art. 68a Ustawy nakazano obligatoryjne uwzględnianie we wszystkich zamówieniach publicznych związanych z transportem zbiorowym wymogów w zakresie udziału autobusów, zaliczanych do kategorii M3, wykorzystujących do napędu paliwa alternatywne, w całkowitej liczbie autobusów objętych zamówieniami publicznymi. Udział ten ma wynosić:

- od dnia 2 sierpnia 2021 r. do dnia 31 grudnia 2025 r. - co najmniej 32%,
 - od dnia 1 stycznia 2026 r. do dnia 31 grudnia 2030 r - co najmniej 46%,
- z czego co najmniej połowa tego udziału ma być osiągnięta przez autobusy zeroemisyjne (tzn. elektryczne lub wodorowe).

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 Legionowo **nie musi realizować** przez najbliższe trzy lata obowiązku określonego w art. 36 Ustawy;
- Miasto Legionowo **może być zobowiązane do** realizacji obowiązków określone w art. 68a i 68b Ustawy, jeżeli wartość zamówienia przekroczy określony w art. 5 ust. 4 rozporządzenia (WE) nr 1370/2007 Parlamentu Europejskiego i Rady tzn. średnia wartość roczna zamówienia, szacowana będzie na więcej niż 1 000 000 EUR lub 300 000 wozokilometrów.

III. Metodyka przeprowadzenia analizy

Określony w art. 37 ust. 2 ustawy o elektromobilności minimalny zakres Analizy, nie określa szczegółowego 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”, 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 obejmują:

- 1) Umowy na świadczenie usług przewozowych na liniach autobusowych D1, D2, D3;
- 2) Rozkład jazdy linii autobusowych;
- 3) Schemat linii autobusowych Darmowej Komunikacji Miejskiej Legionowo;
- 4) Raport z stanie Gminy Legionowo za rok 2021 i 2022;
- 5) Informację o finansowaniu transportu zbiorowego na terenie Miasta;
- 6) Informacje udostępnione przez Urząd Miasta Legionowo.

Pozostałe akty 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) Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/585 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie homologacji i nadzoru rynku pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz układów, komponentów i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów, zmieniające rozporządzenie (WE) nr 715/2007 i (WE) nr 595/2009 oraz uchylające dyrektywę 2007/46/WE;
- 3) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym;
- 4) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji.

IV. Założenia i warianty przyjęte do analizy

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

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

Definicja pojazdu zeroemisyjnego nie jest jednak 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 jako zasilanie:

- 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 zatem do możliwości wymiany aktualnej floty na pojazdy uznawane za spełniające wymogi art. 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 – elektryczny** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.
- 3) **Wariant II – gazowy** - tabor zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
- 4) **Wariant III – 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 sytuację, w której poniesiony zostanie dodatkowy koszt na stworzenie infrastruktury tankowania wodoru.

Analizę podzielono na następujące części tematyczne:

- **Analizę techniczną** obejmującą aspekty technologii poszczególnych wariantów oraz związane z nimi przeszkody i wyzwania inwestycyjne;
- **Analizę finansowo-ekonomiczną** obejmującą zagadnienia kosztów początkowych i eksploatacyjnych w poszczególnych wariantach inwestycyjnych;
- **Oszacowanie efektów środowiskowych** - obejmujące wpływ poszczególnych wariantów inwestycyjnych na aspekty środowiskowe (w szczególności zanieczyszczenie powietrza, hałas);
- **Analizę społeczno-ekonomiczną** – obejmującą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji do atmosfery. tzw. monetyzację efektu środowiskowego.

Ostateczna rekomendacja jest wypadkową wszystkich analizowanych obszarów sprowadzonych do porównywalnych wartości ekonomicznych.

Dodatkowe założenia:

- okres odniesienia analizy wynosi 15 lat;
- rok bazowy (rok wykonania pierwszej AKK): 2020 r.;

- stopa dyskontowa: 4%;
- okres amortyzacji: 8 lat;
- roczny wzrost wydatków eksploatacyjnych: 6%;
- stosowane założenia (dotyczące m.in. wzrostu cen paliw i energii) stanowią odzwierciedlenie prognoz makroekonomicznych oraz analiz branżowych;
- dane źródłowe wykorzystane w obliczeniach pochodzą zarówno z opracowań branżowych, jak i źródeł własnych - obserwacji rynku paliw, energii oraz zachodzących na nim zjawisk;
- koszty eksploatacji i utrzymania przyjęto na bazie aktualnie posiadanej wiedzy technicznej autorów niniejszej analizy i opracowań branżowych;

V. Ogólna charakterystyka systemu transportu publicznego

Zgodnie z ustawą 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 obszarze.

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.

Urząd Miasta Legionowo dofinansowuje kursy linii Zarządu Transportu Miejskiego w Warszawie, który jest ich operatorem, ale formalnie analizowany obszar transportowy obejmuje gminę miejską Legionowo, na którym funkcjonuje Darmowa Komunikacja Miejska Legionowo (DKM Legionowo).

Powierzchnia analizowanego obszaru transportowego, obejmuje 14 km², na którym zamieszkuje 52 995 mieszkańców⁷.



Rysunek 1 Obszar objęty siecią komunikacji zbiorowej (m. Legionowo)

Organizatorem publicznego transportu zbiorowego na zdefiniowanym wyżej obszarze jest Gmina Miejska Legionowo. Wybór przewoźników na poszczególnych liniach komunikacyjnych DKM Legionowo następuje w formie przetargowej. Ostatni przetarg z IV kwartału 2022 r. obejmuje świadczenie usług przewozowych przez okres 02.01.2023 – 31.12.2023 r.

W podanym okresie usługi przewozowe świadczą:

- na linii D2: MAGNET – TRANS Bartłomiej Obrabiński, za cenę **7,99 zł** brutto za wzkm;
- na linii D1 i D3: Usługi Transportowe Autokarowy Przewóz Osób, Wynajem, Naprawa Poj. Samochodowych Iwona Pych, za cenę **5,37 zł** brutto za wzkm.

⁷ Liczba mieszkańców według Raportu o stanie Gminy Legionowo za 2022 r.

Różnica w koszcie wozokilometra za świadczone usługi związana jest z klasą autobusów:

- na linii D2 są to pojazdy klasy maxi (autobus o 12m długości);
- na linii D1 i D3 są to pojazdy klasy midi (autobus o 8m długości);

Aktualny wykaz i przebieg linii autobusowych w ramach DKM Legionowo wskazano w tabeli zamieszczonej poniżej.

Tabela 1 Wykaz linii DKM Legionowo

Lp.	Linia	Typ linii	Kierunek linii	dł. linii
1	D1	miejska	Józefów Główna – Wspólna – Grudzie – dk 61 serwisówka – Zegrzyńska – Piaskowa – Al. Sybiraków – Zegrzyńska – Warszawska – Jagiellońska – Piłsudskiego – Sobieskiego – Krasińskiego – Sowińskiego – Pętla Mickiewicza – Sowińskiego – Krasińskiego – Sobieskiego – Piłsudskiego – Jagiellońska – Warszawska – Zegrzyńska – Al. Sybiraków – Piaskowa – Zegrzyńska – dk61 serwisówka – Grudzie – Wspólna – Józefów Główna;	17,20 km
2	D2	miejska	Centrum Komunikacyjne – Kościuszki – Piłsudskiego – Sobieskiego – Parkowa – Jagiellońska – Rondo Poniatowskiego – PKP Legionowo Przystanek – Jagiellońska – Nowobarska – Tunel – Al. Róż – Al. Legionów – Cynkowa – Suwalna – Osiedle Młodych – Suwalna – Cynkowa – Al. Legionów – Al. Róż – Tunel – Piastowska – Krakowska – Rondo Poniatowskiego – PKP Legionowo Przystanek – Jagiellońska – Parkowa – Sobieskiego – Piłsudskiego – Jagiellońska – Słowackiego – Kościuszki – Centrum Komunikacyjne	13,50 km
3	D3	miejska	Osiedle Młodych – Suwalna – Cynkowa – Al. Legionów – Wyszyńskiego – Targowa – Kolejowa – Piaskowa – Szwajcarska – dk 61 – Strużańska – Polna – Wrzosowa – Zaciszna – Plantowa – Roi – Wrzosowa – Pileckiego – dk 61 – Szwajcarska – Piaskowa – Al. Legionów – Okrzei – Targowa – Kolejowa – Targowa – Wyszyńskiego – Al. Legionów – Cynkowa – Suwalna – Osiedle Młodych	14,75 km

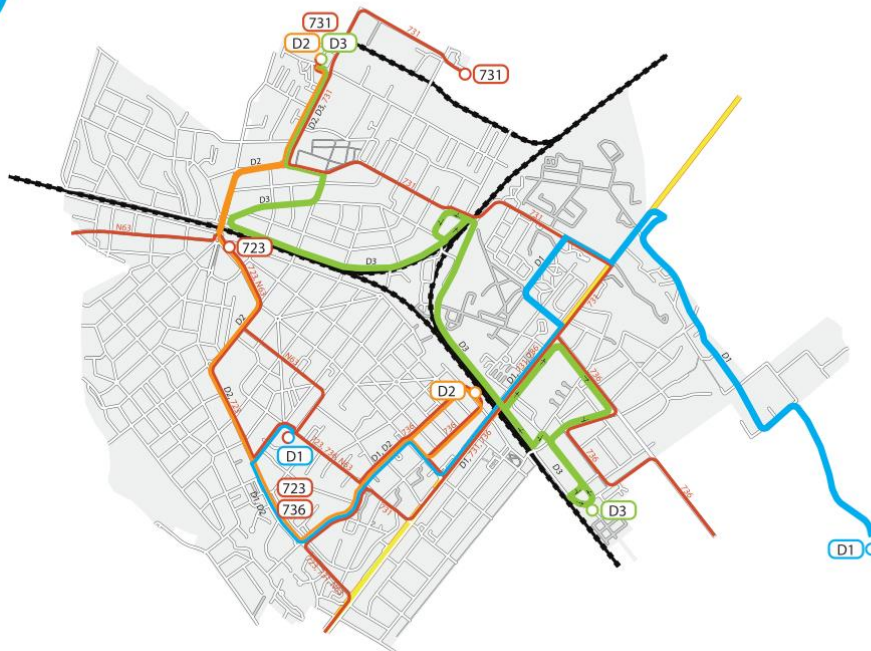


Linie: D1

D2

D3

Darmowa Komunikacja Miejska Legionowo



Rysunek 2 Schemat przebiegu linii komunikacyjnych DKM Legionowo

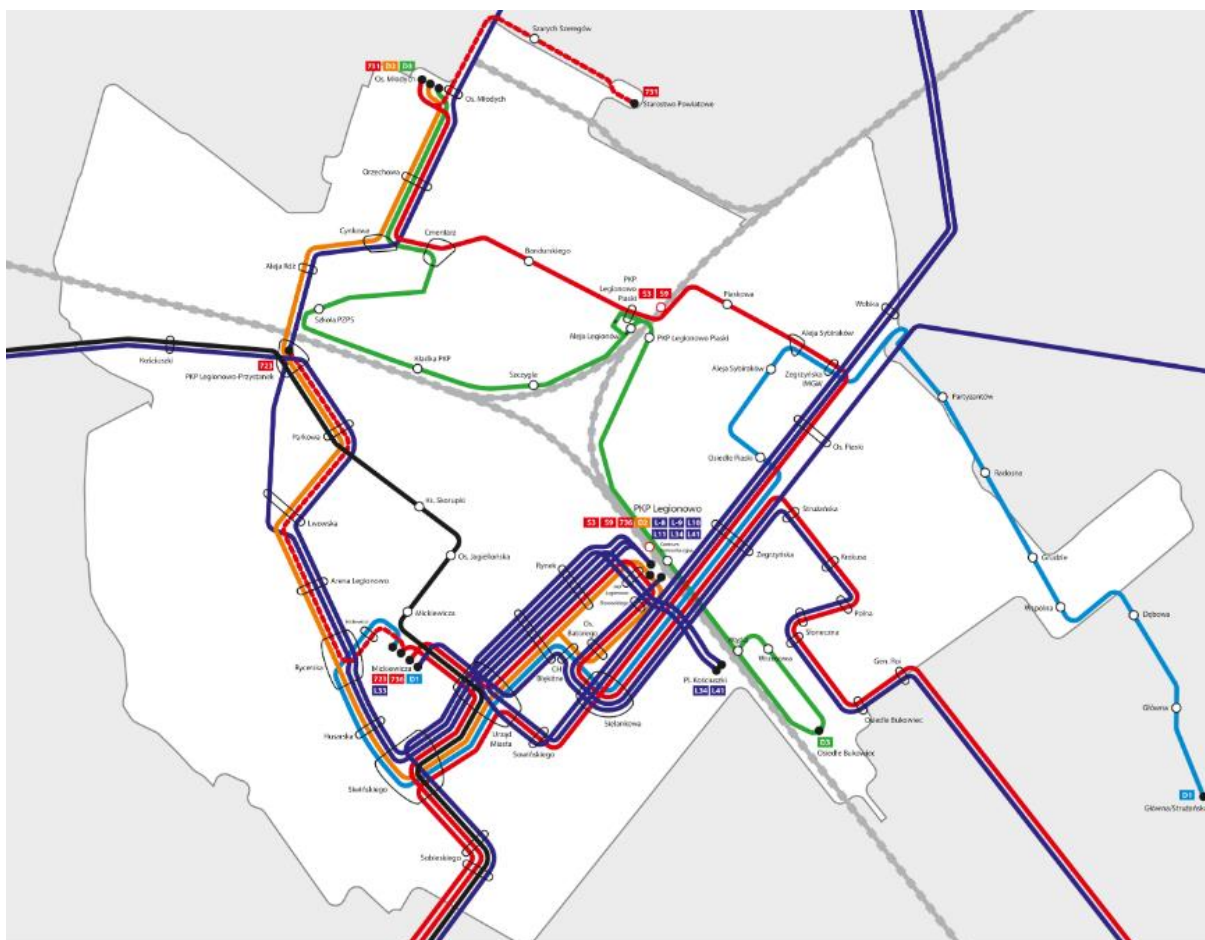
Oprócz linii Darmowej Komunikacji Miejskiej Legionowo, na obszarze Legionowa funkcjonują połączenia autobusowe świadczone przez warszawski Zarząd Transportu Miejskiego. Są to linie: 723, 731, 736, N63, S3, S9 oraz linie strefowe L. Dofinansowanie linii 723, 731, 736, N63 z budżetu Gminy Miejskiej Legionowo w roku 2022, wyniosło 1 672 390,00 zł.

Na podstawie porozumienia z ZTM i Kolejami Mazowieckimi, w ramach „wspólnego biletu” organizowany był transport kolejowy. Są to linie:

- SKM S3 (Wieliszew – Warszawa Lotnisko Chopina);
- KM R9 (Legionowo Przystanek - Warszawa Gdańska);
- KM RL (Legionowo Przystanek - Warszawa Lotnisko Chopina).

Dofinansowanie do połączeń kolejowych z budżetu Gminy Miejskiej Legionowo wyniosło 7 180 811,00 zł.

Łączne koszty zapewnienia transportu publicznego w 2022 r. wyniosły 12 467 515,29 zł. Koszty DKM to zatem tylko 6,26% całkowitych kosztów budżetowych, wydatkowanych na komunikację miejską.



Przystanki węzłowe i końcowe

- przy ul. Sowińskiego/Mickiewicza ;
- przy ul. Olszankowej (Osiedle Młodych);
- przy ul. Tadeusza Kościuszki (Centrum Komunikacyjne w Legionowie);

W październiku 2022 otwarto przebudowane pętle usytuowane przy ulicy Sowińskiego oraz ul. Olszankowej. Przebudowane pętle zyskały po 55 miejsc parkingowych – po 29 dla samochodów i po 26 dla rowerów. Na terenie obu pętli przebudowano nawierzchnie i przylegające do nich chodniki oraz wymieniono ich oświetlenia na energooszczędne typu led. Na obu pętlach znajdują się stacje ładowania samochodów elektrycznych.



Rysunek 4 Pętla przy ul. Mickiewicza po przebudowie

Aktualna struktura taboru

Obsługa linii komunikacyjnych prowadzona jest pojazdami należącymi do zewnętrznych przewoźników, a Miasto Legionowo nie posiada własnego taboru autobusowego i nie planuje jego utworzenia. W ramach przetargu na obsługę linii komunikacyjnych, wyznaczono minimalne parametry techniczne pojazdów:

Dla obsługi linii D2 (jeden autobus klasy maxi):

- długość pojazdu: 11 000÷12 000 mm;

- szerokość pojazdu: 2 500÷2 550 mm;
- łączna liczba miejsc: 80÷100, przy wskaźniku napełnienia 6,7 osoby/m²;
- liczba pełnowymiarowych miejsc siedzących: 23÷30;
- liczba miejsc na wózki - dziecięcy / inwalidzki: 1/1;
- minimalna liczba drzwi - 2;
- efektywna szerokość drzwi (szerokość otworu drzwiowego dostępna dla pasażerów): min. 1200mm dla drzwi podwójnych;
- napęd pojazdu: silnik wysokoprężny lub silnik zasilany paliwami alternatywnymi;
- norma emisji spalin: minimum Euro5;
- częściowo niskopodłogowy;
- wyposażony w klimatyzację przestrzeni pasażerskiej.

Dla obsługi linii D1 i D3 (dwa autobusy klasy midi):

- łączna liczba miejsc dla pasażerów nie mniej niż 40, przy wskaźniku napełnienia 6,7 osoby/m²;
- liczba pełnowymiarowych miejsc siedzących minimum 13;
- liczba miejsc na wózki - dziecięcy / inwalidzki: 1/1;
- układ drzwi: 1 z przodu i 1 z tyłu podwójne;
- efektywna szerokość drzwi (szerokość otworu drzwiowego dostępna dla pasażerów): min. 800 mm dla drzwi pojedynczych i 1000 w drzwiach podwójnych;
- napęd pojazdu: silnik wysokoprężny lub silnik zasilany paliwami alternatywnymi;
- norma emisji spalin: minimum Euro5;
- autobus częściowo niskopodłogowy;
- autobusy wyposażone w klimatyzację przestrzeni pasażerskiej.

Liczba wozokilometrów na linii D2 (autobus maxi) wynosi ok. 51 050 wzkm, na linii D1 (autobus midi) wynosi ok. 66 950 wzkm, a na linii D3 (autobus midi) wynosi ok. 49 550 wzkm.

VI. Analiza techniczna

Autobus z napędem spalinowym

Wariant bazowy opracowania to dalsze wykorzystanie obecnych autobusów na nowe pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik wysokoprężny zasilany olejem napędowym). Punktem odniesienia dla pozostałych wariantów opracowania jest norma Euro6 (od 1 stycznia 2021, zastrzona do normy Euro6D), która ma charakter obligatoryjny dla wszystkich pojazdów użytkowych wyprodukowanych po 2013 roku (Norma weszła w życie końcem 2013 r. z mocy Rozporządzenia Komisji (UE) nr 459/2012). Średnie spalanie autobusu klasy maxi w normie Euro6 w cyklu miejskim kształtuje się na poziomie 36 l/100km, natomiast autobusu klasy mega 48 l/100km. Przy cenie 6,50 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy maxi wynosi 234 zł, a autobusem klasy mega 312 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 l zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 650 km.

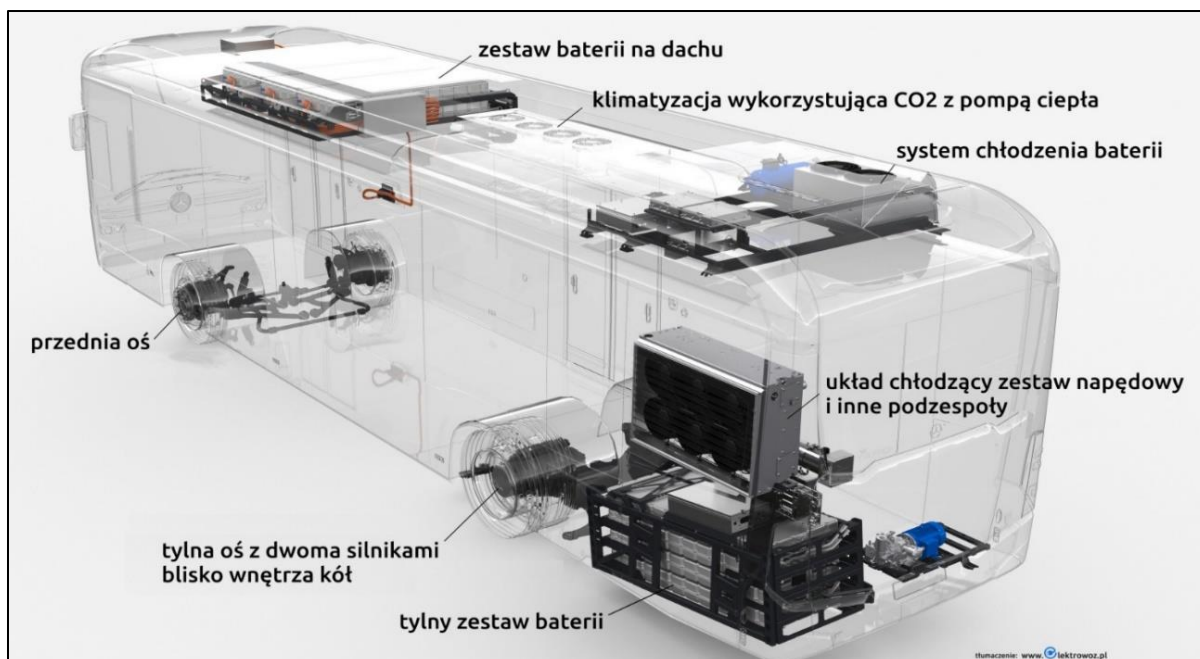
Wykorzystanie autobusów z napędem konwencjonalnym nie wiąże się z koniecznością ponoszenia dodatkowych inwestycji infrastrukturalnych. W zakresie zaopatrzenia w paliwo autobusy mogą korzystać bowiem z istniejącej na terenie miasta infrastruktury stacji paliw.

Autobus z napędem elektrycznym

Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariantcie hybrydowym (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariantcie całkowicie elektrycznym. Autobusy hybrydowe, nie spełniają jednak definicji pojazdu zeroemisyjnego, który zgodnie z ustawą jest napędzany wyłącznie przez silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych.

Autobusy z napędem elektrycznym charakteryzują się niskim poziomem hałasu, drgań i brakiem emisji spalin, tym samym zyskując dużą popularność zarówno w krajach europejskich jak i w Polsce.

Za napęd autobusu elektrycznego odpowiadają silniki indukcyjne montowane na poszczególnych osiach. Zasilane są energią elektryczną z akumulatorów zlokalizowanych na dachu oraz w tylnej przestrzeni pojazdu. Jak wskazują dane z eksploatacji taboru w polskich miastach, zużycie energii w eksploatacji na trakcję wynosi 1,03 kWh/km w przypadku autobusów klasy maxi, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 0,785 zł/kWh netto (0,965 zł/kWh brutto), daje koszt (wyłącznie w zakresie kosztów energii) ok. 81 zł/100 km dla autobusu klasy maxi. Na ostateczny koszt energii składa się nie tylko cena tzw. energii czynnej, ale również opłaty dystrybucyjne, wynoszący ok 0,47 zł/kWh netto. Jednak nawet przy uwzględnieniu wszystkich stawek opłat za energię elektryczną, koszt energii na 100 km jest niższy niż koszt oleju napędowego. Deklarowany przez producentów zasięg autobusów elektrycznych przy pełnym naładowaniu baterii wynosi do 300 km, jednak realny zasięg uzależniony jest m.in. od warunków pogodowych (np. obciążenia baterii klimatyzacją lub ogrzewaniem), charakteru trasy (liczby wzniesień, średniej prędkości) oraz pojemności baterii, który zmniejsza się wraz z eksploatacją. W faktycznej eksploatacji zasięg autobusów elektrycznych może być nawet o połowę mniejszy niż wynikający ze specyfikacji technicznych. Pojawiają się na rynku również rozwiązania typu High Energy, z dodatkowymi magazynami bateryjnymi, które zapewnią zasięgi, spełniające oczekiwania przewoźników miejskich oraz międzymiastowych, z uwagi na zwiększoną pojemność baterii sięgającą nawet 600 kWh, która jednak na dziś ogranicza pojemność pasażerów w pojeździe oraz znacząco podnosi koszt zakupu pojazdu.



Rysunek 5 Schemat budowy autobusu elektrycznego, źródło: <https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg>

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

Aktualny stan wiedzy technicznej pozwala wyróżnić cztery systemy ładowania:

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

również baterie akumulatorowe, z których energia wykorzystywana jest w czasie jazdy „poza siecią”.

Czas ładowania pojazdów elektrycznych uzależniony jest od mocy stacji ładowania która powinna wynosić od 22 kW 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).

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. Zwiększając we flocie pojazdów komunikacji miejskiej udział pojazdów elektrycznych, zwiększa się zapotrzebowanie na energię elektryczną, co wymaga przebudowy infrastruktury energetycznej – doprowadzenia nowego przyłączenia oraz budowę stacji transformatorowej. Koszt takiej inwestycji sięgać może nawet kilku milionów złotych i istotnie mogą podnieść koszt wozokilometra w realizowanych przewozach. 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 ładowania⁸. Trwają pilotażowe projekty takich rozwiązań, jednakże nie zyskały one na dziś charakteru powszechnego⁹.

W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy wymianę zużytych baterii, co wedle szacunków stanowić może koszt sięgający nawet ¼ ceny

⁸<http://elektrowoz.pl/transport/szwedzki-powerswap-chce-wymieniac-baterie-na-stacjach-benzynowych/>

⁹<https://jaw.pl/2018/11/pierwsza-w-polsce-stacja-ladowania-i-szybkiej-wymiany-baterii-dla-autobusow-miejskich/>

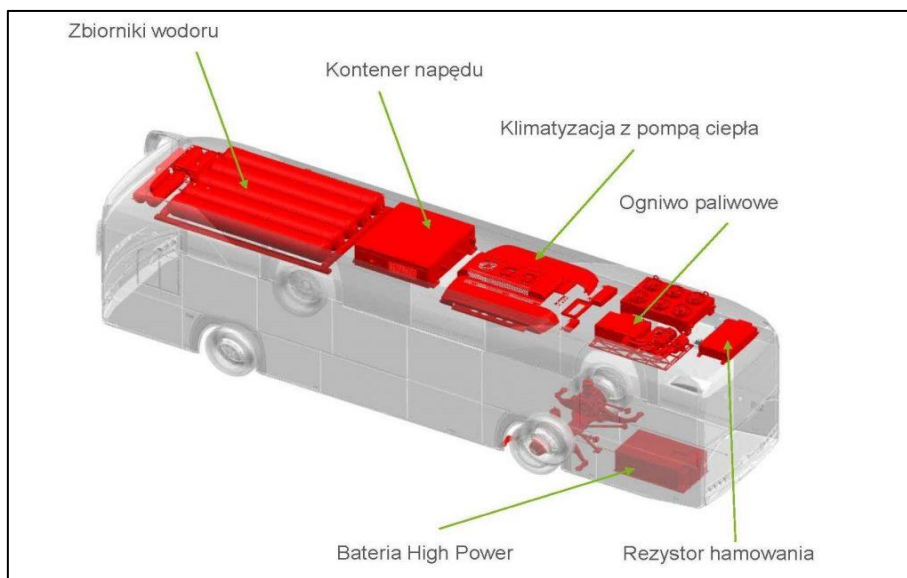
nowego pojazdu. Koszt zakupu samego autobusu klasy maxi (bez stacji ładowania) to ok. 2,5 mln zł, a autobusu klasy midi ok. 2,1 mln zł.

Autobus z napędem wodorowym

Perspektywą na przyszłość 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.

Łącznie na europejskich drogach kursuje już ponad 50 autobusów wodorowych tej marki¹⁰. Pojazdy wodorowe wdrożyli do produkcji również polscy producenci – m.in. Solaris (model Solaris Urbino 12 Hydrogen), z zasięgiem teoretycznym wynoszącym 350 km. Pod względem funkcjonalnym autobusy wodorowe nie różnią się od swoich elektrycznych odpowiedników. Różnica sprowadza się jedynie do zasobnika energii – zamiast baterii, posiadają one zbiornik wodoru.



Rysunek 6 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach

¹⁰ http://infobus.pl/autobusy-wodorowe-w-praktyce-niemcy-film-more_106351.html

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak jakiejkolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych. Rynkowa cena wodoru w Niemczech wynosi 9,50 Euro, tj. ok 40-45 zł za kg. Autobus komunikacji miejskiej zużywa 8 kg wodoru na 100 km, a więc koszt przejechania 100 km wynosiłby aktualnie aż 320 zł. W pierwszych polskich postępowaniach na zakup wodoru cena jest nawet wyższa i przekracza 14 Euro/kg wodoru¹¹, co przekłada się na cenę paliwa wynoszącą ponad 500 zł/100 km.

W przypadku wprowadzenia autobusów wodorowych do komunikacji miejskiej, konieczne byłoby przeprowadzenie inwestycji nie tylko w sam tabor, ale również w stację tankowania wodoru.

VII. Przegląd aktualnych kosztów inwestycyjnych w tabor zero i niskoemisyjny

Lidzbark Warmiński – autobus elektryczny

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 7 Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim, źródło: UM Lidzbark Warmiński

¹¹ <http://gashd.eu/2022/04/26/konin-liczy-koszt-jazdy-na-wodorze-w-pilotazowym-autobusie/>

Sieradz – autobus elektryczny

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

Cena za jeden autobus: 2,466 mln zł



Rysunek 8 Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu, źródło: UM Sieradz

Świdnica – autobus elektryczny

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

Cena za jeden autobus: 2,749 mln zł



Rysunek 9 Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy, źródło: UM Świdnica

Rzeszów – autobus elektryczny i gazowy

Zakup 2 szt. autobusów elektrycznych o długości 18 m – 8,090 mln zł (4,045 mln zł za szt.)

Zakup 2 szt. autobusów gazowych o długości 18 m – 5,185 mln zł (2,592 mln zł za szt.)



Rysunek 10 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów

Rzeszów – autobus gazowy

Zakup 10 szt. autobusów gazowych o długości 12 m – 18,014 mln zł (1,801 mln zł za szt.)



Rysunek 11 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie, źródło: UM Rzeszów

Konin – autobus wodorowy

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



Rysunek 12 Autobus komunikacji miejskiej w Koninie, źródło: MZK Konin

VIII. Analiza finansowo-ekonomiczna

Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności zastosowania w komunikacji zbiorowej 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. 36 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 15-letni - do roku 2035.

Łączny stan floty przyjęty do analizy wynosi 3 pojazdy. Informacja o wymogach ustawowych w stosunku do floty pojazdów wykorzystywanych na terenie Legionowa, zawiera tabela.

Tabela 2 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Minimalna liczba pojazdów zeroemisyjnych	Teoretycznie udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2021	5%	3	1	33,34%
1 stycznia 2023	10%	3	1	33,34%
1 stycznia 2025	20%	3	1	33,34%
1 stycznia 2028	30%	3	1	33,34%

Z uwagi na fakt, iż do obsługi komunikacyjnej wykorzystywane są wyłącznie trzy autobusy, częściowe przejście na komunikację zeroemisyjną jednym tylko pojazdem byłoby nieekonomiczne (choćby z uwagi na konieczność poniesienia wydatków na infrastrukturę ładowania pojazdów której koszt będzie taki sam dla obsługi jednego, jak i trzech pojazdów), analizę przeprowadzono dla obsługi całości połączeń (100% udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie) pojazdami zeroemisyjnymi.

W analizie wydatków związanych z eksploatacją autobusów, 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).

Ponieważ Miasto Legionowo nie posiada i nie planuje inwestycji we własną flotę, analiza finansowa sprowadza się do wyliczenia kosztu wozokilometra jaki może stanowić koszt przetargowy w utrzymaniu DKM w Legionowie.

Założenia dotyczące zużycia paliwa przedstawiono w tabeli.

Tabela 3 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów

Długość autobusu	Paliwo	Wartość	Jednostka
10 m	ON	32,0	l/100 km
10 m	CNG/LNG	34,0	kg/100 km
10 m	Wodór	7,0	l/100 km
10 m	BEV	103,0	kWh/100 km
12 m	ON	36,0	l/100 km
12 m	CNG/LNG	47,5	kg/100 km
12 m	Wodór	8,0	l/100 km
12 m	BEV	103,0	kWh/100 km

Średnią pracę przewozową taboru autobusowego przyjęto na poziomie 55 tys. km rocznie, co odpowiada średniej pracy przewozowej pojazdu w komunikacji miejskiej w Legionowie.

Analizowane warianty inwestycyjne przedstawiają się następująco:

- 1) **Wariant bazowy** – służy oszacowaniu kosztów świadczenia usług komunikacyjnych, z wykorzystaniem zmodernizowanego taboru o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy Euro6. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów w zakresie porównania efektywności kosztowej, społecznej i środowiskowej.
- 2) **Wariant I – elektryczny** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem elektrycznym, dla których zasilanie zapewniają pokładowe magazyny bateryjne.
- 3) **Wariant II – gazowy** - tabor zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
- 4) **Wariant III – wodorowy** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym.

Nakłady inwestycyjne dla każdego z analizowanych wariantów obejmują zakup autobusów o określonym rodzaju napędu oraz niezbędnej infrastruktury, ładowania pojazdów elektrycznych. Choć zgodnie z przyjętym założeniem, kosztu tego nie ponosi bezpośrednio Miasto Legionowo, ale zmiana warunków przetargowych na prowadzenie usług przetargowych wymusi takie inwestycje w przedsiębiorstwach transportowych ubiegających się o takie zamówienie, a tym samym znajdzie on

odzwierciedlenie w koszcie wozokilometra, który pokryć będzie musiał budżet Miasta, na realizację zadania przewozowego.

Tabela 4 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor

Długość autobusu	Paliwo	Wartość
10 m	ON	1 300 000,00 zł
10 m	CNG/LNG	1 450 000,00 zł
10 m	Wodór	2 700 000,00 zł
10 m	BEV	2 250 000,00 zł
12 m	ON	1 500 000,00 zł
12 m	CNG/LNG	1 900 000,00 zł
12 m	Wodór	2 900 000,00 zł
12 m	BEV	2 750 000,00 zł
18 m	ON	2 500 000,00 zł
18 m	CNG/LNG	2 900 000,00 zł
18 m	Wodór	4 400 000,00 zł
18 m	BEV	4 000 000,00 zł

Tabela 5 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 6 Założenia kosztu wymiany baterii

Wydatki odtworzeniowe	Wartość
Koszt wymiany baterii	900 000,00 zł
Żywotność baterii w latach	7

W analizie wydatków związanych z eksploatacją autobusów, 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).

Tabela 7 Założenia kosztu jednostkowego paliwa

Koszt paliwa/energii	Wartość	Jednostka
Olej napędowy	6,50	zł/l
Gaz CNG/LNG	7,30	zł/kg
Energia elektryczna	1,43	zł/kWh
Energia elektryczna - opłata za moc ¹²	8400,00	zł/MW/m-c
Wodór	64,00	zł/kg

Drugą grupę kosztów eksploatacyjnych podlegających różnicowaniu w ramach wariantów są koszty remonty, serwisu, ubezpieczenia i wynagrodzenia kierowcy. Założony poziom kosztów wskazano w tabeli.

Tabela 8 Założenia kosztów remontowych i serwisowych

Długość autobusu	Rodzaj paliwa	Wartość	Jednostka
10 m	ON	2,96 zł	zł/wzkm
10 m	CNG/LNG	2,91 zł	zł/wzkm
10 m	Wodór	2,87 zł	zł/wzkm
10 m	BEV	2,85 zł	zł/wzkm
12 m	ON	2,99 zł	zł/wzkm
12 m	CNG/LNG	2,95 zł	zł/wzkm
12 m	Wodór	2,91 zł	zł/wzkm
12 m	BEV	2,89 zł	zł/wzkm
18 m	ON	3,01 zł	zł/wzkm
18 m	CNG/LNG	2,95 zł	zł/wzkm
18 m	Wodór	2,92 zł	zł/wzkm
18 m	BEV	2,91 zł	zł/wzkm

Wzrost kosztów eksploatacyjnych w czasie założono na poziomie 6% w skali roku.

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

Tabela 9 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne	14 724 897,35 zł	19 989 106,58 zł	20 227 323,72 zł	27 431 922,82 zł

¹² Opłata za moc zamówioną.

Efektywność finansową wariantów porównać można również na bazie wskaźników.

Dla każdego z wariantów zostały dwa wskaźniki:

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

Tabela 10 Wskaźniki finansowe w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
FNPV/C	- 15 313 893,25 zł	- 14 267 941,04 zł	- 21 017 262,85 zł	- 28 508 552,80 zł
FRR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – największą opłacalność wykazuje wariant bazowy (oparty o autobusy zasilane olejem napędowym), co wynika nie tylko z niższego kosztu początkowego zakupu autobusu, ale również bardzo niekorzystnych tendencji w zakresie cen paliw i surowców energetycznych. Ceny energii elektrycznej urosły na przestrzeni ostatnich kilkunastu miesięcy o kilkadziesiąt procent, jednak kryzys na rynkach surowcowy zapoczątkowany rosyjskim atakiem na Ukrainę dotknął wszystkich nośników energii, skutkiem czego – niezależnie od przyjętego wariantu rozwoju komunikacji publicznego (elektryczny, gazowy, czy z wykorzystaniem oleju napędowego), koszty paliw i energii znacząco wzrosły. Tendencję cen wskazano na wykresach zamieszczonych poniżej:

- Wykres średnich cen paliw w Polsce, pokazuje, że od początku 2022 r. nastąpił wzrost cen oleju napędowego z 6,00 zł do prawie 8,00 zł (wzrost o ok. 1/3);
- Cena energii po skokowym wzroście z lipca – sierpnia 2022 r. (cen energii na rynku hurtowym wzrosła z 600 do 1800 zł, co stanowi wzrost trzykrotny), stabilizuje się na poziomie ceny maksymalnej wynoszącej 785 zł, a określonej ustawą z dnia 27 października 2022 r. o środkach nadzwyczajnych mających

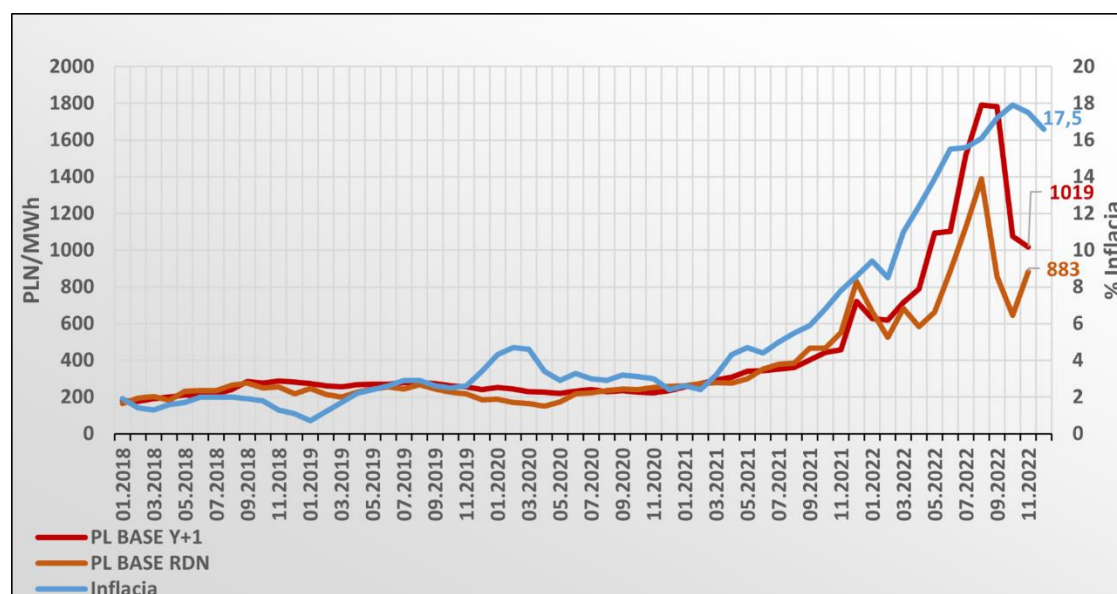
na celu ograniczenie wysokości cen energii elektrycznej oraz wsparciu niektórych odbiorców w 2023 roku.

- Cena gazu swoje maksimum cenowe osiągnęła w sierpniu 2022 r. (po wzroście ze 133 Euro/MWh do 345 Euro/MWh, co stanowi ponad dwuipółkrotny wzrost) stabilizuje się na poziomie cen z okresu końca 2021 r.

Średnie detaliczne ceny paliw w Polsce (za litr)



Rysunek 13 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 14 Ceny energii elektrycznej w Polsce, źródło: <https://wodorowyswiat.pl/analiza-cen-energii-elektrycznej-w-polsce-w-latach-2018-2022/>

Ceny gazu ziemnego w Europie

CENA KONTRAKTÓW TERMINOWYCH NA GAZ ZIEMNY NA GIEŁDZIE TOWAROWEJ ICE

Dane dzienne, z zamknięcia giełdy, euro za megawatogodzinę



Źródło: ICE, tradingeconomics.com



Rysunek 15 Ceny gazu ziemnego w Europie <https://polskieradio24.pl/42/273/artukul/3063794,w-2023-r-chcemy-ograniczyc-ceny-gazu-nie-tylko-dla-gospodarstw-domowych-minister-klimatu-o-nowej-ustawie>

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 wozokilometra¹³.

¹³ Przedstawiony koszt wozokilometra nie uwzględnia kosztów stałych świadczenia usług przewozowych (niezależnych od struktury taboru) do których należą m.in. koszty wynagrodzeń, zarządu i administracji!

Tabela 11 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm - koszty inwestycyjne i eksploatacyjne
Wariant bazowy	7,44 zł
Wariant I – elektryczny	10,08 zł
Wariant II – gazowy	10,22 zł
Wariant III – wodorowy	13,85 zł

Jak wskazują przedstawione wyżej porównania, w przypadku wprowadzenia do taboru floty pojazdów elektrycznych, spodziewać się można wzrostu kosztu wozokilometra, co oznaczać będzie konieczność zwiększenia wydatków budżetowych Miasta na cele transportu zbiorowego o co najmniej 34%.

Ponieważ Miasto Legionowo nie zamierza tworzyć własnej floty transportowej, zrównoważenia wyższych kosztów inwestycyjnych rozwiązań zeroemisyjnych nie mogą zapewnić zewnętrzne źródła finansowania. O środki NFOŚiGW na zakup autobusów elektrycznych lub wodorowych ubiegać się mogą jednostki samorządu terytorialnego, w ramach programów:

- 1) Zielony transport publiczny (dawniej program GEPARD) – dofinansowanie zakupu autobusów zeroemisyjnych,
- 2) KANGUR – dofinansowanie zakupów przeznaczonych na dowożenie dzieci do szkół.

Samorządy mogą ubiegać się o sięgające 80% dofinansowania na zakup lub leasing autobusów i szkolenie kierowców oraz wsparcie rozwoju infrastruktury ładowania na własne potrzeby – budowę nowych lub modernizację istniejących stacji ładowania. Takie dofinansowanie dla podmiotów prywatnych nie jest jednak dostępne bądź wiąże się z niższym poziomem dofinansowania związany z udzieleniem pomocy publicznej. Porównanie wyników analizy finansowo-ekonomicznej w formie tabel zbiorczych, przedstawiono poniżej.

Tabela 12 Obliczenia efektu finansowego - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Amortyzacja kosztów inwestycyjnych	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	zł	km
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	4	0,89	4 500 000,00	376 002,00	587 664,00	165 000,00	5 463 666,00	4 857 179,18
2025	5	0,85	0,00	386 100,00	622 644,00	165 000,00	1 008 744,00	862 278,60
2026	6	0,82	0,00	396 792,00	659 373,00	165 000,00	1 056 165,00	868 090,64
2027	7	0,79	0,00	407 484,00	699 600,00	165 000,00	1 107 084,00	874 944,57
2028	8	0,76	0,00	418 608,31	741 576,00	165 000,00	1 160 184,31	881 644,73
2029	9	0,73	0,00	430 036,32	786 070,56	165 000,00	1 216 106,88	888 597,39
2030	10	0,70	0,00	441 776,31	833 234,79	165 000,00	1 275 011,11	895 805,89
2031	11	0,68	0,00	453 836,80	883 228,88	165 000,00	1 337 065,69	903 273,67
2032	12	0,65	0,00	466 226,55	936 222,61	165 000,00	1 402 449,16	911 004,23
2033	13	0,62	0,00	478 954,53	992 395,97	165 000,00	1 471 350,51	919 001,18
2034	14	0,60	0,00	492 029,99	1 051 939,73	165 000,00	1 543 969,72	927 268,21
2035	15	0,58	0,00	505 462,41	1 115 056,11	165 000,00	1 620 518,53	935 809,07
-	-	RAZEM	4 500 000,00	5 253 309,24	9 909 005,66	1 980 000,00	19 662 314,90	14 724 897,35

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 7,44 zł

Tabela 13 Obliczenia efektu finansowego - wariant elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Amortyzacja kosztów inwestycyjnych	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	zł	km
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	4	0,89	9 450 000,00	263 630,35	618 328,80	165 000,00	10 331 959,15	9 185 074,06
2025	5	0,85	0,00	270 613,93	651 559,80	165 000,00	922 173,73	788 277,97
2026	6	0,82	0,00	277 597,52	688 288,80	165 000,00	965 886,32	793 888,15
2027	7	0,79	0,00	284 581,11	726 766,80	165 000,00	1 011 347,91	799 282,94
2028	8	0,76	0,00	292 350,17	767 273,64	165 000,00	1 059 623,81	805 227,01
2029	9	0,73	0,00	300 331,33	810 210,89	165 000,00	1 110 542,22	811 462,32
2030	10	0,70	0,00	308 530,37	855 724,38	165 000,00	1 164 254,75	817 989,94
2031	11	0,68	0,00	325 606,08	903 968,67	165 000,00	1 229 574,75	830 656,64
2032	12	0,65	0,00	325 606,08	3 655 107,62	165 000,00	3 980 713,70	2 585 795,71
2033	13	0,62	0,00	334 495,12	1 009 314,91	165 000,00	1 343 810,04	839 339,78
2034	14	0,60	0,00	343 626,84	1 066 774,64	165 000,00	1 410 401,48	847 050,58
2035	15	0,58	0,00	353 007,85	1 127 681,95	165 000,00	1 480 689,80	855 061,47
-	-	RAZEM	9 450 000,00	3 679 976,75	12 881 000,90	1 980 000,00	26 010 977,65	19 959 106,58

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 10,08 zł

Tabela 14 Obliczenia efektu finansowego - wariant gazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Amortyzacja kosztów inwestycyjnych	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	zł	km
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	4	0,89	5 700 000,00	826 856,25	580 668,00	165 000,00	7 107 524,25	6 318 563,18
2025	5	0,85	0,00	849 585,00	615 648,00	165 000,00	1 465 233,00	1 252 487,31
2026	6	0,82	0,00	873 097,50	652 377,00	165 000,00	1 525 474,50	1 253 828,84
2027	7	0,79	0,00	896 610,00	690 855,00	165 000,00	1 587 465,00	1 254 596,65
2028	8	0,76	0,00	921 087,45	732 306,30	165 000,00	1 653 393,75	1 256 443,37
2029	9	0,73	0,00	946 233,14	776 244,68	165 000,00	1 722 477,82	1 258 597,67
2030	10	0,70	0,00	972 065,31	822 819,36	165 000,00	1 794 884,66	1 261 062,16
2031	11	0,68	0,00	1 025 864,54	872 188,52	165 000,00	1 898 053,06	1 282 256,64
2032	12	0,65	0,00	1 025 864,54	924 519,83	165 000,00	1 950 384,37	1 266 932,50
2033	13	0,62	0,00	1 053 870,64	979 991,02	165 000,00	2 033 861,66	1 270 344,00
2034	14	0,60	0,00	1 082 641,31	1 038 790,48	165 000,00	2 121 431,79	1 274 076,96
2035	15	0,58	0,00	1 112 197,42	1 101 117,91	165 000,00	2 213 315,33	1 278 134,45
-	-	RAZEM	5 700 000,00	11 585 973,11	9 787 526,10	1 980 000,00	27 073 499,21	20 227 323,72

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 10,22 zł

Tabela 15 Obliczenia efektu finansowego - wariant wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Amortyzacja kosztów inwestycyjnych	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	zł	km
2020	0	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	3	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	4	0,89	13 200 000,00	891 528,00	570 174,00	165 000,00	14 661 702,00	13 034 199,69
2025	5	0,85	0,00	915 816,00	605 154,00	165 000,00	1 520 970,00	1 300 131,53
2026	6	0,82	0,00	940 764,00	641 883,00	165 000,00	1 582 647,00	1 300 820,47
2027	7	0,79	0,00	966 504,00	680 361,00	165 000,00	1 646 865,00	1 301 541,33
2028	8	0,76	0,00	992 889,56	721 182,66	165 000,00	1 714 072,22	1 302 554,01
2029	9	0,73	0,00	1 019 995,44	764 453,62	165 000,00	1 784 449,06	1 303 879,45
2030	10	0,70	0,00	1 047 841,32	810 320,84	165 000,00	1 858 162,16	1 305 520,08
2031	11	0,68	0,00	1 105 834,40	858 940,09	165 000,00	1 964 774,49	1 327 331,24
2032	12	0,65	0,00	1 105 834,40	910 476,49	165 000,00	2 016 310,89	1 309 757,11
2033	13	0,62	0,00	1 136 023,68	965 105,08	165 000,00	2 101 128,76	1 312 358,83
2034	14	0,60	0,00	1 167 037,13	1 023 011,39	165 000,00	2 190 048,51	1 315 286,38
2035	15	0,58	0,00	1 198 897,24	1 084 392,07	165 000,00	2 283 289,31	1 318 542,68
-	-	RAZEM	13 200 000,00	12 488 965,17	9 635 454,23	1 980 000,00	35 324 419,41	27 431 922,82

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 13,85 zł

IX. Oszacowanie efektów środowiskowych

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

- 1) Pyły (PM10 i PM2.5)
- 2) Tlenki azotu
- 3) Tlenki siarki
- 4) Niemetanowe związki lotne organiczne (NMZLO)
- 5) Emisja pozaspalinowa (m.in. pył ze ścierających się klocków hamulcowych)
- 6) Dwutlenek węgla
- 7) Oddziaływanie hałasu

Ze względów na wymagania ekologiczne dąży się do ograniczenia emisji szczególnie szkodliwych dla środowiska oraz człowieka, a maksymalny dopuszczalny poziom emisji.

w pojazdach homologowanych na rynku europejskim określa obowiązująca od początku 2014 r. norma Euro6.

Tabela 16 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy Euro6

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

Podstawą określenia emisyjności poszczególnych substancji jest wykonywana praca przewozowa – ilość przejechanych kilometrów oraz ilość spalonego paliwa.

Tabela 17 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie Euro6

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00119	g/km
PM10	0,00331	g/km
NO2	0,080	g/km
SO2	1,100	g/km
NMLZO	0,250	g/km
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	2,670	kgCO2/l
Hałas	80,000	db

Norma Euro6 nie określa, jednakże faktycznego poziomu emisji dwutlenku węgla. Do obliczeń w tym zakresie, przyjęto zatem wskaźniki Krajowego Operatora Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Choć z definicji pojazdu zeroemisyjnego wynika, iż w miejscu eksploatacji pojazd elektryczny nie generuje emisji jakichkolwiek substancji szkodliwych, to jednak wykorzystywana energia elektryczna pozyskiwana jest z krajowego systemu elektroenergetycznego, który nie korzysta wyłącznie ze źródeł odnawialnych, a wręcz przeciwnie – oparty jest o wykorzystanie paliw kopalnych – w szczególności węgla. Wpływ autobusu elektrycznego na środowisko można więc rozpatrywać w sposób dwojaki. W opracowaniu przyjęto do obliczeń emisję w miejscu eksploatacji, a więc zeroemisyjny charakter autobusu.

Tabela 18 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,000	kg/MWh
PM10	0,000	kg/MWh
NO2	0,000	kg/MWh
SO2	0,000	kg/MWh
NMLZO	0,000	kg/MWh
Emisja pozaspalinowa	0,000	g/km
CO2	0,00	kg/MWh
Hałas	60,00000	db

Obliczone emisje zanieczyszczeń zostały zmonetyzowane z wykorzystaniem danych nt. jednostkowych kosztów emisji poszczególnych zanieczyszczeń (NOx, NMLZO, PM2,5), opracowanych przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych .

W ocenie dotyczącej oddziaływania zmian klimatycznych, oszacowano emisję gazów cieplarnianych, wyrażoną jako ekwiwalent CO2. Emisję obliczono ze zużycia paliwa, przy zastosowaniu wskaźników emisji zgodnych z metodyką „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook”. W odniesieniu do autobusów zeroemisyjnych koszty emisji obliczono jako emisję gazów cieplarnianych towarzyszącą eksploatacji pojazdów „na miejscu”, czyli bez emisji w systemie elektroenergetycznym.

X. Analiza społeczno-ekonomiczna

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

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

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

Przyjęte do analizy korzyści/koszty społeczne uwzględniają:

- 1) Koszty zanieczyszczeń powietrza, wynikające z emisji substancji szkodliwych;

- 2) Koszty hałasu, wynikające z przemieszczania się autobusów po drogach publicznych;
- 3) Koszty zmian klimatycznych, wynikające z emisji dwutlenku węgla CO₂;

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

Tabela 19 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Koszty społeczno-ekonomiczne	825 000,90 zł	329 293,22zł	737 033,37 zł	329 293,22 zł

Zdyskontowane koszty środowiskowe ujęto również w formie wozokilometra:

Tabela 20 Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm (środowiskowy)
Wariant bazowy	0,42 zł
Wariant I – elektryczny	0,17 zł
Wariant II – gazowy	0,37 zł
Wariant III - wodorowy	0,17 zł

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

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

Tabela 21 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach

Wskaźnik	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
ENPV/C	- 858 000,94 zł	- 342 550,97 zł	- 766 514,71 zł	- 342 464,95 zł
ERR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – najmniejszą szkodliwość dla środowiska wykazuje wariant 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 22 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	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	45 083,74	49 995,00	165 000,00	84 524,65	95 078,74
2025	5	0,85	45 083,74	49 995,00	165 000,00	81 273,70	95 078,74
2026	6	0,82	45 083,74	49 995,00	165 000,00	78 147,79	95 078,74
2027	7	0,79	45 083,74	49 995,00	165 000,00	75 142,11	95 078,74
2028	8	0,76	45 083,74	49 995,00	165 000,00	72 252,03	95 078,74
2029	9	0,73	45 083,74	49 995,00	165 000,00	69 473,10	95 078,74
2030	10	0,70	45 083,74	49 995,00	165 000,00	66 801,06	95 078,74
2031	11	0,68	45 083,74	49 995,00	165 000,00	64 231,79	95 078,74
2032	12	0,65	45 083,74	49 995,00	165 000,00	61 761,34	95 078,74
2033	13	0,62	45 083,74	49 995,00	165 000,00	59 385,90	95 078,74
2034	14	0,60	45 083,74	49 995,00	165 000,00	57 101,83	95 078,74
2035	15	0,58	45 083,74	49 995,00	165 000,00	54 905,60	95 078,74
-	-	RAZEM	541 004,86	599 940,00	1 980 000,00	825 000,90	1 140 944,86

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 0,42 zł

Tabela 23 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	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	37 950,00	165 000,00	33 745,89	37 959,53
2025	5	0,85	0,00	37 950,00	165 000,00	32 447,97	37 959,53
2026	6	0,82	0,00	37 950,00	165 000,00	31 199,97	37 959,53
2027	7	0,79	0,00	37 950,00	165 000,00	29 999,97	37 959,53
2028	8	0,76	0,00	37 950,00	165 000,00	28 846,13	37 959,53
2029	9	0,73	0,00	37 950,00	165 000,00	27 736,66	37 959,53
2030	10	0,70	0,00	37 950,00	165 000,00	26 669,86	37 959,53
2031	11	0,68	0,00	37 950,00	165 000,00	25 644,10	37 959,53
2032	12	0,65	0,00	37 950,00	165 000,00	24 657,79	37 959,53
2033	13	0,62	0,00	37 950,00	165 000,00	23 709,41	37 959,53
2034	14	0,60	0,00	37 950,00	165 000,00	22 797,51	37 959,53
2035	15	0,58	0,00	37 950,00	165 000,00	21 920,68	37 959,53
-	-	RAZEM	0,00	455 400,00	1 980 000,00	329 375,94	455 514,39

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 0,17 zł

Tabela 24 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	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	38 740,76	46 200,00	165 000,00	75 512,03	84 940,76
2025	5	0,85	38 740,76	46 200,00	165 000,00	72 607,72	84 940,76
2026	6	0,82	38 740,76	46 200,00	165 000,00	69 815,11	84 940,76
2027	7	0,79	38 740,76	46 200,00	165 000,00	67 129,92	84 940,76
2028	8	0,76	38 740,76	46 200,00	165 000,00	64 548,00	84 940,76
2029	9	0,73	38 740,76	46 200,00	165 000,00	62 065,38	84 940,76
2030	10	0,70	38 740,76	46 200,00	165 000,00	59 678,25	84 940,76
2031	11	0,68	38 740,76	46 200,00	165 000,00	57 382,93	84 940,76
2032	12	0,65	38 740,76	46 200,00	165 000,00	55 175,90	84 940,76
2033	13	0,62	38 740,76	46 200,00	165 000,00	53 053,75	84 940,76
2034	14	0,60	38 740,76	46 200,00	165 000,00	51 013,22	84 940,76
2035	15	0,58	38 740,76	46 200,00	165 000,00	49 051,17	84 940,76
-	-	RAZEM	464 889,12	554 400,00	1 980 000,00	737 033,37	1 019 289,12

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 0,37 zł

Tabela 25 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry
-	-	-	zł	zł	zł	km	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	37 950,00	165 000,00	33 745,89	37 959,53
2025	5	0,85	0,00	37 950,00	165 000,00	32 447,97	37 959,53
2026	6	0,82	0,00	37 950,00	165 000,00	31 199,97	37 959,53
2027	7	0,79	0,00	37 950,00	165 000,00	29 999,97	37 959,53
2028	8	0,76	0,00	37 950,00	165 000,00	28 846,13	37 959,53
2029	9	0,73	0,00	37 950,00	165 000,00	27 736,66	37 959,53
2030	10	0,70	0,00	37 950,00	165 000,00	26 669,86	37 959,53
2031	11	0,68	0,00	37 950,00	165 000,00	25 644,10	37 959,53
2032	12	0,65	0,00	37 950,00	165 000,00	24 657,79	37 959,53
2033	13	0,62	0,00	37 950,00	165 000,00	23 709,41	37 959,53
2034	14	0,60	0,00	37 950,00	165 000,00	22 797,51	37 959,53
2035	15	0,58	0,00	37 950,00	165 000,00	21 920,68	37 959,53
-	-	RAZEM	0,00	455 400,00	1 980 000,00	329 375,94	455 514,39

Wskaźnik DGC (koszt na wozokilometr): 0,17 zł

XI. Podsumowanie i rekomendacje

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

- Wariantie bazowym – z wykorzystaniem autobusów o napędzie konwencjonalnym spełniającym wymogi normy Euro6;
- Wariantie alternatywnym I – z wykorzystaniem autobusów o napędzie elektrycznym;
- Wariantie alternatywnym II – z wykorzystaniem autobusów o napędzie gazowym;
- Wariantie alternatywnym III – z wykorzystaniem autobusów zasilanych wodorem;

Pierwszym elementem analizy była ocena techniczna wdrożenia każdego z ww. rozwiązań. Analiza wykazała konieczność dodatkowych nakładów infrastrukturalnych, w przypadku wprowadzenia do usług przewozowych, 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) Koszty eksploatacji i serwisowania oraz pozostałe koszty związane z prowadzeniem przewozów;

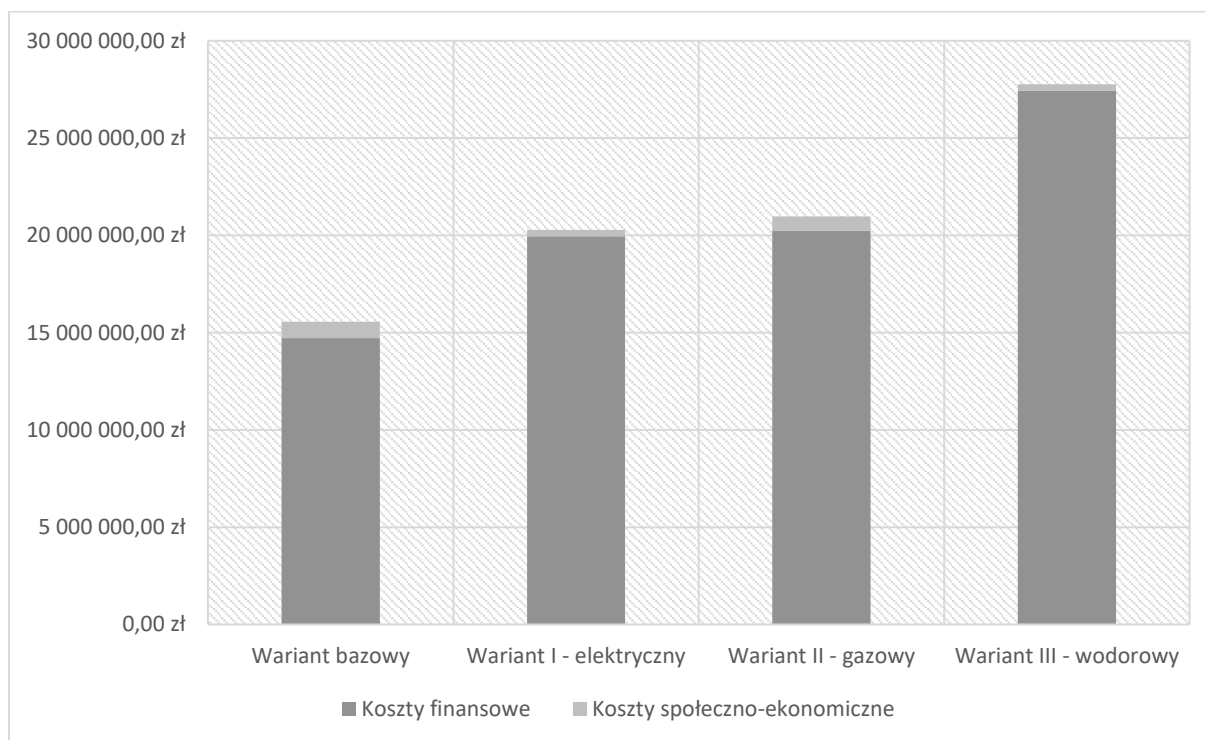
Przyjmując horyzont czasowy eksploatacji autobusów wynoszący 15 lat, zdyskontowane wydatki sprowadzono do wartości jednostkowej – kosztu wozokilometra, który mogłoby ponieść Miasto Legionowo w przetargu na usługi przewozowe. Z uwagi na wysokie wydatki inwestycyjne, analiza wykazała, że nawet w przypadku niskich kosztów eksploatacyjnych, wariant wykorzystania autobusów elektrycznych jest dalece mniej opłacalny od wykorzystania 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 26 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I elektryczny	Wariant II gazowy	Wariant III wodorowy
Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne	14 724 897,35 zł	19 959 106,58 zł	20 227 323,72 zł	27 431 922,82 zł
Koszty społeczno-ekonomiczne	825 000,90 zł	329 293,22 zł	737 033,37 zł	329 293,22 zł
SUMA	15 549 898,25 zł	20 288 399,80 zł	20 964 357,09 zł	27 761 216,04 zł



Rysunek 16 Wyniki AKK – porównanie

Najmniej korzystne parametry pod względem kosztowym i społecznym (koszty emisji i zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska) wykazuje wariant wykorzystania autobusów zeroemisyjnych zasilanych wodorem. W przypadku wariantu wykorzystania 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.

Wykorzystanie pojazdów elektrycznych wiąże się również z okresową koniecznością wymiany baterii pokładowych pojazdów. Koszt ten sięgać może nawet 1/3 wartości pojazdu (ok. 900 000 zł). Żywotność baterii szacować można aktualnie na ok. 8-10 lat, choć w zależności od rodzaju baterii oraz sposobu ich eksploatacji może być krótsza.

Otrzymane wyniki analizy przeprowadzonej zgodnie z wymogami Ustawy o elektromobilności oraz przyjętą metodyką wykazują, iż wprowadzenie taboru zeroemisyjnego (autobusów elektrycznych) do systemu komunikacyjnego Miasta Legionowa nie jest uzasadnione.

Legionowo nie posiada własnej floty pojazdów elektrycznych, a ewentualny wymóg zastosowania w usługach przewozowej wymogu zastosowania pojazdów zeroemisyjnych, skutkować będzie znaczącym, bo wynoszącym przynajmniej 34% wzrostem kosztu wozokilometra. Dodatkowo może wiązać się z koniecznością budowy stacji ładowania pantografowego umożliwiającego doładowywanie baterii autobusów pomiędzy kursami. Koszt takiej infrastruktury może wynieść dodatkowo kilka milionów złotych.

Równocześnie, obsługa DKM w Legionowie to 3 pojazdy, w związku z czym ewentualny efekt ekologiczny wymiany z pojazdów spalinowych na elektryczny w skali całego Miasta, byłby znikomy.

W związku z powyższym, Miasto Legionowo nie musi spełniać określonego w art. 36 Ustawy o elektromobilności udziału autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów.

Zgodnie z art. 37 Ustawy, przystąpienie do ponownej analizy powinno nastąpić nie później niż w terminie następnych 36 miesięcy.

XII. Spis ilustracji

Rysunek 1 Obszar objęty siecią komunikacji zbiorowej (m. Legionowo)	14
Rysunek 2 Schemat przebiegu linii komunikacyjnych DKM Legionowo	16
Rysunek 3 Schemat linii autobusowych na terenie Miasta	17
Rysunek 4 Pętla przy ul. Mickiewicza po przebudowie.....	18
Rysunek 5 Schemat budowy autobusu elektrycznego	22
Rysunek 6 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen.....	24
Rysunek 7 Autobus komunikacji miejskiej w Lidzbarku Warmińskim	25
Rysunek 8 Autobus komunikacji miejskiej w Sieradzu.....	26
Rysunek 9 Autobus komunikacji miejskiej w Świdnicy.....	26
Rysunek 10 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie.....	27
Rysunek 11 Autobus komunikacji miejskiej w Rzeszowie	27
Rysunek 12 Autobus komunikacji miejskiej w Koninie	28
Rysunek 13 Ceny paliw w Polsce	34
Rysunek 14 Ceny energii elektrycznej w Polsce	34
Rysunek 15 Ceny gazu ziemnego w Europie	35
Rysunek 16 Wyniki AKK – porównanie.....	51

XIII. Spis tabel

Tabela 1 Wykaz linii DKM Legionowo	15
Tabela 2 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie	29
Tabela 3 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów	30
Tabela 4 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor	31
Tabela 5 Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę	31
Tabela 6 Założenia kosztu wymiany baterii.....	31
Tabela 7 Założenia kosztu jednostkowego paliwa	32
Tabela 8 Założenia kosztów remontowych i serwisowych	32
Tabela 9 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych	32
Tabela 10 Wskaźniki finansowe w wariantach	33
Tabela 11 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm	36
Tabela 12 Obliczenia efektu finansowego - wariant bazowy.....	37
Tabela 13 Obliczenia efektu finansowego - wariant elektryczny	38
Tabela 14 Obliczenia efektu finansowego - wariant gazowy.....	39
Tabela 15 Obliczenia efektu finansowego - wariant wodorowy.....	40
Tabela 16 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy Euro6 ...	41
Tabela 17 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie Euro6	41
Tabela 18 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny	42
Tabela 19 Zestawienie zdyskontowanych kosztów społeczno-ekonomicznych (środowiskowych)	44
Tabela 20 Zdyskontowane koszty środowiskowe w ujęciu na wzkm	44
Tabela 21 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach.....	45
Tabela 22 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy	46
Tabela 23 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny.....	47
Tabela 24 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny.....	48
Tabela 25 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant elektryczny.....	49
Tabela 26 Wyniki AKK – wartości zdyskontowane	51