

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W ZGIERZU AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH



WYKONAWCA



Energia Dla Miast Sp. z o.o.

ul. Powstańców Śląskich 1
43-190 Mikołów

ZESPÓŁ
AUTORÓW

Kamil Krzoski

Michał Mroskowiak

Spis treści

I.	Słownik pojęć.....	4
II.	Cel i podstawa przeprowadzenia Analizy kosztów i korzyści.....	6
III.	Metodyka przeprowadzenia Analizy	9
IV.	Założenia i warianty przyjęte do Analizy	11
V.	Ogólna charakterystyka systemu transportu publicznego.....	15
VI.	Analiza techniczna.....	21
VII.	Analiza Finansowa.....	29
VIII.	Oszacowanie efektów środowiskowych	42
IX.	Analiza społeczno-ekonomiczna	45
X.	Podsumowanie i rekomendacje.....	52
XI.	Spis tabel.....	59
XII.	Spis ilustracji	60

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) Operator - samorządowy zakład budżetowy lub przedsiębiorca uprawniony do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie przewozu osób, który zawarł z organizatorem publicznego transportu zbiorowego umowę w zakresie publicznego transportu zbiorowego, na linii komunikacyjnej określonej w umowie.
- 14) 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.

- 15) Sieć komunikacyjna - układ linii komunikacyjnych obejmujących obszar działania organizatora publicznego transportu zbiorowego lub część tego obszaru.
- 16) 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.
- 17) Ustawa - Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.).
- 18) 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. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.) zobowiązuje jednostki samorządu terytorialnego (z wyłączeniem gmin i powiatów, których liczba mieszkańców nie przekracza 50 000), do świadczenia usług lub zlecenia świadczenia usługi komunikacji miejskiej w rozumieniu ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2018 r. poz. 2016) 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.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;

¹ Art. 36 ust. 1 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.)

² Art. 68 ust. 4 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.)

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

- 3) analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji³.

Analiza rozstrzygać powinna o zasadności udziału autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie pojazdów, a w przypadku, w którym analiza 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.⁴. W przypadku, w którym Analiza wskaże na zasadność wykorzystania w publicznym transporcie zbiorowym autobusów zeroemisyjnych, wnioski i zmiany wynikające z Analizy należy uwzględnić w projekcie bądź aktualizacji planu transportowego⁵.

W czasie opracowania Analizy należy również zapewnić możliwość udziału społeczeństwa, na zasadach określonych w dziale III w rozdziałach 1 i 3 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U z 2018 poz. 2081)⁶.

Niezwłocznie po sporządzeniu, Analizę należy przekazać:

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

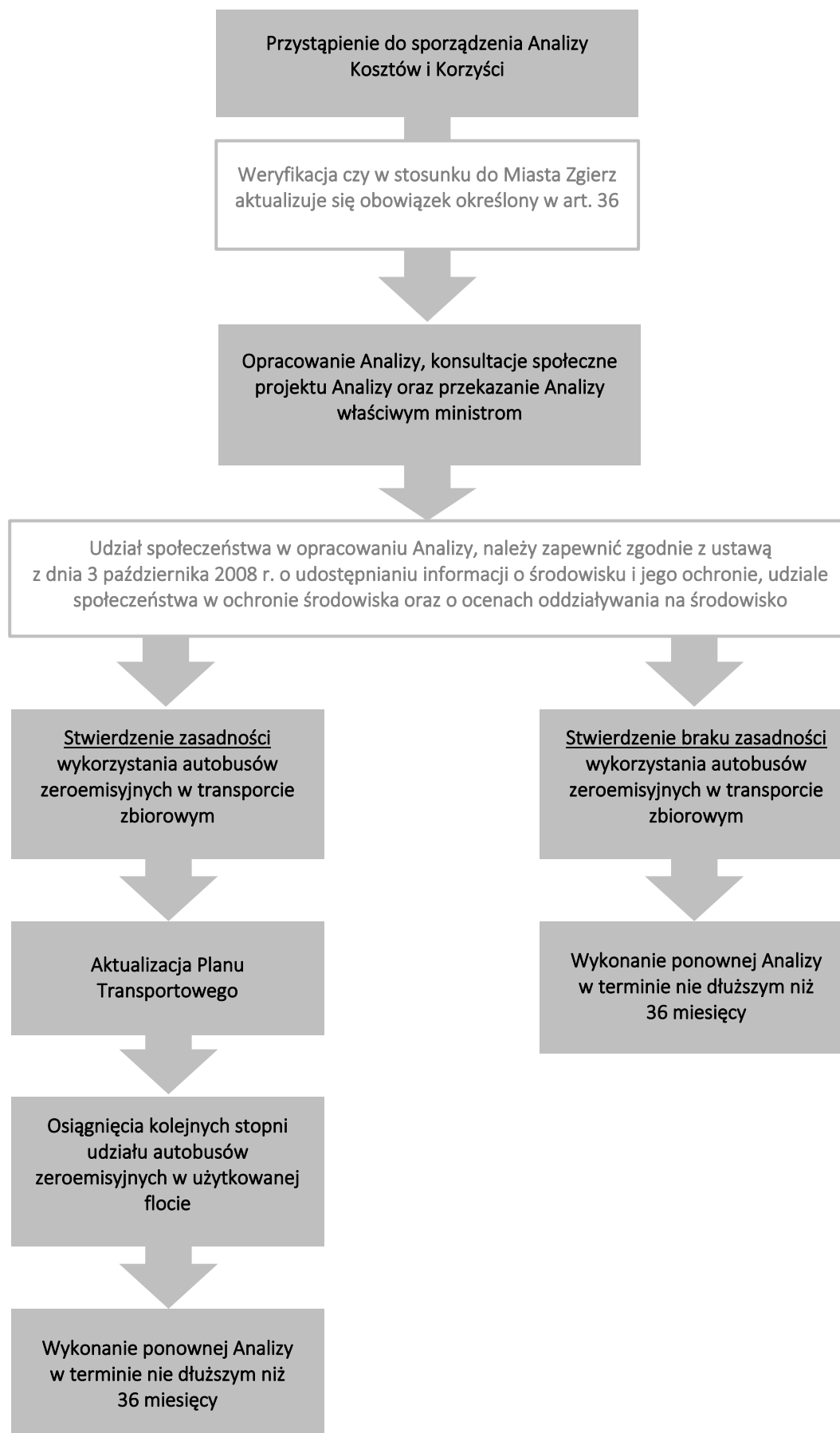
Kolejne Analizy, weryfikujące zasadność wykorzystania autobusów zeroemisyjnych na potrzeby świadczenia usług komunikacji miejskiej sporządzić należy nie później niż co 36 miesięcy. Z uwagi na fakt, iż Miasto Zgierz zamieszkuje 52 406 mieszkańców (stan na 31.12.2020), aktualizuje się obowiązek sporządzenia nowej Analizy Kosztów i Korzyści, o której mowa w art. 37 Ustawy.

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

⁴ Art. 72 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.)

⁵ Art. 12 ust. 2a Ustawy o publicznym transporcie zbiorowym z dnia 16 grudnia 2010 r. (Dz. U. z 2020 r. poz. 1371)

⁶ Art. 37 Ustawy o elektromobilności z dnia 11 stycznia 2018 r. (Dz.U. z 2020 r. poz. 908 ze zm.)



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

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) Wnioski i rekomendacje;

Dane źródłowe do przeprowadzenia Analizy udostępnione zostały przez Miejskie Usługi Komunikacyjne w Zgierzu oraz Urząd Miasta Zgierza i obejmują:

- 1) Zestawienie pojazdów komunikacji miejskiej;
- 2) Raport o stanie miasta za rok 2020;
- 3) Rozkład jazdy linii autobusowych;
- 4) Mapę komunikacji Miejskiej;

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 (Dz. Urz. UE z dnia 28 października 2014 r. poz. L 307/1);
- 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 (Dz. Urz. UE z dnia 14 czerwca 2018 r. poz. L 151/1);
- 3) Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz. U. z 2021 r. poz. 1371 ze zm.);
- 4) Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji (Dz. U. z 2020 r. poz. 1077, 2320);
- 5) Projekt ustawy o zmianie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz niektórych innych ustaw (numer wykazu prac: UC 65)⁷.

⁷ <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12340506/katalog/12740165>

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).

W ramach Analizy odniesiono się do możliwości wymiany aktualnej floty na pojazdy uznawane za spełniające wymogi art. 36 Ustawy o elektromobilności lub pojazdy o charakterze niskoemisyjnym zasilanymi paliwami alternatywnymi (tabor gazowy zasilany CNG).

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 zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy** - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
- 4) **Wariant III – tabor wodorowy** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym.

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 wynosi 15 lat;
- stopa dyskontowa: 4%;
- okres amortyzacji: 8 lat;
- 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;

W przyjętych alternatywnych wariantach inwestycyjnych uwzględniono zapisy Rozporządzenia 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 uchylającego dyrektywę 2007/46/WE (Dz. Urz. UE z dnia 14 czerwca 2018 r. poz. L 151/1), wprowadzające obowiązek uwzględniania w zamówieniach publicznych związanych ze sprzedażą, leasingiem, najmem lub dzierżawą pojazdów samochodowych oraz przy usługach w zakresie drogowego publicznego transportu zbiorowego. Implementację zapisów rozporządzenia przynieść ma nowelizacja ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, która znajduje się w fazie przygotowania legislacyjnego⁸

Projekt nowelizacji przewiduje dodanie następujących wymogów przetargowych:

- udział pojazdów kategorii M1, M2 i N1 - elektrycznych lub napędzanych wodorem w całkowitej liczbie pojazdów tych kategorii objętych zamówieniami publicznymi, wynosił co najmniej 22% z tym, że w okresie od dnia 2 sierpnia 2021 r. do dnia 31 grudnia 2025 r. do tego udziału, wlicza się pojazdy hybrydowe lub napędzane gazem ziemnym o maksymalnej emisji 50 g CO₂/km i emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach jazdy poniżej 80% dopuszczalnych wartości emisji;
- udział pojazdów kategorii N2 i N3, napędzanych paliwami alternatywnymi w całkowitej liczbie pojazdów tych kategorii objętych zamówieniami publicznymi, wynosi:
 - od dnia 2 sierpnia 2021 r. do dnia 31 grudnia 2025 r. - co najmniej 7%,
 - od dnia 1 stycznia 2026 r. do dnia 31 grudnia 2030 r. - co najmniej 9%.

⁸ <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12340506/katalog/12740165>

- udział autobusów, zaliczanych do kategorii M3, wykorzystujących do napędu paliwa alternatywne, w całkowitej liczbie autobusów objętych zamówieniami publicznymi, z zastrzeżeniem, że połowa tego udziału ma być osiągnięta przez autobusy zeroemisyjne, wynosi co najmniej:
 - 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%.

Zapisy nowelizacji, o których mowa powyżej, w zależności od ostatecznego kształtu przyjętej nowelizacji, mogą być obowiązujące dla Miasta niezależnie od wyników i rekomendacji AKK.

V. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU TRANSPORTU PUBLICZNEGO

Gmina Miasto Zgierz zajmuje obszar o powierzchni 42 km².

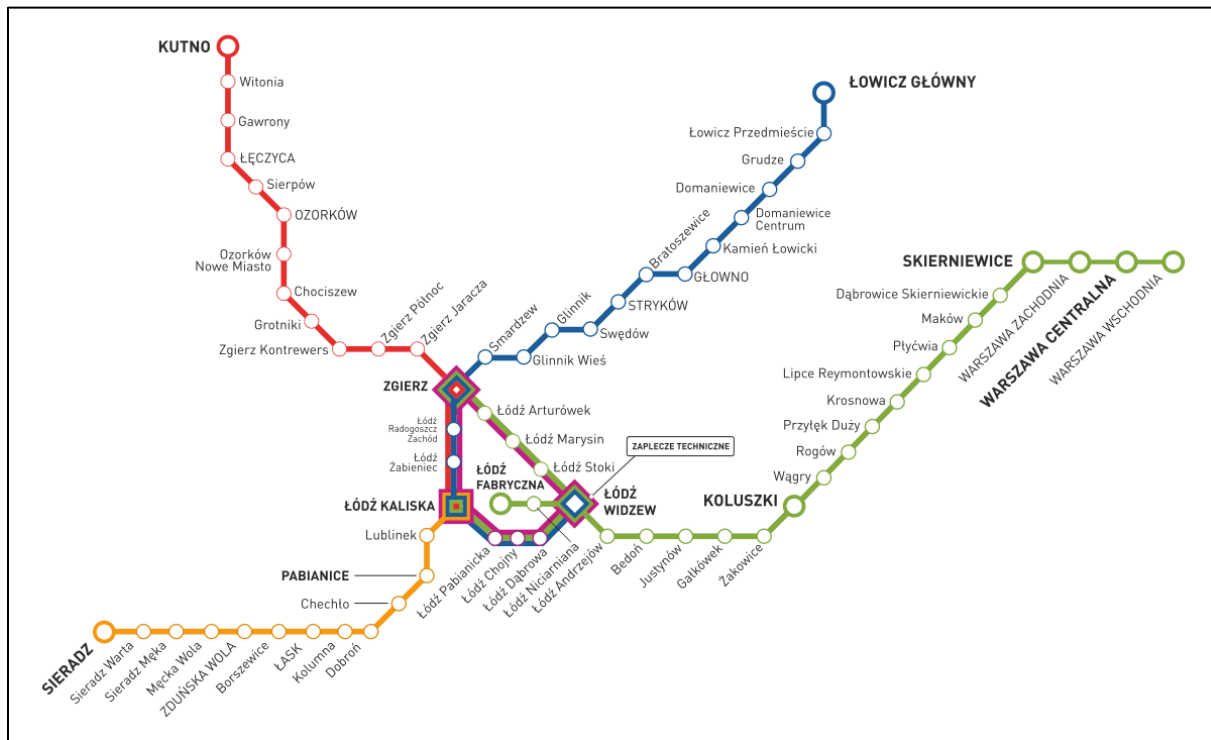
Pod względem układu komunikacyjnego posiada strategiczne położenie – lokalizacja w centralnej części kraju spowodowała rozwinięcie sieci dróg różnego rodzaju w praktycznie wszystkich najważniejszych kierunkach, należy także do łódzkiego węzła komunikacyjnego. Istotne znaczenie dla rozwoju miasta mają autostrady. Na północ od Zgierza przebiega autostrada A2 z węzłami w Emilii i Strykowie. Na wschód od miasta przebiega trasa autostrady A1, która krzyżuje się z A-2 koło Strykowa. Przez Zgierz planowane jest poprowadzenie drogi ekspresowej, która stanowić będzie zjazd z autostrady A2 do Łodzi. Da ona także początek zachodniej obwodnicy Łodzi. Obecnie przez miasto przebiegają przelotowe trasy samochodowe wiodącej w różne kierunki, w tym droga krajowa nr 91 (dawna "1") oraz droga nr 71 łączą Stryków i Rzgów.



Rysunek 2 Zgierz na terenie powiatu zgierskiego

Miasto Zgierz zamieszkuje 52 406 mieszkańców (wg danych na 31.12.2019 r.).

Istotnym elementem układu komunikacyjnego miasta jest również kolej, która łączy Zgierz z aglomeracją łódzką.



Rysunek 3 Układ głównych kierunków połączeń kolejowych dla aglomeracji łódzkiej

Identyfikacja linii komunikacyjnych rekomendowanych do obsługi taborem zeroemisyjnym

Na terenie Gminy Miasto Zgierz wytyczono następujące linie komunikacyjne: 1, 2BIS, 3, 4, 4K, 5, 5R, 6, 7, 7A, 8, 8k, 9, 9i, 10 oraz 61. Najpopularniejszymi liniami obsługiwanymi przez komunikację miejską są: 1, 5 oraz 61, z czego pod względem optymalnym (układ linii, obciążenie), możliwe jest wprowadzenie autobusów elektrycznych na trasę linii nr 9 oraz linię nr 5.

Linia nr 9:

- jest najkrótszą pod względem odległości przystanku początkowego od końcowego,
- obsługuje ściśle centrum miasta,

Linia nr 5:

- jest najpopularniejszą linią w zgierskiej komunikacji miejskiej,
- posiada największe potoki pasażerskie – w ciągu doby przewozi 6 823 pasażerów, co przekłada się na współczynnik 5,13 (liczba pasażerów na 1 wozokilometr trasy).

Pozostałe linie obsługują w pewnej części swojej trasy dzielnice z dużymi odległościami pomiędzy przystankami, są też dłuższe niż wybrane linie nr 5 i 9, dlatego też nie wykazują predyspozycji do wdrożenia elektrycznych autobusów.

W zakresie alokacji autobusów elektrycznych na liniach komunikacyjnych wskazuje się na kilka ważnych aspektów w zależności od charakteru tras. Pojazdy te mogą być przeznaczane do obsługi danej linii, gdy występują pewne charakterystyczne dominanty w obrębie trasy:

- Trasa obsługuje obszary miejskie o intensywnej zabudowie wielorodzinnej – wskazuje się tutaj na brak emisji hałasu, szczególnie uciążliwego w wysokich i gęsto rozlokowanych budynkach;
- Tabor jest szczególnie intensywnie eksploatowany przez pasażerów, a linia wykazuje dużą popularność w kilku porach dnia, w tym w godzinach szczytu komunikacyjnego – środki transportu o wysokich kosztach stałych powinny być

eksploatowane w sposób maksymalnie intensywny (od 65 do 80 tys. wozokilometrów rocznie w przeliczeniu na pojazd);

- Gęsta sieć i rozmieszczenie przystanków – z punktu widzenia technicznych parametrów elektrobusy nadają się szczególnie do obsługi linii o dużej gęstości przystanków;
- Trasa nie wykazuje dużych różnic poziomu terenu – preferuje się linie, których przebieg trasy jest prawie płaski;
- Linia komunikacyjna przebiega przez obszar gęsto zaludniony i wysoce zurbanizowany, dodatkowo nachodzi na trasy innych linii - synchronizacja rozkładów jazdy wpływa na dłuższe postoje wyrównawcze w zajezdni, dzięki czemu czas ten można efektywnie wykorzystać na doładowanie baterii pokładowej autobusów;
- Linia jest szczególnie podatna na kongestię drogową - charakteryzuje się dużą liczbą zatrzymań autobusów pomiędzy przystankami i niewielką prędkością jazdy pomiędzy tymi zatrzymaniami;
- Trasa linii wyznaczona jest w obszarach, gdzie niska prędkość techniczna zdeterminowana jest także innymi przyczynami - przebiega przez strefy ograniczonego ruchu.

Predyspozycje linii nr 5 i 9 do obsługi pojazdami elektrycznymi, zestawiono w tabeli.

Tabela 1. Predyspozycje linii nr 5 do obsługi przez autobus elektryczny.

Opis wymagań	Predyspozycje linii 5
Obsługa obszaru miasta o intensywniej zabudowie	Linia 5 przebiega przez obszar zurbanizowany miasta
Długość linii – krótkie trasy preferowane	8,26 km
Duża gęstość przystanków	Trasa linii 5 obsługuje gęstą sieć przystanków
Element systemu skoordynowanej obsługi obszaru zurbanizowanego wieloma liniami	Trasa stanowi element systemu skoordynowanej obsługi wieloma liniami obszaru centrum miasta

Predyspozycje do pojawiania się kongestii	Na trasie linii 5 występuje duże natężenie ruchu drogowego
Niska prędkość pojazdu w związku z elementami ograniczającymi prędkość w centrach miast	24 km / h

Tabela 2. Predyspozycje linii nr 9 do obsługi przez autobus elektryczny.

Opis wymagań	Predyspozycje linii 9
Obsługa obszaru miasta o intensywnej zabudowie	Linia 9 przebiega przez obszar zurbanizowany miasta
Długość linii – krótkie trasy preferowane	8,08 km
Duża gęstość przystanków	Trasa linii 9 obsługuje małą ilość przystanków w pewnym oddaleniu od siebie
Element systemu skoordynowanej obsługi obszaru zurbanizowanego wieloma liniami	Trasa stanowi element systemu skoordynowanej obsługi wieloma liniami obszaru centrum miasta
Predyspozycje do pojawiania się kongestii	Na trasie linii 9 występuje duże natężenie ruchu drogowego
Niska prędkość pojazdu w związku z elementami ograniczającymi prędkość w centrach miast	19 km / h

Obsługa linii komunikacyjnych autobusami elektrycznymi, wymaga, z uwagi na ograniczony zasięg autobusów wynoszący ok. 150 km, doładowywania ich w czasie pracy przewozowej w stacjach pantografowych. W przypadku wybrania do obsługi linii nr 5 lub 9, stacje ładowania mogłyby być zlokalizowane:

- I. Linia nr 5 – końcowy przystanek przy ul. Parzęczewskiej / Staffa, zalety tej lokalizacji:
 - ✓ Bliżej centrum miasta (odległość: około 2 km w linii prostej).
 - ✓ Zajezdnia o dużej powierzchni – dostęp do stacji ładowania.
 - ✓ Końcowy przystanek innych tras linii komunikacyjnych, w ewentualnych wymianach taboru w przyszłości mogłaby powstać tu wspólna zajezdnia

(węzeł komunikacyjny), na którym ładowałyby się autobusy obsługujące różne linie.

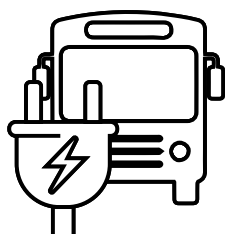
- II. Linia nr 9 – końcowy przystanek przy ul. Kolejowej, zalety tej lokalizacji:
- ✓ Bliżej centrum miasta (mniej niż 2 km w linii prostej).
 - ✓ Zajezdnia o większej powierzchni – łatwy dostęp do stacji ładowania.
 - ✓ Końcowy przystanek stanowi wspólną przestrzeń komunikacji autobusowej oraz kolejowej, co w przyszłości w ewentualnej inwestycji węzła przesiadkowego może stanowić ważny punkt dla miasta Zgierz oraz sieć innych tras linii komunikacyjnych również obsługuje przystanek na Kolejowej (pierwszy / końcowy przystanek).
- III. Zajezdnia przewoźnika prywatnego – firmy MARKAB – ul. Wiosny Ludów 26
- ✓ Teren bazy autobusowej w którym można prowadzić ładowania nocne, ale także umiejscowić stację pantografową.

Warunkiem budowy stacji jest nie tylko jednak, bliskość przystanku końcowego, ale przede wszystkim, możliwość technicznego podłączenia jej do sieci elektroenergetycznej, które z uwagi na moc stacji musi być zrealizowane na średnim napięciu. Dlatego też przed podjęciem decyzji o budowie stacji, konieczne jest uzyskanie warunków przyłączenia do sieci, które wydaje lokalny operator dystrybucyjny.

VI. ANALIZA TECHNICZNA

Wariant bazowy opracowania to wymiana obecnych autobusów na nowe pojazdy o napędzie konwencjonalnym (silnik wysokoprężny zasilany olejem napędowym) spełniające normę spalin EURO6. Wariant ten stanowi punkt odniesienia dla pozostałych wariantów. Norma EURO6 (od 1 stycznia 2021, zaostrożona do normy EURO6D) 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 37-38 l/100km. Przy cenie 5,55 zł/litr brutto oleju napędowego, koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosi 209,00 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.

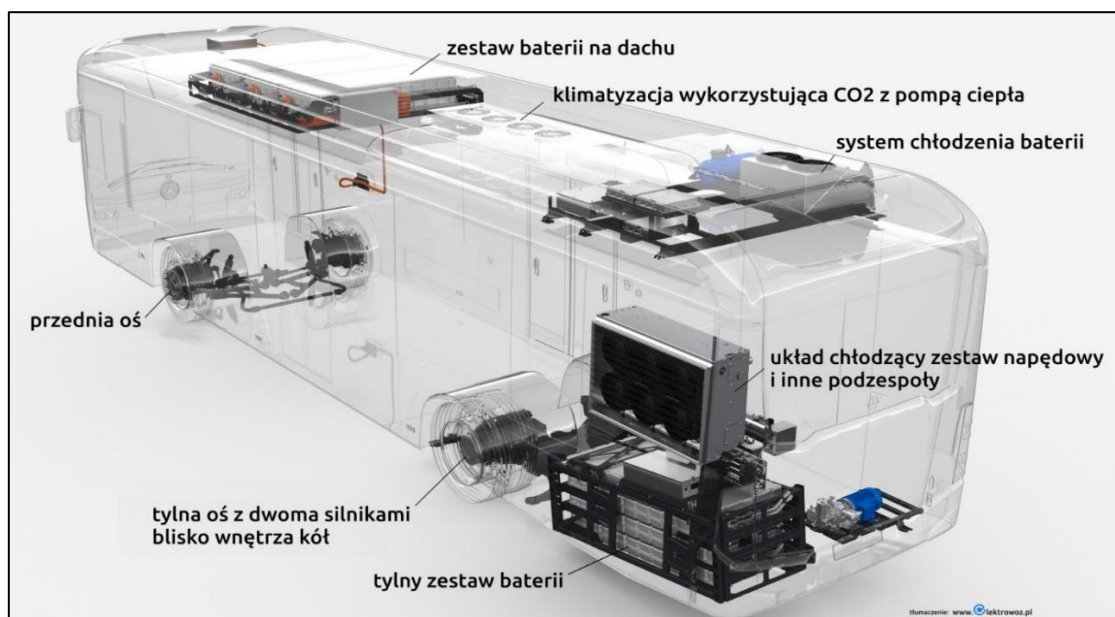


Pierwszym wariantem alternatywnym jest wybór taboru napędzanego energią elektryczną z baterii akumulatorowych. Autobusy elektryczne dostępne są w wariantcie hybrydowym (z dodatkowym silnikiem spalinowym) oraz w wariantcie całkowicie elektrycznym. Autobusy hybrydowe, nie spełniają jednak definicji pojazdu 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 zebrane przez Miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie, zużycie energii w eksploatacji na trakcję wynosi 1,3 kWh/km w przypadku autobusów klasy MAXI oraz

1,6 kWh/km w przypadku autobusów klasy MEGA, co przy koszcie 1 kWh energii elektrycznej wynoszącym ok. 0,397 zł/kWh brutto, daje koszt (wyłącznie w zakresie kosztów energii) ok. 51,6 zł/100 km dla autobusu klasy MAXI oraz 63,5 zł/100 km dla autobusu klasy MEGA. Deklarowany przez producentów zasięg autobusów elektrycznych przy pełnym naładowaniu baterii wynosi ok. 150-200 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.



Rysunek 4 Schemat budowy autobusu elektrycznego,
źródło: <https://elektrowoz.pl/wp-content/uploads/2018/07/Schemat-budowy-elektrycznego-autobusu-eCitaro.jpg>

Sposób funkcjonowania i wykorzystywania autobusów elektrycznych w systemie transportu miejskiego, determinowany jest przez dostępny w danych okolicznościach sposób ładowania. Aktualny stan wiedzy technicznej pozwala wyróżnić trzy systemy ładowania:

- 1) ładowanie nocne w czasie postoju pojazdu na terenie zajezdni – ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego (kabel z ustandaryzowanym wtykiem podłączonym do stacji ładowania);
- 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. Również z uwagi na wyższą niż w przypadku innych rozwiązań cenę - nie znalazł jak dotąd zastosowania w warunkach polskich.
- 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”.

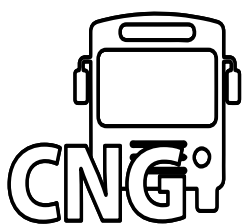
Czas ładowania pojazdów elektrycznych uzależniony jest od mocy stacji ładowania która powinna wynosić od 22 kW dla systemów ładowania nocnego (z czasem pełnego ładowania wynoszącym ok. 8-10 h) oraz od 200 kW dla systemów ładowania pantografowego bądź indukcyjnego (z czasem pełnego ładowania wynoszącym 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.

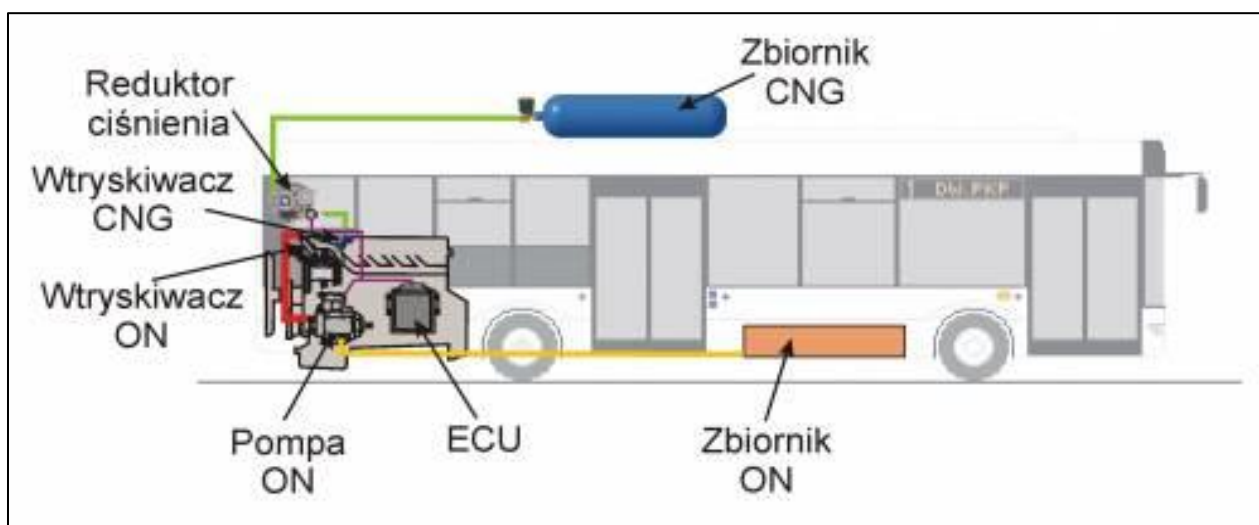
Koszt budowy stacji ładowania zlokalizowanej w zajezdni autobusowej (ładowanie za pośrednictwem złącza wtykowego) o mocy 22 kW to koszt ok. 20 000 zł, dla stacji o mocy 50 – 100 kW to koszt ok. 100 000 zł, natomiast stacji pantografowej – 500 000 zł, przy założeniu, iż nie jest wymagana budowa stacji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

szacować na 1 mln zł i to nie doliczając prac dodatkowych związanych np. z przebudową zatok. 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 ładowania. Na dzień sporządzania Analizy jednak żaden z producentów autobusów nie posiada w swojej ofercie pojazdów wyposażonych w taką funkcjonalność. Brak również informacji, o ewentualnym komercyjnym wprowadzeniu w życie mechanizmu szybkiej wymiany baterii.

W ramach eksploatacji autobusów elektrycznych uwzględnić należy wymianę zużytych baterii, co wedle szacunków stanowić może koszt sięgający nawet ¼ ceny nowego pojazdu. Koszt zakupu samego autobusu klasy maxi to ok. 2,5 mln zł.



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

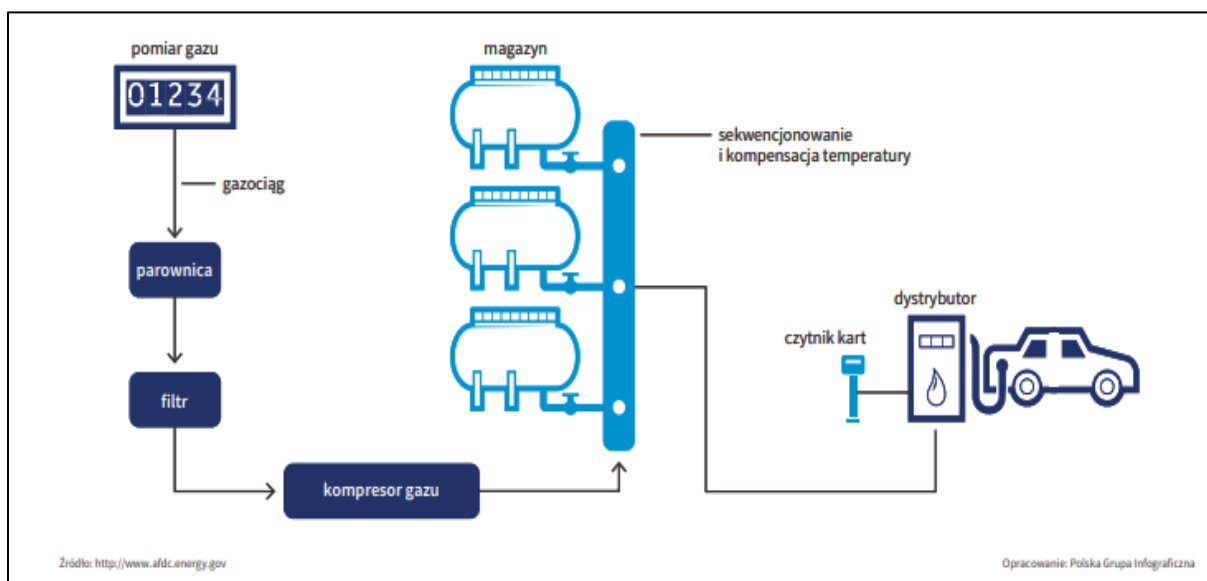


Rysunek 5 Autobus z napędem hybrydowym ON i CNG,
źródło: <https://cng-Ing.pl/wiadomosci/Wspolpraca-z-gazem-w-tle,wiadomosc,374.htm>

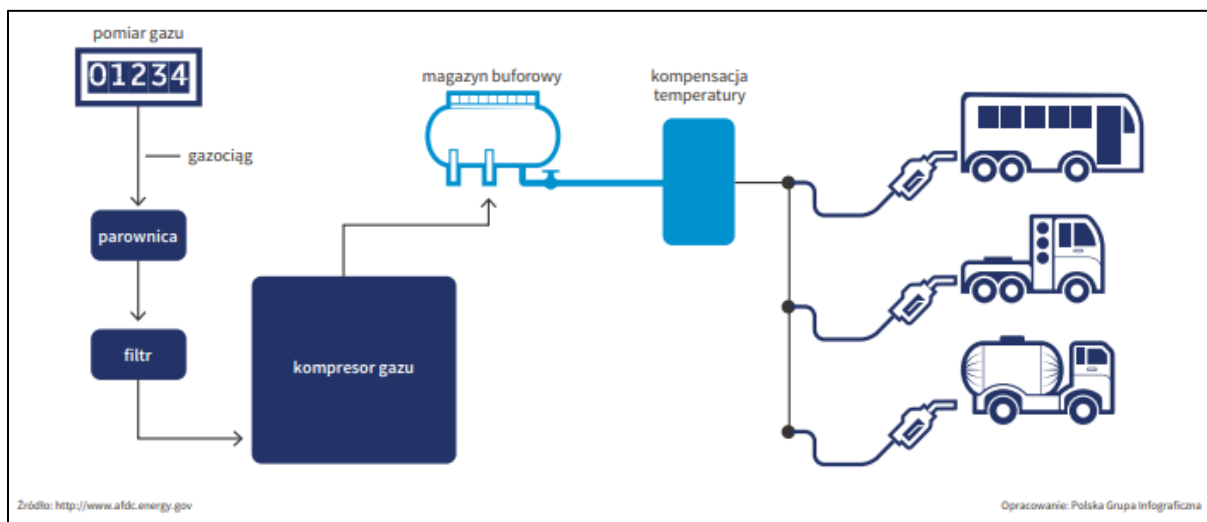
Sprężanie gazu ziemnego w stacji tankowania odbywa się za pomocą wielostopniowych sprężarek do ciśnienia 20-35 MPa. Gaz może być dostarczany do nich za pomocą tradycyjnych sieci dystrybucji surowca, co minimalizuje koszty logistyki (paliwo nie musi być dostarczane do stacji cysternami) i magazynowania (dzięki stałemu podłączeniu do sieci gazowej nie jest konieczna budowa dużych magazynów paliwa bezpośrednio na stacji tankowania). CNG jest niskoemisyjnym paliwem, które stanowi alternatywę dla konwencjonalnych paliw samochodowych.

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

Standardowe zbiorniki gazu w autobusach posiadają pojemność 250-340 Nm³. Tym samym w przypadku stacji szybkiego tankowania CNG, czas całkowitego napełnienia zbiornika gazu wynosiłby do 60 minut. Realnie jednak sytuacja, w której zbiornik gazu przed przystąpieniem do procesu tankowania byłby całkowicie opróżniony jest w zasadzie niespotykana.



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



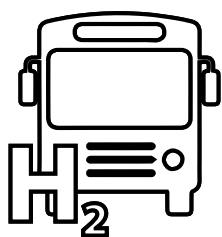
Rysunek 7 Schemat "szybkiej" stacji tankowania CNG, źródło: www.afdc.energy.gov

W przypadku LNG, dostawa tego paliwa odbywa się specjalistycznymi cysternami kriogenicznymi. Cysterna kriogeniczna transportuje LNG z fabryki skraplania do stacji regazyfikacji. Z cysterny gaz przetłaczany jest do kriogenicznych zbiorników, a następnie pompa tłoczy paliwo do dystrybutora LNG, a następnie do zbiorników w autobusie. LNG jest przechowywany w zbiorniku w temperaturze -162°C , jednak wskutek naturalnego ogrzewania (zwłaszcza w okresie letnim) zbiornika temperatura w jego wnętrzu powoli wzrasta i rośnie intensywność parowania gazu. Pary gazu, zwiększając swoją objętość, powodują również wzrost ciśnienia. Zbiornik LNG jest wyposażony w zawór rozprężny. Jeśli ciśnienie par gazu przekroczy 16 bar, ze względów bezpieczeństwa zawór się otwiera i nadmiar gazu wypuszczany jest do atmosfery. W czasie postojów oraz przerw w przewozach nastąpić może samoczynna utrata paliwa. W innych aspektach technicznych, autobusy napędzane LNG, nie różnią się specjalnie od zwykłych, gazowych CNG. W jednym i w drugim przypadku paliwem jest gaz ziemny, choć w różnej formie. Zbiornik gazu LNG znajduje się z tyłu pojazdu, a nie na dachu. Jest mniejszy, a samo tankowanie też trwa krócej, bo w przypadku LNG jest to zaledwie kilka minut.

Wartość energetyczna 1 kg CNG i LNG jest niższa niż 1 litra oleju napędowego, co jak pokazuje faktyczna eksploatacja pojazdów przekłada się na wyższe spalanie wynoszące (w przypadku autobusów MAXI) 44,5 kg CNG/100km, a w przypadku autobusu typu MEGA 57,2 kg CNG/100 km. Aktualna cena gazu ziemnego na stacjach PGNiG wynosi 3,89 zł⁹. Cena ta jest niższa niż benzyny czy oleju napędowego, dzięki

⁹ <http://pgnig.pl/cng/cennik-cng>

zwolnieniu z akcyzy, które wprowadziła przyjęta 1 czerwca 2018 r. nowelizacja o podatku akcyzowym¹⁰. Przy obniżonej cenie gazu koszt przejechania 100 km (wyłącznie w zakresie kosztów paliwa) autobusem klasy MAXI wynosiłby 173,10 zł, a autobusem klasy MEGA 225,51 zł. Przy standardowym zbiorniku paliwa o pojemności 250 Nm³ zasięg autobusu może kształtować się na poziomie do 750 km.

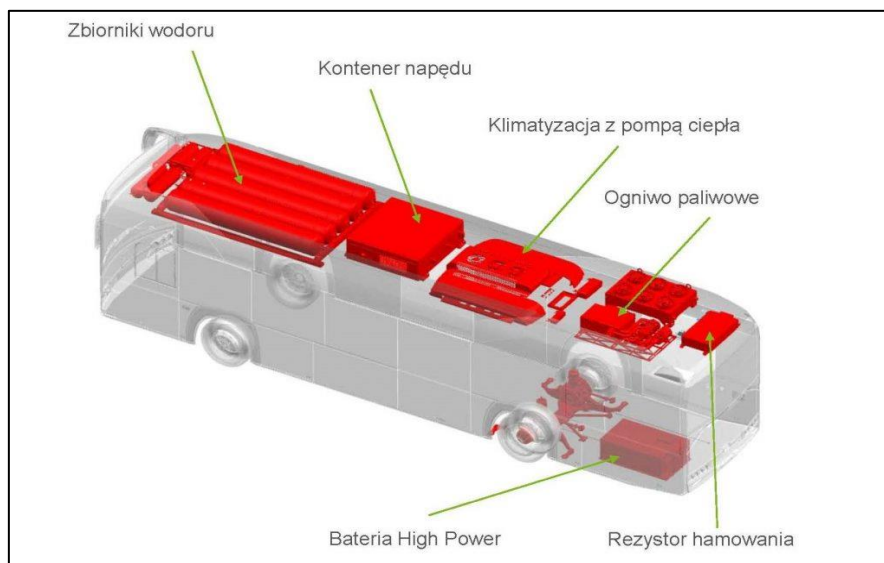


Perspektywą na przyszłość jest wybór taboru napędzanego paliwem wodorowym. Choć na dzień sporządzania Analizy na polskich drogach (z wyjątkiem ¹¹projektów badawczych bądź testowych) nie kursują regularne linie autobusów z napędem wodorowym, to istnieją na rynku sprawdzone rozwiązania techniczne stosowane 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 marki¹². 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.

¹⁰ <https://cng.auto.pl/15554/zerowa-stawka-akcyzy-na-gaz-ziemny-cng-i-lng-od-1-czerwca-2018-r/>

¹¹ 11 kb

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



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

Zakup autobusów z napędem wodorowym, jest więc możliwy, jednakże, aktualnie na terenie kraju brak jakiegokolwiek infrastruktury tankowania pojazdów wodorowych. Rynkowa cena wodoru 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 przypadku wprowadzenia autobusów wodorowych do komunikacji miejskiej, konieczne byłoby przeprowadzenie inwestycji nie tylko w sam tabor, ale również w stację tankowania wodoru (co wymaga najpierw pojawiania się w polskim porządku prawnym nowych regulacji związanych chociażby z unormowaniem zabezpieczeń przeciwwybuchowych oraz legalizacją urządzeń przez Urząd Dozoru Technicznego). Rozważanie zasadności zakupu taboru wodorowego jest, dlatego zasadne dopiero z perspektywy kolejnej AKK sporządzanej za kolejne 3 lata.

VII. ANALIZA FINANSOWA

Celem analizy finansowej jest oszacowanie opłacalności finansowej inwestycji w porównywanym 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 47 pojazdów. Całość eksploatowanej floty, stanowi własność przewoźnika - ZPK Markab Sp. z o.o.

Informacja o wymogach ustawowych w stosunku do floty pojazdów wykorzystywanych na terenie Zgierza, zawiera tabela.

Tabela 3 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie

Termin	Wymagany udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie	Liczba pojazdów we flocie	Rekomendowana liczba pojazdów zeroemisyjnych	Teoretycznie udział pojazdów zeroemisyjnych we flocie
1 stycznia 2021	5%	47	3	6,38%
1 stycznia 2023	10%	47	5	10,64%
1 stycznia 2025	20%	47	10	21,28%
1 stycznia 2028	30%	47	15	31,91%

Jak wskazują powyższe dane, dla zapewnienia wymaganego udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie w myśl art. 36 Ustawy, konieczny jest zakup 15 pojazdów zeroemisyjnych (do grudnia 2027). Zasadność tego zakupu weryfikowana jest w ramach analizy wariantowej.

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 zasilony sprężonym gazem ziemnym (CNG) – gazowy** - wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów zasilanych sprężonym gazem ziemnym (CNG).
- 4) **Wariant III – tabor wodorowy** – wariant realizacji wymogów ustawy o elektromobilności, z wykorzystaniem autobusów z napędem wodorowym w ilości określonej w ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych oraz projekcie nowelizacji (art. 68a-68g), realizującego Rozporządzenie Parlamentu europejskiego i Rady (UE) 2018/858.

Wariant bazowy jako punkt odniesienia do obecnych kosztów eksploatacji floty autobusowej analizuje koszty wyłącznego wykorzystania pojazdów napędzanych olejem napędowym. Szczegółowe zestawienie symulacji inwestycji w tabor autobusowy, w poszczególnych wariantach, zaprezentowano w tabelach.

Tabela 4 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	5	5	5	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	5	5	5	-	-

Tabela 5 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant I - elektryczny

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	5	5	5	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	5	5	5	-	-

Tabela 6 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant II – gazowy CNG

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	5	5	5	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	5	5	5	-	-

Tabela 7 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant III – wodorowy

Rodzaj i typ autobusu		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
10 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
12 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	5	5	5	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
18 m	ON	-	-	-	-	-	-	-
	CNG	-	-	-	-	-	-	-
	Wodór	-	-	-	-	-	-	-
	BEV	-	-	-	-	-	-	-
SUMA		-	-	5	5	5	-	-

Nakłady inwestycyjne dla każdego z analizowanych wariantów obejmujące zakup 15 autobusów o określonym rodzaju napędu oraz niezbędnej infrastruktury, który uwzględnia koszt budowy punktu ładowania pantografowego lub budowy stacji tankowania wodoru na terenie bazy autobusowej. Założenia w zakresie kosztów inwestycyjnych, przedstawiają tabele.

Tabela 8 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor

ZAŁOŻENIA KOSZTÓW INWESYTYCYJNYCH - TABOR		
Rodzaj i typ autobusu		Wartość
10 m	ON	1 100 000,00 zł
	CNG	1 450 000,00 zł
	Wodór	2 700 000,00 zł
	BEV	2 100 000,00 zł
12 m	ON	1 150 000,00 zł
	CNG	1 500 000,00 zł
	Wodór	2 900 000,00 zł
	BEV	2 250 000,00 zł
18 m	ON	1 400 000,00 zł
	CNG	1 900 000,00 zł
	Wodór	3 400 000,00 zł
	BEV	2 600 000,00 zł

Tabela 9 Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę

Rodzaj stacji ładowania	Wartość	Moc (kW)
Stacja ładowania plug-in (nocna)	30 000,00 zł	22
Stacja ładowania pantografowego	750 000,00 zł	400
Stacja tankowania wodoru	4 500 000,00 zł	n/d

W założeniach kosztów inwestycyjnych nie przyjęto kosztu budowy stacji tankowania CNG. Założenie to wynika z faktu, iż taka stacja istnieje już na terenie miasta.

Założenia inwestycyjne obejmują również wydatki odtworzeniowe związane z wymianą baterii w pojazdach elektrycznych, których okres gwarancyjny przyjęto na 8 lat.

Tabela 10 Założenia kosztu wymiany baterii

Wydatki odtworzeniowe	Wartość
Koszt wymiany baterii	600 000,00 zł
Żywotność baterii w latach	8

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 szybkiego ładowania – stacje pantografowe na pętlach autobusowych oraz stacji wolnego ładowania w zajezdniach).

Wysokość kosztów serwisowych ma charakter uśredniony dla pełnego okresu odniesienia.

Założenia dotyczące zużycia paliwa oraz kosztu jednostkowego przedstawiono w tabeli.

Tabela 11 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów

ŚREDNIE ZUŻYCIE PALIWA/ENERGII			
Rodzaj i typ autobusu		Wartość	Jednostka
10 m	ON	38,0	l/100 km
	CNG	44,0	kg/100 km
	Wodór	7,0	kg/100 km
	BEV	130,0	kWh/100 km
12 m	ON	38,0	l/100 km
	CNG	44,0	kg/100 km
	Wodór	8,0	kg/100 km
	BEV	130,0	kWh/100 km
18 m	ON	52,0	l/100 km
	CNG	57,0	kg/100 km
	Wodór	10,0	kg/100 km
	BEV	160,0	kWh/100 km

Tabela 12 Założenia kosztu jednostkowego paliwa

ZAŁOŻENIA KOSZTÓW EKSPLOATACYJNYCH		
Koszt paliwa/energii	Wartość	Jednostka
Olej napędowy	5,25	zł/l
Gaz CNG/LNG	3,85	zł/kg
Energia elektryczna	0,49	zł/kWh
Energia elektryczna - opłata za moc	8400,00	zł/MW/m-c
Wodór	40,00	zł/kg

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

Tabela 13 Założenia kosztów remontowych i serwisowych

Koszty remontowe i serwisowe			
Rodzaj i typ autobusu		Wartość	Jednostka
10 m	ON	0,26 zł	zł/wzkm
	CNG	0,28 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,28 zł	zł/wzkm
	BEV	0,13 zł	zł/wzkm
12 m	ON	0,29 zł	zł/wzkm
	CNG	0,31 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,31 zł	zł/wzkm
	BEV	0,14 zł	zł/wzkm
18 m	ON	0,33 zł	zł/wzkm
	CNG	0,35 zł	zł/wzkm
	Wodór	0,35 zł	zł/wzkm
	BEV	0,16 zł	zł/wzkm

Średnią pracę przewozową taboru autobusowego przyjęto na poziomie 42 tys. km rocznie na jeden autobus, co odpowiada faktycznej, średniej pracy przewozowej pojazdu w komunikacji miejskiej w Zgierzu.

Wyniki analizy finansowej, wskazują, że najkorzystniejszym ekonomicznie wariantem, jest oparcie się o tabor spalinowy – zasilany olejem napędowym.

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

Tabela 14 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy CNG	Wariant III - wodorowy
Koszty finansowe	26 570 719,81 zł	42 834 893,99 zł	23 049 305,52 zł	53 712 918,35 zł

Zdyskontowane koszty finansowe ujęto również w formie wozokilometra¹³:

Tabela 15 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm

Pozycja	Koszt wzkm - koszty inwestycyjne i eksploatacyjne (kwoty brutto)	Koszty wzkm – koszty pozostałe – wynagrodzenia, administracja, ogólny zarząd itd. (kwoty brutto)	Stawka razem zł/wzkm (kwoty brutto)
Autobusy zasilane ON	5,41 zł	2,00 zł	7,41 zł
Autobusy elektryczne	8,72 zł	2,00 zł	10,72 zł
Autobusy zasilane CNG	4,69 zł	2,00 zł	6,69 zł
Autobusy wodorowe	10,93 zł	2,00 zł	12,93 zł

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

- FNPV/C - odzwierciedlającą zyskowność (lub brak zyskowności) analizowanego wariantu;
- FRR/C – określającą 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 16 Wskaźniki ekonomiczne w wariantach

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy CNG	Wariant III - wodorowy
FNPV/C	- 27 633 548,61 zł	- 44 548 289,75 zł	- 23 971 277,74 zł	- 55 861 435,09 zł
FRR/C	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna	wart. niepoliczalna

Niezależnie od przyjętej metodyki porównawczej, wyniki analizy są tożsame – największą opłacalność wykazuje wariant gazowy, 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. Ceny oleju napędowego również wykazują tendencję rosnącą.

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.

Na znaczącą dysproporcję kosztu wozokilometra, wpływa również konieczność stworzenia infrastruktury – stanowisk ładowania nocnego w zajezdni autobusowej oraz stacji pantografowej na pętlach autobusowych w przypadku autobusów elektrycznych oraz stacji tankowania wodoru w przypadku wariantu zakupu pojazdów wodorowych (w tym przypadku proporcja kosztów jest szczególnie niekorzystna, ponieważ koszty inwestycji rozkładają się na niewielką liczbę pojazdów). Nawet jednak w przypadku wymiany całej floty, pojazdy wodorowe są znacząco droższe w eksploatacji niż pojazdy spalinowe lub elektryczne z uwagi na wysoką cenę wodoru. Dla opłacalności wariantu gazowego nie bez znaczenia jest fakt, iż konieczna infrastruktura istnieje już na terenie miasta.

Zrównoważenie wyższych kosztów inwestycyjnych rozwiązań zeroemisyjnych zapewnić mogą zewnętrzne źródła finansowania. Ustawa z dnia 14 sierpnia 2020 r. o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2020 r. poz. 1565) zlikwidowała Fundusz Niskoemisyjnego Transportu, w ramach którego część środków z opłaty paliwowej trafiała na dofinansowanie zakupu pojazdów elektrycznych. Likwidacja funduszu nie zniósła wsparcia w obszarze elektromobilności a stanowi jedynie włączenie środków na ten cel do budżetu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Oprócz zakupów realizowanych przez osoby fizyczne (w ramach programu „Mój elektryk”), o środki NFOŚiGW ubiegać się mogą również jednostki samorządu terytorialnego, w ramach programów:

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

Samorządy będą mogły ubiegać się o sięgające od 20% (w przypadku największych miast) do 80% (w przypadku miast małych i średnich) dofinansowania na zakup lub leasing autobusów i szkolenie kierowców oraz do 25% wsparcia na rozwój infrastruktury ładowania na własne potrzeby – budowę nowych lub modernizację istniejących stacji ładowania.

Wnioski o dofinansowanie w formie dotacji i w formie pożyczki można składać w trybie konkursowym, w okresie 01.09.2021 – 20.12.2021 r.

Budżet na realizację konkursu wynosi do 2 000 000 zł, w tym:

- dla bezzwrotnych form dofinansowania – do 1 600 000 000 zł,
- dla zwrotnych form dofinansowania – do 400 000 000 zł.

Wartością progową dla zrównania opłacalności finansowej wariantu elektrycznego oraz wariantu gazowego jest dofinansowanie wynoszące 65%.

Tabela 17 Zestawienie wskaźników finansowych

	Wariant bazowy (ON)	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy
Wpływy ogółem	0	0	0
Przychody	0	0	0
Dotacja (65%)	0	23 205 000,00	0
Wypływy ogółem	27 633 548,61 zł	44 548 289,75 zł	23 971 277,74 zł
Koszty operacyjne	11 676 775,16 zł	11 524 350,85 zł	3 158 094,99 zł
Nakłady inwestycyjne	15 956 773,44 zł	33 023 938,89 zł	20 813 182,75 zł
Przepływy pieniężne	- 27 633 548,61 zł	- 23 082 729,47 zł	- 23 971 277,74 zł
stopa dyskontowa	4,0%	4,0%	4,0%
(FNPV/C)	- 27 633 549	- 23 082 729	- 23 971 278

Porównanie wyników analizy finansowo-ekonomicznej w formie tabel zbiorczych, przedstawiono poniżej.

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI
ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W ZGIERZU
AUTOBUSÓW ZEROemisyjnych

Tabela 18 Analiza finansowa - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			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	5 750 000,00	0,00	0,00	0,00	5 316 198,22	0,00	
2024	4	0,89	5 750 000,00	418 950,00	60 900,00	210 000,00	5 538 313,97	186 689,24	
2025	5	0,85	5 750 000,00	837 900,00	121 800,00	420 000,00	5 735 479,68	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	1 183 205,17	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	1 137 697,28	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	1 093 939,69	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	1 051 865,08	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	1 011 408,74	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	972 508,40	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	935 104,23	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	899 138,68	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	864 556,43	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	1 256 850,00	182 700,00	630 000,00	831 304,26	363 809,30	
		RAZEM	17 250 000,00	13 825 350,00	2 009 700,00	6 930 000,00	26 570 719,81	4 913 640,45	5,41

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI
ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W ZGIERZU
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 19 Wariant I - elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			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	12 150 000,00	0,00	73 908,00	0,00	11 301 690,09	0,00	
2024	4	0,89	11 400 000,00	133 770,00	118 146,00	210 000,00	10 358 510,90	186 689,24	
2025	5	0,85	12 150 000,00	267 540,00	221 454,00	420 000,00	10 803 865,04	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	536 031,27	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	515 414,68	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	495 591,04	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	476 529,85	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	458 201,78	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	401 310,00	3 250 854,00	630 000,00	2 467 271,14	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	401 310,00	3 250 854,00	630 000,00	2 372 376,09	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	401 310,00	3 250 854,00	630 000,00	2 281 130,86	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	391 672,80	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	401 310,00	250 854,00	630 000,00	376 608,46	363 809,30	
		RAZEM	35 700 000,00	4 414 410,00	11 922 048,00	6 930 000,00	42 834 893,99	4 913 640,45	8,72

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI
ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W ZGIERZU
AUTOBUSÓW ZEROemisyjnych

Tabela 20 Wariant II - gazowy CNG

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			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	7 500 000,00	0,00	0,00	0,00	6 934 171,60	0,00	
2024	4	0,89	7 500 000,00	64 680,00	65 100,00	210 000,00	6 782 846,64	186 689,24	
2025	5	0,85	7 500 000,00	129 360,00	130 200,00	420 000,00	6 632 904,41	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	320 009,10	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	307 701,06	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	295 866,40	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	284 486,92	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	273 545,12	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	263 024,15	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	252 907,84	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	243 180,62	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	233 827,51	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	194 040,00	195 300,00	630 000,00	224 834,15	363 809,30	
RAZEM			22 500 000,00	2 134 440,00	2 148 300,00	6 930 000,00	23 049 305,52	4 913 640,45	4,69

ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI
ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZY ŚWIADCZENIU USŁUG KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W ZGIERZU
AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Tabela 21 Wariant III - wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Pozostałe koszty eksploatacyjne	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			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	19 000 000,00	0,00	59 070,00	0,00	17 621 181,58	0,00	
2024	4	0,89	14 500 000,00	374 850,00	124 170,00	210 000,00	13 334 074,16	186 689,24	
2025	5	0,85	14 500 000,00	749 700,00	189 270,00	420 000,00	13 197 296,26	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	1 133 371,73	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	1 089 780,51	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	1 047 865,87	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	1 007 563,34	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	968 810,90	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	931 548,94	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	895 720,14	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	861 269,36	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	828 143,62	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	1 124 550,00	254 370,00	630 000,00	796 291,94	363 809,30	
		RAZEM	48 000 000,00	12 370 050,00	2 916 210,00	6 930 000,00	53 712 918,35	4 913 640,45	10,93

VIII. OSZACOWANIE EFEKTÓW ŚRODOWISKOWYCH

Efektom 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 lotne związki 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 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6

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

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

Tabela 23 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. Tym samym według niektórych metodologii należałoby w obliczeniach skutków środowiskowych inwestycji, uwzględnić również wskaźniki emisyjności energii elektrycznej w krajowym systemie elektroenergetycznym, wyliczone na podstawie informacji będących w posiadaniu Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Tabela 24 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00082	kg/MWh
PM10	0,00228	kg/MWh
NO2	0,60800	kg/MWh
SO2	0,53900	kg/MWh
NMLZO	0,00504	kg/MWh
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	758,00	kg/MWh
Hałas	60,00000	db

W analizie postanowiono skoncentrować się na lokalnym efekcie wpływu pojazdów zeroemisyjnych, dlatego też w przypadku wariantu elektrycznego i wodorowego, założono brak jakichkolwiek emisji generowanych przez pojazdy w miejscu eksploatacji.

Wartość emisji autobusu napędzanego CNG oraz LNG, przyjęto zgodnie z raportem „Paliwa alternatywne w komunikacji miejskiej” oraz opracowaniami naukowymi w zakresie emisyjności autobusów.

Tabela 25 Wskaźnik emisyjności - autobus gazowy

Emisja	Wielkość	Jednostka
PM2.5	0,00119	g/km
PM10	0,00331	g/km
NO2	0,06000	g/km
SO2	0,18000	g/km
NMLZO	0,23000	g/km
Emisja pozaspalinowa	0,00600	g/km
CO2	2,15000	kgCO2/kg
Hałas	75,000	db

Obliczone emisje zanieczyszczeń zostały zmonetyzowane z wykorzystaniem danych nt. jednostkowych kosztów emisji poszczególnych zanieczyszczeń (NOx, NMLZO, PM2,5), opracowanych przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych¹⁴.

W ocenie dotyczącej oddziaływania zmian klimatycznych, oszacowano emisję gazów cieplarnianych, wyrażoną jako ekwiwalent CO2. Emisję obliczono z 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 produkcji energii elektrycznej w polskim systemie energetycznym.

Wyniki obliczeń monetyzacyjnych przedstawiono w analizie społeczno-ekonomicznej.

¹⁴ CUPT: Tablice kosztów jednostkowych do wykorzystania w analizach kosztów i korzyści

IX. 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 CUPT¹⁵. 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.;

¹⁵ www.cupt.gov.pl

Przyjęte do analizy korzyści/koszty społeczne (środowiskowe) 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;

Wyniki analizy społeczno-ekonomicznej, wskazują, że najkorzystniejszym ekonomicznie wariantem, jest oparcie się o tabor spalinowy – zasilany gazem ziemnym.

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

Tabela 26 Zestawienie zdyskontowanych kosztów środowiskowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy CNG	Wariant III - wodorowy
Koszty finansowe	2 877 207,79 zł	- zł	1 658 585,15 zł	- zł

Zdyskontowane koszty środowiskowe ujęto również w formie wozokilometra¹⁶:

Tabela 27 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzk

Pozycja	Koszt wzk
Autobusy zasilane ON	0,59 zł
Autobusy elektryczne	- zł
Autobusy zasilane CNG	0,34 zł
Autobusy wodorowe	- 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,

¹⁶ Przedstawiony koszt wozokilometra nie uwzględnia kosztów stałych świadczenia usług przewozowych (niezależnych od struktury taboru) do których należą m.in. koszty wynagrodzeń, zarządu i administracji.

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 28 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy CNG	Wariant III - wodorowy
ENPV/C	- 2 992 296,10 zł	- zł	- 1 724 928,56 zł	- 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 elektryczny i wodorowy, ponieważ w miejscu eksploatacji nie generuje żadnych emisji. Wartości kosztu ekonomicznego, są jednak znacząco niższe niż kosztu finansowego. Wynika to z faktu, iż wymiana kilku pojazdów, czy nawet całej floty komunikacyjnej, nie powoduje znaczącej poprawy jakości powietrza, która w dużej mierze pochodzi ze źródeł tranzytowych oraz ruchu lokalnego.

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

Tabela 29 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	59 336,60	63 630,00	210 000,00	109 316,86	186 689,24	
2025	5	0,85	118 673,19	127 260,00	420 000,00	210 224,72	359 017,76	
2026	6	0,82	178 009,79	190 890,00	630 000,00	303 208,73	517 814,08	
2027	7	0,79	178 009,79	190 890,00	630 000,00	291 546,86	497 898,15	
2028	8	0,76	178 009,79	190 890,00	630 000,00	280 333,52	478 748,22	
2029	9	0,73	178 009,79	190 890,00	630 000,00	269 551,46	460 334,83	
2030	10	0,70	178 009,79	190 890,00	630 000,00	259 184,10	442 629,64	
2031	11	0,68	178 009,79	190 890,00	630 000,00	249 215,48	425 605,43	
2032	12	0,65	178 009,79	190 890,00	630 000,00	239 630,27	409 235,99	
2033	13	0,62	178 009,79	190 890,00	630 000,00	230 413,72	393 496,14	
2034	14	0,60	178 009,79	190 890,00	630 000,00	221 551,65	378 361,67	
2035	15	0,58	178 009,79	190 890,00	630 000,00	213 030,43	363 809,30	
		RAZEM	1 958 107,64	2 099 790,00	6 930 000,00	2 877 207,79	4 913 640,45	0,59

Tabela 30 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	210 000,00	0,00	186 689,24	
2025	5	0,85	0,00	0,00	420 000,00	0,00	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	0,00	630 000,00	0,00	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	0,00	630 000,00	0,00	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	0,00	630 000,00	0,00	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	0,00	630 000,00	0,00	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	0,00	630 000,00	0,00	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	0,00	630 000,00	0,00	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	0,00	630 000,00	0,00	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	0,00	630 000,00	0,00	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	0,00	630 000,00	0,00	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	0,00	630 000,00	0,00	363 809,30	
		RAZEM	0,00	0,00	6 930 000,00	0,00	4 913 640,45	0,00

Tabela 31 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II – gazowy CNG

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty inwestycyjne (całkowite)	Koszty zużycia paliwa	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr)
			zł	zł	km	zł	km	
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	12 084,89	58 800,00	210 000,00	63 016,41	186 689,24	
2025	5	0,85	24 169,79	117 600,00	420 000,00	121 185,41	359 017,76	
2026	6	0,82	36 254,68	176 400,00	630 000,00	174 786,65	517 814,08	
2027	7	0,79	36 254,68	176 400,00	630 000,00	168 064,08	497 898,15	
2028	8	0,76	36 254,68	176 400,00	630 000,00	161 600,08	478 748,22	
2029	9	0,73	36 254,68	176 400,00	630 000,00	155 384,69	460 334,83	
2030	10	0,70	36 254,68	176 400,00	630 000,00	149 408,36	442 629,64	
2031	11	0,68	36 254,68	176 400,00	630 000,00	143 661,88	425 605,43	
2032	12	0,65	36 254,68	176 400,00	630 000,00	138 136,43	409 235,99	
2033	13	0,62	36 254,68	176 400,00	630 000,00	132 823,49	393 496,14	
2034	14	0,60	36 254,68	176 400,00	630 000,00	127 714,89	378 361,67	
2035	15	0,58	36 254,68	176 400,00	630 000,00	122 802,78	363 809,30	
		RAZEM	398 801,50	1 940 400,00	6 930 000,00	1 658 585,15	4 913 640,45	0,34

Tabela 32 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant wodorowy

Lata	rok	Czynnik dyskontujący	Koszty zmian klimatycznych	koszty hałasu	Wozokilometry na rok	Zdyskontowane koszty łączne	Zdyskontowane wozokilometry	DGC (koszt na wozokilometr) w zł
			zł	zł	km	zł	km	
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	210 000,00	0,00	186 689,24	
2025	5	0,85	0,00	0,00	420 000,00	0,00	359 017,76	
2026	6	0,82	0,00	0,00	630 000,00	0,00	517 814,08	
2027	7	0,79	0,00	0,00	630 000,00	0,00	497 898,15	
2028	8	0,76	0,00	0,00	630 000,00	0,00	478 748,22	
2029	9	0,73	0,00	0,00	630 000,00	0,00	460 334,83	
2030	10	0,70	0,00	0,00	630 000,00	0,00	442 629,64	
2031	11	0,68	0,00	0,00	630 000,00	0,00	425 605,43	
2032	12	0,65	0,00	0,00	630 000,00	0,00	409 235,99	
2033	13	0,62	0,00	0,00	630 000,00	0,00	393 496,14	
2034	14	0,60	0,00	0,00	630 000,00	0,00	378 361,67	
2035	15	0,58	0,00	0,00	630 000,00	0,00	363 809,30	
		RAZEM	0,00	0,00	6 930 000,00	0,00	4 913 640,45	0,00

X. PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

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

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

Pierwszym elementem Analizy była ocena techniczna wdrożenia każdego z ww. rozwiązań, która 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;

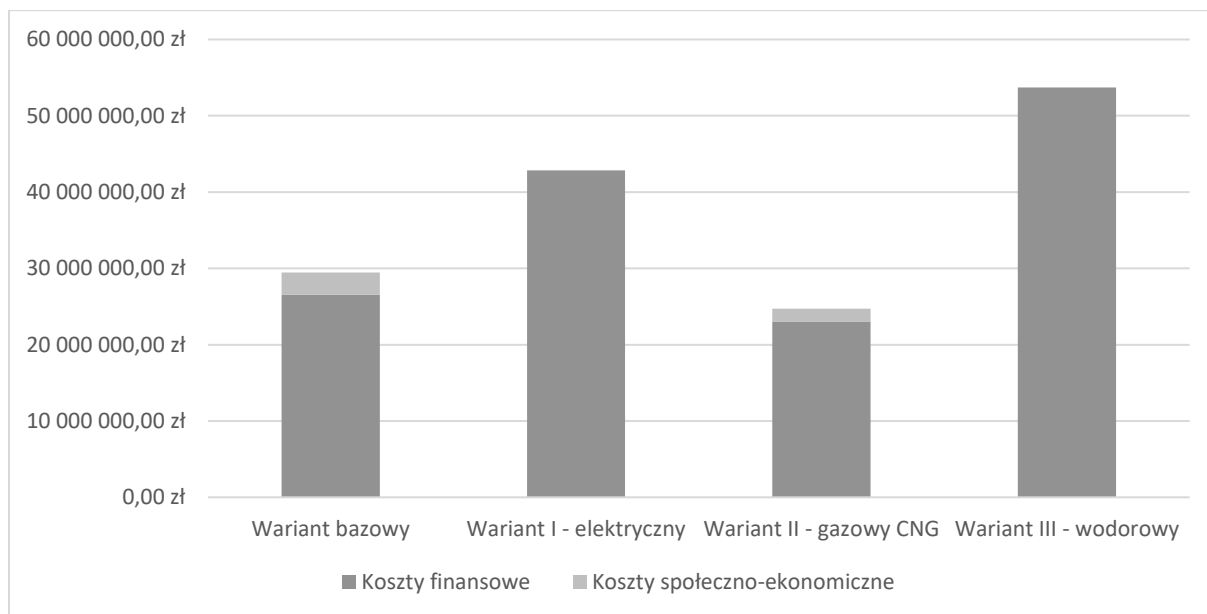
Przyjmując horyzont czasowy eksploatacji autobusów wynoszący 15 lat, zdyskontowane wydatki sprowadzono do wartości jednostkowej – kosztu wozokilometra. Z uwagi na wysokie wydatki inwestycyjne, wykazano, że nawet w przypadku niskich kosztów eksploatacyjnych, wariant zakupu autobusów elektrycznych jest mniej opłacalna od zakupu autobusów zasilanych olejem napędowym bądź zasilanych gazem ziemnym, jednak do osiągnięcia progu rentowności wystarczające jest dofinansowanie wynoszące 65% kosztu zakupu pojazdów.

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.

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 33 Zestawienie zdyskontowanych kosztów środowiskowych

Pozycja	Wariant bazowy	Wariant I - elektryczny	Wariant II - gazowy CNG	Wariant III - wodorowy
Koszty finansowe	26 570 719,81 zł	42 834 893,99 zł	23 049 305,52 zł	53 712 918,35 zł
Koszty środowiskowe	2 877 207,79 zł	- zł	1 658 585,15 zł	- zł
RAZEM	29 447 927,60 zł	42 834 893,99 zł	24 707 890,67 zł	53 712 918,35 zł



Rysunek 9 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 – wynika to z faktu wysokich kosztów inwestycyjnych zakupu pojazdów oraz stacji tankowania, a także wysokiej, rynkowej ceny wodoru. W przypadku wariantu zakupu autobusów zasilanych CNG, efekt zastosowania czystszej paliwa i mniejszej jednostkowej emisji na jednostkę zużytego paliwa, kompensowany jest przez znacząco wyższym spalaniem na 100 km. (44 kg/100 km gazu, względem 38 l/100 km oleju napędowego, w przypadku autobusu klasy MIDI) tym samym faktyczna korzyść środowiskowa wynikająca z przejścia z autobusów ON na autobusy CNG nie jest znacząca, jednak przy obecnych cenach paliw i koszcie początkowym zakupu autobusu, wariant CNG jest najkorzystniejszy pod względem kosztów finansowych. Efekty środowiskowe nie mają bowiem znaczącego wpływu na końcowe porównanie poszczególnych wariantów. Wpływ komunikacji zbiorowej na jakość powietrza w kontekście całego ruchu samochodowego na terenie miasta, jest marginalny, dlatego największą wagę w końcowej ocenie opłacalności ma przede wszystkim koszt finansowy wozokilometra.

Rekomendacje końcowe

Koszt inwestycji w tabor zeroemisyjny jest praktycznie dwukrotnie wyższy niż w tabor konwencjonalny i chociaż koszt energii (paliwa) w autobusie elektrycznym wynosi zaledwie 1/3 kosztów zużycia paliwa w pojeździe spalinowym, to jednak z uwagi na gwałtowny wzrost cen energii elektrycznej (w latach 2020-2021) oraz gazu (w I półroczu 2021 r.), przy stosunkowo stabilnych cenach ropy, różnica ta zmniejsza się na niekorzyść wariantów alternatywnych. Dalsza przyszłość rozwoju elektromobilności uwarunkowana będzie kierunkiem zmian cen energii i paliw.

Zakup pojazdów elektrycznych wiąże się z okresową koniecznością wymiany baterii pokładowych pojazdów. Koszt ten sięgać może nawet 1/3 wartości pojazdu (ok. 600 000 zł). Żywotność baterii szacować można aktualnie na ok. 8-10 lat, choć w zależności od rodzaju baterii oraz sposobu ich eksploatacji może być krótsza.

Jedyną rozsądną alternatywą dla pojazdów spalinowych, jest wykorzystanie taboru zasilanego CNG, jednak nie spełniają one wymogów zeroemisyjności określonego

w art. 36 ustawy o elektromobilności, a tym samym, przeprowadzona Analiza wskazuje na brak korzyści z wykorzystywania autobusów zeroemisyjnych, a zatem Miasto Zgierz może nie realizować obowiązku osiągnięcia poziomu udziałów autobusów zeroemisyjnych, o których mowa w art. 36, ustawy o elektromobilności.

Rekomendacja ta nie oznacza jednak, że Miasto Zgierz nie powinno realizować dalszych inwestycji w tabor zeroemisyjny. Zgodnie z planowaną nowelizacją ustawy o elektromobilności w zakresie art. 68a i 68b obligatoryjne będzie uwzględnianie we wszystkich zamówieniach publicznych (w tym zleceniach in-house) związanych z transportem zbiorowym wymogów w zakresie udział 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%.

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 gazowych, spalinowych lub hybrydowych, zawsze konieczny będzie zakup autobusów zeroemisyjnych w wyznaczonej ustawą proporcji.

Wskazany wymóg, będzie stanowił szczególne wyzwanie dla Miasta, z uwagi na specyficzną sytuację organizacyjną w zakresie systemu komunikacji zbiorowej. W Zgierzu nie funkcjonuje bowiem operator wewnętrzny, z którym Miasto mogłoby zawrzeć umowę bezpośrednio (w tzw. systemie in-house) z pominięciem procedur wynikających z prawa zamówień publicznych. Realizacja usług przewozowych przez podmiot wewnętrznych umożliwia również zakup taboru przez Miasto i przekazanie spółce do użytkowania. Zakup taboru przez Miasto lub podmiot wewnętrzny nie podlega ograniczeniom wynikającym z zasad pomocy publicznej, którymi obarczone są spółki prawa handlowego. Jak pokazuje praktyka naborów konkursowych prowadzonych w ramach budżetu Unii Europejskiej na lata 2014-2020, podczas gdy samorządy mogły wnioskować o dofinansowanie na poziomie nawet 80-85% wartości inwestycji, podmioty komercyjne z województwa łódzkiego (do których należy zaliczyć miejskiego przewoźnika – przedsiębiorstwo Markab), zgodnie z Mapą Pomocy

Regionalnej, mogły ubiegać się o dofinansowanie na poziomie zaledwie 35%, czyli na poziomie niewystarczającym do zrównania różnicy w koszcie zakupu i eksploatacji pojazdu elektrycznego.

Dodatkowym, wartym nadmienienia problemem organizacyjnym jest kwestia ładowania autobusów na stacjach pantografowych zlokalizowanych na pętlach autobusowych.

Markab, jest podmiotem wybieranym do wykonywania usług przewozowych w trybie przetargowym, podczas gdy infrastruktura przystankowa i drogowa pozostaje natomiast we własności i zarządzie Urzędu Miasta. Ponieważ ograniczone zasięgi autobusów elektrycznych wymagają doładowywania ich okresowo pomiędzy kolejnymi przejazdami, w przypadku nabycia autobusów elektrycznych przez przewoźnika, konieczne będzie alternatywnie:

- Wybudowanie stacji ładowania pantografowego na koszt miasta i fakturowanie usługi ładowania (koszt energii oraz amortyzacji inwestycji) na rzecz ZGK Markab (w wariantcie takim Miasto ponosiłoby również odpowiedzialność za konserwację i utrzymanie stacji ładowania);
- Wydzierżawienie przez Miasto nieruchomości pod budowę stacji ładowania pantografowej na rzecz ZGK i budowa stacji ładowania (oraz ponoszenia kosztów ich eksploatacji) samodzielnie przez ZGK Markab. (Okres zawierania umów na świadczenie usług przewozowych, jest jednak krótszy niż czas amortyzacji inwestycji w infrastrukturę ładowania, w związku z czym pojawia się w tym wariantcie problem rozliczenia inwestycji po zakończeniu umowy – bądź doliczania kosztu szybszej amortyzacji inwestycji do kosztu wozokilometra).

W pierwszej alternatywie – Miasto musi ponieść znaczący koszt inwestycyjny, a także przyjąć na siebie dodatkową odpowiedzialność za utrzymanie, eksploatację i bezpieczeństwo stacji ładowania.

W drugiej alternatywie – realizacji inwestycji przez ZGK Markab, spodziewać należy się znaczącego wzrostu wozokilometra, który będzie musiał uwzględniać spłatę całej inwestycji w infrastrukturę ładowania w okresie trwania umowy na usługi przewozowe.

Wyzwania związane z nowelizacją ustawy o elektromobilności

W świetle powyższych informacji, wykorzystanie możliwości jakie daje rekomendacja Analizy Kosztów i Korzyści, tj. odstąpienie od realizacji obowiązku określonego w art. 36 ustawy o elektromobilności, jest rozwiązaniem najkorzystniejszym dla Miasta, zapisy Analizy nie blokują pozyskania zewnętrznych źródeł finansowych na zakup autobusów elektrycznych, a jedynie pozwalają na wdrażanie elektromobilności we własnym tempie – w miarę możliwości finansowych i przy uporządkowanej strukturze organizacyjnej. Plan etapowego wdrożenia elektromobilności do komunikacji zbiorowej określają w szczególności Strategie Rozwoju Elektromobilności. Rozważenie różnych dróg dojścia do transportu zeroemisyjnego, jest konieczne z powodu obowiązków określonych w art. 68a projektowanej nowelizacji ustawy o elektromobilności, od których realizacji nie zwalnia rekomendacja zawarta w AKK. Przepisy te będą miały charakter bezwzględnie obowiązujący, tzn. będą musiały być obligatoryjnie realizowane przez Miasto.

Zgodnie z projektem nowelizacji - we wszystkich zamówieniach publicznych związanych z transportem zbiorowym wymogów w zakresie udział 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). W myśl nowelizacji, wskazany obowiązek ma być stosowany do postępowań o udzielenie zamówienia publicznego wszczętych po dniu wejścia w życie niniejszej ustawy.

Jeżeli projektowane przepisy wejdą w życie, oznaczać to będzie, iż po zakończeniu kontraktu na usługę przewozową obejmującego eksploatację 47 autobusów spalinowych na olej napędowy w roku 2024, w nowym zamówieniu obowiązywać będzie obligatoryjny udział 32% pojazdów z napędem alternatywnym z czego przynajmniej połowa (tj. 16% całości) z napędem zeroemisyjnym.

Podczas gdy w 2027 r. w nowym zamówieniu obowiązywać będzie obligatoryjny udział 46% pojazdów z napędem alternatywnym z czego przynajmniej połowa (tj. 23% całości) z napędem zeroemisyjnym.

Przykładową strukturę minimalnego miksu nowych zamówień spełniających wymogi ustawowe, przedstawia tabela.

Tabela 34 Miks taboru spełniający wymogu nowelizacji ustawy o elektromobilności

Rodzaj autobusu	Stan aktualny	Stan na 2025 (próg 32%)	Stan na 2030 (próg 46%)
ON	47	31 (66% całości)	22 (53,2% całości)
CNG	0	8 (17% całości)	11 (23,4% całości)
BEV (elektryczny)	0	8 (17% całości)	11 (23,4% całości)

Niezależnie więc, od wyników i rekomendacji niniejszej AKK, aby móc startować w nowym przetargu na usługę przewozową dla kontraktu, który kończy się w 2024 r. ZGK MARKAB, będzie musiało wykazać w postępowaniu, dysponowaniem na to zadanie, pojazdami nisko i zeroemisyjnymi w wymaganym ustawą zakresie. W przeciwnym wypadku zamówienie takie nie będzie mogło zostać udzielone z uwagi na niedotrzymanie wymagań ustawy.

Z perspektywy tych wyzwań, konieczne jest ściśle monitorowanie przebiegów prac nad planowaną nowelizacją, poprzez stronę internetową Rządowego Centrum Legislacji¹⁷, ponieważ rozważane są również warianty nowelizacji, w której do spełnienia wymogów określony w art. 68a-68g projektowanej nowelizacji wystarczy wykazanie pojazdów zasilanych paliwem gazowym, w którym to kierunku czynione są już przez ZGK Markab inwestycje. W takiej sytuacji podejmowanie inwestycji w zakup pojazdów elektrycznych nie będzie konieczne.

Ponieważ jednak planowana nowelizacja może stać się źródłem ogromnych wyzwań i znaczących wydatków dla Miasta w obszarze komunikacji miejskiej w nadchodzących latach, a projekt ustawy jest ciągle na wczesnym etapie prac, zaleca się monitorowanie dalszego procesu legislacyjnego, przed podjęciem dalszych decyzji.

¹⁷ <https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12340506/katalog/12740165>

XI. SPIS TABEL

Tabela 1. Predyspozycje linii nr 5 do obsługi przez autobus elektryczny.	18
Tabela 2. Predyspozycje linii nr 9 do obsługi przez autobus elektryczny.	19
Tabela 3 Wymogi ustawowe w zakresie taboru zeroemisyjnego - zestawienie.....	29
Tabela 4 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant bazowy	31
Tabela 5 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant I - elektryczny	31
Tabela 6 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant II – gazowy CNG	31
Tabela 7 Symulacja planu zakupowego autobusów - wariant III – wodorowy	32
Tabela 8 Założenia kosztów inwestycyjnych w tabor	32
Tabela 9 Założenia kosztów inwestycyjnych w infrastrukturę	33
Tabela 10 Założenia kosztu wymiany baterii.....	33
Tabela 11 Średnie zużycie paliw i energii wg. typów autobusów.....	33
Tabela 12 Założenia kosztu jednostkowego paliwa	34
Tabela 13 Założenia kosztów remontowych i serwisowych	34
Tabela 14 Zestawienie zdyskontowanych kosztów finansowych	34
Tabela 15 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm	35
Tabela 16 Wskaźniki ekonomiczne w wariantach	35
Tabela 17 Zestawienie wskaźników finansowych	37
Tabela 18 Analiza finansowa - wariant bazowy	38
Tabela 19 Wariant I - elektryczny.....	39
Tabela 20 Wariant II - gazowy CNG.....	40
Tabela 21 Wariant III - wodorowy.....	41
Tabela 22 Wartość dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń dla normy EURO6.....	42
Tabela 23 Wskaźniki emisyjności – autobus spalinowy w normie EURO6.....	42
Tabela 24 Wskaźniki emisyjności – autobus elektryczny.....	43
Tabela 25 Wskaźnik emisyjności - autobus gazowy	44
Tabela 26 Zestawienie zdyskontowanych kosztów środowiskowych	46
Tabela 27 Zdyskontowane koszty finansowe w ujęciu na wzkm	46
Tabela 28 Wskaźniki społeczno-ekonomiczne w wariantach	47
Tabela 29 Analiza społeczno-ekonomiczna - wariant bazowy	48
Tabela 30 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant I elektryczny	49
Tabela 31 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant II – gazowy CNG	50
Tabela 32 Analiza społeczno-ekonomiczna – wariant wodorowy	51
Tabela 33 Zestawienie zdyskontowanych kosztów środowiskowych	53
Tabela 34 Miks taboru spełniający wymogu nowelizacji ustawy o elektromobilności	58

XII. SPIS ILUSTRACJI

Rysunek 1 Graficzny schemat wykonania obowiązku ustawowego w zakresie sporządzenia Analizy Kosztów Korzyści	8
Rysunek 2 Zgierz na terenie powiatu zgierskiego	15
Rysunek 3 Układ głównych kierunków połączeń kolejowych dla aglomeracji łódzkiej	16
Rysunek 4 Schemat budowy autobusu elektrycznego	22
Rysunek 5 Autobus z napędem hybrydowym ON i CNG	24
Rysunek 6 Schemat "wolnej" stacji tankowania CNG	25
Rysunek 7 Schemat "szybkiej" stacji tankowania CNG	26
Rysunek 8 Autobus wodorowy Solaris Urbino 12 Hydrogen, źródło: Solaris Bus&Coach	28
Rysunek 9 Wyniki AKK - porównanie	53