

# AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

dla:

GMINY WAŁBRZYCH

25.05.2021 r.

## Spis treści

|   |    |
|---|----|
| Wykaz skrótów i definicji.....  | 4  |
| Streszczenie.....   | 5  |
| 1. Wstęp.....   | 7  |
| 1.1. Cel prowadzonych prac.....   | 7  |
| 1.2. Podstawa realizacji analizy.....   | 7  |
| 1.3. Wykaz dokumentów wykorzystanych do analizy.....  | 7  |
| 1.4. Metodyka prowadzonych prac.....  | 8  |
| 1.5. Podsumowanie.....  | 9  |
| 2. Miasto Wałbrzych – analiza otoczenia transportu miejskiego ...                               | 10 |
| 2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych.....   | 10 |
| 2.2. Podsumowanie.....  | 13 |
| 3. Przegląd technologii i eksploatacji pojazdów alternatywnych w<br>transportie publicznym..... | 14 |
| 3.1. Pojazdy elektryczne.....   | 14 |
| 3.2. Pojazdy zasilane wodorem.....  | 23 |
| 3.3. Pojazdy zasilane gazem ziemnym.....  | 26 |
| 4. Wyniki przeprowadzonych analiz.....  | 32 |
| 4.1. Analiza stanu obecnego.....  | 32 |
| 4.2. Kierunki rozwoju floty na lata 2021 -2035.....   | 46 |
| 4.3. Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza nakładów inwestycyjnych                         | 64 |
| 4.4. Analiza społeczno-ekonomiczna.....   | 86 |
| 5. Podsumowanie i rekomendacje.....   | 97 |
| 6. Spis rysunków.....   | 98 |
| 7. Spis wykresów.....   | 99 |

8. Spis tabel ..... 100

Załącznik A – Zestawienie kosztów operacyjnych dla wszystkich  
wariantów w latach 2021-2035 ..... 103

## Wykaz skrótów i definicji

|                      |  |
|----------------------|--|
| AKK                  | Analiza kosztów i korzyści   |
| Autobus zeroemisyjny | Autobus wykorzystujący do napędu energię elektryczną wytworzoną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych lub innych substancji objętych systemem zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji, oraz trolejbus <sup>1</sup> . |
| B/C                  | Stosunek zdyskontowanych przychodów z projektu do zdyskontowanych wydatków.  |
| BEV                  | Pojazd elektryczny zasilany bateriami (ang. Battery Electric Vehicle)  |
| ENPV                 | Ekonomiczna wartość bieżąca netto.   |
| EV                   | Pojazd elektryczny (ang. Electric Vehicle)   |
| FNPV                 | Finansowa wartość bieżąca netto, metoda oceny efektywności ekonomicznej inwestycji rzeczowej.  |
| Kva                  | Kilowoltamper, jednostka miary mocy pozornej, używana do określania mocy znamionowej.  |
| LEV                  | Pojazd niskoemisyjny (ang. Low Emission Vehicle)   |
| Niska emisja         | Emisja produktów spalania paliw stałych, ciekłych i gazowych do atmosfery ze źródeł emisji (emiterów) znajdujących się na wysokości nie większej niż 40 m.   |
| Nn                   | Sieć elektroenergetyczna niskiego napięcia, w której napięcie znamionowe nie przekracza 1 kV.  |
| SKA                  | Śląskie Konsorcjum Autobusowe, operator świadczący usługi publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Wałbrzych.   |
| SN                   | Sieć elektroenergetyczna średniego napięcia, w której napięcie znamionowe zawiera się w przedziale od 1 kV do 60 kV.   |
| WCP                  | Wskaźnik czasu przejazdu   |
| Wzkm                 | Wozokilometr - jednostka obliczeniowa stosowana w transporcie kołowym, równa jednemu kilometrowi drogi wykonanej przez środki transportu w określonym czasie <sup>2</sup> .  |
| ZDKiUM               | Zarząd Dróg, Komunikacji i Utrzymania Miasta w Wałbrzych.  |
| ZEV                  | Pojazd zeroemisyjny (and. Zero Emission Vehicle).  |

<sup>1</sup> Art. 2 ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2021 poz. 110. z późn. zm.)

<sup>2</sup>Źródło: <https://sjp.pl>

## Streszczenie

Podstawą prawną dla przygotowania niniejszej analizy jest obowiązek ustawowy, zawarty w art. 37 Ustawy o elektromobilności<sup>3</sup>, który stanowi, iż jednostki samorządu terytorialnego są zobowiązane do sporządzania analizy kosztów i korzyści co 36 miesięcy. Niniejszy dokument stanowi podsumowanie obecnego stanu transportu publicznego w mieście, przegląd stosowanych technologii pojazdów i ocenę możliwości wykorzystania taboru elektrycznego, zasilanego gazem lub wodorem na obecnie funkcjonujących liniach, a także wariantową analizę finansowo-ekonomiczną oraz analizę społeczno-ekonomiczną.

Zgodnie z przepisami Ustawy o elektromobilności, Gmina Wałbrzych powinna zapewnić procentowy udział autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie, która obecnie liczy 56 wozów zgodnie z poniższym harmonogramem:

- 10% do dnia 01.01.2023 r.,
- 20% do dnia 01.01.2025 r.,
- 30% do dnia 01.01.2028 r.

W dokumencie przeanalizowano aspekty logistyki miejskiej Wałbrzycha, mające wpływ na optymalne wykorzystanie autobusów na realizowanych trasach, co ma przełożenie na wykonanie pracy przewozowej przez dany typ taboru oraz zużycie paliwa. W dokumencie przedstawiono analizę stanu obecnego oraz kierunki rozwoju floty w latach 2021 – 2035. W celu analizy stanu obecnego linii autobusowych uwzględniono przekazane dokumenty, dane liczbowe oraz dane z oficjalnych źródeł internetowych dotyczących komunikacji miejskiej w Wałbrzychu.

Analizie poddano tabor autobusowy, którym dysponuje spółka komunikacyjna obsługująca transport publiczny w Wałbrzychu. W tym kontekście przeanalizowano wiek taboru, normę emisji spalin, jak również wykonaną pracę przewozową i dotychczasowe zużycie paliwa.

Głównym parametrem analitycznym dla linii był wskaźnik czasu przejazdu pomiędzy przystankami WCP. Wskaźnik umożliwia przeprowadzenie segmentacji linii pod kątem zastosowania autobusów zeroemisyjnych i w przypadku autobusów elektrycznych wykorzystania ich możliwości odzyskiwania energii podczas hamowania (rekuperacja). Im krótszy czas przejazdu, tym częstsze hamowanie i większa możliwość odzyskania energii. Z tego względu w dalszych analizach na liniach o niskiej wartości wskaźnika WCP zaproponowano zastosowanie autobusów zeroemisyjnych. Analizie poddano warianty tras o najdłuższej drodze przejazdu.

Kolejno, opisano możliwe kierunki rozwoju floty autobusowej w Wałbrzychu:

- Wariant 0 (bazowy) – zakładający utrzymanie wyłącznie autobusów konwencjonalnych (zakupione autobusy będą z normą emisji EURO 6 i zastępować będą najstarsze autobusy zgodnie z harmonogramem przewidzianym w ustawie o elektromobilności).
- Wariant 1 – zakładający zakup autobusów elektrycznych i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;

<sup>3</sup> Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz.U. 2021 poz. 110)

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Wariant 2 – zakładający zakup autobusów zasilanych wodorem i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- Wariant 3 – zakładający zakup autobusów zasilanych wodorem w liczbie 20 i wymianę taboru zgodnie z aktualnym harmonogram oraz wymianę 36 pojazdów na zasilane CNG w 2023 r. na podstawie podpisanego kontraktu;
- Wariant 4 – zakładający zakup autobusów zasilanych CNG i wymianę taboru zgodnie z aktualnym harmonogram oraz wymianę pozostałych 36 pojazdów na zasilane CNG w 2023 r. na podstawie podpisanego kontraktu.

Analiza finansowa została sporządzona dla całego systemu komunikacyjnego. W analizie finansowo-ekonomicznej uwzględniono zmiany w strukturze kosztów ponoszonych przez operatora w wałbrzyskim systemie komunikacji miejskiej w zależności od kierunków rozwoju floty. W celu przeprowadzenia analizy finansowej zostały przyjęte następujące założenia:

### 1. Przyjęty czas eksploatacji autobusu:

- Konwencjonalnego - 10 lat,
- Elektrycznego – 12 lat,
- Zasilanego CNG – 12 lat,
- Zasilanego wodorem – 12 lat.

W związku z powyższym przeanalizowano 5 scenariuszy finansowych, zgodnie ze wskazanymi wariantami.

### 2. Analiza finansowa została sporządzona na okres 15 lat, od 2021 do 2035 r., z uwzględnieniem okresu eksploatacji autobusów elektrycznych od wdrożenia pierwszych pojazdów w 2022 r. i powiększeniem tej floty w kolejnych latach do roku 2028. Celem analizy finansowej jest porównanie wyników finansowych wariantów, których rozważane okresy powinny być takie same.

### 3. Przyjęto koszt brutto autobusu na poziomie (stan na rok 2020)<sup>4</sup>:

- Konwencjonalnego – 0,98 mln PLN,
- Elektrycznego – 2,41 mln PLN,
- Zasilanego wodorem – 4,19 mln PLN,
- Zasilanego CNG – 1,09 mln PLN.

### 4. Wskaźniki NPV dla wariantów na przestrzeni lat 2021-2035 wynoszą odpowiednio:

- Wariant 0 (wymiana floty na nowe autobusy konwencjonalne): - **21 850 346,31 PLN**,
- Wariant 1 (wymiana floty na tabor elektryczny): - **130 671 521,25 PLN**,
- Wariant 2 (wymiana floty na tabor zasilany wodorem): - **325 193 667,50 PLN**,
- Wariant 3 (wymiana floty na tabor zasilany wodorem i CNG): - **384 843 992,29 PLN**,
- Wariant 4 (wymiana floty na tabor zasilany CNG): - **52 182 052,00 PLN**.

W obliczeniach przyjęto brak dofinansowania inwestycji ze środków zewnętrznych.

<sup>4</sup> Opracowanie własne na podstawie publicznych przetargów w miastach Opole, Nowy Sącz, Suwałki, Warszawa, Bełchatów, Gdynia. W przypadku autobusu zasilanego wodorem na podstawie oferty Solaris z 2021 roku.

# 1. Wstęp

## 1.1. Cel prowadzonych prac

Na podstawie ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych Jednostki Samorządu Terytorialnego o liczbie mieszkańców powyżej 50 000 mają obowiązek sporządzić 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<sup>5</sup>. Pierwszą taką analizę należało sporządzić do dnia 31 grudnia 2018 r. a każdą kolejną co 36 miesięcy. Niniejszy dokument stanowi aktualizację analizy kosztów i korzyści sporządzonej w 2018 roku.

## 1.2. Podstawa realizacji analizy

Poniższy dokument został sporządzony na podstawie umowy zawartej dnia 11 lutego 2021 r. pomiędzy Gminą Wałbrzych, pl. Magistracki 1, 58-300 Wałbrzych – Zarządem Dróg, Komunikacji i Utrzymania Miasta w Wałbrzychu, a firmą Audytel S.A.

## 1.3. Wykaz dokumentów wykorzystanych do analizy

W ramach prac wykonawczych, przeanalizowano następujące dane:

1. Dane obejmujące zestawienie wszystkich dostępnych pojazdów:
  - kategoria pojazdu,
  - własność,
  - wiek,
  - rodzaj paliwa,
  - wielkość silnika,
  - ocena emisji,
  - maks. liczba pasażerów.
2. Przebieg każdego pojazdu w latach 2018-2020.
3. Budżet w zakresie kosztów paliw.
4. Raporty dotyczące zużycia paliwa w latach 2018-2020.
5. Czas pracy pojazdów w ciągu ostatniego roku.
6. Plan zakupu floty transportowej wraz ze specyfikacjami pojazdów.
7. Opis wykonywanych tras i polityka planowania.
8. Dane dotyczące liczby pasażerów.
9. Dane dotyczące liczby zatrudnionych kierowców.
10. Kryteria wymiany floty.
11. Plan sytuacyjny zajezdni.

---

<sup>5</sup> Art. 37, ust. 1 Ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (t.j. Dz.U. 2021 poz. 110. z późn.zm.)

### Dane finansowe

1. Umowy dotyczące porozumień międzygminnych związanych z organizacją publicznego transportu zbiorowego,
2. Dane finansowe dotyczące przychodów za lata 2018-2020 obejmujące:
  - sprzedaży biletów,
  - porozumień międzygminnych,
  - innych źródeł finansowania publicznego transportu zbiorowego.
3. Dane finansowe dotyczące wydatków operatora za lata 2018-2020 obejmujące:
  - koszty osobowe,
  - koszty paliwa,
  - koszty zakupu części zamiennych,
  - koszty ubezpieczenia.

### Dokumenty planistyczne miasta:

1. Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Wałbrzychu i Szczawnie-Zdroju.
2. Plan gospodarki niskoemisyjnej na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r. dla 15 gmin Aglomeracji Wałbrzyskiej.

## 1.4. Metodyka prowadzonych prac

Analiza została sporządzona na podstawie udostępnionych przez Zamawiającego danych oraz ogólnodostępnych dokumentów, zgodnie z wytycznymi znajdującymi się w poniższych dokumentach:

- „Zasady opracowywania kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności – Praktyczny przewodnik dla samorządów” (Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, 2018),
- „Niebieska Księga, Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach” (nowa edycja, Jaspers, 2015),
- „Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014-2020” (Komisja Europejska, 2014),
- Oraz doświadczeń z rynku energii oraz analiz rynku transportu publicznego.

Do analiz wykorzystano dane pozyskane w fazie wstępnej projektu, tj. do 26.02.2021 r.



## 1.5. Podsumowanie

Dokument został sporządzony zgodnie z wymaganiami Ustawy o elektromobilności przez zespół realizatorski Audytel S.A. na zlecenie Miasta Wałbrzych. W celu przygotowania materiału wyjściowego do analiz przeprowadzono spotkania oraz zebrano niezbędne dane od przedstawicieli Zarządu Dróg, Komunikacji i Utrzymania Miasta w Wałbrzychu, Śląskiego Konsorcjum Autobusowego oraz Urzędu Miejskiego w Wałbrzychu. Analiza kosztów i korzyści została sporządzona zgodnie z wymaganiami zawartymi w dokumentach wskazanych jako wytyczne przez organ ustawodawczy.

## 2. Miasto Wałbrzych – analiza otoczenia transportu miejskiego

### 2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych

Rozwój komunikacji miejskiej stanowi jeden z kluczowych elementów zawartych w dokumentach planistycznych i strategicznych na szczeblu krajowym i lokalnym, mających na celu kontrolę emisji zanieczyszczeń i umożliwienie zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich. Przeanalizowano dokumenty mające wpływ na rozwój transportu publicznego:

- Ustawa o elektromobilności,
- Plan Rozwoju Elektromobilności „Energia do przyszłości”,
- Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych,
- Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Wałbrzychu i Szczawnie-Zdroju,
- Plan gospodarki niskoemisyjnej na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r. dla 15 gmin Aglomeracji Wałbrzyskiej.

Powyższe dokumenty nie uległy zmianie od czasu opracowania Analizy kosztów i korzyści z 2018 roku, z wyjątkiem ustawy o elektromobilności. Nowelizacja uwzględnia zmiany wprowadzone ustawą z dnia 19 czerwca 2020 r. o dopłatach do oprocentowania kredytów bankowych udzielanych przedsiębiorcom dotkniętym skutkami COVID-19 i o uproszczonym postępowaniu o zatwierdzenie układu w związku z wystąpieniem COVID-19 oraz zmian wynikających z przepisów ogłoszonych przed dniem 26 listopada 2020 r.

#### 2.1.1. Dokumenty o zasięgu krajowym

##### **Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych**

Oprócz obowiązku sporządzania co trzy lata analizy kosztów i korzyści, podmioty odpowiedzialne za transport publiczny na terenie miasta Wałbrzycha są zobowiązane do przekazywania co roku ministrowi ds. energii informacji o liczbie i udziale procentowym pojazdów elektrycznych lub napędzanych gazem ziemnym w użytkowanej flocie pojazdów.

Regulacja zakłada również możliwość powstawania w miastach stref czystego transportu, po których będą mogły poruszać się pojazdy napędzane paliwami alternatywnymi – energią elektryczną, gazem ziemnym lub wodorem.

##### **Plan Rozwoju Elektromobilności „Energia do przyszłości”**

Celem Planu jest stworzenie warunków dla rozwoju elektromobilności, rozwój przemysłu związanego z powstaniem nowego sektora oraz stabilizacja sieci elektroenergetycznej. Określono w nim korzyści związane z upowszechnieniem stosowania pojazdów elektrycznych w Polsce oraz zidentyfikowano potencjał gospodarczy i przemysłowy tego obszaru.

### **Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych**

Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych to dokument kluczowy dla wsparcia rozwoju rynku i infrastruktury w odniesieniu do energii elektrycznej i gazu ziemnego w postaci CNG i LNG stosowanych w transporcie drogowym.

Realizacja celów Krajowych ram polityki ma pozwolić na rozwój innowacyjnego i ekologicznego transportu na terenie Polski: do 2025 roku powinny zostać wybudowane 32 ogólnodostępne punkty tankowania sprężonego gazu ziemnego (CNG) i 14 punktów tankowania skroplonego gazu ziemnego (LNG) wzdłuż drogowej sieci bazowej TEN-T.

Na koniec 2020 r. w Polsce funkcjonowało łącznie 7 stacji tankowania oferujących LNG: 6 stacji ogólnodostępnych (w tym jedna to stacja LCNG), oraz 1 stacja niepubliczna LCNG należąca do Miejskich Zakładów Autobusowych (MZA) w Warszawie (Ostrobramska). Na koniec roku 2020 CNG funkcjonowało co najmniej 25 ogólnodostępnych stacji tankowania (w tym jedna stacja LCNG) oraz 6 niepublicznych (w tym jedna stacja LCNG)<sup>6</sup>.

### 2.1.2. Dokumenty o zasięgu regionalnym

#### **Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Wałbrzychu i Szczawnie-Zdroju**

Zgodnie z założeniami dokumentu, transport publiczny na obszarze miasta Wałbrzych i Szczawnia-Zdroju ma za zadanie zapewnić dużą dostępność obszarów okolicznych (bez wykluczania obszarów mniej zurbanizowanych), w tym dla osób niepełnosprawnych i o obniżonej sprawności ruchowej. Kwestia poprawy mobilności mieszkańców jest również bardzo istotna, co wiąże się z ułatwieniem dojazdu do pracy i szkół oraz dobrym skomunikowaniem z ośrodkami znajdującymi się poza obszarem miasta. W myśl planu, publiczny transport zbiorowy ma stanowić atrakcyjną alternatywę dla używania prywatnych samochodów w codziennych podróżach związanych z pracą, nauką czy rozrywką.

Zalecane w niniejszym planie kierunki działań promujące transport zbiorowy w stosunku do indywidualnego, wynikające z polityki zrównoważonego rozwoju to:

- wprowadzanie przywilejów w ruchu dla autobusów komunikacji miejskiej w stosunku do pozostałych pojazdów,
- ograniczanie liczby miejsc parkingowych w ścisłym centrum wraz z rozszerzaniem stref płatnego parkowania,
- ograniczenia ruchu pojazdów indywidualnych w ścisłym centrum w postaci: stref ruchu uspokojonego oraz nowych ciągów pieszych na drogach wyłączonych z ruchu pojazdów silnikowych.

Kierunki rozwoju transportu publicznego w Wałbrzychu przedstawione w dokumencie to m.in.:

- dostosowanie infrastruktury przystankowej do potrzeb osób niepełnosprawnych,

<sup>6</sup> <http://lcng.pimot.eu/adresy-stacji-cng-Ing-polska/>

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- kształtowanie dogodnych węzłów przesiadkowych komunikacja miejska – kolej,
- propozycje zmian w taryfie opłat za komunikację miejską Wałbrzycha,
- zwiększenie stopnia wykorzystania kolei w realizacji podróży w regionie,
- zwiększenie funkcjonalności i atrakcyjności systemu biletu elektronicznego,
- przyspieszenie linii komunikacji miejskiej.

Obecnie trwają prace nad aktualizacją Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Wałbrzychu.

### **Plan gospodarki niskoemisyjnej na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r. dla Gminy Wałbrzych z uwzględnieniem zapisów części wspólnej Planu dla Aglomeracji Wałbrzyskiej**

Plan gospodarki niskoemisyjnej jest dokumentem strategicznym wyznaczającym główne cele i kierunki działań w zakresie poprawy efektywności energetycznej, ochrony powietrza, ograniczenia emisji zanieczyszczeń, w tym także gazów cieplarnianych. Ma na celu poprawę standardów jakości powietrza w perspektywie lat 2015-2030.

Zakres planu odnosi się do działań jakie należy podjąć w sektorze budownictwa publicznego, mieszkalnictwa indywidualnego, zaopatrzenia w ciepło i energię, a także transportu prywatnego i publicznego. Priorytetowymi celami dokumentu jest ograniczenie emisji substancji zanieczyszczających powietrze oraz emisji dwutlenku węgla. Zaproponowane w dokumencie działania powinny przynosić efekt ekologiczny w postaci ograniczenia emisji substancji do powietrza oraz redukcji zużycia energii.

Stan jakości powietrza należy do jednego z najbardziej istotnych zagadnień planu, na którym w głównej mierze opiera się cały dokument. W Planie gospodarki niskoemisyjnej skupiono się również m.in. na opisie strategicznych działań kierunkowych zmierzających do przywrócenia standardów jakości powietrza. Cele strategiczne uwzględniają zapisy określone w pakiecie klimatyczno-energetycznym do roku 2020, tj.:

- redukcję emisji gazów cieplarnianych,
- zwiększenie udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych,
- ograniczenie zużycia energii, co ma zostać zrealizowane poprzez zwiększenie efektywności energetycznej.

## 2.2. Podsumowanie

Głównym założeniem dla rozwoju komunikacji miejskiej w mieście jest prowadzona wielopłaszczyznowo polityka zrównoważonego rozwoju zawarta w planie transportowym. W dokumencie „Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Wałbrzychu i Szczawnie-Zdroju” przedstawione zostały działania służące podniesieniu atrakcyjności komunikacji miejskiej oraz usprawnieniu jej funkcjonowania, m. in.: systemowe uporządkowanie rynku przewozów pasażerskich w Wałbrzychu i Szczawnie-Zdroju, przyspieszenie linii komunikacji miejskiej, zwiększenie funkcjonalności i atrakcyjności systemu biletu elektronicznego. Według Planu gospodarki niskoemisyjnej nadrzędnym celem rozwoju transportu miejskiego jest ograniczenie szkodliwych emisji zanieczyszczeń. Wynikiem tych działań będzie skuteczna poprawa jakości powietrza w mieście.

## 3. Przegląd technologii i eksploatacji pojazdów alternatywnych w transporcie publicznym

### 3.1. Pojazdy elektryczne

#### 3.1.1. Opis technologii

Obecnie najszybciej zyskującą popularność alternatywą dla konwencjonalnych paliw w transporcie jest napęd elektryczny. Dzieje się tak dzięki stosownym regulacjom oraz licznym dofinansowaniom i wsparciom z NFOŚiGW. W rozwój i popularyzację autobusów elektrycznych zaangażowani są wszyscy wiodący producenci pojazdów komunikacji zbiorowej, stale poszerzając swoją ofertę. Wzrost popularności autobusów elektrycznych, pomimo ich wyższej ceny w stosunku do autobusów z silnikami spalinowymi, związany jest przede wszystkim z możliwością otrzymania na dofinansowania oraz niższymi kosztami paliwa. Napęd elektryczny charakteryzuje się zerową lokalną emisją gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń, a równocześnie jego użytkowaniu towarzyszy zdecydowanie niższy poziom hałasu.

#### **Budowa i zasada działania bateryjnych autobusów elektrycznych**

Bateryjne autobusy elektryczne napędzane są za pomocą asynchronicznego centralnego silnika trakcyjnego o mocy do 300 kW<sup>7</sup> zasilanego energią elektryczną, magazynowaną w bateriach akumulatorów. Autobusy elektryczne wyposażone są dodatkowo w funkcję hamowania elektrodynamicznego z odzyskiem energii elektrycznej tzw. rekuperację energii. Podczas hamowania silniki elektryczne działają jak prądnice, a wytworzony przez nie prąd elektryczny wykorzystywany jest do ładowania akumulatorów, zwiększając zasięg i poprawiając efektywność energetyczną pojazdu. W odróżnieniu do pojazdów z napędem spalinowym, do hamowania wykorzystuje się silnik, co pozwala odzyskać część energii oraz ograniczyć zużycie klocków hamulcowych. Prędkość pojazdu nie gra tutaj tak znaczącej roli jak tryb jazdy i samego hamowania. Rekuperacja przy spokojnej jeździe, daje najlepsze efekty i pozwala odzyskać najwięcej energii. Hamowanie w takim wypadku powinno odbywać się płynnie i kilkustopniowo. Dzięki powyższym właściwościom autobusów elektrycznych sugeruje się wykorzystywanie ich na liniach o gęstym rozmieszczeniu infrastruktury przystankowej na trasie przejazdu. Wpłyne to na odzyskanie jak największej części energii, która w przypadku autobusów o napędzie konwencjonalnym byłaby bezpowrotnie tracona.

Rynek autobusów elektrycznych ciągle się rozwija. Producenci oferują coraz to nowsze możliwości dodatkowego wyposażenia w innowacyjną technologię w branży transportowej, np. firma Konvekta zaproponowała rozwiązanie, w którym dzięki energooszczędnej pompie ciepła, która przejmuje funkcję ogrzewania przedziału pasażerskiego, zmniejsza zapotrzebowanie na energię związane z ogrzewaniem nawet o 55%<sup>8</sup> względem ogrzewania elektrycznego. Rozwiązanie to zostało

<sup>7</sup> ZERO EMISSIONS POWERTRAINS Product catalogue 2020/2021, Solaris

<sup>8</sup> <https://www.sustainable-bus.com/parts/konvekta-co2-heat-pump-electric-bus/>

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

zastosowane w pojazdach marki Solaris w Norymberdze. Autobusy elektryczne wyposażone są w akumulatory niklowo-manganowo-kobaltowe (NMC) lub tytanowe (LTO) o dostępnej pojemności do 470 kWh<sup>9</sup>, co pozwala na przejechanie od 200 do 250 km. Akumulatory tytanowe posiadają mniejszą pojemność, lecz mogą być ładowane znacznie szybciej nawet prądami rzędu 10C oraz posiadają znacznie dłuższy szacowany czas eksploatacji do 15 000<sup>10</sup> tysięcy cykli ładowania i rozładowania.

### Zasięg autobusów elektrycznych

Na zasięg autobusu elektrycznego wpływa szereg czynników, począwszy od pojemności baterii, przez warunki eksploatacji, a także czynniki atmosferyczne, czy natężenie ruchu. Wpływa to na zużycie energii w zakresie od 1,0 do 2,5 kWh/km<sup>11</sup>. Większość producentów autobusów podaje średnie zużycie w zakresie od 1,0 kWh/km do 1,4 kWh/km<sup>12</sup> dla autobusów 12 metrowych (o masie około 18 ton) oraz do 1,8 kWh/km<sup>13</sup> dla autobusów 18 metrowych (o masie około 28 ton). Bardzo energochłonne w autobusach elektrycznych są ogrzewanie i klimatyzacja. Dodatkowo, akumulatory wymagają odpowiedniego środowiska pracy, dlatego stosuje się w nich system podgrzewania oraz chłodzenia baterii, który jest zasilany przez samą baterię lub przez ładowarkę. Przekłada się to na obniżony zasięg jazdy przy jednym ładowaniu. Zasięg autobusu elektrycznego wynosi obecnie ok. 200 – 250 km. W autobusach o większym zasięgu stosuje się baterie akumulatorów o większej pojemności, zaś w autobusach ładowanych w trakcie wykonywanych dziennych zadań przewozowych, autobus ładowany jest za pomocą złącza plug-in lub za pomocą pantografu. Stosuje się wówczas tańsze i lżejsze baterie o mniejszej pojemności. Wiąże się to jednak z koniecznością zakupu energii w godzinach szczytu oraz z koniecznością budowy dedykowanej infrastruktury ładowania.

### Podział autobusów elektrycznych

Poza klasycznym wydzieleniem klas mini, midi i maxi autobusy elektryczne w głównej mierze można podzielić ze względu na rodzaj zastosowanego napędu. Głównymi stosowanymi rozwiązaniami są:

- silnik umieszczony centralnie w pojeździe, napędzający koła jednej osi poprzez wał napędowy i most portalowy,
- silniki umieszczone w osi pojazdu.

Zamontowanie silników w osi pojazdu zajmuje najmniej miejsca, co przekłada się na większą pojemność pojazdu oraz więcej powierzchni dostępnej dla osób z ograniczoną sprawnością ruchową.

<sup>9</sup> Solaris Urbino 15 LE electric, Technical details

<sup>10</sup> <https://icpt.pl/rodzina-modulowych-baterii-litowych-w-technologii-lto-z-systemem-zarzadzania-termicznego-do-pracy-w-systemach-autobusowych-szybkiego-ladowania/>

<sup>11</sup> „Autobus elektryczny z punktu widzenia sprzedaży”, Solaris

<sup>12</sup> E-mobilność w komunikacji publicznej. Doświadczenia i kierunki rozwoju. Solaris

<sup>13</sup> Evaluation of Electric Buses for Eje 8 Sur, 4.05.2015 r.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Dodatkowo autobusy można podzielić wg. rodzaju baterii akumulatorowych w nich zastosowanych. Wśród nich można wyróżnić akumulatory litowo-jonowe zawierające:

- glin (oznaczenie NCA),
- tytan (LTO),
- kobalt (LCO),
- mangan (LMO),
- mangan i kobalt (LMC),
- nikiel, mangan i kobalt (NMC),
- żelazo i fosfor (LFP).

Wykorzystanie różnych rodzajów materiałów pozwala optymalizować parametry akumulatorów do rozmaitych zastosowań. Ponadto wpływają one na kryteria uwzględniane w trakcie doboru technologii bateryjnych. Należą do nich zagadnienia takie jak bezpieczeństwo, trwałość, wydajność, zdolność do magazynowania i oddawania energii oraz czas ładowania. Najczęściej wykorzystywane w rozwiązaniach o wysokiej gęstości energii są akumulatory NMC, a w rozwiązaniach o wysokiej gęstości mocy akumulatory LTO.

Dodatkowo wśród autobusów elektrycznych można wyróżnić te, przyporządkowane odpowiednim producentom. Do największych z nich należą:

- Solaris Bus & Coach S.A.,
- Mercedes,
- BYD/ADL,
- VDL Bus & Coach,
- Volvo,
- URSUS,
- MAN,
- Autosan,
- Scania.

Obecnie autobusy elektryczne w Polsce produkują Solaris Bus & Coach S.A., Scania, Ursus i Volvo.

### 3.1.2. Zasilanie

Autobusy zasilane energią elektryczną dzielą się na te wykorzystujące energię elektryczną zmagazynowaną w bateriach akumulatorowych oraz na te, które pobierają ją z zewnątrz z sieci trakcyjnej za pomocą pantografu (trolejbusy). Trolejbusy charakteryzują się małą elastycznością stosowania ze względu na ograniczoną dostępność do sieci trakcyjnej na miejskich trasach przejazdu. To wpływa na brak rozwoju tej technologii i nieznaczne wykorzystanie tychże pojazdów w Polsce – system transportu trolejbusowego funkcjonuje tylko w Tychach, Lublinie oraz Gdyni i Sopocie. W przeciwieństwie do trolejbusów, bateryjne autobusy elektryczne znajdują coraz większe zastosowanie w wykonywaniu zadań komunikacji miejskiej. Zasięg pojazdu jest w głównej mierze uzależniony od pojemności baterii. Obecnie dostępne technologie akumulatorów umożliwiają osiągnięcie zasięgu elektrobusu na poziomie maksymalnie do 300 km. Odległość ta w niektórych przypadkach może nie być wystarczająca do przejazdu na całodziennych liniach komunikacji miejskiej. Konieczne jest więc doładowywanie baterii w ciągu zmiany roboczej,



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

np. na przystankach bądź na pętli autobusowej. Dodatkową wadą takiego rozwiązania jest wielkość baterii, która zmniejsza pojemność pasażerską pojazdu. Do obsługi zadań całodziennych konieczne jest wykorzystanie możliwości doładowywania baterii na przystankach końcowych, ewentualnie na wybranych przystankach na trasie przejazdu. Dzięki doładowywaniu baterii możliwe jest ograniczenie jej pojemności nawet o 20%, co przekłada się na zwiększenie pojemności pasażerskiej pojazdu. Ładowanie autobusu elektrycznego za pomocą szybkiego ładowania wymaga jednak wyłączenia pojazdu z ruchu na okres około 10 min. Skutkuje to koniecznością uwzględnienia czasu ładowania w rozkładzie jazdy i odpowiedniego wydłużenia postoju na pętlach końcowych lub przystankach pośrednich.

### Technologie ładowania elektrobusów

Najważniejszym elementem związanym z wprowadzeniem do komunikacji miejskiej autobusów elektrycznych jest zapewnienie odpowiedniej infrastruktury umożliwiającej ładowanie różnych typów autobusów za pomocą tej samej infrastruktury. Istotna jest zatem kompatybilność systemu: autobusów elektrycznych i pasujących do niego zewnętrznych, zamontowanych na stałe ładowarek. Obecnie stosowane są trzy główne sposoby ładowania akumulatorów oraz ich kombinacje:

- plug-in,
- ładowane z pętli indukcyjnych,
- ładowanie akumulatorów za pomocą rozkładanego pantografu.

W celu wybrania najlepszej metody ładowania możliwej do wprowadzenia do eksploatacji autobusów elektrycznych konieczne jest przeanalizowanie rozwiązań pod kilkoma względami:

- kosztów inwestycji infrastrukturalnych,
- koszt zakupu autobusu,
- możliwości techniczne doładowania autobusu na trasie i w czasie postoju na pętli,
- czas ładowania autobusu.

### Ładowarki typu Plug – in

Pierwszą z omawianych metod jest ładowanie typu plug-in. Do zasilania wykorzystywane są zewnętrzne ładowarki. Jest to najtańsze z rozwiązań stosowanych w pojazdach elektrycznych. Autobus ładowany jest za pomocą gniazda elektrycznego podobnego do tych wykorzystywanych powszechnie w gospodarstwach domowych. Rozmieszczenie stacji ładowania zależne jest od dostępnej infrastruktury oraz potrzeb autobusu. Najczęściej wykorzystywane są poza trasą w zajezdniach autobusowych, skąd ich częste określenie „zajezdniowe”. Moce tych ładowarek zawierają się w przedziale od kilkunastu do nawet 450 kW. Tego typu ładowanie realizowane jest jednak w praktyce z mocą nie większą niż 150 kW. W zależności od mocy ładowarki oraz pojemności baterii autobusowej czas ładowania może wynosić od niecałej godziny do 10 godzin.

**Rysunek 1. Punkty ładowania Plug-in autobusów.**



Źródło: <https://www.sustainable-bus.com/parts/ekoenergetyka-won-its-first-contract-in-denmark-for-e-bus-depot-chargers-in-aarhus/>

### **Ładowarki indukcyjne**

Ładowanie indukcyjne polega na bezkontaktowym pobieraniu energii z ładowarek znajdujących się w obrębie infrastruktury przystankowej pod jezdnią. Konstrukcyjnie realizuje się to przez montaż pod podwoziem autobusu małych akumulatorów. W celu kontynuowania jazdy należy ładować pojazd przez kilka minut. Główną zaletą tego systemu jest fakt, że cała infrastruktura jest niewidoczna i nie ingeruje w plan zagospodarowania przestrzeni miejskiej. System ten ma sporą ilość ograniczeń. Należą do nich między innymi: konieczność bardzo wysokiej precyzji przy parkowaniu autobusu przed rozpoczęciem ładowania oraz niska sprawność przesyłu energii. Istotną przeszkodą w powszechnym stosowaniu ładowarek indukcyjnych jest ich wysoka cena. W warunkach polskich, wobec ograniczeń zarówno klimatycznych jak i budżetowych, technologia ładowania indukcyjnego byłaby trudna do wdrożenia. Moce ładowarek indukcyjnych osiągają około 400 kW<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> [https://www.greencarreports.com/news/1125436\\_the-most-powerful-dc-charging-station-in-europe-for-cars-can-deliver-400-kw](https://www.greencarreports.com/news/1125436_the-most-powerful-dc-charging-station-in-europe-for-cars-can-deliver-400-kw)

**Rysunek 2. Przystanek z zainstalowanym stanowiskiem ładowania indukcyjnego.**



Źródło: <https://www.electrive.com/2018/04/19/inductive-200-kw-charging-system-for-buses-ready/>

### Ładowarki pantografowe

Ładowanie pantografowe zakłada wykorzystanie bezobsługowego systemu kontaktowego ładowania. Umieszczona na dachu wielostykowa głowica łączy dachowego automatycznie podłącza się do nośnika energii poprzez elektrycznie sterowane ramię oraz platformę zasilającą zawieszoną na dowolnym elemencie konstrukcyjnym. Krótkie doładowanie baterii za pomocą tej technologii, np. na pętli lub na przystanku, pozwala ruszyć w dalszą trasę. Dzięki takiemu rozwiązaniu kierowca, tak jak w przypadku ładowania indukcyjnego, nie musi opuszczać stanowiska pracy. Wymiary platformy zasilającej, pod którą kierowca musi zaparkować autobus dobierane są w taki sposób, aby zapewnić pełen zakres tolerancji zatrzymania pojazdu. Po dociśnięciu odpowiednio wyprofilowanych szyn stykowych platformy zasilającej, głowica złącza dachowego zostaje unieruchomiona, co powoduje pewny styk podczas przepływu prądu o dużym natężeniu. Czas całkowitego ładowania ładowarką pantografową nie powinien przekraczać 10 minut w zależności od napięcia. Ich moce osiągają nawet do 750 kW<sup>15</sup>, jednak często stosowane w komunikacji miejskiej urządzenia mają moc 200 kW w przypadku ładowarki jedno stanowiskowej lub dla ładowarki dwustanowiskowej łączna moc wynosi 400kW np. w Kutnie i Warszawie<sup>16,17</sup>.

<sup>15</sup> Dobrzycki A., Filipiak M., Jajczyk J., Zasilanie układów ładowania akumulatorów autobusów elektrycznych, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering 92 (2017), 25-35

<sup>16</sup> <https://www.mza.waw.pl/spolka-mza/przetargi-zakupy-i-sprzedaz/wg-prawa-zamowien-publicznych/906-dostawa-montaz-i-uruchomienie-stacji-ladowania-autobusow-elektrycznych-na-terenie-oddzialow-przewozow-13-nn-wm-19>

<sup>17</sup> <https://biznesalert.pl/ekoenergetyka-warszawa-elektromobilnosc-ladowarki-warszawa/>



**Rysunek 3. Ładowarka pantografowa przy ul. Spartańskiej w Warszawie**



Źródło: [https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:%C5%81adowarka\\_pantografowa,\\_autobus\\_222,\\_ul.\\_Sparta%C5%84ska\\_w\\_Warszawie\\_2020.jpg](https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:%C5%81adowarka_pantografowa,_autobus_222,_ul._Sparta%C5%84ska_w_Warszawie_2020.jpg), autor: Adrian Grycuk.

### Koszt zakupu autobusu

Najtańszym z rozwiązań jest autobus elektryczny zasilany poprzez złącze plug-in. Autobus wykorzystujący zasilanie za pomocą pantografu ze względu na wykorzystanie bardziej złożonego złącza jest rozwiązaniem droższym. Z uwagi na wymagania techniczne dotyczące bezpieczeństwa konieczne jest zastosowanie technologii wykorzystującej odpowiednie zabezpieczenia. Najdroższe są natomiast autobusy ładowane indukcyjnie. Akumulatory umieszczone są pod podwoziem, co obniża środek ciężkości autobusu i nie obciąża konstrukcji tak, jak robią to np. butle CNG czy elementy ogniw paliwowych, montowane zazwyczaj na dachu pojazdu. Jednak takie umieszczenie i skompresowanie akumulatorów wiąże się z wysokim kosztem produkcji pojazdu.

Z danych z przetargów z polskich miast (m. in. Gdynia, Gorzów Wielkopolski, Katowice czy Warszawa) można wnioskować, że koszt zakupu 18-metrowego autobusu elektrycznego to ok. 3 mln PLN brutto<sup>18</sup>, natomiast cena 12-metrowego w zależności od ilości zamówionych pojazdów i wyposażenia mieści się w przedziale od 1,95 do 3 mln PLN brutto<sup>19 20 21</sup>.

<sup>18</sup> <https://www.mza.waw.pl/spolka-mza/przetargi-zakupy-i-sprzedaz/wg-prawa-zamowien-publicznych/784-dostawa-130-autobusow-elektrycznych-66-nt-wm-18#>

<sup>19</sup> <http://lidzbarkw-um.bip-wm.pl/public/?id=166499>

<sup>20</sup> <https://platformazakupowa.pl/transakcja/219678>

<sup>21</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/pka-gdynia-z-trzema-ofertami-na-dostawy-24-elektrobusow-67163.html>

### **Koszt inwestycji w infrastrukturę**

Najkosztowniejszym rozwiązaniem jest obecnie zasilanie indukcyjne. Wymaga ono przystosowania przystanków do nowych rozwiązań, co wiąże się z dużym kosztem. Autobusy ładowane indukcyjnie wyposażone są w stosunkowo małe akumulatory. Pozwala to na krótkie doładowywanie, ale niesie za sobą konieczność stworzenia wielu punktów ładowania. Drugim rozwiązaniem pod względem kosztów jest zasilanie pantografowe. Do wykorzystania sieci pantografowej konieczne jest zastosowanie zewnętrznych ładowarek. Przeniesienie napięcia z linii do ładowarek może być połączone z utworzeniem stacji ładowania samochodów osobowych, co z kolei może znacznie podnieść innowacyjność miasta. Najtańszym rozwiązaniem jest ładowanie autobusu za pomocą wtyczek plug-in. Nie wymaga ono znaczących zmian w infrastrukturze istniejących linii. Ładowarki można rozlokować w zajezdniach i na pętłach. Możliwe jest ich wykorzystywanie do wielu pojazdów elektrycznych, także osobowych. Dodatkowo, możliwe jest rozmieszczenie stacji ładowania z uwzględnieniem istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej. Istnieje wiele typów ładowarek stosowanych w takim rozwiązaniu. Możliwy jest wybór tańszych, ale wolniej ładujących jednostek lub tzw. ładowarek szybkich, co jednak wiąże się z relatywnie wyższym kosztem.

### **Eksploatacja**

Istotnym parametrem jest możliwość ładowania autobusu w czasie pracy w ciągu dnia. Poza ładowaniem w nocy w zajezdni istnieją dwie metody uzupełniania akumulatorów baterii w ciągu eksploatacji. Istnieje możliwość doładowywania baterii na przystankach oraz na pętłach. Pierwsza z opcji zakłada szybkie ładowanie w czasie wymiany pasażerów. Trwa to, w zależności od natężenia ruchu, do 10 minut. Druga opcja zakłada doładowanie akumulatorów podczas postoju na pętli. W tym przypadku autobus może być ładowany przez ok. 10 - 30 min. Ładowanie indukcyjne wykorzystywane jest w metodzie pierwszej, a więc przy nieznacznym doładowywaniu na przystankach dostosowanych do tego trybu. Ładowanie za pomocą stacji ładowania plug-in wymaga obsługi, co oznacza konieczność opuszczenia pojazdu przez kierowcę. Ładowanie to, ze względów bezpieczeństwa, możliwe jest tylko w przypadku ładowania na pętli bądź zajezdni. Zasilanie akumulatorów z sieci pantografowej możliwe jest zarówno na poszczególnych przystankach (ładowanie krótkie) jak i na pętli (ładowanie dłuższe).

### **Czas ładowania akumulatorów**

Czas ładowania akumulatorów jest zależny przede wszystkim od rodzaju akumulatorów i ładowarki. Istotnym elementem w eksploatacji autobusów elektrycznych jest czas potrzebny do pełnego naładowania akumulatorów. Na podstawie wcześniej zamieszczonych informacji można stwierdzić, że najwięcej czasu potrzebują stacjonarne zajezdniowe ładowarki, których czas ładowania może osiągać do 10 godzin. Inaczej ma się sprawa w przypadku ładowarek miejskich (wykorzystywanych na pętłach lub niektórych przystankach). Tu przede wszystkim istotny jest krótki czas ładowania, który nie powinien przekraczać 10 minut. Z punktu widzenia eksploatacji autobusu miejskiego najkorzystniejszym rozwiązaniem jest instalacja ładowarki wolnego ładowania na zajezdni – służącej do ładowania akumulatorów w nocy, gdy autobusy nie są wykorzystywane oraz ładowarki pantografowej znajdującej się na trasie przejazdu autobusu elektrycznego, pozwalającej na uzupełnienie energii w trakcie dziennej eksploatacji.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W Tabeli 1 przedstawiono porównanie kilku wybranych systemów szybkiego ładowania autobusów elektrycznych w zależności od mocy ładowarki, czasu ładowania oraz zasięgu jaki dodatkowo mógłby pokonać pojazd po doładowaniu.

**Tabela 1. Porównanie parametrów stacji szybkiego ładowania elektrobusów.**

| Typ ładowarki | Moc [kW] | Czas ładowania [min] | Zasięg [km] |
|---------------|----------|----------------------|-------------|
| Pantografowo  | 180      | 10                   | 20          |
|               | 200      | 10                   | 23          |
|               | 250      | 7                    | 19          |
| Indukcyjnie   | 200      | 10                   | 23          |

Źródło: Opracowanie własne

Dane przedstawione w powyższej tabeli pokazują, że nawet kilkuminutowe doładowanie pojazdu elektrycznego może znacznie zwiększyć jego zasięg.

W tabeli niżej przedstawiono przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in w zależności od mocy ładowania, czasu ładowania oraz zasięgu jaki dodatkowo mógłby pokonać pojazd po doładowaniu.

**Tabela 2. Przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in.**

| Moc [kW] | Czas ładowania [h] | Zasięg [km] |
|----------|--------------------|-------------|
| 22       | 10                 | 140         |
| 36       | 8                  | 172         |
| 44       | 6                  | 143         |
| 88       | 3                  | 143         |
| 120      | 2                  | 145         |
| 200      | 1                  | 100         |

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie danych zawartych w powyższej tabeli widać, że moc ładowarki typu plug-in w istotny sposób wpływa na czas ładowania autobusu elektrycznego. Należy jednak pamiętać, że wraz ze wzrostem mocy ładowarki, zwiększa się także jej koszt.

### Wykorzystanie elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej

Przyłączenie punktów ładowania - wykorzystujących ładowarki plug-in, pantografowe i indukcyjne, do sieci dystrybucyjnej odbywa się w taki sam sposób jak przyłączenie punktów poboru energii o dużej mocy. W takim wypadku instalacja przyłącza energetycznego powinna być dostosowana do wymaganej mocy ładowarek. Przyłączenie stacji ładowania autobusów elektrycznych do sieci musi spełniać wymagania norm i przepisów m.in. w zakresie bezpieczeństwa użytkownika, parametrów jakościowych, w tym dotyczących niewprowadzania zaburzeń do sieci elektroenergetycznych. Każdy punkt ładowania musi być wyposażony w odpowiedni układ pomiarowo-rozliczeniowy. Istotne jest także zapewnienie odpowiedniego miejsca na zainstalowanie tego układu wraz z niezbędnymi zabezpieczeniami. Miejsce to może być zlokalizowane

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

np. w samym punkcie ładowania, osobnym nowym przyłączy wybudowanym przez Operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) lub istniejącym przyłączy po jego modernizacji przez OSD. Uzależnione jest to m.in. od usytuowania punktu ładowania, uwarunkowań technicznych sieci, uwarunkowań przestrzennych itp.<sup>22</sup> W przypadku, gdy zostanie podjęta decyzja o powstaniu nowego przyłącza, miejsce jego usytuowania jest uzgadniane przez OSD z inwestorem. Dzięki temu zapewnia się optymalne umiejscowienie przyłącza.

W przypadku przyłączania do sieci elektroenergetycznych punktów szybkiego ładowania lub zespołu stacji ładowania, wymagających większej mocy przyłączeniowej, możliwe jest również przyłączenie do sieci średniego napięcia poprzez stację transformatorową należącą do inwestora.

### 3.2. Pojazdy zasilane wodorem

#### 3.2.1. Opis technologii

Wodór jest uznawany za paliwo przyszłości ze względu na fakt, że posiada szczególne właściwości. Jako paliwo alternatywne wyróżnia się najwyższą gęstością masową energii. Reakcja chemiczna wodoru z tlenem prowadzi do uwolnienia znaczącej ilości energii możliwej do przetworzenia na energię elektryczną w ogniach paliwowych. Produktem takiej reakcji jest woda, dzięki czemu procesy te uznawane są za zeroemisyjne.

Wodór nie występuje w stanie wolnym w przyrodzie, jednak jest obecny w wielu związkach chemicznych, co umożliwia jego wytwarzanie za pomocą różnych metod, do głównych z nich należą:

- Elektroliza wody,
- Reforming gazu ziemnego,
- Gazyfikacja węgla bądź koksu,
- Fotoelektroliza.

Istotnym zagadnieniem w przypadku wodoru jest jego magazynowanie. Najczęściej stosowane metody to zbiorniki ciśnieniowe, w których paliwo przechowywane jest w stanie gazowym pod ciśnieniem 700 bar, oraz zbiorniki kriogeniczne, w których wodór magazynuje się w postaci ciekłej<sup>23</sup>.

Technologia ogni paliwowych, stosowana w pojazdach zasilanych wodorem, jest ciągle na etapie rozwoju. Budzi ogromne zainteresowanie ze względu na osiągnięte znacznie wyższe sprawności przetwarzania energii w stosunku do silników konwencjonalnych, a także ze względu na fakt, że w procesie spalania powstaje czysta woda. Pojazdy wodorowe jako pozbawione silników spalinowych, uważane są za najczystszy ekologicznie silnikowy środek transportu, gdyż charakteryzuje się

---

<sup>22</sup> Źródło: „Dobre praktyki Operatorów Systemów Dystrybucyjnych. Informacje dla inwestorów zainteresowanych przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej punktów ładowania samochodów elektrycznych” PTPIREE

<sup>23</sup> Fundamentalne problemy rozwoju energetyki wodorowej, J. Molenda, K. Świerczek, 2017.



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

zerową lokalną emisją z układu napędowego (dwutlenek węgla, tlenki azotu, pyły zawieszone PM), a równocześnie jego użytkowaniu towarzyszy zdecydowanie niższy poziom hałasu.

### **Budowa i zasada działania autobusów wodorowych**

Autobusy wodorowe to pojazdy zasilane energią elektryczną pochodzącą z reakcji zachodzącej w ogniwie paliwowym zasilanym wodorem. W pojeździe energia zmagazynowana jest pod postacią gazowego wodoru sprężonego do ciśnienia 350 bar oraz w akumulatorach. Ogniwo paliwowe spalając wodór na bieżąco produkuje energię elektryczną zasilając silniki trakcyjne o łącznej mocy 200-250 kW oraz nadwyżką mocy ładuje akumulatory. Akumulatory służą jako wsparcie ogniwa paliwowego przy gwałtownym wzroście poboru prądu przez silniki (np. podczas przyspieszania i pokonywania wzniesień) oraz jako magazyn energii pochodzącej z rekuperacji energii podczas hamowania. W odróżnieniu do pojazdów z napędem spalinowym, hamowanie rekuperacyjne pozwala zwiększyć zasięg pojazdu, a także wydłużyć żywotność układu hamulcowego i ograniczyć pochodzącą z niego emisję. Rekuperacja przy spokojnej jeździe, daje najlepsze efekty i pozwala odzyskać najwięcej energii. Hamowanie w takim wypadku powinno odbywać się płynnie i kilkustopniowo. Przy takich właściwościach autobusów wodorowych pożądane jest wykorzystanie ich na liniach o gęstym rozmieszczeniu infrastruktury przystankowej na trasie przejazdu. Wpływie to na zwiększenie częstotliwości zatrzymań, a w efekcie dodatkowego odzysku energii i podładowania baterii, która w zwykłym pojeździe spalinowym tracona byłaby w postaci ciepła.

### **3.2.2. Zasilanie – stacje tankowania**

Tankowanie pojazdów wodorowych odbywa się na specjalnych stacjach wyposażonych w dystrybutor wodoru w postaci lotnej. Na terenie Polski obecnie nie znajduje się żadna stacja tankowania wodoru, a otwarcie pierwszej planowane jest na rok 2021. Ze względu, że technologia ta nie jest dojrzała, a skala rozpowszechnienia nie jest duża, wysokie koszty budowy stacji z czasem będą maleć. Dodatkową zaletą wodoru jako paliwa jest możliwość energetycznego uniezależnienia się od surowców kopalnych.

Należy wyróżnić przeznaczenia stacji na publiczne (ogólnodostępne) oraz flotowe (wykorzystywane przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej i firmy transportowe). Większe możliwości stwarzają stacje użytkowane przez przewoźników oraz otwarte dla wszystkich kierowców. Stacje firm transportowych mogą być też udostępnione innym kierowcom na określonych warunkach, natomiast stacje publiczne są często zintegrowane ze stacjami paliw konwencjonalnych i tankowanie odbywa się wówczas w analogiczny sposób do tankowania benzyny i oleju napędowego. Stacje tankowania wodoru w przeciwieństwie do technologii uzupełnienia energii elektrycznej są łatwo skalowalne, poprzez zwiększanie pojemności zbiorników oraz wydatku maksymalnego sprężarek.

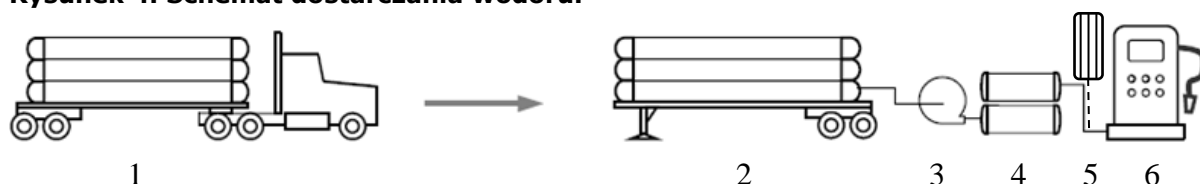
Najpopularniejszym rozwiązaniem jest dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych (oznaczenia na Rysunek 4: 1,2) o łącznej pojemności do 280 kg H<sub>2</sub> pod ciśnieniem do ponad 21 MPa lub zbiornikach o pojemności o 50 l pod ciśnieniem do 30 MPa w temperaturze 20°C. Tak dostarczony gaz musi zostać sprężony przy użyciu sprężarki (3) do ciśnienia 70 MPa. Wodór pod taką postacią przechowywany jest w zbiorniku buforowym (4), z którego po przejściu



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

przez instalacje wstępnego chłodzenia (5) trafia do dystrybutora (6)<sup>24</sup>. Konieczne jest zachowanie odstępów bezpieczeństwa pomiędzy komponentami, wynoszącą około 3-5 m.

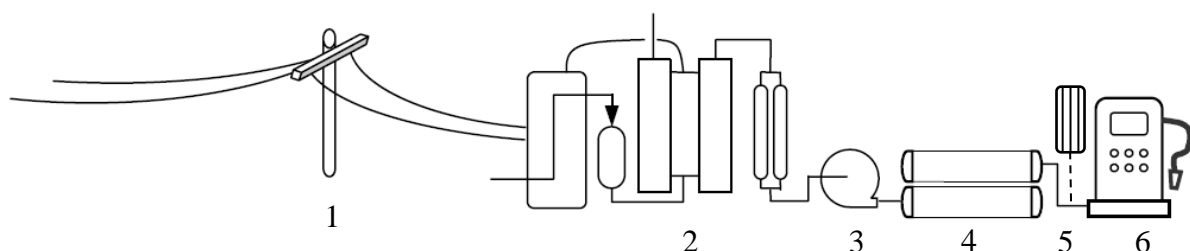
**Rysunek 4. Schemat dostarczania wodoru.**



Źródło: Projekt rozporządzenia w sprawie procedur projektowania, budowy, oddawania do eksploatacji i kontroli stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem.

Drugą metodą zapewnienia wodoru na stacji jest bieżąca produkcja w instalacji (2) przy stacji tankowania. Wodór uzyskiwany jest z wody w procesie elektrolizy w instalacji zasilanej z sieci elektroenergetycznej (1). Otrzymany gaz sprężany jest przy użyciu sprężarki (3) do ciśnienia 70 MPa, analogicznie jak w przypadku dostarczania wodoru w zbiornikach. Jest to alternatywne rozwiązanie, które może być wprowadzane w przypadkach, gdy pojawiają się problemy związane z logistyką i kosztem dostaw wodoru. Ponadto charakteryzuje się wyższymi kosztami inwestycyjnymi ze względu na konieczność zakupu elektrolizera, dlatego też zalecane jest w miejscach, gdzie można spodziewać się zwiększonego popytu na H<sub>2</sub>.

**Rysunek 5. Schemat wytwarzania wodoru na stacji tankowania**



Źródło: Projekt rozporządzenia w sprawie procedur projektowania, budowy, oddawania do eksploatacji i kontroli stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem.

### Koszt zakupu autobusu

Do najbardziej znanych światowych producentów autobusów zasilanych wodorem należą takie firmy jak Alexander Dennis, CaetanoBus, EvoBus, Rampini, Safra, UrsusBus, VanHool, VDL BUS & COACH oraz WrightBus.

Jednym z producentów miejskich autobusów wodorowych jest polska firma Solaris, która jest jednym z liderów elektromoblności w Europie. Autobusy wodorowe Solaris Urbino 12 hydrogen podbijają rynek europejski i zasilają tabor autobusowy m.in. w Holandii. Cena zakupu pojazdu napędzanego wodorem o długości 12 metrów z pełnym wyposażeniem takim jak klimatyzacja, system informacji pasażerskiej czy monitoring, wynosi 3,4 mln PLN netto. Autobus ten posiada

<sup>24</sup> Projekt rozporządzenia w sprawie procedur projektowania, budowy, oddawania do eksploatacji i kontroli stacji tankowania pojazdów napędzanych wodorem.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

akumulator o mocy 32 kWh, ogniwo wodorowe o mocy 70 kW oraz zbiorniki na wodór o pojemności 37,5 kg<sup>25</sup>.

### Koszt inwestycji w infrastrukturę

Na rynku europejskim przybywa coraz więcej dostawców infrastruktury przeznaczonej do tankowania wodoru. Do czołowych firm należą: Air Products, Air Liquid, Linde, Net czy Schwelm AT. Koszt budowy stacji tankowania wodoru jest zależny od wielu czynników, a głównym z nich jest wybór rozwiązania technologicznego. Szacunkowy koszt inwestycji dla stacji tankowania niewyposażonej w elektrolizer, przeznaczonej dla taboru zawierającego 50 autobusów wodorowych, osiąga poziom około 23 mln PLN. Dodatkowy zakup w postaci elektrolizera to koszt w granicach 32 mln PLN netto. Wysoki koszt komponentów umożliwiających stacjonarną produkcję wodoru sprawia, że inwestycja staje się rentowna w przypadku, gdy ma zasilać większą flotę<sup>26</sup>.

Zgodnie z informacjami uzyskanymi od firmy Air Products, minimalne nakłady na budowę stacji bez wyposażenia w instalację do elektrolizy, która mogłaby obsługiwać flotę 10 autobusów, wynoszą od 10 do 14 mln PLN. W przypadku stacjonarnej produkcji wodoru w wykorzystaniem elektrolizera, koszt ten zwiększa się o około 8,2 mln PLN netto<sup>27</sup>.

## 3.3. Pojazdy zasilane gazem ziemnym

### 3.3.1. Opis technologii

Gaz ziemny jako paliwo pochodzenia naturalnego, stanowi alternatywne rozwiązanie dla benzyny oraz oleju napędowego w transporcie prywatnym, zbiorowym oraz przemysłowym. Gaz, który swoje zastosowanie znajduje w transporcie charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością metanu, blisko 98%.

Gaz ziemny może występować w różnych stanach skupienia, dlatego jako stosowane technologie wyróżnia się:

- Sprężony gaz ziemny – CNG (ang. Compressed Natural Gas),
- Skroplony gaz ziemny – LNG (ang. Liquefied Natural Gas).

W kontekście rozwoju transportu niskoemisyjnego szczególnie istotne jest promowanie pojazdów zasilanych CNG i LNG, określanych łącznie jako NGV (ang. Natural Gas Vehicles), ze względu na ich stosunkowo niewielki wpływ na środowisko. Z tego powodu ich wykorzystanie jest rekomendowane w kontekście ustawy o elektromobilności.

### Rodzaje stosowanych paliw

CNG to sprężony gaz ziemny, który jest jedną z najszerzej stosowanych odmian paliw alternatywnych. Sprężanie metanu do celów transportowych odbywa się na stacjach tankowania

<sup>25</sup> Informacja handlowa uzyskana od firmy Solaris

<sup>26</sup> Informacje przekazane od Zamawiającego.

<sup>27</sup> Informacja handlowa uzyskana od firmy Air Products.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

za pomocą wielostopniowych sprężarek do ciśnienia 20-25 MPa. Gaz może być do nich dostarczany bezpośrednio z sieci gazowej lub dowożony cysternami w postaci skroplonej. Wartość energetyczna 1 m<sup>3</sup> CNG jest równa w przybliżeniu 1 litrowi benzyny. Aby pojazd mógł wykorzystywać do napędu CNG konieczne jest wyposażenie go w dedykowany silnik (tzw. OEM). Zbiornik gazu powinien być wytrzymały na duże ciśnienia – 20 MPa. W związku z tym standardowe stalowe zbiorniki cechują się znaczną masą. Stosowane są również lżejsze zbiorniki kompozytowe.

LNG to skroplony gaz ziemny, pozyskiwany na drodze skroplenia gazu ziemnego w temperaturze poniżej -162°C w instalacjach skraplających. W procesie skroplenia paliwo zmniejsza swoją objętość blisko 600 razy. Gaz jest transportowany do miejsca docelowego również w temperaturze -162°C. W celu utrzymania tak niskiej temperatury, LNG jest przechowywany i transportowany w zbiornikach kriogenicznych. Skroplony gaz ziemny może być wykorzystywany bezpośrednio w formie płynnej lub w formie lotnej w wyniku procesu regazyfikacji. Zaletą LNG jest możliwość transportu do obszarów, gdzie poprowadzenie gazociągu jest niemożliwe. Dostępność LNG na polskim rynku znacznie wzrosła po uruchomieniu w 2016 roku w Świnoujściu terminalu skroplonego gazu.

W poniższej tabeli zestawiono cechy charakterystyczne CNG i LPG z tradycyjnymi paliwami – benzyną i olejem napędowym.

**Tabela 3. Porównanie paliw płynnych**

| Cecha   | CNG                   | LPG                  | Benzyna                       | ON                            |
|---|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Wartość opałowa w warunkach normalnych [MJ/kg]        | 50                    | 46,1                 | 42,5 – 44                     | 40,6 – 44,4                   |
| Zapotrzebowanie powietrza [kg/kg]                     | 17,2                  | 15,7                 | 14,7 – 15,0                   | 14,5                          |
| Liczba oktanowa                                       | 130                   | 115                  | 95 – 98                       | -                             |
| Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]                          | 0,717<br>(0°C 0,1MPa) | 536<br>(15°C 1,5MPa) | 720 – 760<br>(15°C<br>0,1MPa) | 800 – 850<br>(15°C<br>0,1MPa) |
| Granica wybuchowości (% zawartość paliwa w powietrzu) | 5 – 15                | 1,8 – 9,0            | 1,3 – 7,6                     | 0,6 – 6,5                     |
| Temperatura samozapłonu [°C]                          | 645                   | 500                  | 230 – 550                     | 230                           |

Źródło: <https://cng.auto.pl/ekologia-cng/>

Najwyższą wartością opałową wśród wskazanych paliw charakteryzuje się gaz ziemny. Wartość ta wynosi 50 MJ/kg. Również liczba oktanowa osiąga najwyższą wartość dla tego związku – 130, podczas gdy dla benzyny nie przekracza ona poziomu 100. Gaz ziemny cechuje się też większą granicą wybuchowości niż paliwa konwencjonalne (5-15% zawartości paliwa w powietrzu) oraz wysoką temperaturą zapłonu (645°C). Oznacza to, że stosowanie tego paliwa w transporcie stanowi mniejsze ryzyko wybuchu, czy też pożaru w wypadku awarii instalacji i wycieku paliwa.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Ceny paliwa CNG i LNG

Według cennika udostępnionego na stronie PGNiG, ceny CNG oferowanego w ogólnodostępnych (publicznych) punktach tankowania obowiązujące od 01.03.2021 do 14.03.2021 r., wynoszą 3,02 PLN/m<sup>3</sup> netto<sup>28</sup>.

Na podstawie cennika upublicznionego na stronie internetowej przedsiębiorstwa PGK Śrem, który jest właścicielem pierwszej stacji LNG/LCNG w Polsce, ceny LNG na dzień 01.03.2021 osiągnęły poziom równy 3,11 PLN/kg netto<sup>29</sup>.

### Typy i zastosowanie pojazdów NGV

W skali globalnej paliwa bazujące na gazie ziemnym wykorzystywane są przede wszystkim w transporcie ciężarowym, rzadko w transporcie dalekobieżnym, w komunikacji miejskiej oraz w pracy służb publicznych (oczyszczanie miasta, służby drogowe).

### Napędy CNG i LNG

Spośród silników spalających paliwa gazowe można wyszczególnić trzy kategorie:

- silniki dedykowane CNG lub LNG, tzw. OEM, pracujące wyłącznie na danym paliwie,
- silniki bi-fuel, wyposażone w dwa układy paliwowe, benzynowy i gazowy; w silnikach tych rozruch odbywa się zawsze na benzynie,
- silniki dual-fuel, w których gaz spalany jest z domieszką oleju napędowego.

Zaletą technologii pojazdów NGV jest podobna budowa silników do napędów na paliwa konwencjonalne. Stąd też możliwe jest dostosowanie pojazdów na paliwa konwencjonalne do wykorzystywania gazu ziemnego, np. Diesla do spalania CNG. Modyfikacje takie, tzw. retrofit, nie gwarantują jednak najwyższej sprawności i mogą powodować zawyżone zużycie paliwa. Pojazdy wyposażone fabrycznie w silniki zasilane CNG/LNG są odpowiednio zoptymalizowane do korzystania z paliwa wysokooktanowego.

### Różnice między pojazdami CNG i LNG

Najważniejszą cechą w konstrukcji instalacji między napędami CNG i LNG jest rodzaj zbiornika. W przypadku CNG gaz zatłaczany jest pod ciśnieniem 20 MPa. Zbiorniki wytrzymałe na ciśnienia tego rzędu są masywne i zajmują sporo miejsca w pojeździe. Wykonuje się je ze stali bądź odpowiednich kompozytów. Aby zapobiec ograniczaniu przestrzeni w samym pojeździe często montuje się je na dachu, np. w przypadku autobusów zasilanych CNG. LNG z kolei jako paliwo przechowywane w bardzo niskich temperaturach wymaga magazynowania w zbiornikach kriogenicznych. Ich wymiary oraz masa są zdecydowanie mniejsze niż w przypadku zbiorników CNG. Warto zwrócić również uwagę na problem zasięgu pojazdów na gaz ziemny. Zasięg obecnie dostępnych na rynku autobusów na CNG to maksymalnie 500-600 km, podczas gdy autobusów LNG do 400 km. Istotną kwestią różnicującą te dwie technologie jest cena. Koszt zakupu pojazdu gazowego jest niższy w przypadku instalacji sprężonego gazu niż skroplonego.

<sup>28</sup> <https://pgnig.pl/cng/cennik-cng>

<sup>29</sup> <http://pgk.srem.pl/Stacja-CNG-LNG/Ceny-paliwa/Aktualne-ceny-gazu-ziemnego>

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Zastosowanie gazu ziemnego w pojazdach komunikacji miejskiej

Gaz ziemny jest paliwem charakteryzującym się niskim poziomem emisji idealnym dla pojazdów krótkodystansowych, stąd znajduje on zastosowanie w pojazdach komunikacji miejskiej. Większość czołowych producentów autobusów wprowadza do swojej oferty autobusy zasilane gazem ziemnym. W przeważającej większości są to autobusy CNG, jednak w ostatnich latach na rynku pojawiają się również autobusy LNG.

**Tabela 4. Wybrane modele autobusów gazowych.**

| Producent | Model                         | Paliwo | Moc silnika      |
|-----------|-------------------------------|--------|------------------|
| Iveco Bus | Crossway LE Natural Power CNG | CNG    | 360 KM           |
| Scania    | CityWide 12 LF CNG            | CNG    | 340 KM           |
| Scania    | Interlink LD LNG              | LNG    | od 280 do 320 KM |
| Solaris   | Urbino 12 CNG IV              | CNG    | 320 KM           |
| Solaris   | Urbino 18 CNG                 | CNG    | 320 KM           |
| MAN       | Lion's City CNG (12 m)        | CNG    | od 272 do 310 KM |
| MAN       | Lion's City CNG (18 m)        | CNG    | od 272 do 310 KM |
| Solbus    | Solcity 18 LNG                | LNG    | od 320 do 430 KM |

Źródło: <http://gashd.eu/>, <https://cng.auto.pl/>, strony internetowe producentów

### 3.3.2. Zasilanie – stacje tankowania

Tankowanie pojazdów NGV odbywa się na specjalnych stacjach wyposażonych w dystrybutory gazu ziemnego w postaci lotnej i/lub płynnej. Z powodu szerszego wykorzystania w transporcie CNG, punktów, gdzie można tankować samochody na sprężony gaz jest w Polsce zdecydowanie więcej niż stacji LNG.

#### Stacje CNG

Należy wyróżnić stacje publiczne (ogólnodostępne), flotowe (wykorzystywane przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej i firmy transportowe) oraz prywatne (niewielkie przydomowe instalacje sprężarkowe)<sup>30</sup>. Tankowanie przydomowe wiąże się z małą efektywnością i ograniczeniem ilości tankowanych aut do kilku na dobę. Większe możliwości stwarzają stacje użytkowane przez przewoźników oraz otwarte dla wszystkich kierowców. Stacje firm transportowych mogą być też udostępnione innym kierowcom na określonych warunkach, natomiast stacje publiczne są często zintegrowane ze stacjami paliw konwencjonalnych i tankowanie odbywa się wówczas w analogiczny sposób do tankowania benzyny i oleju napędowego.

Można wyróżnić stacje wolnego oraz szybkiego tankowania. Stacje wolnego tankowania lokalizowane są najczęściej na terenie zajezdni autobusowych. Zapewniają napełnienie zbiornika pojazdu w kilka godzin, np. w trakcie postoju nocnego autobusu. Stacje szybkiego tankowania

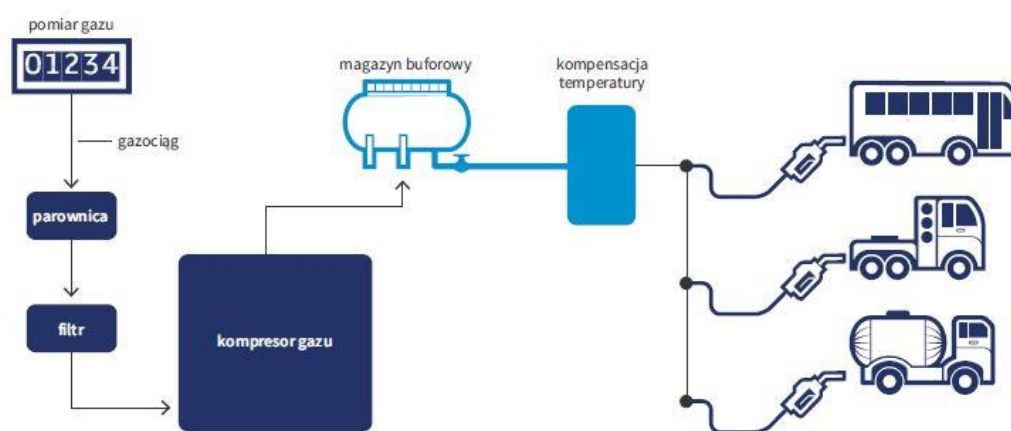
<sup>30</sup> Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

umiejscowione w pobliżu pętli autobusowych pozwalają na tankowanie w czasie zbliżonym do tankowania standardowego ON – kilkunastu minut.

Gaz ziemny może być dostarczany do stacji gazociągiem lub dostarczany w postaci skroplonej. Stacja zasilana gazem sieciowym powinna być zlokalizowana przy stacji redukcyjno-pomiarowej wysokiego ciśnienia. Ciśnienie tłoczenia gazu do zbiorników pojazdów to 20-25 MPa, stąd konieczne jest stosowanie układu sprężarek wielostopniowych (kompresorów). Innymi elementami stacji są: aparatura pomiarowa gazu, filtry, instalacja nawaniania gazu, zbiorniki magazynujące paliwo oraz dystrybutory. W przypadku dostaw gazu w postaci skroplonej konieczne jest zastosowanie urządzenia zwanego regazyfikatorem, gdzie w wyniku dostarczenia ciepła dochodzi do zmiany stanu skupienia formy ciekłej w postać lotną.

**Rysunek 6. Przykładowy schemat stacji.**



Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

### Stacje LNG

Ze względu na mniejszą popularność tej technologii wśród klientów indywidualnych stacje tankowania LNG stanowią najczęściej część infrastruktury firm transportowych lub przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. Tankowanie LNG odbywa się przy ciśnieniu 6-8 bar, przy zastosowaniu pomp, nie sprężarek. Stacje również można podzielić na służące do wolnego i szybkiego tankowania, jednak w obu przypadkach proces ten przebiega krócej niż dla pojazdów CNG. Szybkie tankowanie autobusu LNG na pętli może zajmować do 5 minut. Gaz ziemny jest dostarczany do stacji cysternami kriogenicznymi. Skraplanie gazu sieciowego na miejscu wiązałoby się z poniesieniem bardzo dużych kosztów dodatkowych, stąd jest to nieopłacalne rozwiązanie. Stacje LNG mogą być zrealizowane w formie stacji pełnowymiarowej lub stacji modułowej, czy też kontenerowej, które nie wymagają pełnej zabudowy terenu i budowy trwałej infrastruktury. Stacja pełnowymiarowa, analogiczna do tradycyjnych stacji paliwowych wymaga droższej i bardziej skomplikowanej aparatury w porównaniu z podobną stacją CNG, z kolei stacje modułowe i kontenerowe wyposażone są w zbiornik gazu umieszczony horyzontalnie i mogą obsłużyć do 50 pojazdów dziennie.

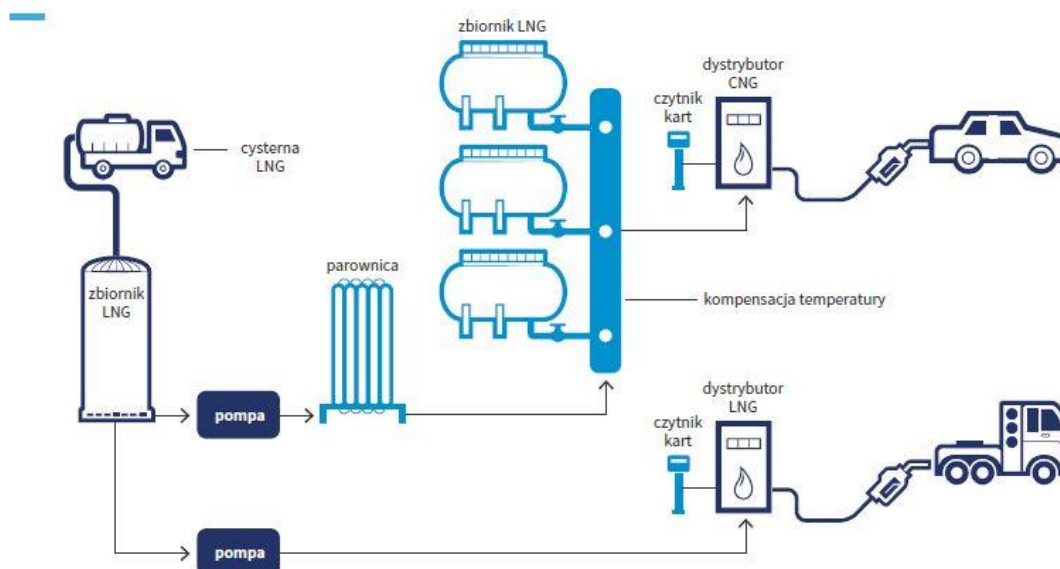
Elementami instalacji tankowania są między innymi: zbiorniki kriogeniczne utrzymujące zadane warunki paliwa (ustawione wertykalnie), aparatura do odpowietrzania, pompy kriogeniczne

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

i dystrybutory. Stacja może obsługiwać powyżej 50 pojazdów dziennie. Do uruchomienia stacji LNG wymagane jest przystosowanie terenu wokół oraz przyłącze energii elektrycznej o mocy 20 kW.

Istnieje możliwość połączenia obu technologii napędów gazu ziemnego na jednej stacji tankowania nazywanej LCNG. Gaz dostarczany do stacji w postaci płynnej kierowany jest do dystrybutorów LNG oraz przez instalację LCNG pozyskującą gaz sprężony ze skroplonego do dystrybutorów CNG. Schemat stacji LCNG przedstawiono poniżej.

**Rysunek 7. Schemat stacji tankowania LCNG.**



Źródło: Rynek CNG LNG 2017, PSPA

Lokalizacja, na której ma powstać stacja tankowania sprężonego bądź skroplonego gazu ziemnego, musi spełniać szereg warunków. Głównym z nich jest oszacowanie wpływu jej budowy i eksploatacji na środowisko naturalne, czyli należy określić szacowane ilości emitowanych zanieczyszczeń, hałasu, ścieków i odpadów niebezpiecznych. Dodatkowo, w przypadku stacji CNG, bardzo ważnym wymogiem jest wykonanie przyłącza do sieci gazowej.

Koszty wybudowania stacji tankowania CNG mieszczą się w przedziale 400 tys. PLN do 1 mln PLN<sup>31</sup>. W kwocie tej uwzględnia się koszty związane z wyposażeniem stacji w urządzenia techniczne niezbędne do prowadzenia sprzedaży gazu ziemnego. Nie obejmują one dzierżawy gruntu czy wybudowania infrastruktury dodatkowej. W przypadku stacji LNG kwoty te będą nieznacznie wyższe ze względu na bardziej złożoną aparaturę.

<sup>31</sup> Źródło: Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych, 29.03.2017r

## 4. Wyniki przeprowadzonych analiz

### 4.1. Analiza stanu obecnego

#### 4.1.1. Miasto Wałbrzych

Wałbrzych ma status gminy – miasta na prawach powiatu (powiat grodzki), usytuowane w województwie dolnośląskim. Granice administracyjne obejmują obszar 84,7 km<sup>2</sup>. Zamieszkiwany jest przez około 111 tys. mieszkańców<sup>32</sup>, co nakłada na miasto obowiązek sporządzania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści wynikających z ustawy o elektromobilności.

Wałbrzych graniczy z czterema miastami:

- Boguszów-Gorce,
- Szczawno-Zdrój,
- Jedlina-Zdrój,
- Świebodzice.

Oraz czterema gminami:

- Mieroszów,
- Walim,
- Stare Bogaczowice,
- Świdnica.

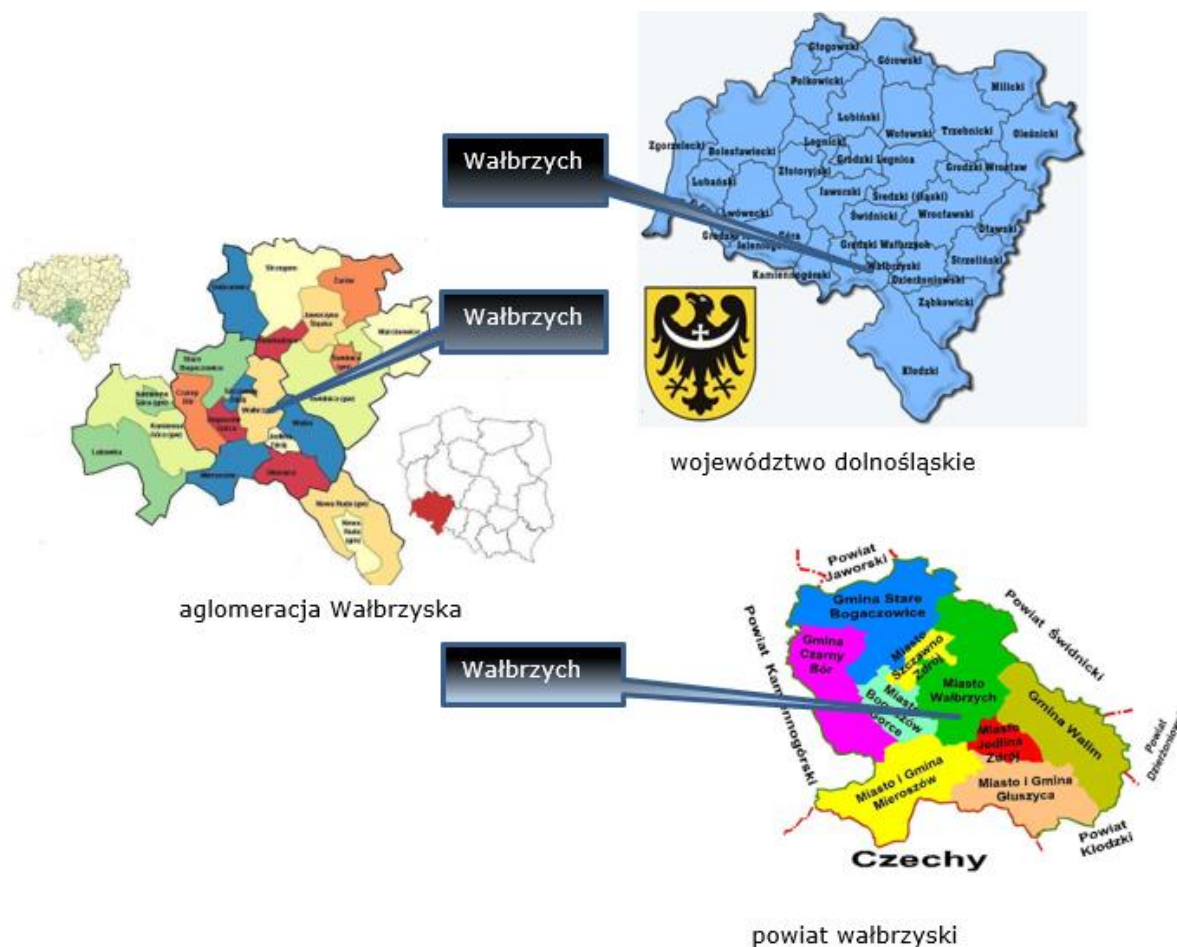
---

<sup>32</sup> Bank Danych Lokalnych GUS, stan na 31.12.2019, ostatnia aktualizacja 2020-06-08.



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Rysunek 8. Położenie Wałbrzycha na tle województwa, aglomeracji i powiatu wałbrzyskiego.



Źródło: Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Wikipedia.org i Urząd Miasta Wałbrzycha.

### 4.1.2. Transport publiczny w Wałbrzychu

#### Organizator oraz przewoźnicy realizujący transport publiczny

Od 2012 r. zadania organizatora komunikacji miejskiej w imieniu Prezydenta Wałbrzycha realizuje Zarząd Dróg, Komunikacji i Utrzymania Miasta (ZDKiUM). Usługi przewozowe w komunikacji miejskiej na zlecenie Gminy Wałbrzych wykonuje operator wyłoniony w przetargu - sześć firm występujących pod nazwą Śląskie Konsorcjum Autobusowe. Przewozy realizowane są 56 autobusami. Ponadto, na terenie miasta Wałbrzycha i gmin sąsiadujących, przewozy wykonują przewoźnicy posiadający zezwolenia na wykonywanie regularnych przewozów osób w krajowym transporcie drogowym. Ich nazwy, linie, które obsługują oraz trasy, na których kursują, przedstawione zostały w tabelach poniżej, z podziałem na obszar ich funkcjonowania – miejskie oraz pozamiejskie.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Tabela 5. Linie komunikacyjne miejskie realizowane przez przewoźników.**

| Linia        | Trasa   | Przewoźnik  |
|--------------|---|---|
| <b>C</b>     | Wałbrzych/Podzamcze – Piaskowa Góra – Stary Zdrój – Plac Grunwaldzki            | FRANEK- BUS Usługi transportowe                                       |
| <b>5</b>     | Wałbrzych/Rusinowa – Plac Grunwaldzki/ - Szczawno-Zdrój                         | P.W. TRANS- ANTEK Adam Jędrzejewski                                   |
| <b>6</b>     | Wałbrzych/Dworzec Główny-PKP – Plac Grunwaldzki – Biały Kamień – Szczawno-Zdrój | Stowarzyszenie Prywatnych Przewoźników Komunikacji Miejskiej "KONTRA" |
| <b>7 bis</b> | Wałbrzych/Piaskowa Góra – Plac Grunwaldzki/ - Szczawno- Zdrój                   | Usługi Transportowe Piotr Borek                                       |

Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Ponadto, przewozy wykonywane są na linii regularnej specjalnej GV – trasa: Wałbrzych/Plac Grunwaldzki – Galeria VICTORIA; nazwa przewoźnika: Śląskie Konsorcjum Autobusowe Sp. z o.o.

**Tabela 6. Linie komunikacyjne pozamiejskie realizowane przez przewoźników.**

| Linia             | Trasa  | Przewoźnik   |
|-------------------|--|--|
| <b>30</b>         | Wałbrzych – Świebodzice                              | DEX- TRANS Sp. z o.o.                              |
| <b>31</b>         | Wałbrzych – Świdnica                                 | P.W.H.D. Dyrda Bartosz                             |
| <b>31 bis</b>     | Wałbrzych – Świebodzice – Świdnica                   | P.W.H.D. Dyrda Bartosz                             |
| <b>31 A</b>       | Wałbrzych – Świebodzice – Świdnica                   | MPK Świdnica Sp. z o.o.                            |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Świebodzice – Świdnica                   | Usługi Transportowe Grzegorz Rydza                 |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Świebodzice – Świdnica                   | Usługi Transportowe Marek Kowalczyk                |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Jedlina-Zdrój – Głuszycza                | Centrum Nieruchomości i Transportu Beata Żołnieruk |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Głuszycza Górna – Sierpnica              | PTUH:KOLUMB” Marek Bisek                           |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Czarny Bór – Grzędy Górne                | ”MABO” S.C. Zbigniew Kubiszyn                      |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Mioszów – Golińsk – Nowe Siodło – łączna | ”MIEROSZÓW- TRANS” S.C Bochenek i Wspólnicy        |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Kuźnice – Stary Lesieniec                | Usługi Transportowe Robert Frankowski              |
| <b>Bez numeru</b> | Wałbrzych – Zagórze Śląskie – Niedźwiedzica          | Przedsiębiorstwo Transportowe TRAVELWORLD          |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

| Linia      | Trasa  | Przewoźnik                                 |
|------------|--|--|
| Bez numeru | Wałbrzych – Zagórze Śląskie – Niedźwiedzica – Glinno | Przedsiębiorstwo Transportowe FRESH TRAVEL |
| Bez numeru | Wałbrzych – Niedźwiedzica – Zagórze Śląskie – Glinno | Usługi Transportowe Piotr Borek            |
| Bez numeru | Wałbrzych – Stare Bogaczowice – Świebodzice          | Przedsiębiorstwo Transportowe TRAVELWORLD  |
| Bez numeru | Wałbrzych – Stare Bogaczowice – Gostków              | Usługi Transportowe Marcei Wiśniewski      |
| Bez numeru | Wałbrzych – Boguszów Gorce – Witków – Kamienna Góra  | Usługi Transportowe Marcei Wiśniewski      |
| Bez numeru | Wałbrzych – Nowa Ruda – Radków                       | PKS Kłodzko S.A.                           |
| Bez numeru | Wałbrzych – Kamienna Góra – Kowary- Jelenia Góra     | PKS Kamienna Góra Sp. z o.o.               |
| Bez numeru | Wałbrzych – Wrocław – Warszawa                       | FLIXBUS Polska Sp. z o.o.                  |
| Bez numeru | Kłodzko – Wałbrzych – Legnica – Głogów               | INTERTRANS PKS Głogów S.A.                 |
| Bez numeru | Kamienna Góra – Wałbrzych – Zielona Góra             | Jeremiasz Nakrewicz                        |

Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Porozumienia międzygminne

Gmina Wałbrzych zawarła siedem porozumień międzygminnych (obecnie obowiązujących) w zakresie lokalnego transportu zbiorowego z Gminami:

- Boguszów-Gorce,
- Głuszycyca,
- Jedlina-Zdrój,
- Mieroszów,
- Stare Bogaczowice,
- Szczawno-Zdrój,
- Walim.

W tabeli poniżej przedstawiono jakie linie funkcjonują na terenach powyższych gmin oraz liczbę kursów realizowanych na ich terenie w ramach porozumień międzygminnych.

**Tabela 7. Linie, trasy oraz ilość kursów realizowanych w ramach porozumień międzygminnych.**

| Gmina          | Linia | Trasa na terenie gmin  | Ilość kursów  |
|----------------|-------|--|---|
| Boguszów-Gorce | 2     | Granica administracyjna Gminy Wałbrzych – pętla przy ul. Romualda Traugutta w Boguszowie-Gorcach   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dni robocze: 23</li> <li>• Soboty: 11</li> <li>• Niedziele i święta: 8</li> </ul>  |
|                |       | Granica administracyjna Gminy Wałbrzych – pętla przy ul. Stefana Żeromskiego w Boguszowie-Gorcach  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dni robocze: 12</li> <li>• Soboty: 7,5</li> <li>• Niedziele i święta: 4</li> </ul> |
|                |       | Granica administracyjna Gminy Wałbrzych – ul. Kosynierów w Boguszowie-Gorcach  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dni robocze: 12</li> <li>• Soboty: 6,5</li> <li>• Niedziele i święta: 4</li> </ul> |
| Głuszycyca     | 5     | Ostatni przystanek w granicach administracyjnych Gminy Jedlina – Zdrój (dla przedłużonego kursu) – ul. Kłodzka (rondo) w Głuszycy Górnej | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dni robocze: 8</li> <li>• Soboty: 4</li> <li>• Niedziele i święta: 6</li> </ul>    |
| Jedlina-Zdrój  | 5     | Granica administracyjna Gminy Wałbrzych – pl. Zwycięstwa w Jedlinie-Zdroju i ul. Wałbrzyska oraz ul. Noworudzka w Jedlinie-Zdroju        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dni robocze: min. 8</li> <li>• Soboty, niedziele i święta: min. 7</li> </ul>       |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

| Gmina                    | Linia | Trasa na terenie gmin   | Ilość kursów  |
|--------------------------|-------|---|---|
| <b>Mioszów</b>           | 12    | Ostatni przystanek w granicach administracyjnych Gminy Wałbrzych – Rybnica Leśna-Andrzejówka  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 3</li> <li>Soboty, niedziele i święta: 2</li> </ul>                                 |
|                          | 15    | Ostatni przystanek w granicach administracyjnych Gminy Wałbrzych – Mioszów-Golińsk  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wszystkie dni tygodnia: 6 (w tym 4 przedłużone do Golińska)</li> </ul>                           |
| <b>Stare Bogaczowice</b> | 8     | Szczawno Zdrój (Ułanów Nadwiślańskich) – Struga – Szczawno-Zdrój (Ułanów Nadwiślańskich)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 2</li> </ul>  |
|                          |       | Szczawno Zdrój (Ułanów Nadwiślańskich) – Struga – Stare Bogaczowice – Gostków – Stare Bogaczowice – Struga – Szczawno-Zdrój (Ułanów Nadwiślańskich) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 2 (1 przez Chwaliszów)</li> <li>Soboty: 3</li> <li>Niedziele i święta: 3</li> </ul> |
| <b>Szczawno-Zdrój</b>    | 5     | Wałbrzych ↔ Szczawno-Zdrój (ul. Kolejowa)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 5</li> <li>Soboty: 2</li> <li>Niedziele i święta: 1</li> </ul>                      |
|                          | 8     | Wałbrzych ↔ Szczawno-Zdrój (ul. Ułanów Nadwiślańskich)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 4</li> <li>Soboty: 3</li> <li>Niedziele i święta: 3</li> </ul>                      |
|                          | 18    | Wałbrzych (Sobęcin) ↔ Szczawno-Zdrój ↔ Wałbrzych (Podzamcze)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 39,5</li> <li>Soboty: 33,5</li> <li>Niedziele i święta: 21,5</li> </ul>             |
| <b>Walim</b>             | 5     | Ostatni przystanek w granicach Gminy Wałbrzych (ul. Bystrzycka – Rusinowa) ↔ Walim (Dzieńmorowice)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 11</li> <li>Soboty: 6</li> <li>Niedziele i święta: 5</li> </ul>                     |
|                          |       | Ostatni przystanek w granicach Gminy Wałbrzych (ul. Głuszycka – Noworudzka) ↔ Walim (ul. Wyszyńskiego)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 8</li> <li>Soboty: 1</li> </ul>   |
|                          |       | Ostatni przystanek w granicach Gminy Wałbrzych (ul. Głuszycka – Noworudzka) ↔ Walim (Rzeczka)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 5</li> <li>Soboty: 4</li> <li>Niedziele i święta: 4</li> </ul>                      |
|                          | 11    | Ostatni przystanek w granicach Gminy Wałbrzych (ul. Strzegomska – Kozice) ↔ Walim (Stary Julianów)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dni robocze: 4</li> </ul>  |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie porozumień międzygminnych przekazanych przez Zamawiającego.

### **Charakterystyka funkcjonowania sieci i systemu komunikacji**

Na terenie Wałbrzycha i gmin sąsiadujących, z którymi Gmina Wałbrzych zawarła porozumienia, funkcjonuje 13 linii autobusowych komunikacji miejskiej. Operatorem publicznym transportu zbiorowego jest 6 przedsiębiorców występujących pod wspólną nazwą, tj. Śląskie Konsorcjum Autobusowe, wyłonionych w trybie przetargu nieograniczonego przeprowadzonego w 2012 r. Umowa z konsorcjum jest zawarta na czas określony do grudnia 2022 r.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Tabela 8. Aktualny wykaz linii komunikacji miejskiej organizowanych przez Gminę Wałbrzych wraz z liczbą przystanków, częstotliwością kursów oraz długością trasy na najczęściej kursujących wariantach linii (stan na 01.02.2021).**

| Nr linii       | Relacja   | Maksymalna liczba przystanków na trasie (tam+powrót) | Długość linii (km) | Liczba kursów (tam+powrót) |          |                      |
|----------------|---|--|--------------------|----------------------------|----------|----------------------|
|                |   |  |                    | W dzień roboczy            | W sobotę | W niedzielę i święta |
| <b>Linia A</b> | Wałbrzych: Podzamcze <->/Auchan/ <->/ Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Dw. Główny   | 44   | 27,99              | 71                         | 40       | 41                   |
| <b>Linia C</b> | Wałbrzych: Podzamcze <-> /Auchan/ <->/Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <->/Galeria Victoria/   | 36   | 24,60              | 65                         | 55       | 31                   |
| <b>Linia 1</b> | Wałbrzych: Dw. Wałbrzych Szczawienko <-> Podzamcze  | 16   | 8,24               | 26                         | 25       | 25                   |
| <b>Linia 2</b> | Wałbrzych: Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> /Galeria Victoria/<->Sobięcin – Boguszów-Gorce (Gorce, Kuźnice, Stary Lesieniec)                                       | 66   | 20,18              | 131                        | 101      | 74                   |
| <b>Linia 4</b> | Wałbrzych: Podzamcze <-> Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Nowe Miasto <-> Rusinowa   | 56   | 16,03              | 11                         | 0        | 0                    |
| <b>Linia 5</b> | Szczawno Zdrój - Wałbrzych: Biały Kamień <-> Śródmieście <-> Nowe Miasto <-> Rusinowa - Jedlina Zdrój – Walim (Rzeczka) – Głuszycza   | 73   | 31,07              | 187                        | 121      | 87                   |
| <b>Linia 8</b> | Wałbrzych: Zamek Książ/Lubiechów <-> Szczawienko <-> Podzamcze <->Piaskowa Góra <-> Stary Zdrój <-> Biały Kamień - Szczawno Zdrój – Stare Bogaczowice (Struga, Chwaliszów, Gostków) | 89   | 35,43              | 65                         | 54       | 40                   |
| <b>Linia 9</b> | Wałbrzych: Szczawienko<->WSSE<-> Piaskowa Góra <-> Podzamcze  | 53   | 14,57              | 32                         | 26       | 0                    |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

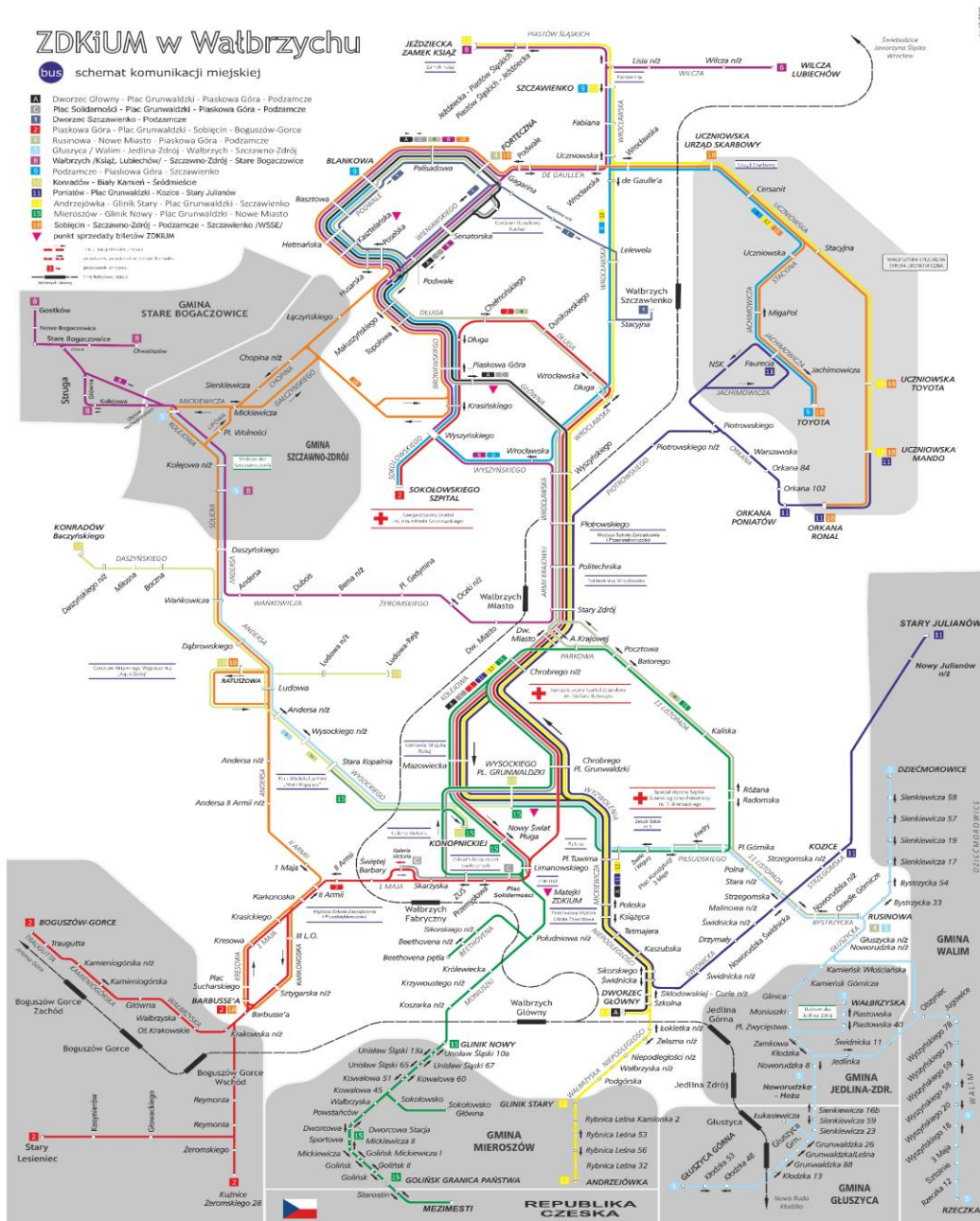
|                 |  |    |       |    |    |    |
|-----------------|--|----|-------|----|----|----|
| <b>Linia 10</b> | Wałbrzych: Konradów <-> Biały Kamień <-> Śródmieście   | 26 | 7,11  | 52 | 40 | 38 |
| <b>Linia 11</b> | Wałbrzych: Poniatów<-> /WSSE/<-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Kozice - Walim (St.Julianów)                             | 58 | 23,44 | 56 | 45 | 45 |
| <b>Linia 12</b> | Wałbrzych: Szczawienko<->/WSSE/ <-> Stary Zdrój <-> Śródmieście <-> Podgórze <-> Glinik Stary - Mieroszów (Rybnica Leśna, Andrzejówka) | 73 | 25,22 | 88 | 80 | 75 |
| <b>Linia 15</b> | Wałbrzych: Śródmieście <-> Stary Zdrój <-> Nowe Miasto <-> Glinik Nowy - Mieroszów (Sokołowsko, Golińsk)                               | 52 | 24,94 | 83 | 69 | 51 |
| <b>Linia 18</b> | Wałbrzych: Sobięcin <-> Biały Kamień <-> Szczawno-Zdrój <-> Wałbrzych: Podzamcze <-> Szczawienko <->/WSSE/                             | 65 | 20,65 | 86 | 68 | 47 |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.



# AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Rysunek 9. Schemat linii komunikacyjnych organizowanych przez Gminę Wałbrzych (stan na 01.2021 r.)**



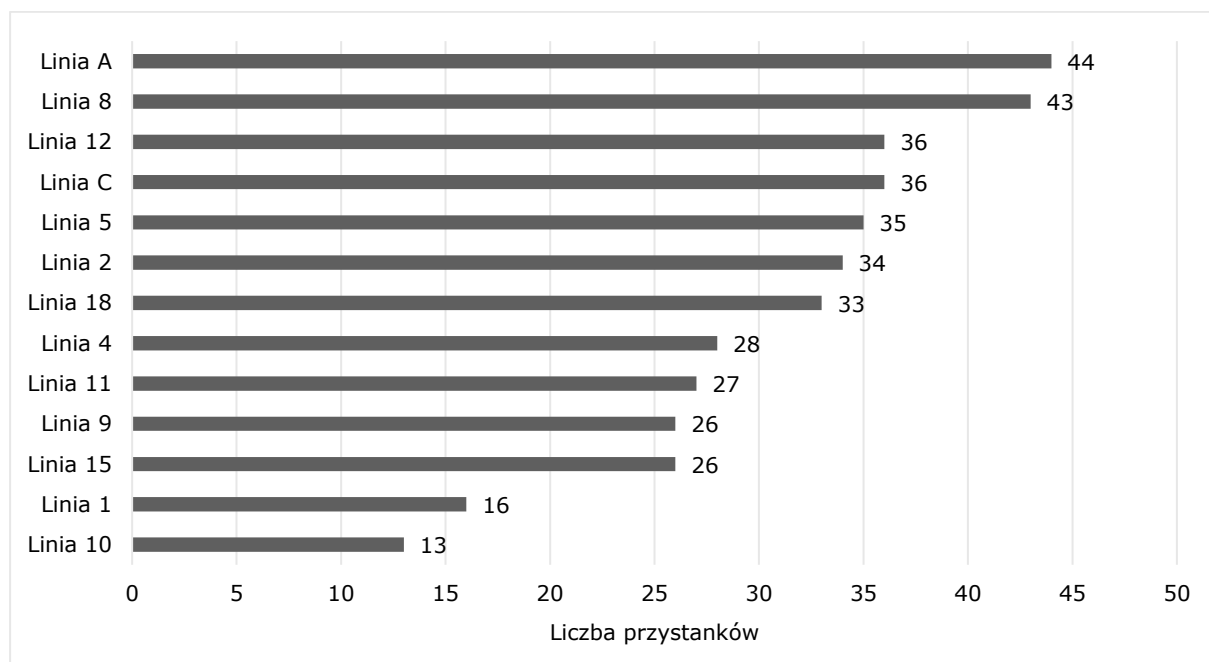
Źródło: <https://polska-org.pl/7444981,foto.html>

## Linie i realizacja rozkładów jazdy

Operator obsługuje 13 linii autobusowych, w tym:

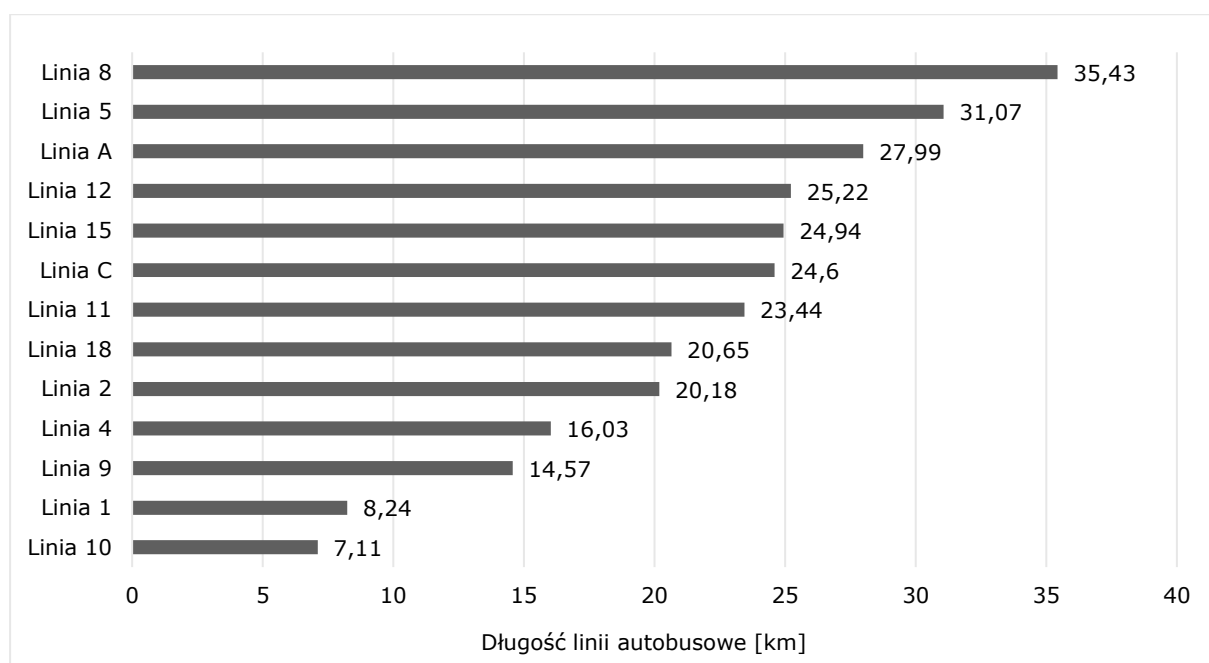
- 11 linii, na których przewozy wykonuje się we wszystkie dni tygodnia (84,62 %),
- 1 linię, na której przewozy wykonuje się w dni robocze oraz soboty (7,69 %),
- 1 linię, na której przewozy wykonuje się jedynie w dni robocze (7,69 %).

**Wykres 1. Liczba przystanków na liniach autobusowych (w jednym kierunku).**



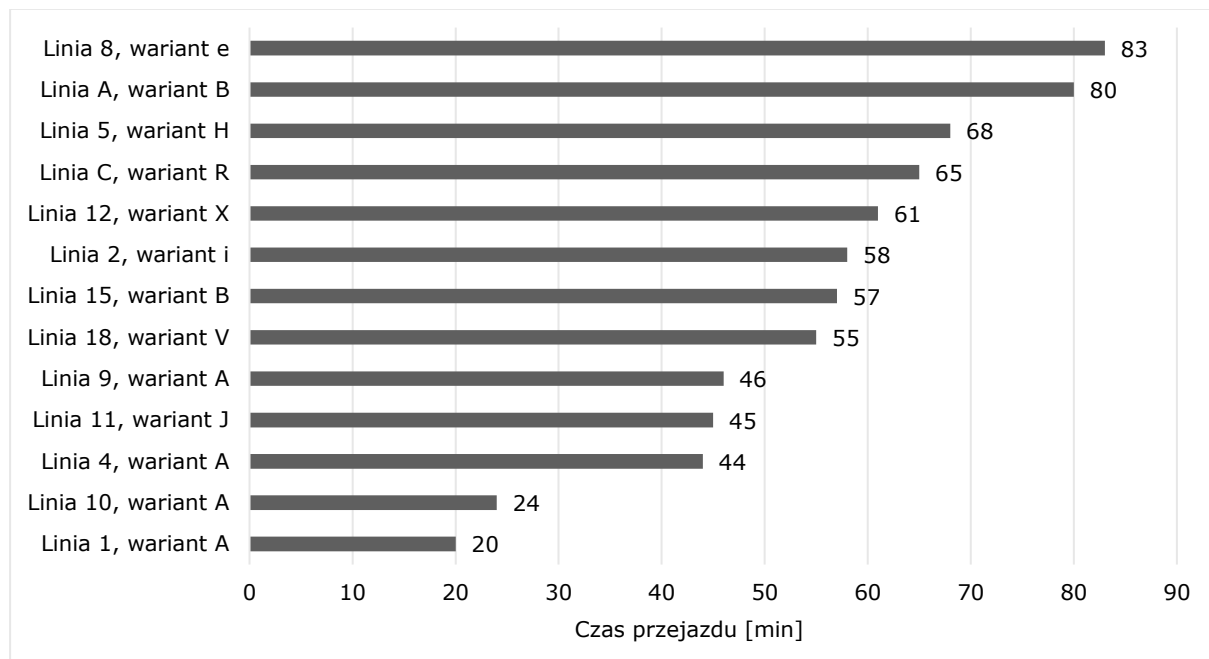
Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

**Wykres 2. Średnia długość linii autobusowych.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

**Wykres 3. Maksymalny czas przejazdu na linii autobusowej dla wariantów z najdłuższą trasą.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

## Praca przewozowa

**Tabela 9. Liczba pasażerów i wozokilometrów dla autobusów w latach 2018-2020.**

| Rok  | Liczba przewiezionych pasażerów | Liczba wozokilometrów | Liczba pasażerów na wozokilometr |
|------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 2018 | 15 790 000                      | 4 520 195             | 3,49                             |
| 2019 | 17 430 000                      | 4 588 016             | 3,80                             |
| 2020 | 13 757 680                      | 4 414 821             | 3,12                             |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

Porównując wyniki roku 2019 z rokiem 2018:

- roczna liczba pasażerów wzrosła o 10,39%,
- roczna liczba wykonywanych wozokilometrów wzrosła o 1,50%,
- liczba pasażerów na wozokilometr wzrosła o 8,88%.

Na podstawie danych dotyczących roku 2020 można stwierdzić wyraźny spadek liczby przewiezionych pasażerów i wielkości wykonanej pracy przewozowej na wozokilometr. Roczna liczba przewiezionych pasażerów w 2020 r. w porównaniu do 2019 r. zmalała o 21,07%, a liczba wozokilometrów zmalała o 3,78%. Widoczne spadki przedstawionych danych są spowodowane panującą pandemią COVID-19, przez co roku 2020 nie można uznać za rok reprezentatywny.

## Tabor autobusowy

Do realizacji zadań przewozowych wykorzystywany jest tabor, składający się z 56 autobusów. Gmina Wałbrzych jest właścicielem 36% pojazdów (20 autobusów), natomiast pozostałe 66%

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

pojazdów (36 autobusów) należy do Śląskiego Konsorcjum Autobusowego. Dane dotyczące funkcjonującej obecnie floty autobusowej przedstawiono w Tabeli 10.

20 pojazdów użytkowanej floty, należących do Gminy Wałbrzych, posiada normę spalania EURO 5 - EEV, pozostałe 36 autobusów posiada normę spalania EURO 5. Spośród wszystkich pojazdów 21 zostało wyprodukowanych w 2012 r., a rokiem produkcji pozostałych 35 był rok 2013. Średni wskaźnik wieku taboru wynosi 8,38 lat. Zużycie paliwa przez aktualny tabor autobusowy w latach 2018-2020 zaprezentowano w Tabeli 11.

**Tabela 10. Tabor autobusowy (stan na dzień 18.01.2021 r.).**

| Marka, Typ    | Liczba    | Rok produkcji | Rodzaj silnika | Norma emisji spalin |
|---------------|-----------|---------------|----------------|---------------------|
| Solaris u 8,9 | 3         | 2013          | Diesel         | EURO 5              |
| Solaris u 12  | 17        | 2012          | Diesel         | EURO 5 - EEV        |
|               | 1         | 2012          | Diesel         | EURO 5              |
|               | 27        | 2013          | Diesel         | EURO 5              |
| Solaris u 18  | 3         | 2012          | Diesel         | EURO 5 - EEV        |
|               | 5         | 2013          | Diesel         | EURO 5              |
| <b>Suma</b>   | <b>56</b> | <b>-</b>      | <b>-</b>       | <b>-</b>            |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

**Tabela 11. Zużycie paliwa w latach 2018-2020.**

| Rok  | Zużycie paliwa [l] |
|------|--------------------|
| 2018 | 1 708 312          |
| 2019 | 1 792 243          |
| 2020 | 1 703 103          |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

**Tabela 12. Podsumowanie parametrów eksploatacyjnych na rok 2019 i 2020.**

| Rok  | Liczba pojazdów | Wozokilometry | Zużycie paliwa (litry) | Średnie zużycie litry na 100 km |
|------|-----------------|---------------|------------------------|---------------------------------|
| 2019 | 56              | 4 588 016     | 1 792 243              | 35,82                           |
| 2020 | 56              | 4 414 821     | 1 703 103              | 35,85                           |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

### Finansowanie

Publiczny transport zbiorowy w Wałbrzychu generuje przychody z dwóch źródeł, jest to:

- Sprzedaż biletów,
- Porozumienia międzygminne oraz umowy z Galerią Victoria i Hipermarketem Auchan.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Łączne przychody z organizacji publicznego transportu zbiorowego wynoszą około 15 mln PLN na rok. Na podstawie poniższej tabeli widać, że przychody ze sprzedaży biletów, w latach 2018-2019 utrzymały się na stosunkowo stałym poziomie – ok. 13,5 mln PLN i stanowiły zdecydowaną większość przychodów związanych z publicznym transportem zbiorowym. Dane dotyczące 2020 roku pokazują, że zanotowano wyraźny spadek wartości przychodów w tym roku w porównaniu do poprzednich lat.

**Tabela 13. Zestawienie przychodów w latach 2018-2020.**

|   | 2018          | 2019          | 2020         |
|---|---------------|---------------|--------------|
| <b>Sprzedaż biletów [PLN]</b>                                 | 13 781 916,80 | 13 449 695,80 | 8 045 621,80 |
| <b>Dopłaty gmin ościennych [PLN]</b>                          | 1 185 122,00  | 1 583 885,12  | 1 845 001,03 |
| <b>Dopłaty z Galerii Victoria i Hipermarketu Auchan [PLN]</b> | 128 184,73    | 122 465,12    | 118 399,82   |
| <b>Suma [mln PLN]</b>   | <b>15,09</b>  | <b>15,16</b>  | <b>10,01</b> |

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

### 4.1.3. Podsumowanie

Od 2012 r. zadania organizatora komunikacji miejskiej w imieniu Prezydenta Wałbrzycha realizuje Zarząd Dróg, Komunikacji i Utrzymania Miasta (ZDKiUM). Usługi przewozowe w komunikacji miejskiej na zlecenie Gminy Wałbrzych wykonuje operator wyłoniony w przetargu -sześć firm występujących pod nazwą Śląskie Konsorcjum Autobusowe.

Komunikacja miejska obejmuje 13 linii autobusowych obsługiwanych przez 56 autobusów. Wszystkie z nich zostały wyprodukowane w latach 2012-2013 i posiadają normę emisji EURO 5 (por. Tabela 10). Współczynnik wieku taboru wynosi 8,38 lat oraz wysoka norma emisji spełniana przez całą flotę wskazują na dobry stan techniczny taboru.

Raporty ogólne dotyczące przewozów w lokalnym transporcie miejskim za okres 2018 r. - 2020 r. pozwalają stwierdzić, że do 2019 roku transport miejski notował widoczny progres - rok do roku zwiększała się liczba przewiezionych pasażerów oraz generowane roczne przychody. Natomiast, w 2020 roku nastąpił spadek liczby osób korzystającej z transportu miejskiego, a w konsekwencji zmniejszył się przychód ze sprzedaży biletów (por. Tabela 13). Należy przypuszczać, że powodem tego spadku była panująca pandemia COVID-19. Z tego względu 2020 r. nie można uznać za rok reprezentatywny, a do dalszych analiz za rok bazowy przyjęto 2019 r.

## 4.2. Kierunki rozwoju floty na lata 2021 -2035

### Analizowane warianty realizacji inwestycji

Według definicji zawartej w Ustawie o elektromobilności, autobus zeroemisyjny to pojazd, który do napędu wykorzystuje energię elektryczną wytwarzaną z wodoru w zainstalowanych w nim ogniwach paliwowych lub wyłącznie silnik, którego cykl pracy nie prowadzi do emisji gazów cieplarnianych. Z kolei jako paliwa alternatywne uznawane są paliwa lub energia elektryczna wykorzystywane do napędu silników pojazdów samochodowych stanowiące zamiennik dla paliw pochodzących z ropy naftowej lub otrzymywanych w procesach jej przetwórstwa. Do paliw alternatywnych zalicza się:

- energię elektryczną,
- wodór,
- biopaliwa ciekłe,
- paliwa syntetyczne i parafinowe,
- sprężony gaz ziemny (CNG) w tym pochodzący z biometanu,
- skroplony gaz ziemny (LNG), w tym pochodzący z biometanu, lub gaz płynny (LPG).

Wprowadzanie do flot autobusów, pojazdów o napędzie alternatywnym (elektryczne i gazowe) jest uznawane za jedne z bardziej znaczących elementów działań w celu poprawy jakości powietrza.

Wymogi wynikające z Ustawy nakładają na jednostki samorządowe obowiązek zwiększenia udziału autobusów zeroemisyjnych w miejskich taborach. Zgodnie z art. 36 Ustawy o elektromobilności konieczne jest spełnienie następujących procentowych wartości pojazdów zeroemisyjnych we flocie przewoźników:

- 10% do dnia 01.01.2023 r.,
- 20% do dnia 01.01.2025 r.,
- 30% do dnia 01.01.2028 r.

W odniesieniu do całkowitej liczby autobusów obsługujących komunikację miejską w Wałbrzychu (56 sztuk) wymagania przedstawiają się następująco:

- 6 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2022 r.,
- 12 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2024 r.,
- 17 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2027 r.

Z uwagi na ww. wspomniane wymogi, w ramach analizy wytypowano warianty inwestycyjne spełniające przedstawione założenia. W kolejnych rozdziałach przedstawiono przeprowadzone analizy wariantów rozwoju floty obsługującej linię komunikacji miejskiej Wałbrzycha w latach 2019-2035 przy wykorzystaniu różnych typów pojazdów.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W analizach uwzględniono następujące warianty:

- Wariant 0 (bazowy) – zakładający modernizację taboru z wykorzystaniem pojazdów napędzanych niskoemisyjnymi silnikami Diesla spełniających wymogi normy EURO 6. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów;
- Wariant 1 – zakup autobusów elektrycznych zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- Wariant 2 – zakup autobusów zasilanych wodorem zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- Wariant 3 – zakup autobusów zasilanych wodorem w liczbie 20 oraz wymiana 36 pojazdów na zasilane CNG w 2023 na podstawie podpisanego kontraktu;
- Wariant 4 – zakup autobusów zasilanych CNG w liczbie 20 oraz wymiana pozostałych 36 pojazdów na zasilane CNG w 2023 na podstawie podpisanego kontraktu.

Zaprezentowane warianty poddano analizie finansowo-ekonomicznej oraz społeczno-ekonomicznej.

### **Analizowane trasy autobusów o napędzie zeroemisyjnym**

W celu wytypowania linii komunikacyjnych, na których możliwe jest zastąpienie aktualnie wykorzystywanych autobusów spalinowych na autobusy o napędzie zeroemisyjnym, wykorzystano następujące kryteria:

- Wielkość wskaźnika WCP linii autobusowych,
- Wielkość prędkości handlowej linii autobusowych.

Na potrzeby analizy wprowadzono wskaźnik czasu przejazdu pomiędzy przystankami (WCP). Zastosowanie tego parametru ma na celu ocenę obecnie funkcjonujących linii autobusowych pod kątem wprowadzenia pojazdów zeroemisyjnych. Niska wartość wskaźnika WCP oznacza krótszy czas przejazdu danego autobusu pomiędzy przystankami, co z kolei świadczy o częstym hamowaniu. Parametr ten jest szczególnie istotny w przypadku pojazdów elektrycznych, w których istnieje możliwość wykorzystania rekuperacji, czyli odzysku energii podczas procesu hamowania.

Wskaźnik czasu przejazdu dla każdej linii został obliczony według poniższego wzoru:

$$WCP = \frac{CP}{LP}$$

gdzie:

WCP – wskaźnik czasu przejazdu dla linii [min],

CP – czas przejazdu [min],

LP – liczba przystanków na linii.

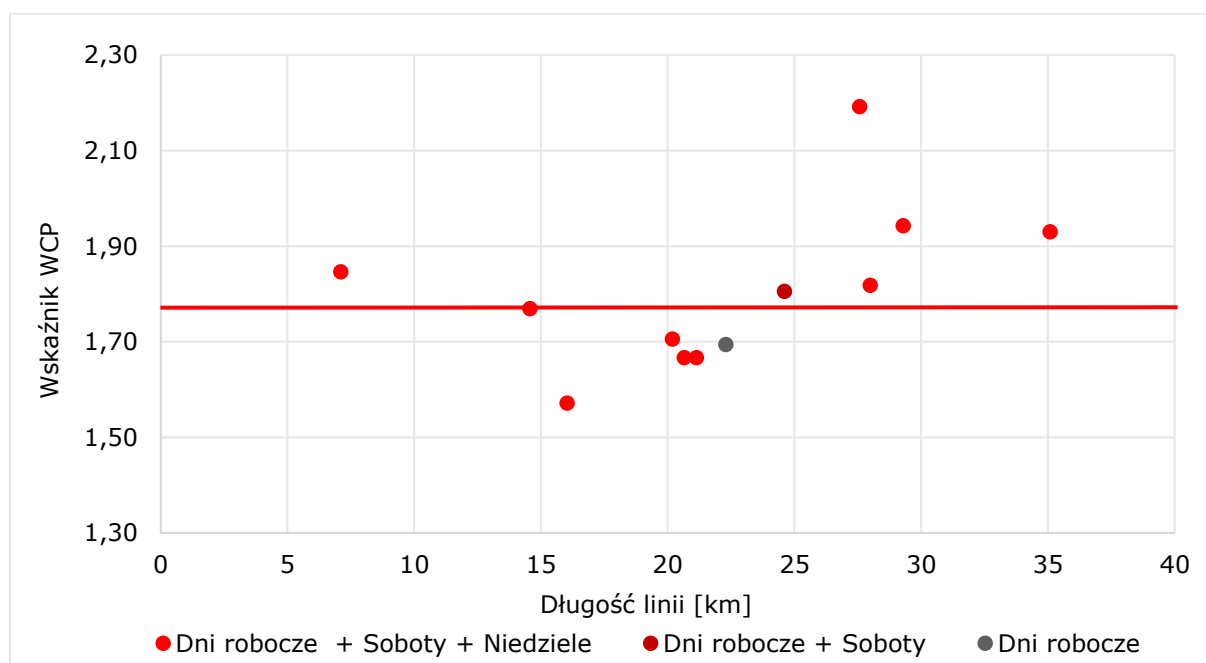
## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Tabela 14. Wskaźnik czasu przejazdu dla najczęściej kurujących wariantów linii autobusowych.**

| Nr linii            | Czas przejazdu – CP<br>[min] | Liczba przystanków<br>– LP | Wskaźnik czasu<br>przejazdu – WCP [min] |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|---|
| Linia A, wariant B  | 80                           | 44                         | 1,82                                    |
| Linia C, wariant R  | 65                           | 36                         | 1,81                                    |
| Linia 1, wariant A  | 20                           | 16                         | 1,25                                    |
| Linia 2, wariant i  | 58                           | 34                         | 1,71                                    |
| Linia 4, wariant A  | 44                           | 28                         | 1,57                                    |
| Linia 5, wariant H  | 68                           | 35                         | 1,94                                    |
| Linia 8, wariant e  | 83                           | 43                         | 1,93                                    |
| Linia 9, wariant A  | 46                           | 26                         | 1,77                                    |
| Linia 10, wariant A | 24                           | 13                         | 1,85                                    |
| Linia 11, wariant J | 45                           | 27                         | 1,67                                    |
| Linia 12, wariant X | 61                           | 36                         | 1,69                                    |
| Linia 15, wariant B | 57                           | 26                         | 2,19                                    |
| Linia 18, wariant V | 55                           | 33                         | 1,67                                    |

Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

**Wykres 4. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a długość linii.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

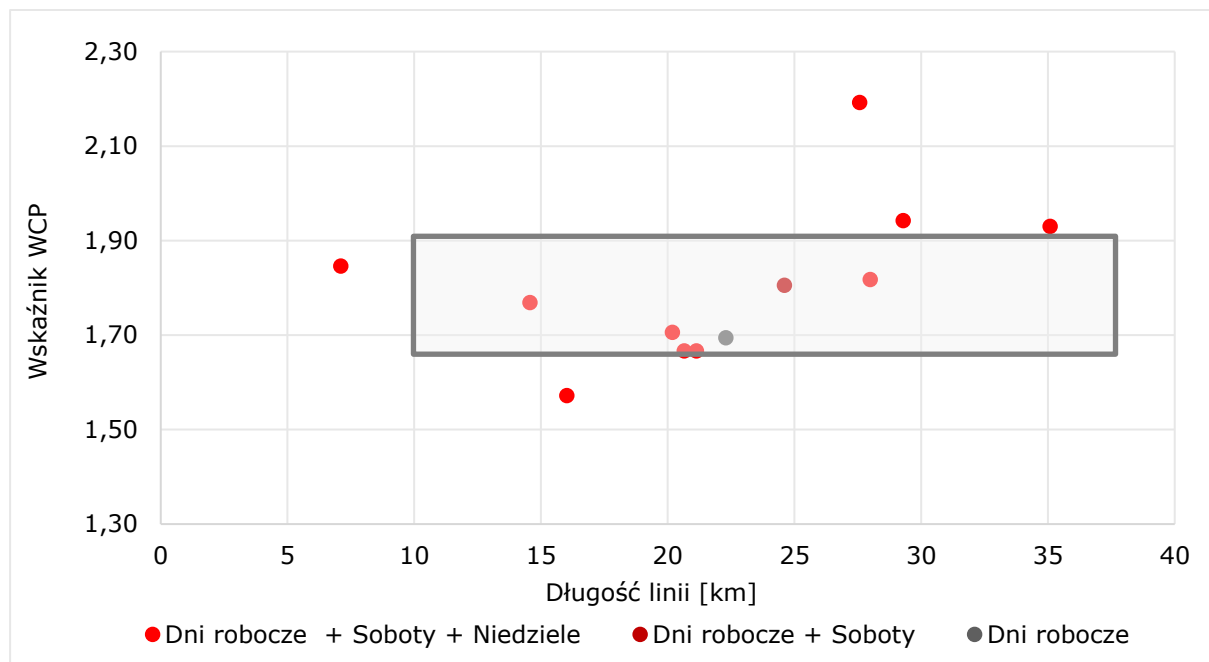


## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W celu wytypowania linii, na których mogłyby być wykorzystywane pojazdy zeroemisyjne wyróżniono następujące kryteria:

- minimalna długość linii wynosi 10 km,
- wskaźnik czasu przejazdu WCP zawierający się w przedziale od 1,62 do 1,92 (mediana wskaźnika WCP dla analizowanych linii).

**Wykres 5. Typowanie trasy dla autobusów zeroemisyjnych.**



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Zestawienie wyznaczonych linii autobusowych, na których mogłyby kursować pojazdy zeroemisyjne przedstawiono w tabeli poniżej.

**Tabela 15. Zestawienie linii autobusowych wg parametru WCP i długość linii.**

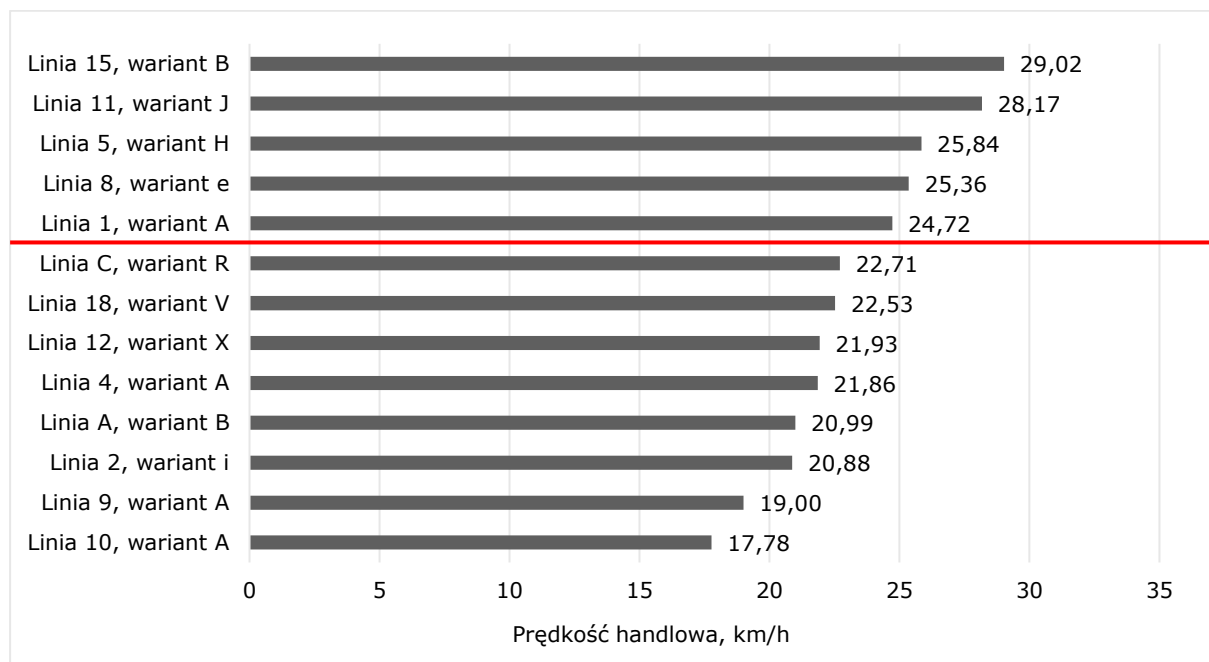
| Nr linii | Długość linii [km] | WCP [min] |
|----------|--------------------|-----------|
| A        | 27,99              | 1,82      |
| C        | 24,60              | 1,81      |
| 2        | 20,18              | 1,71      |
| 9        | 14,57              | 1,77      |
| 11       | 21,13              | 1,67      |
| 12       | 22,30              | 1,69      |
| 18       | 20,65              | 1,67      |

Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Na podstawie czasu przejazdu zawierającego czas postoju autobusu na przystanku oraz długości trasy, wyznaczono prędkości handlowe dla poszczególnych linii autobusowych. Autobusy zeroemisyjne zaleca się kierować na linie z niskimi prędkościami handlowymi, gdyż na takich trasach wielkość spalania autobusów spalinowych jest najwyższa. Wymiana taboru na tych liniach na autobusy o napędzie zeroemisyjnym pozwoli osiągnąć największy efekt ekologiczny. Poniższy wykres przedstawia zestawienie wyznaczonych wielkości prędkości handlowych linii autobusowych.

**Wykres 6. Prędkości handlowe linii autobusowych dla wariantów z najdłuższą trasą.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

W celu wytypowania linii autobusowych, których prędkości handlowe osiągają wystarczająco niskie wartości, wyznaczono średnią arytmetyczną analizowanych prędkości. Na podstawie otrzymanej średniej wybrano linie autobusowe przedstawione w poniższej tabeli.

**Tabela 16. Zestawienie linii autobusowych wg prędkości handlowych.**

| Nr linii | Prędkość handlowa [km/h] |
|----------|--------------------------|
| C        | 22,71                    |
| 18       | 22,53                    |
| 12       | 21,93                    |
| 4        | 21,86                    |
| A        | 20,99                    |
| 2        | 20,88                    |
| 9        | 19,00                    |
| 10       | 17,78                    |

Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Biorąc pod uwagę powyższe kryteria takie jak wskaźnik WCP i prędkość handlowa linii autobusowych, oraz uwzględniając uwarunkowania związane z możliwością instalacji stacji ładowania takimi jak istnienie i wysokość wiaduktów oraz zakres występowania obszarów chronionych, wybór rekomendowanych do elektryfikacji linii autobusowych ograniczono do następujących linii: **A, C, 2, 9, 12 i 18.**

#### 4.2.1. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty

##### Założenia

Wariant 0 zakłada wymianę aktualnego taboru, który składa się wyłącznie z pojazdów o napędzie konwencjonalnym i normie emisji spalin EURO 5 wyprodukowanych w latach 2012-2013, na nowe autobusy konwencjonalne spełniające najnowszą normę emisji spalin EURO 6. Jest wariantem podstawowym, który ma na celu przedstawić punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów.

##### Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

Wymiana taboru na pojazdy konwencjonalne z normą emisji spalin EURO 6 wiąże się jedynie z kosztami zakupu nowych pojazdów, natomiast nie ma konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów inwestycyjnych związanymi z infrastrukturą.

##### Harmonogram wymiany floty

**Tabela 17. Harmonogram wymiany floty na autobusy konwencjonalne z normą emisji spalin EURO 6.**

| Rok  | Łączna ilość wymienionych pojazdów konwencjonalnych z normą emisji spalin EURO 6 | Łączna ilość niewymienionych pojazdów konwencjonalnych z normą emisji spalin EURO 5 |
|------|--|---|
| 2021 | 3  | 53  |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

| Rok  | Łączna ilość wymienionych pojazdów konwencjonalnych z normą emisji spalin EURO 6 | Łączna ilość niewymienionych pojazdów konwencjonalnych z normą emisji spalin EURO 5 |
|------|--|---|
| 2022 | 6  | 50  |
| 2024 | 12   | 44  |
| 2027 | 17   | 39  |

Źródło: Opracowanie własne.

### 4.2.2. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy o elektromobilności

#### Założenia

Wariant 1 zakłada wymianę aktualnego taboru na autobusy elektryczne w liczbie spełniającej wymagania Ustawy o elektromobilności. Dodatkowo, zakłada inwestycję w niezbędną infrastrukturę pozwalającą na eksploatację pojazdów elektrycznych, taką jak stacje wolnego ładowania typu plug-in oraz stacje szybkiego ładowania pantografowego.

#### Infrastruktura elektroenergetyczna w Wałbrzychu

##### Sieć przesyłowa

Operatorem sieci przesyłowej w Polsce jest spółka PSE S.A. Działalność spółki obejmuje przede wszystkim przesył energii elektrycznej, eksploatację sieci przesyłowej oraz krajowy i zagraniczny obrót energią elektryczną. Ponadto PSE jest właścicielem sieci najwyższych napięć. W poniższej tabeli zestawiono linie przesyłowe, znajdujące się na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej otoczeniu.

**Tabela 18. Zestawienie linii znajdujących się na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej otoczeniu.**

| L.p. | Relacja                | Napięcie |                                   | Maksymalne obciążenie linii [MVA] |      |
|------|------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|------|
|      |                        | [kV]     | Typ przewód                       | Zima                              | Lato |
| 1.   | Cieplice - Boguszów    | 220      | 3 x AFL 8-525 mm <sup>2</sup>     | 155                               | 130  |
| 2.   | Boguszów – Świebodzice | 220      | 3 x AFL 8-525 mm <sup>2</sup>     | 150                               | 150  |
| 3.   | Mikułowa – Świebodzice | 2x220    | 2 x 3 x AFL 8-402 mm <sup>2</sup> | 220                               | 220  |
| 4.   | Wrocław – Świebodzice  | 400      | 3 x 3 x AFL 8-350 mm <sup>2</sup> | 150                               | 150  |

Źródło: Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Wałbrzych na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r.

Linie te obsługiwane są przez 2 stacje elektroenergetyczne. W tabeli poniżej zestawiono dane dotyczące stacji elektroenergetycznych obsługujących ww. linie.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

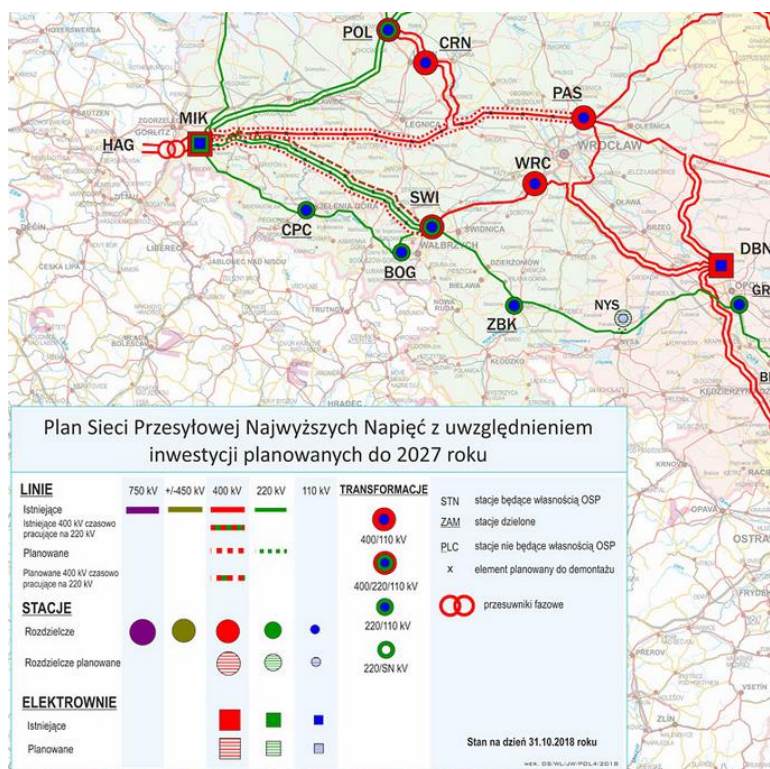
**Tabela 19. Zestawienie stacji elektroenergetycznych znajdujących się w otoczeniu gminy Wałbrzych, obsługiwanych przez operatora sieci przesyłkowej.**

| L.p. | Stacja elektroenergetyczna | Poziomy napięcie [kV] | Przyłączone linie, wg poziomu napięcia   |                       | Moc [MVA] | Napięcie [kV] | Transformatory                    |            |
|------|----------------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|------------|
|      |                            |                       | 220 kV   | 400 kV                |           |               | Obciążenie na każdy transformator |            |
|      |                            |                       |  |                       |           |               | Zima [MVA]                        | Lato [MVA] |
| 1.   | Boguszów                   | 220/110               | Boguszów – Cieplice, Boguszów – Świebodzice  | -                     | 2 x 160   | 230/120/15,75 | 85                                | 75         |
| 2.   | Świebodzice                | 400/220 /110          | Boguszów – Świebodzice, Ząbkowice – Świebodzice, Klecina – Świebodzice, 2 linie Mikułowa – Świebodzice | Wrocław – Świebodzice | 2 x 160   | 230/120/10,5  | 110                               | 100        |

Źródło: Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Wałbrzych na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r.

Powyższe dane, dotyczące linii oraz stacji elektroenergetycznych, zostały przedstawione na poniższym rysunku.

**Rysunek 10. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć w okolicy Wałbrzycha**



Źródło: Plan sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć, <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec>, data dostępu: 03.03.2021 r.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Sieć dystrybucyjna

Sieć dystrybucyjna i sieci niskiego napięcia podlegają w większości zakładom energetycznym. Przesyłanie oraz dystrybucja energii elektrycznej na obszarze miasta jest przedmiotem działalności spółki TAURON Dystrybucja S.A. Oddział w Wałbrzychu. Sieci rozdzielcze są wykorzystywane do rozdziału energii pomiędzy odbiorców. Miejskie sieci elektroenergetyczne obejmują sieci niskiego napięcia, średniego napięcia oraz sieć 110 kV.

Szacuje się do 2024 r., na terenie gminy Wałbrzych, zostanie zakończony proces modernizacji miejskiej sieci dystrybucyjnej, polegający na wymianie kabli zasilających miejskie stacje transformatorowe oraz zmianie napięcia z 10 kV na 20 kV<sup>33</sup>.

### Inwestycje w infrastrukturę elektroenergetyczną

Inwestycje z zakresu elektroenergetyki na terenie gminy Wałbrzych przewidziane są Planem Gospodarki Niskoemisyjnej. Obejmują one działania inwestycyjne, modernizacyjne, oszczędnościowe oraz efektywnościowe.

Kolejnym działaniem prowadzącym do realizacji podniesienia efektywności energetycznej jest rozwój układów kogeneracyjnych oraz wprowadzenia inteligentnych sieci oraz systemów pomiarowych. Poniżej zestawione zostały planowane inwestycje elektroenergetycznego na lata 2018-2022 na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej okolicy.

**Tabela 20. Zestawienie planowanych inwestycji na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej okolicy na lata 2018-2022**

| L.p. | Nazwa inwestycji  | Jednostka realizująca                  | Termin realizacji | Szacunkowe nakłady finansowe [tyś. PLN] | Przewidywane źródło finansowania |
|------|---|--|-------------------|---|----------------------------------|
| 1.   | Budowa układu kogeneracyjnego o mocy elektrycznej 3 MW i mocy cieplnej 8 MW, zasilanej paliwem RDF  | PEC S.A. Wałbrzych                     | 2018 - 2022       | 40 000                                  | Środki własne, kredyt            |
| 2.   | Zakup nowego kotła o mocy ok. 25 MW, pracującego w standardzie zgodnym z wymogami UE, wyposażonego w układy odsiarczania, odazotowania oraz odpylania spalin zgodnie z normami emisyjnymi | PEC S.A. Wałbrzych                     | 2018 - 2022       | 27 000                                  | Środki własne, kredyt            |
| 3.   | Budowa całkowicie nowej linii 2 x 400 kV po trasie (lub obok równoległe) istniejącej linii 2 x 220 kV relacji Mikulowa – Świebodzice  | Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. | 2018-2025         | brak danych                             | Środki własne, środki unijne     |

Źródło: Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Wałbrzycha na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r.

<sup>33</sup> Na podstawie Planu Gospodarki Niskoemisyjnej Miasta Wałbrzycha na lata 2014-2020 z perspektywą do 2030 r.

## Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

Do zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na trasach obsługiwanych przez elektrobusy niezbędne będą stacje ładowania. W takim wypadku do działań i inwestycji niezbędnych do realizacji zadania będą należeć m. in.:

- Zakup taboru zeroemisyjnego według harmonogramu zgodnego z Ustawą o elektromobilności. Przyjęto, że nowo zakupione elektrobusy docelowo zastąpią około 30% dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych.
- Zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji wolnego ładowania typu plug-in na wyznaczonym terenie przy ul. Ludowej w celu efektywnego ładowania pojazdów wymagane jest posiadanie zwykle jednej ładowarki na pojazd (dla urządzeń jednostanowiskowych) lub jednej na dwa pojazdy (dla urządzeń dwustanowiskowych). Stosując ładowarki typu plug-in, bez doładowywania autobusów na trasie, istnieje duże prawdopodobieństwo, że liczba elektrobusów potrzebnych do obsłużenia zaplanowanych tras będzie większa niż analogiczna liczba pojazdów spalinowych, ponieważ elektrobusy musiałyby zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 150 km na kilkugodzinne ładowanie.
- Zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji szybkiego ładowania pantografowego na pętli linii obsługiwanej przez elektrobus. Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborom elektrycznym przyczynia się do znaczącego zwiększenia pokonywanych kilometrów, przez co ogranicza się ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całodzienną realizacją zadania. Dodatkowym atutem jest możliwość zastosowania mniejszej liczby akumulatorów, co przekłada się na niższą masę pojazdów, większą pojemność autobusu, a także prowadzi do wolniejszej degradacji nawierzchni dróg i przystanków.
- Przystosowanie warsztatu do obsługi autobusów elektrycznych na wyznaczonym terenie przy ulicy Ludowej.

W tabeli poniżej zestawiono harmonogram zakupu oraz ilość niezbędnych stacji wolnego ładowania typu plug-in oraz stacji szybkiego ładowania pantografowego.

**Tabela 21. Harmonogram zakupu wymaganych ilości stacji ładowanie plug-in oraz stacji ładowania pantografowego.**

| Rok  | Ilość pojazdów elektrycznych na dany rok | Ilość stacji wolnego ładowania typu plug-in na dany rok | Ilość stacji szybkiego ładowania pantografowego na dany rok |
|------|--|---|---|
| 2021 | 3  | 3   | 1   |
| 2022 | 3  | 3   | 1   |
| 2024 | 6  | 6   | 2   |
| 2027 | 5  | 5   | 1   |

Źródło: Opracowanie własne.

## Harmonogram wymiany floty

**Tabela 22. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności.**

| Rok  | Wymagany udział pojazdów elektrycznych we flocie | Planowany udział pojazdów elektrycznych we flocie | Łączna ilość pojazdów elektrycznych |
|------|--|---|-------------------------------------|
| 2021 | 5%   | 5,17%   | 3                                   |
| 2022 | 10%  | 10,34%  | 6                                   |
| 2024 | 20%  | 20,69%  | 12                                  |
| 2027 | 30%  | 31,03%  | 17                                  |

Źródło: Opracowanie własne

## Szacowane zużycie energii

W analizie przyjęto, że autobusy elektryczne zużywają średnio 1,4 kWh/km. Na podstawie zebranych danych przyjęto uśredniony roczny przebieg pojazdów eksploatowanych na liniach komunikacji miejskiej miasta Wałbrzych (84 000 km). Zestawiono to z wymogami Ustawy o elektromobilności i przedstawionym powyżej harmonogramem wymiany taboru. Następnie wyznaczono roczne zużycie energii w zależności od liczby wykorzystywanych pojazdów elektrycznych zgodnie z ustawą.

**Tabela 23. Szacowane zużycie energii w danym okresie.**

| Rok     | Roczny przejechany dystans przez tabor zeroemisyjny [km] | Roczne zużycie energii [kWh] |
|---------|--|------------------------------|
| od 2021 | 252 000  | 352 800,00                   |
| od 2022 | 504 000  | 705 600,00                   |
| od 2024 | 1 008 000  | 1 411 200,00                 |
| od 2027 | 1 428 000  | 1 999 200,00                 |

Źródło: Opracowanie własne.

## Struktura zapotrzebowania na ON

Ze względu na brak informacji o dokładnym zużyciu paliwa na pojazd, założono średnie zużycie paliwa na poziomie 0,35 l/km.

**Tabela 24. Prognoza zużycia paliwa w latach 2020 – 2035.**

| Rok  | Ilość autobusów elektrycznych | Ilość autobusów konwencjonalnych | Prognozowane zużycie paliwa (ON) przez tabor konwencjonalny w litrach |
|------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 2021 | 3                             | 53                               | 1 558 200   |



| Rok     | Ilość autobusów elektrycznych | Ilość autobusów konwencjonalnych | Prognozowane zużycie paliwa (ON) przez tabor konwencjonalny w litrach |
|---------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 2022    | 6                             | 50                               | 1 470 000   |
| 2023    | 6                             | 50                               | 1 470 000   |
| 2024    | 12                            | 44                               | 1 293 600   |
| 2025    | 12                            | 44                               | 1 293 600   |
| 2026    | 12                            | 44                               | 1 293 600   |
| od 2027 | 17                            | 39                               | 1 146 600   |

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.2.3. Wariant 2 – wykorzystanie pojazdów zasilanych wodorem w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy o elektromobilności

##### Założenia

Wariant 2 zakłada wymianę wykorzystywanego obecnie taboru konwencjonalnego na autobusy napędzane wodorem w liczbie zgodnej z harmonogramem przedstawionym w Ustawie o elektromobilności. Ponadto, zakłada zakup i montaż niezbędnej infrastruktury, czyli stacji tankowania wodoru z instalacją do elektrolizy umożliwiającą produkcję wodoru.

##### Infrastruktura wodorowa w Wałbrzychu

Obecnie na terenie Wałbrzycha nie istnieje stacja tankowania wodoru. Zgodnie z otrzymanymi informacjami, planowana jest budowa takiej stacji przez PKN Orlen. Podpisanie listu intencyjnego dotyczącego współpracy w zakresie rozwoju technologii wodorowej pomiędzy Gminą Wałbrzych a PKN Orlen ma nastąpić w maju 2021 r., natomiast budowa infrastruktury wodorowej przewidziana jest do końca pierwszego półrocza 2023 r.

##### Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

W celu zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na trasach obsługiwanych przez autobusy zasilane wodorem niezbędna będzie inwestycja w stacje tankowania wodoru. W tym przypadku należy wyróżnić następujące zadania niezbędne do realizacji:

- Zakup taboru zeroemisyjnego według harmonogramu zgodnego z Ustawą o elektromobilności. Przyjęto, że nowo zakupione autobusy napędzane wodorem docelowo zastąpią około 30% dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych.
- Inwestycja w stację tankowania wodoru wyposażoną w następujące komponenty: instalację do elektrolizy, sprężarkę, zbiorniki do magazynowania wodoru oraz dystrybutory. Ponadto

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

stację będzie należało przyłączyć do sieci dystrybucyjnej. Produkcja wodoru na stacji pozwoli uniknąć problemów logistycznych związanych z dostawą wodoru.

- Budowa stacji tankowania wodoru.

### Harmonogram wymiany floty

**Tabela 25. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane wodorem zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności.**

| Rok  | Wymagany udział pojazdów napędzanych wodorem we flocie | Planowany udział pojazdów napędzanych wodorem we flocie | Łączna ilość pojazdów napędzanych wodorem |
|------|--|---|---|
| 2021 | 5%   | 5,17%   | 3   |
| 2022 | 10%  | 10,34%  | 6   |
| 2024 | 20%  | 20,69%  | 12  |
| 2027 | 30%  | 31,03%  | 17  |

Źródło: Opracowanie własne

### Szacowane zużycie energii na produkcję wodoru

Przyjęto uśredniony roczny przebieg pojazdów eksploatowanych na liniach komunikacji miejskiej miasta Wałbrzych równy 84 000 km oraz średnie zużycie wodoru na poziomie 0,0986 kg/km. Założono, że niezbędna energia potrzebna na wyprodukowanie w procesie elektrolizy 1 kg wodoru wynosi 53 kWh. W tabeli poniżej przedstawiono roczne zapotrzebowanie taboru na wodór oraz ilość energii koniecznej do jego wyprodukowania.

**Tabela 26. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie**

| Rok     | Roczny zużycie wodoru [kg] | Roczne zużycie energii [MWh] |
|---------|----------------------------|------------------------------|
| od 2021 | 24 840                     | 1 317                        |
| od 2022 | 49 680                     | 2 633                        |
| od 2024 | 99 360                     | 5 266                        |
| od 2027 | 140 760                    | 7 460                        |

Źródło: Opracowanie własne

### Struktura zapotrzebowania na paliwa ON

Szacowane zużycie paliwa autobusów konwencjonalnych prezentują się tak jak w przypadku wariantu 1 (Tabela 24).

#### 4.2.4. Wariant 3 – wykorzystanie 20 pojazdów zasilanych wodorem i 36 pojazdów zasilanych CNG

##### **Założenia**

Wariant 3 zakłada wymianę taboru konwencjonalnego należącego do Gminy Wałbrzych w liczbie 20 sztuk na pojazdy napędzane wodorem oraz inwestycję w niezbędną infrastrukturę. W przypadku pozostałej części floty (36 autobusów) zakłada się wymianę na pojazdy zasilane CNG w 2023 roku zgodnie z podpisanym kontraktem z przewoźnikiem, który zostanie wyłoniony za drodze przetargu.

##### **Infrastruktura wodorowa i infrastruktura CNG w Wałbrzychu**

W obrębie zajezdni autobusowej przy ul. Ludowej 1D na wydzielonym terenie zlokalizowana jest stacja tankowania CNG należąca do PGNiG S.A. wyposażona w jeden kompresor firmy Compair o wydajności 300 Nm<sup>3</sup>/h. Docelowo stacja była wyposażona w jeszcze jeden kompresor firmy Galileo o wydajności 900 Nm<sup>3</sup>/h, dzięki czemu łączna wydajność stacji wynosiła 1200 Nm<sup>3</sup>/h. Wspomniana sprężarka została aktualnie wypożyczona i jest wykorzystywana w innej lokalizacji. Ponadto stacja posiada magazyn gazu o pojemności 1800 m<sup>3</sup>. Na stacji znajduje się jeden dystrybutor oraz dwa stanowiska do tankowania pojazdów.

Obecnie na terenie Wałbrzycha nie istnieje stacja tankowania wodoru. Zgodnie z otrzymanymi informacjami, planowana jest budowa takiej stacji przez PKN Orlen. Podpisanie listu intencyjnego dotyczącego współpracy w zakresie rozwoju technologii wodorowej pomiędzy Gminą Wałbrzych a PKN Orlen ma nastąpić w maju 2021 r., natomiast budowa infrastruktury wodorowej przewidziana jest do końca pierwszego półrocza 2023 r.

##### **Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania**

Podobnie jak w przypadku wariantu 2, aby zapewnić ciągłości świadczenia usług przewozowych na trasach obsługiwanych przez autobusy zasilane wodorem niezbędna będzie inwestycja w stację tankowania wodoru. Konieczne do realizacji będą następujące zadania:

- Zakup taboru napędzanego wodorem, który docelowo zastąpią 20 dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych należących do Gminy Wałbrzych.
- Inwestycja w stację tankowania wodoru przeznaczoną na 10 pojazdów w 2022 roku wyposażoną w następujące komponenty: instalację do elektrolizy, sprężarkę, zbiorniki do magazynowania wodoru oraz dystrybutory. Ponadto stację będzie należało przyłączyć do sieci dystrybucyjnej. Produkcja wodoru na stacji pozwoli uniknąć problemów logistycznych związanych z dostawą wodoru.
- Rozbudowę stacji tankowania wodoru w 2023 roku w celu obsługi większej ilości pojazdów. Docelowo przewidziana stacja ma obsługiwać 20 pojazdów.
- Budowa stacji tankowania wodoru.

W przypadku pojazdów zasilanych CNG założono, że dostawa taboru będzie należała do zewnętrznego przewoźnika, który zostanie wytypowany na drodze przetargu.

## Harmonogram wymiany floty

**Tabela 27. Harmonogram wymiany floty należącej do Gminy Wałbrzych na autobusy napędzane wodorem**

| Rok  | Łączna ilość pojazdów napędzanych wodorem |
|------|---|
| 2022 | 7   |
| 2023 | 10  |
| 2024 | 13  |
| 2025 | 16  |
| 2026 | 18  |
| 2027 | 20  |

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku pojazdów zasilanych CNG zakłada się, że wymiana całości taboru nastąpi w 2023 r.

## Szacowane zużycie energii na produkcję wodoru

Uwzględniając zaprezentowany powyżej harmonogram wymiany taboru, w tabeli poniżej przedstawiono roczne zapotrzebowanie na wodór oraz ilość energii koniecznej do jego wyprodukowania obliczone zgodnie z przyjętymi założeniami przedstawionymi w podrozdziale 4.2.3.

**Tabela 28. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie**

| Rok     | Roczny zużycie wodoru [kg] | Roczne zużycie energii [MWh] |
|---------|----------------------------|------------------------------|
| od 2022 | 57 960,00                  | 3 072                        |
| od 2023 | 82 800,00                  | 4 388                        |
| od 2024 | 107 640,00                 | 5 705                        |
| od 2025 | 132 480,00                 | 7 021                        |
| od 2026 | 149 040,00                 | 7 899                        |
| od 2027 | 165 600,00                 | 8 777                        |

Źródło: Opracowanie własne

## Struktura zapotrzebowania na CNG

Zgodnie z przyjętym założeniem dotyczącym średniego rocznego przebiegu pojazdów eksploatowanych na liniach komunikacji miejskiej miasta Wałbrzych równym 84 000 km oraz przyjmując średnie zapotrzebowanie na CNG dla autobusu równe 0,50 m<sup>3</sup> CNG/km, obliczono roczne zapotrzebowanie na CNG, przy założeniu jednorazowej wymiany 36 pojazdów w 2023 roku. Od 2023 roku przez kolejne lata roczne zużycie CNG będzie utrzymywać się na poziomie 1,51 mln m<sup>3</sup> CNG/rok.

#### 4.2.5. Wariant 4 – wymiana całego taboru na CNG

##### Założenia

Wariant 4 zakłada wymianę taboru konwencjonalnego należącego do Gminy Wałbrzych w liczbie 20 sztuk na pojazdy zasilane CNG oraz inwestycję w celu zwiększenia wydajności istniejącej stacji CNG w Wałbrzychu. W przypadku pozostałej części floty (36 autobusów) zakłada się, że obowiązkiem przewoźnika, wyłonionego na drodze przetargu, będzie zapewnienie wymiany tej części floty na tabor zasilany CNG.

##### Infrastruktura CNG w Wałbrzychu

W Wałbrzychu zlokalizowana jest stacja tankowania CNG, należąca do PGNiG S.A., o wydajności 300 Nm<sup>3</sup>/h, na wydzielonym terenie w obrębie zajezdni autobusowej przy ul. Ludowej 1D. Dokładny opis parametrów stacji opisano w wariantcie 3.

##### Działania i inwestycje wymagane do realizacji zadania

Do niezbędnych zadań, które pozwolą zapewnić ciągłości świadczenia usług przewozowych będą należeć m. in.:

- Zakup taboru niskoemisyjnego (pojazdów napędzanych CNG), który docelowo zastąpi 20 dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych należących do Gminy Wałbrzych.
- Rozbudowa istniejącej stacji CNG poprzez zwiększenie ilości dystrybutorów i stanowisk w celu obsłużenia większej liczby pojazdów. Czas tankowania jednego pojazdu dystrybutorem wolnego tankowania wynosi około 30 minut, dlatego też założono zakup dodatkowych trzech dystrybutorów, aby w ciągu nocy zatankować całą flotę.

##### Harmonogram wymiany floty

**Tabela 29. Harmonogram wymiany floty należącej do Gminy Wałbrzych na autobusy napędzane CNG.**

| Rok  | Łączna ilość pojazdów napędzanych CNG |
|------|---------------------------------------|
| 2022 | 7                                     |
| 2023 | 10                                    |
| 2024 | 13                                    |
| 2025 | 16                                    |
| 2026 | 18                                    |
| 2027 | 20                                    |

Źródło: Opracowanie własne.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Struktura zapotrzebowania na paliwa CNG

W celu oszacowania prognozowanego zużycia CNG przyjęto następujące założenia: średni roczny przebieg pojazdu 84 000 km oraz średnie zapotrzebowanie dla jednego pojazdu na CNG 0,41 m<sup>3</sup> CNG/km.

**Tabela 30. Prognoza zużycia CNG w latach 2020 – 2035.**

| Rok     | Ilość autobusów zasilanych CNG należących do Gminy Wałbrzych | Ilość autobusów zasilanych CNG należących do przewoźnika zewnętrznego | Łączna ilość pojazdów zasilanych CNG | Prognozowane zapotrzebowanie na CNG [mln m <sup>3</sup> CNG/rok] |
|---------|--|---|--------------------------------------|--|
| 2022    | 7  | 0   | 7                                    | 0,31   |
| 2023    | 10   | 36  | 46                                   | 2,01   |
| 2024    | 13   | 36  | 49                                   | 2,14   |
| 2025    | 16   | 36  | 52                                   | 2,27   |
| 2026    | 18   | 36  | 54                                   | 2,36   |
| od 2027 | 20   | 36  | 56                                   | 2,45   |

Źródło: Opracowanie własne

### Struktura zapotrzebowania na ON

Zgodnie z harmonogramem wymiany floty oszacowano zapotrzebowanie na olej napędowy dla autobusów konwencjonalnymi do momentu całkowitej wymiany taboru. Założono średnie zużycie paliwa na poziomie 0,35 l/km.

**Tabela 31. Prognoza zużycia paliwa (ON).**

| Rok     | Ilość autobusów zasilanych CNG | Ilość autobusów konwencjonalnych | Prognozowane zużycie paliwa (ON) przez tabor konwencjonalny w litrach |
|---------|--------------------------------|----------------------------------|---|
| 2021    | 0                              | 56                               | 1 646 400   |
| 2022    | 7                              | 49                               | 1 440 600   |
| 2023    | 46                             | 8                                | 235 200   |
| 2024    | 49                             | 7                                | 205 800   |
| 2025    | 52                             | 4                                | 117 600   |
| 2026    | 54                             | 2                                | 58 800  |
| od 2027 | 56                             | 0                                | 0   |

Źródło: Opracowanie własne

### 4.2.6. Podsumowanie

Analiza możliwości wdrożenia elektromobilności do komunikacji miejskiej na terenie miasta Wałbrzycha wykazała, iż nie istnieją przeciwwskazania uniemożliwiające na przyłączenie infrastruktury ładowania autobusów elektrycznych do sieci elektroenergetycznej. Inwestycją konieczną do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego jest zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji wolnego ładowania typu plug-in na wyznaczonym terenie przy ul. Ludowej oraz stacji szybkiego ładowania pantografowego na pętli linii obsługiwanej przez elektrobusy.

W przypadku wariantów zakładających wymianę części floty na pojazdy zasilane wodorem, przedstawiona analiza pozwala stwierdzić, że niezbędną inwestycją jest budowa stacji tankowania wodoru z elektrolizerem umożliwiającym produkcję wodoru na miejscu. Budowę takiej stacji w Wałbrzychu planuje PKN ORLEN. Na terenie miasta została wstępnie wytypowana lokalizacja, na której mogłaby zostać wybudowana stacja tankowania wodoru i jest to teren w sąsiedztwie obecnie funkcjonującej stacji paliw PKN ORLEN przy ul. Wysockiego.

Wymiana części taboru na pojazdy zasilane CNG pozwala na uniknięcie kosztów związanych z zakupem niezbędnej infrastruktury, ze względu na fakt, że w Wałbrzychu funkcjonuje już stacja tankowania CNG. W przypadku wariantu zakładającego wymianę całej floty na autobusy napędzane CNG, konieczne jest zwiększenie ilości dystrybutorów obsługujących autobusy na stacji.

Z ekologicznego punktu widzenia wszystkie warianty zakładające wymianę pojazdów konwencjonalnych na pojazdy zeroemisyjne i niskoemisyjne niosą ze sobą wiele korzyści środowiskowych, co prowadzi do znacznej poprawy jakości życia mieszkańców Wałbrzycha.

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy zeroemisyjne (elektryczne lub wodorowe) będą wykazywać się największą efektywnością to linie: A, C, 2, 9, 12 i 18.

### 4.3. Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza nakładów inwestycyjnych

#### Założenia

W celu oceny opłacalności finansowej rozważanych wariantów przeprowadzono analizę finansowo-ekonomiczną. W niniejszej analizie uwzględniono zmiany w strukturze kosztów ponoszonych przez operatora w wałbrzyskim systemie komunikacji miejskiej - w zależności od kierunków rozwoju floty. Wymiany taboru prowadzone przez innych przewoźników przyjęto jako niezależne i pokrywane z ich własnego budżetu.

Poniższa analiza finansowa została sporządzona na okres 15 lat – od 2021 do 2035 r.

W celu jej przeprowadzenia zostały zastosowane następujące założenia:

- Inflacja w poszczególnych latach osiąga wartości:
  - 2020 r. – 3,40%,
  - od 2021 r. – 2,60%<sup>34</sup>.
- Stopa dyskonta równa 4%.
- Przyjęty czas eksploatacji autobusu:
  - Konwencjonalnego - 10 lat,
  - Elektrycznego – 12 lat,
  - Zasilanego wodorem – 12 lat
  - Zasilanego CNG – 12 lat
- Koszt autobusu (w 2020 r.):
  - Konwencjonalnego – 0,98 mln PLN,
  - Elektrycznego – 2,41 mln PLN,
  - Zasilanego wodorem – 4,19 mln PLN,
  - Zasilanego CNG – 1,09 mln PLN.
- Koszt wymiany baterii w autobusie elektrycznym przyjęto na poziomie 500 tys. PLN, a koszt odsprzedaży używanej baterii jako 350 tys. PLN.
- Jako rok bazowy analizy finansowej przyjęto 2019 r.
- W analizie pokazano istotne koszty rodzajowe: paliw, serwisu oraz osobowe.
- Przyjęto następujące wartości kosztów serwisowych autobusu w 2020 r.:
  - Konwencjonalnego – 13,93 tys. PLN,
  - Elektrycznego – 23,00 tys. PLN,
  - Zasilanego wodorem – 18,00 tys. PLN,
  - Zasilanego CNG – 15,00 tys. PLN.
- Wzrost kosztów serwisowych został założony zgodnie ze wzrostem inflacji rok do roku.
- Uwzględniono przychody ze sprzedaży biletów i porozumień międzygminnych.
- Współczynnik FNPV wyznaczano na podstawie wzoru:

<sup>34</sup> [https://www.nbp.pl/home.aspx?f=/polityka\\_pieniezna/dokumenty/projekcja\\_inflacji.html](https://www.nbp.pl/home.aspx?f=/polityka_pieniezna/dokumenty/projekcja_inflacji.html), stan na 18 lutego 2020 r.



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

$$FNPV = \sum_{t=0}^n \frac{S_n^C}{(1+r)^n}$$

gdzie:

n – okres od niesienia (liczba lat) – 1,

$S_n^C$  – salda przepływów pieniężnych generowanych przez projekt w poszczególnych latach okresu odniesienia analizy,

r – finansowa stopa dyskonta,

Gdy współczynnik ten osiągnie wartość mniejszą od 0, świadczy to o nierentowności danej inwestycji.

W celu przeprowadzenia analizy finansowej wykorzystano następujące dane:

- Dane otrzymane od SKA oraz ZDKiUM dotyczące wydatków oraz przychodów w latach 2018-2020,
- Porozumienia międzygminne.

### 4.3.1. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty

#### **Nakłady inwestycyjne**

20 pojazdów, którymi dysponuje operator transportu publicznego w Wałbrzychu jest własnością Gminy. Na przestrzeni analizowanych 15 lat koszty związane z zakupem nowego taboru przez Gminę Wałbrzych wyniosą około 18,5 mln PLN, przy założeniu, że w 2020 r. koszt autobusu konwencjonalnego wynosił 0,98 mln PLN (analiza uwzględnia wzrost cen pojazdów związany z występowaniem inflacji).

#### **Koszty eksploatacyjne**

Wariant 0 zakłada utrzymanie stanu obecnego floty, co wiązało się będzie z dalszym ponoszeniem kosztów ich eksploatacji i utrzymania. Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość kosztów związanych z eksploatacją autobusów zasilanych olejem napędowym są: koszty związane z zatrudnieniem pracowników oraz koszty paliwa. Zakładając, że w kolejnych latach liczba autobusów, którymi będzie dysponował operator utrzyma się na stałym poziomie – 56 sztuk, wyznaczono koszty zakupu paliwa oraz koszty osobowe.

Z uwagi na powyższe założenie wartość kosztów osobowych w kolejnych latach utrzymana będzie na takim samym poziomie, uwzględniając jedynie zjawisko inflacji. Natomiast, na kwotę przeznaczaną na zakup paliwa wpływać będzie zmienność cen paliwa w kolejnych latach przedstawiona w poniższej tabeli.

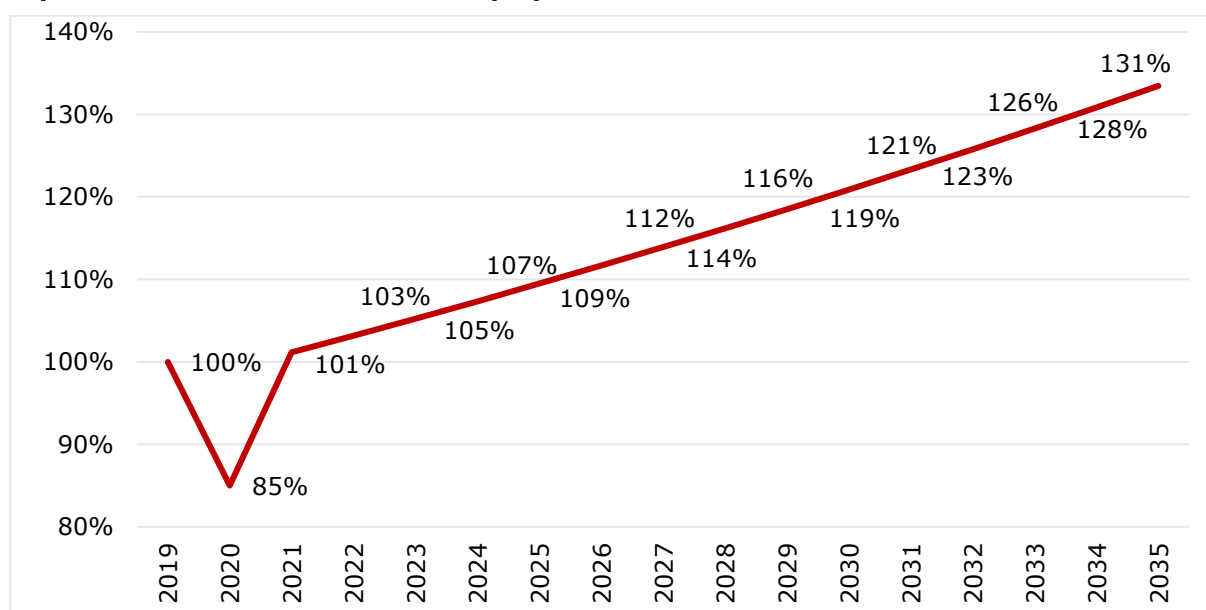
**Tabela 32. Szacowana zmienność cen paliwa.**

| Rok     | Zmienność cen paliwa |
|---------|----------------------|
| 2020    | -15,00%              |
| 2021    | 19,00%               |
| od 2022 | 2,00%                |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie średniej rocznej cena EKO diesel wg PKN Orlen. Szacunek na podstawie roku 2019.

Na poniższym wykresie została przedstawiona zmienność kosztów związanych z zakupem paliwa w odniesieniu do roku bazowego (2019). Na jego podstawie widać wyraźny wzrost cen paliwa w kolejnych latach. W 2034 r. wzrosną one o ponad 30% w porównaniu do roku 2019.

**Wykres 7. Zmienność kosztów zakupu paliwa w odniesieniu do roku 2019.**



Źródło: Opracowanie własne.

### Infrastruktura zasilania

Z uwagi na fakt, że wariant 0 zakłada utrzymanie stanu obecnego floty, tj. zakup autobusów zasilanych olejem napędowym, poniższa analiza nie uwzględnia kosztów związanych z zakupem infrastruktury potrzebnej do obsługi taboru takiej jak ładowarek, przebudowa sieci dystrybuującej paliwa czy stacji tankowania wodoru.

### Części zamienne

Przyjęto założenie, że struktura wieku eksploatowanych autobusów będzie w kolejnych latach taka sama, a czynnikiem wpływającym na koszty związane z utrzymaniem taboru na odpowiednim poziomie użytkowania jest inflacja.

### Wskaźniki ekonomiczne

Poszczególne składowe kosztów w wydatkach, wynikających z wprowadzenia założeń wariantu 0, ponoszonych przez Gminę Wałbrzych w latach 2021-2035 zostały przedstawione w poniższej tabeli.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W analizowanym okresie koszty zakupu oleju napędowego na wymieniony tabor wyniosą 32,93 mln PLN, natomiast serwis nowych pojazdów wyniesie 3,65 mln PLN.

Rentowność wariantu 0 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = - 21 850 346,31 PLN**.

**Tabela 33. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 0.**

| Rok  | Koszty serwisowe [PLN] | Zakup paliwa [PLN] | Zakup nowego taboru [PLN] | Suma [mln PLN] |
|------|------------------------|--------------------|---------------------------|----------------|
| 2021 | 43 206                 | 376 614            | 3 023 519                 | <b>3,44</b>    |
| 2022 | 88 660                 | 776 160            | 3 102 131                 | <b>3,97</b>    |
| 2023 | 90 965                 | 799 092            | 0                         | <b>0,89</b>    |
| 2024 | 186 660                | 1 647 576          | 6 531 078                 | <b>8,37</b>    |
| 2025 | 191 513                | 1 696 968          | 0                         | <b>1,89</b>    |
| 2026 | 196 492                | 1 746 360          | 0                         | <b>1,94</b>    |
| 2027 | 285 601                | 2 548 980          | 5 878 218                 | <b>8,71</b>    |
| 2028 | 293 027                | 2 623 950          | 0                         | <b>2,92</b>    |
| 2029 | 300 646                | 2 703 918          | 0                         | <b>3,00</b>    |
| 2030 | 308 462                | 2 783 886          | 0                         | <b>3,09</b>    |
| 2031 | 316 482                | 2 868 852          | 0                         | <b>3,19</b>    |
| 2032 | 324 711                | 2 953 818          | 0                         | <b>3,28</b>    |
| 2033 | 333 153                | 3 043 782          | 0                         | <b>3,38</b>    |
| 2034 | 341 815                | 3 133 746          | 0                         | <b>3,48</b>    |
| 2035 | 350 703                | 3 228 708          | 0                         | <b>3,58</b>    |

Źródło: Opracowanie własne

### 4.3.2. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w ilości pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy

#### Nakłady inwestycyjne

Założono, że koszt autobusu elektrycznego w 2020 roku wyniósł 2,4 mln PLN (analiza uwzględnia wzrost tych cen wraz z inflacją). Przy zakupie elektrobusów w ilości spełniającej obowiązek wynikający z Ustawy o elektromobilności, do 2028 roku szacowany łączny koszt zakupu nowego taboru wraz z ładowarkami wyniesie ok. 40,15 mln. zł.

#### Infrastruktura zasilania

Nakłady inwestycyjne związane z zakupem oraz instalacją stacji ładowania typu plug-in to około 106 tys. zł. Nakłady inwestycyjne związane z modernizacją sieci dystrybucyjnej pod punkty ładowania wymagają określenia przez operatora sieci dystrybucyjnej warunków przyłączenia.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Należy uwzględnić także koszty zakupu i montażu stacji szybkiego ładowania pantografowego. Wydatek na ten cel wynosi 450 tys. PLN i obejmuje koszt zakupu jednej ładowarki i zamontowanie jej na pętli autobusowej. Rozbudowa niezbędnej infrastruktury będzie przebiegała zgodnie z harmonogramem przedstawionym w Tabeli 20. W podany powyżej koszt systemów ładowania zostały wliczone szacowane koszty związane z przyłączem elektrycznym. Łączny koszt nakładów niezbędnych do pokrycia kosztów dodatkowej infrastruktury wyniesie 4,05 mln PLN.

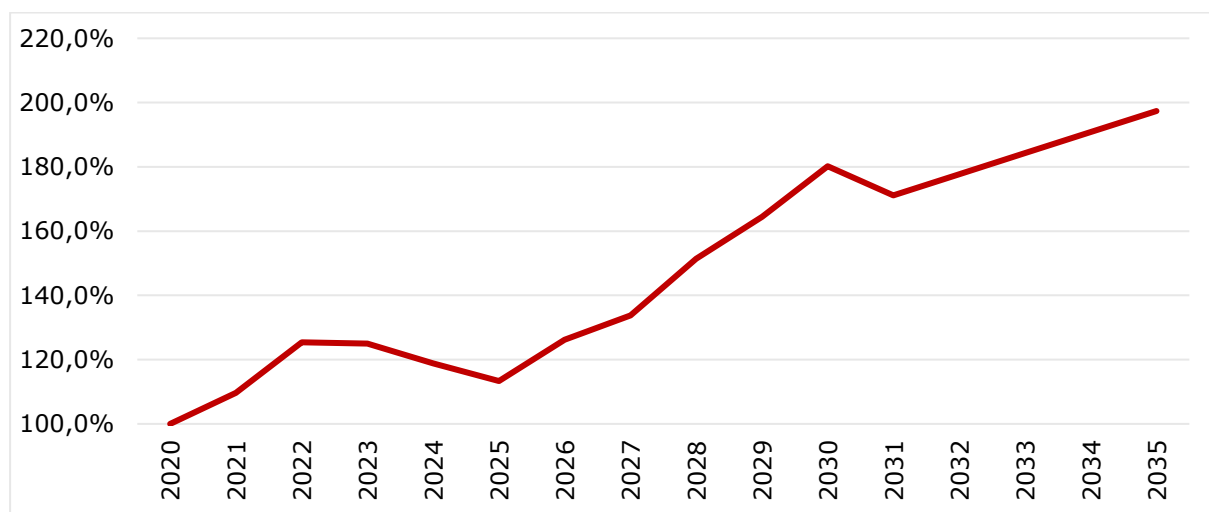
### Szkolenie kierowców

W kosztach inwestycyjnych uwzględniono również potrzebę przeszkolenia pracowników w zakresie obsługi i eksploatacji elektrobusów, którego koszt może wynieść 500 PLN/os.

### Koszty eksploatacyjne

Różnicą w stosunku do wariantu 0 jest zmiana struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego w 2021 roku. Część kosztów zakupu oleju napędowego, zostanie zastąpiona przez koszty związane z zakupem energii elektrycznej. Założono, że ceny energii będą się zmieniały w stosunku do roku poprzedniego, tak jak przedstawia wykres poniżej. Przyjęto także, że pojazdy ładowane ładowarkami pantografowymi będą rozliczane wg. taryfy C11em<sup>1</sup>, gdzie cena energii w 2021 roku wynosi 252 zł/MWh. Autobusy ładowane na zajezdni rozliczane będą wg taryfy C11em<sup>2</sup>, gdzie cena energii w 2021 roku wynosi 402 zł/MWh.

### Wykres 8. Wzrost cen energii w okresie objętym analizą.



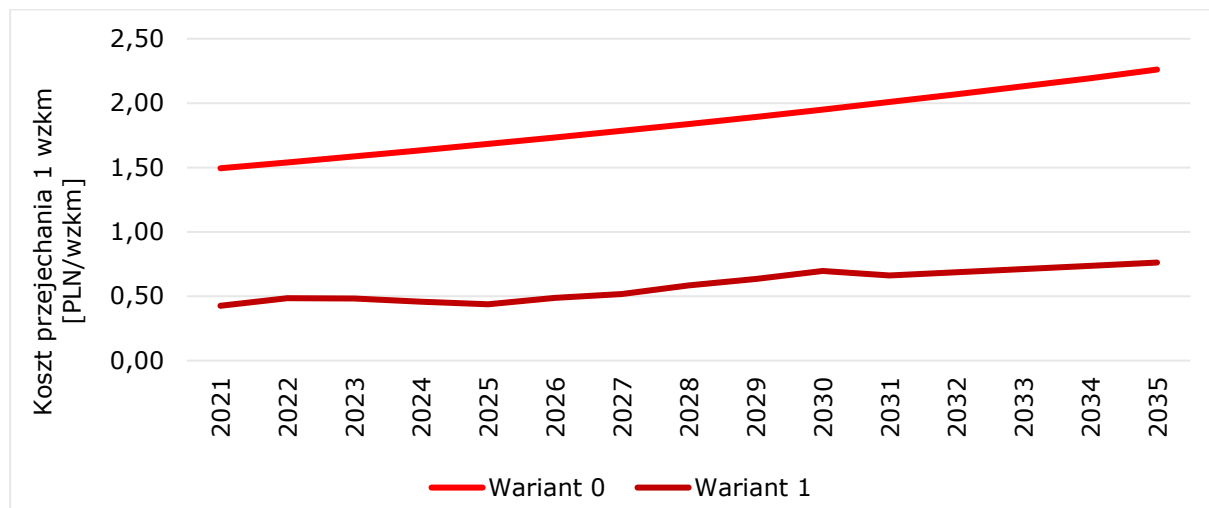
Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie poniżej została przedstawiona zmienność kosztów związanych z zakupem oleju napędowego. Na jego podstawie widać wyraźny wzrost kosztów potrzebnych na zakup paliwa w wariantie 0 w kolejnych latach. W wariantie 1, zakładającym wprowadzanie taboru elektrycznego zaobserwować można znaczące spadki kosztów eksploatacyjnych związanych z zakupem energii elektrycznej zamiast oleju napędowego. Przewiduje się, że do 2035 r. dla wariantu 0 koszty zakupu paliwa wzrosną o 51%, w stosunku do roku 2021. W roku 2021 koszt przejechania jednego wozokilometra będzie niższy w przypadku wariantu 1 o ok. 1,06zł i z każdym kolejnym rokiem, w którym zostanie wprowadzany tabor zeroemisyjny, różnica ta będzie coraz

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

większa. W 2035 roku różnica między kosztami zakupu paliwa dla wariantu 0 oraz 1 wyniesie ok. 1,50 zł/wzkm. Opisane zależności zostały przedstawione na poniższym wykresie oraz w poniższej tabeli.

**Wykres 9. Koszty zakupu paliwa dla wariantu 0 i 1.**



Źródło: Opracowanie własne.

**Tabela 34. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wzkm w wariantach 0 i 1.**

| Rok  | Koszt przejechania 1 wzkm [PLN/wzkm] |      |
|------|--------------------------------------|------|
|      | W0                                   | W1   |
| 2021 | 1,49                                 | 0,43 |
| 2022 | 1,54                                 | 0,48 |
| 2023 | 1,59                                 | 0,48 |
| 2024 | 1,63                                 | 0,46 |
| 2025 | 1,68                                 | 0,44 |
| 2026 | 1,73                                 | 0,49 |
| 2027 | 1,79                                 | 0,52 |
| 2028 | 1,84                                 | 0,58 |
| 2029 | 1,89                                 | 0,63 |
| 2030 | 1,95                                 | 0,70 |
| 2031 | 2,01                                 | 0,66 |
| 2032 | 2,07                                 | 0,69 |
| 2033 | 2,13                                 | 0,71 |
| 2034 | 2,19                                 | 0,74 |
| 2035 | 2,26                                 | 0,76 |

Źródło: Opracowanie własne.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Pozostałe koszty

Przyjęto, że koszty osobowe, części zamiennych oraz pozostałe składowe wydatków (m.in. koszty ogólnozakładowe) będą zmieniały się w czasie tak samo jak w przypadku wariantu 0.

W kosztach serwisowych zawarto koszt wymiany baterii na poziomie 500 tys. PLN po 10 latach eksploatacji. Dodatkowo przyjęto sprzedaż starej baterii za 70% pierwotnej wartości.

### Wskaźniki ekonomiczne

Poszczególne składowe kosztów w wydatkach związanych z realizacją założeń wariantu 1 ponoszonych przez Gminę Wałbrzych zostały przedstawione w poniższej tabeli. W analizowanym okresie całkowite koszty przeznaczone na zakup energii wyniosą 10,54 mln PLN, a wydatki przeznaczone na serwis pojazdów 5,77 mln. Wymiana autobusów zgodnie z harmonogramem będzie kosztować 40,15 mln PLN a zakup dodatkowego osprzętu 4,47 mln PLN.

Rentowność wariantu 1 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = - 130 671 521,25 PLN.**

**Tabela 35. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1.**

| Rok  | Koszty serwisowe [PLN] | Zakup energii [PLN] | Zakup nowego taboru [PLN] | Nakłady na infrastrukturę [PLN] | Suma [mln PLN] |
|------|------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|
| 2021 | 68 244                 | 107 422             | 7 186 937                 | 787 968                         | <b>8,15</b>    |
| 2022 | 140 037                | 244 241             | 7 152 584                 | 808 455                         | <b>8,35</b>    |
| 2023 | 143 678                | 243 565             | 0                         | 0                               | <b>0,39</b>    |
| 2024 | 294 827                | 461 998             | 14 168 737                | 1 702 082                       | <b>16,64</b>   |
| 2025 | 302 492                | 440 634             | 0                         | 0                               | <b>0,76</b>    |
| 2026 | 310 357                | 490 374             | 0                         | 0                               | <b>0,81</b>    |
| 2027 | 451 104                | 737 315             | 11 638 773                | 1 172 890                       | <b>14,02</b>   |
| 2028 | 462 832                | 834 640             | 0                         | 0                               | <b>1,30</b>    |
| 2029 | 474 866                | 906 283             | 0                         | 0                               | <b>1,38</b>    |
| 2030 | 487 212                | 993 399             | 0                         | 0                               | <b>1,48</b>    |
| 2031 | 499 880                | 943 101             | 0                         | 0                               | <b>1,44</b>    |
| 2032 | 512 877                | 979 328             | 0                         | 0                               | <b>1,49</b>    |
| 2033 | 526 212                | 1 015 556           | 0                         | 0                               | <b>1,54</b>    |
| 2034 | 539 893                | 1 051 783           | 0                         | 0                               | <b>1,59</b>    |
| 2035 | 553 930                | 1 088 010           | 0                         | 0                               | <b>1,64</b>    |

Źródło: Opracowanie własne

#### 4.3.3. Wariant 2 – wykorzystanie pojazdów zasilanych wodorem w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy o elektromobilności

##### **Nakłady inwestycyjne**

Wydatki pieniężne poniesione na nakłady inwestycyjne zawierały koszt zakupu nowego taboru zasilanego wodorem oraz koszt wybudowania niezbędnej infrastruktury towarzyszącej. Przyjęto, że koszt autobusu napędzanego wodorem w 2020 r. wyniósł 4,19 mln PLN. W analizie uwzględniono wzrost cen tych pojazdów wynikający z inflacji. Do 2028 r. nakłady na zakup i wymianę taboru na autobusy wodorowe osiągnęły poziom 69,96 mln PLN.

##### **Infrastruktura tankowania wodoru**

Nakłady inwestycyjne związane z zakupem oraz instalacją stacji tankowania z elektrolizerem pozwalającym na produkcję wodoru na miejscu dla 20 autobusów wyniosą około 38,6 mln PLN.

##### **Koszty eksploatacyjne**

Podobnie jak wariant 1, różnica kosztów poniesionych w wariant 2 w stosunku do wariantu 0 wynika ze zmiany struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego w 2021 roku. Zmniejszenie ilości pojazdów konwencjonalnych we flocie będzie skutkowało mniejszym zapotrzebowaniem na olej napędowy, a co z tego wynika część kosztów zakupu tego paliwa zostanie zastąpiona przez koszty związane z zakupem energii elektrycznej niezbędnej do produkcji wodoru. Zmiany cen energii przyjęto zgodnie z zależnością przedstawioną na Wykres 8.

Poniższa tabela zawiera zestawienie porównawcze kosztów zakupu paliwa bądź energii niezbędnej do przejechania 1 wozokilometra w wariantach 0 i 2. W 2021 roku koszt przejechania jednego wozokilometra w wariant 2 będzie wynosił 1,58 PLN/wzkm, a wartość ta będzie wyższa o 0,09 PLN/wzkm w porównaniu do wariantu 0 oraz widoczny będzie jej wzrost w kolejnych latach. W 2035 roku szacowana różnica między kosztami zakupu paliwa dla wariantu 2 oraz 0 wyniesie ok. 0,58 PLN/wzkm.

**Tabela 36. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wzkm w wariantach 0 i 2.**

| Rok  | Koszt przejechania 1 wzkm [PLN/wzkm] |      |
|------|--------------------------------------|------|
|      | W0                                   | W2   |
| 2021 | 1,49                                 | 1,58 |
| 2022 | 1,54                                 | 1,80 |
| 2023 | 1,59                                 | 1,80 |
| 2024 | 1,63                                 | 1,71 |
| 2025 | 1,68                                 | 1,63 |
| 2026 | 1,73                                 | 1,81 |
| 2027 | 1,79                                 | 1,92 |
| 2028 | 1,84                                 | 2,18 |
| 2029 | 1,89                                 | 2,36 |
| 2030 | 1,95                                 | 2,59 |
| 2031 | 2,01                                 | 2,46 |
| 2032 | 2,07                                 | 2,55 |
| 2033 | 2,13                                 | 2,65 |
| 2034 | 2,19                                 | 2,74 |
| 2035 | 2,26                                 | 2,84 |

Źródło: Opracowanie własne.

### Pozostałe koszty

Przyjęto, że koszty osobowe, części zamiennych oraz pozostałe składowe wydatków (m.in. koszty ogólnozakładowe) będą zmieniały się w czasie tak samo jak w przypadku wariantu 0.

Koszt wymiany baterii po 10 latach zawarto w kosztach serwisowych, zakładając przy tym cenę baterii równą 200 tys. PLN oraz sprzedaż starej baterii za 70% jej pierwotnej ceny.

### Wskaźniki ekonomiczne

Zestawienie kosztów związanych z wprowadzeniem autobusów napędzanych wodorem zgodnie z założeniami wariantu 2 przedstawione w poniższej tabeli.

W latach 2021-2035 całkowite koszty przeznaczone na zakup energii niezbędnej do produkcji wodoru na stacji wyniosą 39,22 mln PLN, a wydatki przeznaczone na serwis pojazdów 4,72 mln. Ponadto zakup nowego taboru w sumie wyniesie 69,96 mln PLN a całkowite nakłady na niezbędną infrastrukturę 38,60 mln PLN.

Rentowność wariantu 2 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = - 333 586 251,65 PLN.**



**Tabela 37. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2.**

| Rok  | Koszty serwisowe [PLN] | Zakup energii [PLN] | Zakup nowego taboru [PLN] | Koszty dodatkowe [PLN] | Suma [mln PLN] |
|------|------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 2021 | 55 836                 | 397 839             | 12 523 238                | 38 600 000             | 51,58          |
| 2022 | 114 575                | 907 966             | 12 463 377                | 0                      | 13,49          |
| 2023 | 117 554                | 905 453             | 0                         | 0                      | 1,02           |
| 2024 | 241 222                | 1 720 734           | 24 689 025                | 0                      | 26,65          |
| 2025 | 247 493                | 1 641 163           | 0                         | 0                      | 1,89           |
| 2026 | 253 928                | 1 826 423           | 0                         | 0                      | 2,08           |
| 2027 | 369 085                | 2 744 021           | 20 280 561                | 0                      | 23,39          |
| 2028 | 378 681                | 3 106 232           | 0                         | 0                      | 3,48           |
| 2029 | 388 527                | 3 372 861           | 0                         | 0                      | 3,76           |
| 2030 | 398 628                | 3 697 074           | 0                         | 0                      | 4,10           |
| 2031 | 408 993                | 3 509 884           | 0                         | 0                      | 3,92           |
| 2032 | 419 627                | 3 644 709           | 0                         | 0                      | 4,06           |
| 2033 | 430 537                | 3 779 535           | 0                         | 0                      | 4,21           |
| 2034 | 441 731                | 3 914 360           | 0                         | 0                      | 4,36           |
| 2035 | 453 216                | 4 049 186           | 0                         | 0                      | 4,50           |

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.3.4. Wariant 3 – wykorzystanie 20 pojazdów zasilanych wodorem i 36 pojazdów zasilanych CNG

##### Nakłady inwestycyjne

Zgodnie z założeniami wariantu 3, Gmina Wałbrzych poniesione wydatki związane z zakupem nowego taboru zasilanego wodorem oraz wybudowania stacji tankowania wodoru. Wymiana 20 pojazdów konwencjonalnych na autobusy wodorowe w ramach przyjętego w tym wariantcie harmonogramu wyniesie łącznie 82,39 mln PLN (w cenach pojazdów na każdy rok uwzględniono wpływ inflacji).

Koszty związane z wymianą pozostałej części floty, nienależącej do Gminy Wałbrzych, na autobusy zasilane CNG nie są brane pod uwagę w niniejszej analizie.

##### Infrastruktura tankowania wodoru i CNG

W 2022 r. nakłady inwestycyjne związane z budową stacji tankowania wodoru wyposażoną w elektrolizer pozwalający na produkcję wodoru na miejscu dla 10 autobusów wyniosą 35,4 mln PLN. Rozbudowa stacji w 2023 r. w celu obsługi większej ilości pojazdów będzie kosztować dodatkowo

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

3,2 mln PLN. Łączny koszt budowy stacji wyniesie 38,6 mln PLN. W 2023 r. nakłady inwestycyjne związane z rozbudową stacji tankowania CNG o 3 dodatkowe dystrybutory wyniosą 300 tys. PLN.

### Koszty eksploatacyjne

Podobnie jak w wariantach 2, różnica kosztów poniesionych w wariantach 3 w stosunku do wariantu 0 wynika ze zmiany struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego i niskoemisyjnego w 2022 roku. Stopniowa wymiana wszystkich pojazdów konwencjonalnych we flocie będzie skutkowała docelowo całkowitym wyeliminowaniem oleju napędowego, a co z tego wynika koszt zakupu tego paliwa zostanie zastąpiona przez koszty związane z zakupem paliwa oraz energii elektrycznej niezbędnej do produkcji wodoru. Zmiany cen energii przyjęto zgodnie z zależnością przedstawioną na Wykres 8.

Porównanie kosztów związanych z zakupem paliwa na przejazd jednego wozokilometru wariantu 0 i wariantu 3, przedstawionych w poniższej tabeli, pozwala stwierdzić, że w 2023 koszt przejechania 1 wzk m w wariantach 3 będzie wynosił 1,80 PLN/wzk m w przypadku pojazdów napędzanych wodorem oraz 1,64 PLN/wzk m dla pojazdów zasilanych CNG. Wartości te będą wyższe następująco o 0,21 PLN/wzk m i 0,05 PLN/wzk m w porównaniu do wariantu 0 oraz widoczny będzie jej wzrost w kolejnych latach.

W 2035 roku szacowana różnica między kosztami zakupu paliwa dla wariantu 3 oraz 0 wyniesie ok. 0,58 PLN/wzk m oraz 0,33 PLN/wzk m. Średni koszt paliwa za jeden wozokilometr w 2035 roku będzie wynosił ok. 2,71 PLN, czyli w odniesieniu do wariantu 0 będzie wyższy o ok. 0,45 PLN/wzk m

**Tabela 38. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wzk m w wariantach 0 i 3 z podziałem na pojazdy zasilane H<sub>2</sub> i CNG.**

| Rok  | Koszt przejechania 1 wzk m [PLN/wzk m] |                     |          |
|------|--|---------------------|----------|
|      | W0                                     | W3 – H <sub>2</sub> | W3 – CNG |
| 2021 | 1,49                                   | 0                   | 0        |
| 2022 | 1,54                                   | 1,80                | 0        |
| 2023 | 1,59                                   | 1,80                | 1,64     |
| 2024 | 1,63                                   | 1,71                | 1,71     |
| 2025 | 1,68                                   | 1,63                | 1,77     |
| 2026 | 1,73                                   | 1,81                | 1,85     |
| 2027 | 1,79                                   | 1,92                | 1,92     |
| 2028 | 1,84                                   | 2,18                | 2,00     |
| 2029 | 1,89                                   | 2,36                | 2,07     |
| 2030 | 1,95                                   | 2,59                | 2,16     |
| 2031 | 2,01                                   | 2,46                | 2,25     |
| 2032 | 2,07                                   | 2,55                | 2,33     |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| 2033 | 2,13 | 2,65 | 2,43 |
| 2034 | 2,19 | 2,74 | 2,53 |
| 2035 | 2,26 | 2,84 | 2,63 |

Źródło: Opracowanie własne.

### Wskaźniki ekonomiczne

Zestawienie kosztów związanych z wprowadzeniem autobusów napędzanych wodorem oraz CNG zgodnie z założeniami wariantu 3 przedstawiono w poniższej tabeli.

Całkowite koszty w latach 2023-2035 przeznaczone na zakup paliwa CNG i energii do produkcji wodoru wyniesie w sumie 129,26 mln PLN, a koszty związane z serwisem pojazdów 14,6 mln PLN. Zakup nowego taboru łącznie będzie kosztować 82,38 mln PLN, a budowa stacji tankowania wodoru 38,9 mln PLN.

Rentowność wariantu 2 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = - 385 685 282,70 PLN.**

**Tabela 39. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3.**

| Rok  | Koszty serwisowe [PLN] | Zakup paliwa i energii [PLN] | Zakup nowego taboru [PLN] | Koszty dodatkowe [PLN] | Suma [mln PLN] |
|------|------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 2022 | 133 671                | 1 059 083                    | 29 081 214                | 35 400 000             | 65,67          |
| 2023 | 783 696                | 6 461 560                    | 12 403 802                | 3 500 000              | 23,15          |
| 2024 | 864 378                | 7 021 763                    | 12 344 512                | 0                      | 20,23          |
| 2025 | 948 725                | 7 549 993                    | 12 285 506                | 0                      | 20,78          |
| 2026 | 1 015 713              | 8 321 302                    | 8 151 187                 | 0                      | 17,49          |
| 2027 | 1 085 543              | 9 030 236                    | 8 112 225                 | 0                      | 18,23          |
| 2028 | 1 113 768              | 9 692 175                    | 0                         | 0                      | 10,81          |
| 2029 | 1 142 726              | 10 241 683                   | 0                         | 0                      | 11,38          |
| 2030 | 1 172 436              | 10 874 650                   | 0                         | 0                      | 12,05          |
| 2031 | 1 202 920              | 10 921 780                   | 0                         | 0                      | 12,12          |
| 2032 | 1 234 196              | 11 347 696                   | 0                         | 0                      | 12,58          |
| 2033 | 1 266 285              | 11 789 338                   | 0                         | 0                      | 13,06          |
| 2034 | 1 299 208              | 12 246 704                   | 0                         | 0                      | 13,55          |
| 2035 | 1 332 988              | 12 704 070                   | 0                         | 0                      | 14,04          |

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.3.5. Wariant 4 – wymiana całego taboru na CNG

##### Nakłady inwestycyjne

Gmina Wałbrzych poniesione wydatki związane z zakupem nowego taboru zasilanego CNG oraz koszty wynikające ze zwiększenia liczby dystrybutorów na istniejącej już stacji CNG. Wymiana taboru na 20 pojazdów napędzanych CNG w ramach przyjętego w tym wariantcie harmonogramu wyniesie 20,13 mln PLN (w cenach pojazdów na każdy rok uwzględniono inflację).

Koszty związane z wymianą pozostałej części floty, nienależącej do Gminy Wałbrzych, na autobusy zasilane CNG nie są brane pod uwagę w niniejszej analizie.

##### Infrastruktura tankowania CNG

W 2022 r. nakłady inwestycyjne związane z rozbudową stacji tankowania CNG o 3 dodatkowe dystrybutory wyniosą 300 tys. PLN.

##### Koszty eksploatacyjne

**Tabela 40. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wzkm w wariantach 0 i 4.**

| Rok  | Koszt przejechania 1 wzkm [PLN/wzkm] |      |
|------|--------------------------------------|------|
|      | W0                                   | W4   |
| 2022 | 1,54                                 | 1,58 |
| 2023 | 1,59                                 | 1,64 |
| 2024 | 1,63                                 | 1,71 |
| 2025 | 1,68                                 | 1,77 |
| 2026 | 1,73                                 | 1,85 |
| 2027 | 1,79                                 | 1,92 |
| 2028 | 1,84                                 | 2,00 |
| 2029 | 1,89                                 | 2,07 |
| 2030 | 1,95                                 | 2,16 |
| 2031 | 2,01                                 | 2,25 |
| 2032 | 2,07                                 | 2,33 |
| 2033 | 2,13                                 | 2,43 |
| 2034 | 2,19                                 | 2,53 |
| 2035 | 2,26                                 | 2,63 |

Źródło: Opracowanie własne.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

### Wskaźniki ekonomiczne

Zestawienie kosztów związanych z wprowadzeniem autobusów napędzanych CNG zgodnie z założeniami wariantu 4 przedstawiono w poniższej tabeli.

Całkowite koszty w latach 2022-2035 przeznaczone za zakup paliwa CNG wyniesie w sumie 125,94 mln PLN, a koszty związane z serwisem pojazdów 13,66 mln PLN. Zakup nowego taboru łącznie będzie kosztować 20,13 mln PLN, a rozbudowa stacji tankowania CNG 0,3 mln PLN.

Rentowność wariantu 4 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = -52 779 627,16 PLN**.

**Tabela 41. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 4.**

| Rok  | Koszty serwisowe [PLN] | Zakup paliwa [PLN] | Zakup nowego taboru [PLN] | Koszty dodatkowe [PLN] | Suma [mln PLN] |
|------|------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|----------------|
| 2022 | 111 393                | 926 453            | 7 955 883                 | 0                      | 8,99           |
| 2023 | 751 042                | 6 329 232          | 0                         | 300 000                | 7,08           |
| 2024 | 820 824                | 7 020 250          | 3 553 469                 | 0                      | 11,39          |
| 2025 | 893 726                | 7 745 338          | 3 627 630                 | 0                      | 12,27          |
| 2026 | 952 231                | 8 373 456          | 2 468 892                 | 0                      | 11,79          |
| 2027 | 1 013 174              | 9 026 035          | 2 520 418                 | 0                      | 12,56          |
| 2028 | 1 039 516              | 9 392 947          | 0                         | 0                      | 10,43          |
| 2029 | 1 066 544              | 9 759 859          | 0                         | 0                      | 10,83          |
| 2030 | 1 094 274              | 10 151 232         | 0                         | 0                      | 11,25          |
| 2031 | 1 122 725              | 10 567 066         | 0                         | 0                      | 11,69          |
| 2032 | 1 151 916              | 10 982 899         | 0                         | 0                      | 12,13          |
| 2033 | 1 181 866              | 11 423 194         | 0                         | 0                      | 12,61          |
| 2034 | 1 212 594              | 11 887 949         | 0                         | 0                      | 13,10          |
| 2035 | 1 244 122              | 12 352 704         | 0                         | 0                      | 13,60          |

Źródło: Opracowanie własne.

### 4.3.6. Podsumowanie

W celu wyznaczenia rentowności analizowanych założeń określono dla każdego wariantu współczynnik FNPV - Finansową wartość bieżącą netto inwestycji. Wartość tą obliczono na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych (przychodów ze sprzedaży biletów i porozumień międzygminnych oraz wydatków m.in. związanych z prowadzeniem działalności przez operatorów), a następnie zdyskontowano.

Wskaźniki FNPV na przestrzeni lat 2021-2035 wyniosą odpowiednio:

- Wariant 0: **FNPV = - 21 850 346,31 PLN**

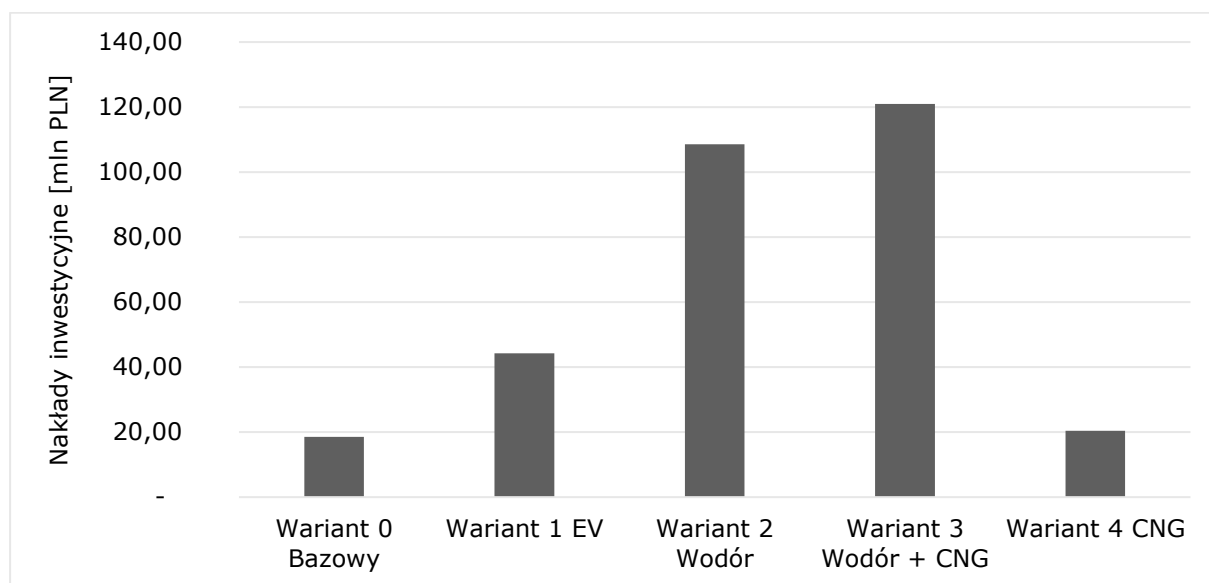
## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

- Wariant 1: **FNPV = - 130 671 521,25 PLN**
- Wariant 2: **FNPV = - 333 586 251,65 PLN**
- Wariant 3: **FNPV = - 385 685 282,70 PLN**
- Wariant 4: **FNPV = - 52 779 627,16 PLN**

Na podstawie uzyskanej ujemnej FNPV można wnioskować, że dana inwestycja na przestrzeni analizowanego okresu będzie nieopłacalna.

Na poniższym wykresie przedstawiono porównanie wielkości nakładów inwestycyjnych niezbędnych do realizacji założeń każdego wariantu.

**Wykres 10. Porównanie nakładów inwestycyjnych w każdym wariantcie.**



Poniżej w tabelach przedstawiono szczegółowe zestawienia kosztów związanych z nakładami inwestycyjnymi oraz kosztami operacyjnymi dla wszystkich analizowanych wariantów w okresie 2021-2035.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Tabela 42. Wysokości nakładów inwestycyjnych dla wszystkich wariantów**

|  | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Wariant 0 – nakłady inwestycyjne [mln zł]</b>       | <b>3,02</b>  | <b>3,10</b>  | <b>0,00</b>  | <b>6,53</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>5,88</b>  |
| <b>Nakłady w środki transportu [mln zł]</b>            | <b>3,02</b>  | <b>3,10</b>  | <b>0,00</b>  | <b>6,53</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>5,88</b>  |
| Liczba autobusów konwencjonalnych                      | 3            | 3            | 0            | 6            | 0            | 0            | 5            |
| Koszt jednostkowy                                      | 1,01         | 1,03         | 0,00         | 1,09         | 0,00         | 0,00         | 1,18         |
| <b>Wariant 1 – nakłady inwestycyjne [mln zł]</b>       | <b>8,74</b>  | <b>8,73</b>  | <b>0,00</b>  | <b>16,95</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>13,79</b> |
| <b>Nakłady w środki transportu [mln zł]</b>            | <b>7,95</b>  | <b>7,92</b>  | <b>0,00</b>  | <b>15,25</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>12,62</b> |
| Liczba autobusów elektrycznych                         | 3            | 3            | 0            | 6            | 0            | 0            | 5            |
| Koszt jednostkowy                                      | 2,65         | 2,64         | 0,00         | 2,54         | 0,00         | 0,00         | 2,52         |
| <b>Nakłady na infrastrukturę towarzyszącą [mln zł]</b> | <b>0,788</b> | <b>0,810</b> | <b>0,000</b> | <b>1,702</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>1,174</b> |
| <b>Ładowarki typu plug-in</b>                          | <b>0,326</b> | <b>0,336</b> | <b>0,000</b> | <b>0,705</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,635</b> |
| Liczba ładowarek                                       | 3            | 3            | 0            | 6            | 0            | 0            | 5            |
| Koszt jednostkowy                                      | 0,109        | 0,112        | 0,000        | 0,117        | 0,000        | 0,000        | 0,127        |
| <b>Ładowarki pantografowe</b>                          | <b>0,462</b> | <b>0,474</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,997</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,539</b> |
| Liczba ładowarek                                       | 1            | 1            | 0            | 2            | 0            | 0            | 1            |
| Koszt jednostkowy                                      | 0,462        | 0,474        | 0,00         | 0,499        | 0,00         | 0,00         | 0,539        |
| <b>Wariant 2 – nakłady inwestycyjne [mln zł]</b>       | <b>51,11</b> | <b>12,45</b> | <b>0,00</b>  | <b>24,66</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>20,30</b> |
| <b>Nakłady w środki transportu [mln zł]</b>            | <b>12,51</b> | <b>12,45</b> | <b>0,00</b>  | <b>24,66</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>20,3</b>  |
| Liczba autobusów wodorowych                            | 3            | 3            | 0            | 6            | 0            | 0            | 5            |
| Koszt jednostkowy                                      | 4,17         | 4,15         | 0,00         | 4,11         | 0,00         | 0,00         | 4,06         |
| <b>Nakłady na infrastrukturę towarzyszącą [mln zł]</b> | <b>38,60</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
| Stacja tankowania                                      | 1            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Koszt  | 38,60        | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         |
| <b>Wariant 3 – nakłady inwestycyjne [mln zł]</b>       | <b>0,00</b>  | <b>64,45</b> | <b>15,89</b> | <b>12,33</b> | <b>12,27</b> | <b>8,14</b>  | <b>8,12</b>  |
| <b>Nakłady w środki transportu [mln zł]</b>            | <b>0,00</b>  | <b>29,05</b> | <b>12,39</b> | <b>12,33</b> | <b>12,27</b> | <b>8,14</b>  | <b>8,12</b>  |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|  | 2021        | 2022         | 2023        | 2024        | 2025        | 2026        | 2027        |
|--|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Liczba autobusów wodorowych                            | 0           | 7            | 3           | 3           | 3           | 2           | 2           |
| Koszt jednostkowy                                      | 0,00        | 4,15         | 4,13        | 4,11        | 4,09        | 4,07        | 4,06        |
| <b>Nakłady na infrastrukturę towarzyszącą [mln zł]</b> | <b>0,00</b> | <b>35,40</b> | <b>3,50</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| Stacja tankowania                                      | 0           | 1            | rozbudowa   | 0           | 0           | 0           | 0           |
| Koszt  | 0,00        | 35,40        | 3,50        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        |
| <b>Wariant 4 – nakłady inwestycyjne [mln zł]</b>       | <b>0,00</b> | <b>8,26</b>  | <b>3,48</b> | <b>3,55</b> | <b>3,63</b> | <b>2,47</b> | <b>2,52</b> |
| <b>Nakłady w środki transportu [mln zł]</b>            | <b>0,00</b> | <b>7,96</b>  | <b>3,48</b> | <b>3,55</b> | <b>3,63</b> | <b>2,47</b> | <b>2,52</b> |
| Liczba autobusów CNG                                   | 0           | 7            | 3           | 3           | 3           | 2           | 2           |
| Koszt jednostkowy                                      | 0,00        | 1,14         | 1,16        | 1,18        | 1,21        | 1,24        | 1,26        |
| <b>Nakłady na infrastrukturę towarzyszącą [mln zł]</b> | <b>0,00</b> | <b>0,30</b>  | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| Liczba dystrybutorów wolnego tankowania                | 0           | 3            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| Koszt jednostkowy                                      | 0,00        | 0,10         | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        |



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

**Tabela 43. Koszty operacyjne dla wszystkich wariantów w latach 2021-2027 oraz w roku 2030 i 2035.**

|  | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         | 2030         | 2035         |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Wariant 0 – koszty operacyjne [mln zł]</b>            | <b>7,84</b>  | <b>8,07</b>  | <b>8,31</b>  | <b>8,56</b>  | <b>8,81</b>  | <b>9,07</b>  | <b>9,34</b>  | <b>10,19</b> | <b>11,79</b> |
| <b>Paliwo [mln zł]*</b>                                  | <b>7,03</b>  | <b>7,24</b>  | <b>7,46</b>  | <b>7,69</b>  | <b>7,92</b>  | <b>8,15</b>  | <b>8,40</b>  | <b>9,17</b>  | <b>10,64</b> |
| Liczba wozokilometrów na rok                             | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    |
| Cena paliwa [PLN/l]                                      | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         | 5,57         | 6,46         |
| <b>Koszty serwisowe [mln zł]</b>                         | <b>0,81</b>  | <b>0,83</b>  | <b>0,85</b>  | <b>0,87</b>  | <b>0,89</b>  | <b>0,92</b>  | <b>0,94</b>  | <b>1,02</b>  | <b>1,16</b>  |
| łącznie liczbę autobusów konwencjonalnych                | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                      | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       | 18 145       | 20 630       |
| <b>Wariant 1 – koszty operacyjne [mln zł]</b>            | <b>7,59</b>  | <b>7,60</b>  | <b>7,81</b>  | <b>7,49</b>  | <b>7,68</b>  | <b>7,94</b>  | <b>7,71</b>  | <b>8,60</b>  | <b>9,88</b>  |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                  | <b>0,107</b> | <b>0,244</b> | <b>0,244</b> | <b>0,462</b> | <b>0,441</b> | <b>0,490</b> | <b>0,737</b> | <b>0,994</b> | <b>1,088</b> |
| łącznie liczbę autobusów elektrycznych                   | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           | 17           | 17           |
| Liczba wozokilometrów                                    | 252 000      | 504 000      | 504 000      | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    |
| łącznie zużycie energii [kWh]                            | 352 800      | 705 600      | 705 600      | 1 411 200    | 1 411 200    | 1 411 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    |
| Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]                      | 0,304        | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        | 0,497        | 0,544        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>        | <b>6,65</b>  | <b>6,47</b>  | <b>6,66</b>  | <b>6,04</b>  | <b>6,22</b>  | <b>6,40</b>  | <b>5,85</b>  | <b>6,39</b>  | <b>7,41</b>  |
| Liczba niewymienionych pojazdów                          | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           | 39           | 39           |
| Liczba wozokilometrów na rok                             | 4 452 000    | 4 200 000    | 4 200 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    |
| Cena paliwa [PLN/l]                                      | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         | 5,57         | 6,46         |
| <b>Koszty serwisowe autobusów elektrycznych [mln zł]</b> | <b>0,071</b> | <b>0,146</b> | <b>0,150</b> | <b>0,308</b> | <b>0,316</b> | <b>0,325</b> | <b>0,472</b> | <b>0,509</b> | <b>0,579</b> |
| łącznie liczbę autobusów                                 | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           | 17           | 17           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                      | 23 782       | 24 400       | 25 035       | 25 686       | 26 353       | 27 039       | 27 742       | 29 962       | 34 065       |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         | 2030         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,763</b> | <b>0,739</b> | <b>0,758</b> | <b>0,684</b> | <b>0,702</b> | <b>0,721</b> | <b>0,655</b> | <b>0,708</b> | <b>0,805</b> |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           | 39           | 39           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       | 18 145       | 20 630       |
| <b>Wariant 2 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>7,87</b>  | <b>8,23</b>  | <b>8,44</b>  | <b>8,69</b>  | <b>8,81</b>  | <b>9,20</b>  | <b>9,62</b>  | <b>11,00</b> | <b>12,50</b> |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                     | <b>0,398</b> | <b>0,908</b> | <b>0,905</b> | <b>1,721</b> | <b>1,641</b> | <b>1,826</b> | <b>2,744</b> | <b>3,71</b>  | <b>4,06</b>  |
| Łączna liczba autobusów wodorowych                          | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           | 17           | 17           |
| Liczba wozokilometrów                                       | 252 000      | 504 000      | 504 000      | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    |
| Zużycie wodoru [kg]   | 24 840       | 49 680       | 49 680       | 99 360       | 99 360       | 99 360       | 140 760      | 140 760      | 140 760      |
| Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]                   | 1 316 520    | 2 633 040    | 2 633 040    | 5 266 080    | 5 266 080    | 5 266 080    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    |
| Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]                         | 0,304        | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        | 0,497        | 0,544        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>6,65</b>  | <b>6,47</b>  | <b>6,66</b>  | <b>6,04</b>  | <b>6,22</b>  | <b>6,40</b>  | <b>5,85</b>  | <b>6,39</b>  | <b>7,41</b>  |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           | 39           | 39           |
| Liczba wozokilometrów na rok                                | 4 452 000    | 4 200 000    | 4 200 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    |
| Cena paliwa [PLN/l]   | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         | 5,57         | 6,46         |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b>       | <b>0,056</b> | <b>0,115</b> | <b>0,118</b> | <b>0,241</b> | <b>0,247</b> | <b>0,254</b> | <b>0,369</b> | <b>0,399</b> | <b>0,453</b> |
| Łączna liczba autobusów                                     | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           | 17           | 17           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | 18 612       | 19 096       | 19 592       | 20 102       | 20 624       | 21 161       | 21 711       | 23 449       | 26 660       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,763</b> | <b>0,739</b> | <b>0,758</b> | <b>0,684</b> | <b>0,702</b> | <b>0,721</b> | <b>0,655</b> | <b>0,509</b> | <b>0,579</b> |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           | 39           | 39           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       | 18 145       | 20 630       |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         | 2030         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Wariant 3 – koszty operacyjne [mln zł]</b>             | <b>7,84</b>  | <b>8,26</b>  | <b>9,06</b>  | <b>8,95</b>  | <b>9,13</b>  | <b>9,66</b>  | <b>10,12</b> | <b>12,06</b> | <b>14,05</b> |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                   | <b>0,00</b>  | <b>1,06</b>  | <b>1,51</b>  | <b>1,86</b>  | <b>2,19</b>  | <b>2,74</b>  | <b>3,23</b>  | <b>4,36</b>  | <b>4,77</b>  |
| Łączna liczba autobusów wodorowych                        | 0            | 7            | 10           | 13           | 16           | 18           | 20           | 20           | 20           |
| Liczba wozokilometrów                                     | -            | 588 000      | 840 000      | 1 092 000    | 1 344 000    | 1 512 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    |
| Zużycie wodoru [kg]                                       | -            | 57 960       | 82 800       | 107 640      | 132 480      | 149 040      | 165 600      | 165 600      | 165 600      |
| Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]                 | -            | 3 071 880    | 4 388 400    | 5 704 920    | 7 021 440    | 7 899 120    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    |
| Koszt jednostkowy energii                                 | -            | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        | 0,497        | 0,544        |
| <b>CNG [mln zł]</b>                                       | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>4,95</b>  | <b>5,16</b>  | <b>5,36</b>  | <b>5,58</b>  | <b>5,80</b>  | <b>6,53</b>  | <b>7,94</b>  |
| Łączna liczba autobusów zasilanych CNG                    | -            | -            | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| Liczba wozokilometrów                                     | -            | -            | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    |
| Zużycie CNG [m <sup>3</sup> /rok]                         | -            | -            | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    |
| Cena CNG [PLN/ m <sup>3</sup> ]                           | -            | -            | 3,15         | 3,28         | 3,41         | 3,55         | 3,69         | 4,15         | 5,05         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>         | <b>7,03</b>  | <b>6,34</b>  | <b>1,33</b>  | <b>0,96</b>  | <b>0,57</b>  | <b>0,29</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
| Liczba niewymienionych pojazdów                           | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            | 0            | 0            |
| Liczba wozokilometrów na rok                              | 4 704 000    | 4 116 000    | 840 000      | 588 000      | 336 000      | 168 000      | -            | -            | -            |
| Cena paliwa [PLN/l]                                       | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | -            | -            | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b>     | <b>0,000</b> | <b>0,134</b> | <b>0,196</b> | <b>0,261</b> | <b>0,330</b> | <b>0,381</b> | <b>0,434</b> | <b>0,469</b> | <b>0,533</b> |
| Łączna liczba autobusów wodorowych                        | -            | 7            | 10           | 13           | 16           | 18           | 20           | 20           | 20           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                       | -            | 19 096       | 19 592       | 20 102       | 20 624       | 21 161       | 21 711       | 23 449       | 26 660       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,588</b> | <b>0,603</b> | <b>0,619</b> | <b>0,635</b> | <b>0,651</b> | <b>0,703</b> | <b>0,800</b> |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         | 2030         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Łączna liczba autobusów zasilanych CNG                      | 0            | 0            | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | -            | -            | 16 327       | 16 752       | 17 187       | 17 634       | 18 092       | 19 541       | 22 216       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,807</b> | <b>0,724</b> | <b>0,490</b> | <b>0,109</b> | <b>0,064</b> | <b>0,033</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            | 0            | 0            |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | -            | -            | -            |
| <b>Wariant 4 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>7,84</b>  | <b>8,11</b>  | <b>8,90</b>  | <b>8,91</b>  | <b>9,29</b>  | <b>9,65</b>  | <b>10,04</b> | <b>11,25</b> | <b>13,60</b> |
| <b>CNG [mln zł]</b>   | <b>0,00</b>  | <b>0,93</b>  | <b>6,33</b>  | <b>7,02</b>  | <b>7,74</b>  | <b>8,37</b>  | <b>9,03</b>  | <b>10,15</b> | <b>12,35</b> |
| Łączna liczba autobusów zasilanych CNG                      | 0            | 7            | 46           | 49           | 53           | 54           | 56           | 56           | 56           |
| Liczba wozokilometrów                                       | -            | 588 000      | 3 864 000    | 4 116 000    | 4 368 000    | 4 536 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    |
| Zużycie CNG [m <sup>3</sup> /rok]                           | -            | 305 760      | 2 009 280    | 2 140 320    | 2 271 360    | 2 358 720    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    |
| Cena CNG [PLN/ m <sup>3</sup> ]                             | -            | 3,03         | 3,15         | 3,28         | 3,41         | 3,55         | 3,69         | 4,15         | 5,05         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>7,03</b>  | <b>6,34</b>  | <b>1,33</b>  | <b>0,96</b>  | <b>0,57</b>  | <b>0,29</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            | 0            | 0            |
| Liczba wozokilometrów na rok                                | 4 704 000    | 4 116 000    | 840 000      | 588 000      | 336 000      | 168 000      | -            | -            | -            |
| Cena paliwa [PLN/l]   | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | -            | -            | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b>   | <b>0,000</b> | <b>0,111</b> | <b>0,751</b> | <b>0,821</b> | <b>0,911</b> | <b>0,952</b> | <b>1,014</b> | <b>1,094</b> | <b>1,244</b> |
| Łączna liczba autobusów zasilanych CNG                      | 0            | 7            | 46           | 49           | 53           | 54           | 56           | 56           | 22 216       |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy                         | -            | 15 913       | 16 327       | 16 752       | 17 187       | 17 634       | 18 092       | 19 541       | 22 216       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,807</b> | <b>0,724</b> | <b>0,490</b> | <b>0,109</b> | <b>0,064</b> | <b>0,033</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| Liczba niewymienionych pojazdów                             | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            | 0            | 0            |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|                                     | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   | 2026   | 2027 | 2030 | 2035 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy | 14 402 | 14 777 | 15 161 | 15 555 | 15 959 | 16 374 | -    | -    | -    |

## 4.4. Analiza społeczno-ekonomiczna

### 4.4.1. Szacowanie efektów środowiskowych

#### Emisje

Emisja szkodliwych dla środowiska substancji w sektorze transportu zależy głównie od rodzaju napędu pojazdów. Do analizy efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji wykorzystano współczynniki emisji autobusów spalinowych, elektrycznych, wodorowych i zasilanych CNG. Wartości te zostały przyjęte zgodnie z Kalkulatorem emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego autorstwa Centrum Unijnych Projektów Transportowych (dalej CUPT)<sup>35</sup>. Dane te uwzględniają:

- Wielkość emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>) emitowanych przez autobusy spalinowe bądź gazowe, a także emisje związane z eksploatacją autobusów elektrycznych (emisje te nie powstają bezpośrednio w miejscu eksploatacji taboru tylko globalnie podczas produkcji energii elektrycznej),
- Wielkości emisji (NO<sub>x</sub>, NHMC/NMVOC, PM<sub>2,5</sub>) emitowanych przez autobusy spalinowe bądź gazowe do niższych warstw atmosfery, a także emisje, które powstają podczas eksploatacji autobusów elektrycznych (emisje te nie są emitowane bezpośrednio w miejscu ich eksploatacji tylko globalnie podczas produkcji energii elektrycznej),
- Wielkości emisji dwutlenku siarki SO<sub>2</sub>, przewidywanych tylko dla autobusów elektrycznych, emitowanej podczas produkcji energii elektrycznej.

Współczynniki emisji generowanej przez autobusy spalinowe i gazowe uzyskano na podstawie kalkulatora emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego<sup>36</sup> (udostępnionego przez Centrum Unijnych Projektów Transportowych), w którym określono wartości emisji poszczególnych substancji w zależności od normy EURO, którą dany tabor spełnia. Natomiast, emisję dla autobusów elektrycznych uwzględniono jako powstającą przy produkcji energii elektrycznej w Polsce, a dla autobusów wodorowych przyjęto ją jako zerową.<sup>37</sup> Przy wyliczeniu wskaźników emisyjności CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> oraz PM<sub>2,5</sub> przy produkcji energii elektrycznej posłużono się opracowaniem KOBIZE pn. „WSKAŹNIKI EMISYJNOŚCI CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok”. W kolejnym etapie poszczególne współczynniki emisji przemnożono przez pracę przewozową taboru, a następnie przeanalizowano dla okresu eksploatacji autobusów. Przyjęto, że zarówno autobusy elektryczne, wodorowe, jak i autobusy gazowe eksploatowane będą co najmniej do 2035 r.

<sup>35</sup> <https://www.cupt.gov.pl/wdrazanie-projektow/analiza-kosztow-i-korzysci/aktualnosci/1915-28-08-2020-aktualizacja-tablic-kosztow-jednostkowych-do-wykorzystania-w-analizach-kosztow-i-korzysci>

<sup>36</sup> [https://www.cupt.gov.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=692&Itemid=411](https://www.cupt.gov.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=692&Itemid=411)

<sup>37</sup> Gromadzki M. „Zasady opracowywania Analizy Kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych, Warszawa, 2018.

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Poniższa tabela przedstawia wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej.

**Tabela 44. Wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej.**

| Rodzaj pojazdu      |              | Jednostkowa emisja zanieczyszczeń [g/km] |                 |            |                 |       |
|---------------------|--------------|--|-----------------|------------|-----------------|-------|
|                     |              | CO <sub>2</sub>                          | SO <sub>2</sub> | NMHC/NMVOC | NO <sub>x</sub> | PM    |
| Autobus Diesel      | EURO 5 - EEV | 991,600                                  | -               | 1,700      | 7,400           | 0,070 |
| Autobus Diesel      | EURO 6       | 938,000                                  | -               | 0,460      | 1,400           | 0,040 |
| Autobus CNG         | EURO 6       | 827,946                                  | -               | 0,600      | 1,830           | -     |
| Autobus elektryczny |              | 1 006,600                                | 0,715           | 0,007      | 0,806           | 0,041 |

Źródło: wiadukt

Autobusy elektryczne odpowiadają za emisje gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji w ilości zgodnej z tabelą powyżej. W takim wypadku na wielkość emisji wpływa jedynie liczba przejechanych kilometrów w jednostce czasu. Nie generują one jednak spalin i zanieczyszczeń bezpośrednio w miejscu eksploatacji, ale efekt ich pracy przeniesiony jest w miejsca produkcji energii elektrycznej, czyli do elektrowni lub elektrociepłowni znajdujących się poza strefami zamieszkałymi. Oznacza to, że wprowadzenie elektrobusów lokalnie do Wałbrzycha spowoduje przeniesienie emisji poza obszar miejski do jednostek wytwórczych energii elektrycznej znajdujących się na terenie kraju.

### Hałas

Hałasem określa się każdy dźwięk, który może być szkodliwy dla zdrowia lub niebezpieczny z innych względów, zwykle o dużym natężeniu, częstotliwości, wpływający na stan fizyczny jak i psychiczny człowieka. Do wykonania analizy kosztów emitowanego hałasu przez tabor spalinowy, elektryczny (w tym wodorowy) i gazowy założono zindeksowaną jednostkową cenę za hałas typowy dla autobusów, wskazaną w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT. Przy szacowaniu efektów hałasu uwzględniono:

- Koszty zewnętrzne hałasu na 1 poj-km dla autobusów wskazane w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT w oparciu o opracowanie Update of the Handbook on External Costs of Transport (RICARDO AEA 2014),
- Średnią proporcję pór dnia (dzień=0,67 oraz noc=0,33), zgodnie z założeniami w kalkulatorze kosztów jednostkowych CUPT dla autobusów, a także uwzględnienie w jakich porach doby kursują autobusy,
- Obniżenie poziomu hałasu przez autobusy elektryczne (w tym wodorowe) o 27% w porównaniu do autobusów spalinowych oraz obniżenie poziomu hałasu przez autobusy gazowe o 10%.

### Wskaźniki ekonomiczne

Analizę przeprowadzono w oparciu o „Niebieską Księgę - Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach”. Dokonując analizy ekonomicznej, a zarazem porównując warianty brane pod uwagę, przyjęto następujące założenia:

- Wskaźniki efektywności ekonomicznej wyliczono metodą różnicową,
- Społeczna stopa dyskontowa wynosi 4%,
- Analiza została przeprowadzona w 15-letnim (od 2021 do 2035 roku) okresie eksploatacji taboru spalinowego, zero- i niskoemisyjnego,
- Średnia roczna liczba kilometrów przejechanych przez autobus w Wałbrzychu wynosi 84 000 km,
- Zużycie energii elektrycznej przez autobus elektryczny założono jak w przypadku analizy finansowej, czyli na poziomie 1,4 kWh/km,
- Spalanie gazu przez autobus CNG założono tak jak w przypadku analizy finansowej, czyli na poziomie 50 m<sup>3</sup>/100 km,
- Wycenę kosztów i korzyści dokonano w wartościach netto.

W celu dokonania oceny ekonomicznej analizowanych wariantów wymiany taboru obliczono ekonomiczne wskaźniki efektywności:

- Ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV),
- Relację korzyści do kosztów (B/C).

#### 4.4.2. Wariant 0 – utrzymanie stanu obecnego floty

### Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W poniższej tabeli przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor spalinowy w liczbie odpowiadającej wymianie taborowej zgodnej z ustawą o elektromobilności dla okresu objętego analizą (tj. 3 autobusy spalinowe od 2021, 6 od 2023 itd.)<sup>38</sup>. Umieszczono w niej także koszty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano, wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów spalinowych z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie pomnożono emisje i współczynniki kosztowe z kalkulatora wielkości emisji, dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

---

<sup>38</sup> Efekt środowiskowy obliczono jako różnicę emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji wytwarzanych przez wszystkie autobusy wchodzące w skład taboru.



**Tabela 45. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru spalinowego oraz opłaty z tym związane.**

| Związek chemiczny | Emisja w latach 2021-2035 [t] | Koszty środowiskowe w latach 2021-2035 [PLN] |
|-------------------|-------------------------------|--|
| CO <sub>2</sub>   | 69 048,81                     | 15 423 744,61                                |
| SO <sub>2</sub>   | -                             | -  |
| NMHC/NMVOC        | 98,70                         | 1 152 446,09                                 |
| NO <sub>x</sub>   | 419,33                        | 39 159 628,26                                |
| PM                | 4,43                          | 6 840 488,80                                 |
| SUMA              | 69 571,26                     | 62 576 307,77                                |

Źródło: Opracowanie własne

W trakcie eksploatacji autobusów spalinowych dwutlenek węgla jest wytwarzany w największej ilości (69 048,81 t). Największe koszty środowiskowe wynikają z emisji NO<sub>x</sub>. Dla okresu objętego analizą będzie to około 39,16 mln PLN. W przypadku silników spalinowych nie występuje emisja SO<sub>2</sub>. Sumaryczne koszty środowiskowe z tytułu eksploatacji taboru spalinowego wyniosą około 62,6 mln PLN.

#### 4.4.3. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy

##### Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W poniższej tabeli przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor w wariantie 1 dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów dieslowych i elektrycznych eksploatowanych w poszczególnych latach ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

**Tabela 46. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 1 i koszty z tym związane.**

| Związek chemiczny | Emisja w latach 2021-2035 [t] | Koszty środowiskowe w latach 2021-2035 [PLN] |
|-------------------|-------------------------------|--|
| CO <sub>2</sub>   | 70 224,34                     | 15 694 338,95                                |
| SO <sub>2</sub>   | 12,26                         | 1 279 373,10                                 |
| NMHC/NMVOC        | 90,94                         | 1 058 285,77                                 |
| NO <sub>x</sub>   | 409,16                        | 38 171 687,91                                |
| PM                | 4,44                          | 6 856 950,26                                 |
| SUMA              | 70 741,13                     | 63 060 635,98                                |

Źródło: Opracowanie własne

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W poniższej tabeli zestawiono wyniki porównania emisji i kosztów środowiskowych w Wariancie 1 oraz w Wariancie 0.

**Tabela 47. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariancie 1 oraz zysk środowiskowy z tym związany.**

| Związek chemiczny | Zmniejszenie emisji w latach 2021-2035 po wprowadzeniu wariantu 1 [t] | Zysk środowiskowy po wprowadzeniu wariantu 1 [PLN] |
|-------------------|---|--|
| CO <sub>2</sub>   | -1 175,53   | -270 594,34  |
| SO <sub>2</sub>   | -12,26  | -1 279 373,10                                      |
| NMHC/NMVOC        | 7,76  | 94 160,33  |
| NO <sub>x</sub>   | 10,17   | 987 940,36   |
| PM                | -0,01   | -16 461,46   |
| SUMA              | -1 169,86   | -484 328,21  |

Źródło: Opracowanie własne

Dla Wariantu 1 w największym stopniu zostanie ograniczona emisja NO<sub>x</sub> (10,17 ton), co w konsekwencji przyniesie około 988 tys. PLN zysku środowiskowego. Koszty emisji niemetanowych lotnych związków organicznych NHMC/NMVOC zostaną ograniczone o około 94 tys. PLN. Zwiększy się natomiast wytwarzanie CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i cząstek stałych PM. Należy tu podkreślić iż według wskaźników emisji elektrybusy także są odpowiedzialne za emisje, jednakże odbywa się to w miejscach produkcji energii elektrycznej (w elektrowniach lub elektrociepłowniach). Łączne dodatkowe koszty związane z emisją CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i cząstek stałych PM za pośrednictwem autobusów elektrycznych wyniosą około 1,5 mln PLN.

### Wskaźniki ekonomiczne

Wskaźniki obliczono na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych i zdyskontowano. Ekonomiczną wartość bieżącą netto wyliczono na podstawie finansowej wartości bieżącej netto skorygowanej o zyski środowiskowe związane ze zmniejszeniem emisji i hałasu. Relację korzyści do kosztów uzyskano natomiast na podstawie zestawienia wszystkich przychodów związanych z prowadzeniem działalności z uwzględnieniem korzyści środowiskowych z sumą kosztów jakie są ponoszone.

**Tabela 48. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1.**

| Wskaźnik       | Wartość |
|----------------|---------|
| ENPV [mln PLN] | -116,67 |
| B/C            | 0,632   |

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne w wariancie 1 jest nieefektywna, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-116,67 mln PLN), a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1 (0,632).

4.4.1. Wariant 2 – wykorzystanie pojazdów zasilanych wodorem w liczbie pozwalającej na spełnienie wymogów ustawy o elektromobilności

**Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego**

W poniższej tabeli przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor w wariantcie 2 dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów dieslowych i wodorowych eksploatowanych w poszczególnych latach z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

**Tabela 49. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 2 i koszty z tym związane.**

| Związek chemiczny | Emisja w latach 2021-2035 [t] | Koszty środowiskowe w latach 2021-2035 [PLN] |
|-------------------|-------------------------------|--|
| CO <sub>2</sub>   | 52 975,24                     | 11 723 781,12                                |
| SO <sub>2</sub>   | -                             | -  |
| NMHC/NMVOC        | 90,82                         | 1 056 818,93                                 |
| NO <sub>x</sub>   | 395,34                        | 36 829 580,25                                |
| PM                | 3,74                          | 5 743 058,44                                 |
| <b>SUMA</b>       | <b>53 465,14</b>              | <b>55 353 238,74</b>                         |

Źródło: Opracowanie własne

W poniższej tabeli zestawiono wyniki porównania emisji i kosztów środowiskowych w Wariantcie 2 oraz w Wariantcie 0.

**Tabela 50. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariantcie 2 oraz zysk środowiskowy z tym związany.**

| Związek chemiczny | Zmniejszenie emisji w latach 2021-2035 po wprowadzeniu wariantu 2 [t] | Zysk kosztowy po wprowadzeniu wariantu 2 [PLN] |
|-------------------|---|--|
| CO <sub>2</sub>   | 16 073,57   | 3 699 963,49                                   |
| SO <sub>2</sub>   | -   | -  |
| NMHC/NMVOC        | 7,88  | 95 627,16                                      |
| NO <sub>x</sub>   | 23,99   | 2 330 048,01                                   |
| PM                | 0,69  | 1 097 430,36                                   |
| <b>SUMA</b>       | <b>16 106,13</b>  | <b>7 223 069,03</b>                            |

Źródło: Opracowanie własne

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów wodorowych przyniesie ograniczenie emisji o około 16,11 tys. ton oraz zysk wynikający ze zmniejszenia kosztów środowiskowych o około 7,2 mln PLN. W największym stopniu zostanie ograniczona emisja CO<sub>2</sub> (około 16 tys. ton), co w konsekwencji przyniesie około 3,7 mln PLN zysku środowiskowego.

### Wskaźniki ekonomiczne

Wskaźniki dla wariantu 2 obliczono zgodnie z metodą opisaną w wariantcie 1, a wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 51. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2.**

| Wskaźnik       | Wartość |
|----------------|---------|
| ENPV [mln PLN] | -306,44 |
| B/C            | 0,410   |

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy wodorowe w wariantcie 2 jest nieefektywna, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-306,44 mln PLN), a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1 (0,410).

#### 4.4.2. Wariant 3 – wykorzystanie 20 pojazdów zasilanych wodorem i 36 pojazdów zasilanych CNG

### Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W poniższej tabeli przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor w wariantcie 3 dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów wodorowych i zasilanych CNG eksploatowanych w danym okresie z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

**Tabela 52. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 3 i koszty z tym związane.**

| Związek chemiczny | Emisja w latach 2021-2035 [t] | Koszty środowiskowe w latach 2021-2035 [PLN] |
|-------------------|-------------------------------|--|
| CO <sub>2</sub>   | 43 209,90                     | 9 487 366,99                                 |
| SO <sub>2</sub>   | -                             | -  |
| NMHC/NMVOC        | 143,54                        | 1 694 261,47                                 |
| NO <sub>x</sub>   | 151,51                        | 13 311 658,72                                |
| PM                | 0,75                          | 994 243,97                                   |
| SUMA              | 43 505,69                     | 25 487 531,16                                |

Źródło: Opracowanie własne

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

W poniższej tabeli zestawiono wyniki porównania emisji i kosztów środowiskowych w Wariancie 3 oraz w Wariancie 0.

**Tabela 53. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariancie 3 oraz zysk środowiskowy z tym związany.**

| Związek chemiczny | Zmniejszenie emisji w latach 2021-2035 po wprowadzeniu wariantu 3 [t] | Zysk środowiskowy po wprowadzeniu wariantu 3 [PLN] |
|-------------------|---|--|
| CO <sub>2</sub>   | 25 838,91   | 5 936 377,61                                       |
| SO <sub>2</sub>   | -   | -  |
| NMHC/NMVOG        | -44,84  | -541 815,38  |
| NO <sub>x</sub>   | 267,82  | 25 847 969,54                                      |
| PM                | 3,67  | 5 846 244,83                                       |
| <b>SUMA</b>       | <b>26 065,57</b>  | <b>37 088 776,61</b>                               |

Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów wodorowych i na CNG przyniesie ograniczenie emisji o około 26 tys. ton oraz zysk wynikającego ze zmniejszenia kosztów środowiskowych o około 37 mln PLN. W największym stopniu zostanie ograniczona emisja CO<sub>2</sub> (25,8 tys. ton), co w konsekwencji przyniesie około 5,9 mln PLN zysku środowiskowego.

### Wskaźniki ekonomiczne

Wskaźniki dla wariantu 3 obliczono zgodnie z metodą opisaną w wariancie 1, a wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 54. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 3.**

| Wskaźnik       | Wartość |
|----------------|---------|
| ENPV [mln PLN] | -353,73 |
| B/C            | 0,478   |

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy wodorowe i CNG w wariancie 3 jest nieefektywna, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-353,73 mln PLN), a relacja korzyści do kosztów jest mniejsza od 1 (0,478).

#### 4.4.3. Wariant 4 – wymiana całego na taboru na CNG

##### Oszacowanie finansowej wartości efektu środowiskowego

W poniższej tabeli przedstawiono całkowitą emisję gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji generowanych przez tabor w wariantcie 4 dla okresu objętego analizą. Umieszczono w niej także opłaty z tytułu wytwarzanych zanieczyszczeń. Obliczenia wykonano wymnażając jednostkowe emisje zanieczyszczeń pojazdów zasilanych CNG z ilością przejechanych wozokilometrów w okresie objętym analizą. Dzięki temu uzyskano emisje w danym okresie. Następnie wymnożono emisje ze współczynnikami kosztowymi z kalkulatora wielkości emisji dzięki czemu uzyskano koszt środowiskowy.

**Tabela 55. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 4 i koszty z tym związane.**

| Związek chemiczny | Emisja w latach 2021-2035 [t] | Koszty środowiskowe w latach 2021-2035 [PLN] |
|-------------------|-------------------------------|--|
| CO <sub>2</sub>   | 59 855,30                     | 13 392 222,48                                |
| SO <sub>2</sub>   | -                             | -  |
| NMHC/NMVOC        | 54,16                         | 616 110,29                                   |
| NO <sub>x</sub>   | 189,01                        | 16 952 773,71                                |
| PM                | 0,75                          | 994 243,97                                   |
| <b>SUMA</b>       | <b>60 099,23</b>              | <b>31 955 350,46</b>                         |

Źródło: Opracowanie własne

W poniższej tabeli zestawiono wyniki porównania emisji i kosztów środowiskowych w Wariantcie 4 oraz w Wariantcie 0.

**Tabela 56. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariantcie 4 oraz zysk środowiskowy z tym związany.**

| Związek chemiczny | Zmniejszenie emisji w latach 2021-2035 po wprowadzeniu wariantu 4 [t] | Zysk środowiskowy po wprowadzeniu wariantu 4 [PLN] |
|-------------------|---|--|
| CO <sub>2</sub>   | 9 193,50  | 2 031 522,13                                       |
| SO <sub>2</sub>   | -   | -  |
| NMHC/NMVOC        | 44,54   | 536 335,80   |
| NO <sub>x</sub>   | 230,31  | 22 206 854,55                                      |
| PM                | 3,67  | 5 846 244,83                                       |
| <b>SUMA</b>       | <b>9 472,03</b>   | <b>30 620 957,31</b>                               |

Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów zasilanych CNG przyniesie ograniczenie emisji o około 9 tys. ton oraz zysk wynikającego ze zmniejszenia kosztów środowiskowych o około 2 mln PLN. W największym stopniu zostanie ograniczona emisja CO<sub>2</sub> (9,2 tys. ton), co w konsekwencji przyniesie około 2 mln PLN zysku środowiskowego.

## Wskaźniki ekonomiczne

Wskaźniki dla wariantu 4 obliczono zgodnie z metodą opisaną w wariantcie 1, a wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 57. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 4.**

| Wskaźnik       | Wartość |
|----------------|---------|
| ENPV [mln PLN] | -19,41  |
| B/C            | 1,135   |

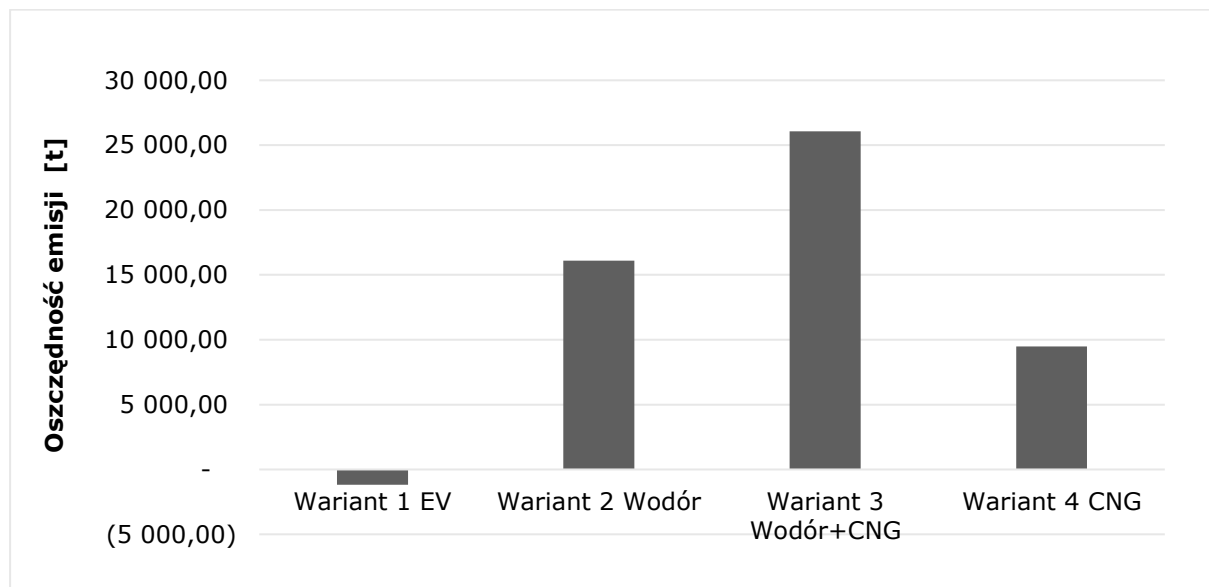
Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne w wariantcie 1 jest nieefektywna, ponieważ wskaźnik ENPV osiągnął wartość ujemną (-19,41 mln PLN). Relacja korzyści do kosztów w tym przypadku wynosi 1,135.

### 4.4.1. Podsumowanie

Wprowadzenie do komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych lub niskoemisyjnych skutkuje znacznym ograniczeniem emisji w miejscu ich powstawania. Na poniższym wykresie przedstawiono efekt oszczędności emisji dla poszczególnych wariantów w porównaniu do zastosowania wariantu bazowego.

**Wykres 11. Oszczędność emisji dla poszczególnych wariantów w latach 2021-2035.**



Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z uzyskanymi wynikami najkorzystniejszym wariantem pod względem środowiskowym jest wariant 3, w którym zakłada się wymianę 20 pojazdów na pojazdy wodorowe, a także zastosowanie taboru zasilanego CNG od 2023 r. W tym przypadku emisja zostanie ograniczona o 26 065,57 ton. Mniej korzystnym wariantem jest wariant 2, który dotyczy wymiany taboru na autobusy wodorowe zgodnie z wymogami Ustawy o elektromobilności – emisja zostanie

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

ograniczona o 16 106,13 ton. Najmniej korzystnym wariantem jest inwestycja w pojazdy elektryczne zgodnie z harmonogramem przewidzianym w ustawie o elektromobilności. Wynika to z faktu, że autobusy elektryczne zasilane są energią elektryczną, która jest produkowana w instalacjach emitujących CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, i pyły i zgodnie z metodyką przedstawioną w podrozdziale 4.4.1. należy te emisje uwzględnić. Jednak dla Gminy Wałbrzych pojazdy zasilane energią elektryczną są pojazdami zeroemisyjnymi, ponieważ generowane zanieczyszczenia przeniesione są z obszaru miasta do miejsc wytwarzania energii.



## 5. Podsumowanie i rekomendacje

Rozwój transportu publicznego w Wałbrzychu prowadzony jest zgodnie z założeniami polityki zrównoważonego rozwoju. Prowadzone inwestycje w zakresie zakupu nowoczesnych autobusów niskoemisyjnych wskazują priorytety w rozwoju wałbrzyskiej komunikacji miejskiej: niezawodność, wykorzystanie ekologicznych technologii oraz atrakcyjność dla mieszkańców. Prowadzone są w mieście działania mające na celu zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z transportu: ograniczenie ruchu pojazdów kołowych w centrum miasta, zakup niskoemisyjnego taboru autobusów oraz promowanie wśród mieszkańców korzystania z komunikacji zbiorowej.

Zgodnie z wymogami Ustawy o elektromobilności miasto Wałbrzych zobowiązane jest zapewnić we flocie autobusów obsługujących komunikację miejską pojazdy elektryczne w ilościach odpowiednio:

- 6 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2022 r.
- 12 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2024 r.
- 18 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2027 r.

Rok 2021 będzie strategicznym z punktu widzenia Gminy. Nałożony obowiązek ustawowy, spełnienia udziału pojazdów zeroemisyjnych we flocie świadczącej usługi dla zbiorowego transportu publicznego, będzie obligował gminę Wałbrzych do zapewnienia 6 autobusów elektrycznych od 2023 r. Możliwe są dwa rozwiązania gwarantujące spełnienie obowiązku ustawowego. Zakup autobusów zeroemisyjnych ze środków gminy lub podpisanie umowy na świadczenie usług zbiorowego transportu publicznego uwzględniających wymagania nałożone przez ustawodawcę.

Na podstawie przeprowadzonej analizy kosztów i korzyści wskazuje się, iż:

- I. Najbardziej korzystny pod kątem ekonomicznym spośród wariantów dotyczących pojazdów zero- i niskoemisyjnego jest wariant wymiany taboru z zastosowaniem CNG (W4), zaś najmniej korzystny ekonomicznie jest wariant zakładający przyjęcie do realizacji i zakup autobusów wodorowych, a także zasilanych CNG (W3) (por. str. 77-78).
- II. Spadek emisji zanieczyszczeń środowiska osiągnięty w wyniku realizacji wszystkich wariantów wyrażony w ekwiwalencie pieniężnym wynosi maksymalnie do 37 mln PLN dla W3, co jednak nie umożliwi kompensacji najwyższych kosztów poniesionych na jego realizację w całym okresie analizy (por. str. 95-96).
- III. Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy zeroemisyjne (elektryczne lub wodorowe) będą wykazywać się największą efektywnością to linie: A, C, 2, 9, 12 i 18.
- IV. Na dzień sporządzania analizy nie wykazano opłacalności zastosowania autobusów zero- i niskoemisyjnych. Osiągnięcie wysokich wskaźników opłacalności dla tego typu taboru możliwe jest jedynie w przypadku pozyskania wysokiego (co najmniej 70%) dofinansowania ze środków zewnętrznych. Tylko w takim przypadku zasadnym będzie podjęcie realizacji obowiązków wynikających z Ustawy o elektromobilności.

## 6. Spis rysunków

|  |    |
|--|----|
| Rysunek 1. Punkty ładowania Plug-in autobusów.....   | 18 |
| Rysunek 2. Przystanek z zainstalowanym stanowiskiem ładowania indukcyjnego.....                        | 19 |
| Rysunek 3. Ładowarka pantografowa przy ul. Spartańskiej w Warszawie.....                               | 20 |
| Rysunek 4. Schemat dostarczania wodoru.....  | 25 |
| Rysunek 5. Schemat wytwarzania wodoru na stacji tankowania.....  | 25 |
| Rysunek 6. Przykładowy schemat stacji.....   | 30 |
| Rysunek 7. Schemat stacji tankowania LCNG.....   | 31 |
| Rysunek 8. Położenie Wałbrzycha na tle województwa, aglomeracji i powiatu wałbrzyskiego.....           | 33 |
| Rysunek 9. Schemat linii komunikacyjnych organizowanych przez Gminę Wałbrzych (stanna 01.2021 r.)..... | 41 |
| Rysunek 10. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć w okolicy Wałbrzycha.....                        | 53 |

## 7. Spis wykresów

|   |    |
|---|----|
| Wykres 1. Liczba przystanków na liniach autobusowych (w jednym kierunku).....                   | 42 |
| Wykres 2. Średnia długość linii autobusowych.....   | 42 |
| Wykres 3. Maksymalny czas przejazdu na linii autobusowej dla wariantów z najdłuższą trasą. .... | 43 |
| Wykres 4. Wskaźnik czasu przejazdu dla linii, a długość linii. ....                             | 48 |
| Wykres 5. Typowanie trasy dla autobusów zeroemisyjnych.....                                     | 49 |
| Wykres 6. Prędkości handlowe linii autobusowych dla wariantów z najdłuższą trasą.....           | 50 |
| Wykres 7. Zmienność kosztów zakupu paliwa w odniesieniu do roku 2019.....                       | 66 |
| Wykres 8. Wzrost cen energii w okresie objętym analizą. ....                                    | 68 |
| Wykres 9. Koszty zakupu paliwa dla wariantu 0 i 1.....  | 69 |
| Wykres 10. Porównanie nakładów inwestycyjnych w każdym wariantcie. ....                         | 78 |
| Wykres 11. Oszczędność emisji dla poszczególnych wariantów w latach 2021-2035.....              | 95 |

## 8. Spis tabel

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Porównanie parametrów stacji szybkiego ładowania elektrobusów. ....  | 22 |
| Tabela 2. Przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in. ....   | 22 |
| Tabela 3. Porównanie paliw płynnych .....  | 27 |
| Tabela 4. Wybrane modele autobusów gazowych. ....  | 29 |
| Tabela 5. Linie komunikacyjne miejskie realizowane przez przewoźników. ....  | 34 |
| Tabela 6. Linie komunikacyjne pozamiejskie realizowane przez przewoźników.....   | 34 |
| Tabela 7. Linie, trasy oraz ilość kursów realizowanych w ramach porozumień międzygminnych. ...   | 36 |
| Tabela 8. Aktualny wykaz linii komunikacji miejskiej organizowanych przez Gminę Wałbrzych wraz z liczbą przystanków, częstotliwością kursów oraz długością trasy na najczęściej kursujących wariantach linii (stan na 01.02.2021)..... | 39 |
| Tabela 9. Liczba pasażerów i wozokilometrów dla autobusów w latach 2018-2020.....  | 43 |
| Tabela 10. Tabor autobusowy (stan na dzień 18.01.2021 r.).....   | 44 |
| Tabela 11. Zużycie paliwa w latach 2018-2020. ....   | 44 |
| Tabela 12. Podsumowanie parametrów eksploatacyjnych na rok 2019 i 2020.....  | 44 |
| Tabela 13. Zestawienie przychodów w latach 2018-2020.....  | 45 |
| Tabela 14. Wskaźnik czasu przejazdu dla najczęściej kursujących wariantów linii autobusowych. ...  | 48 |
| Tabela 15. Zestawienie linii autobusowych wg parametru WCP i długość linii.....  | 49 |
| Tabela 16. Zestawienie linii autobusowych wg prędkości handlowych.....   | 51 |
| Tabela 17. Harmonogram wymiany floty na autobusy konwencjonalne z normą emisji spalin EURO 6. ....   | 51 |
| Tabela 18. Zestawienie linii znajdujących się na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej otoczeniu. ...   | 52 |
| Tabela 19. Zestawienie stacji elektroenergetycznych znajdujących się w otoczeniu gminy Wałbrzych, obsługiwanych przez operatora sieci przesyłkowej.....  | 53 |
| Tabela 20. Zestawienie planowanych inwestycji na terenie gminy Wałbrzych oraz w jej okolicy na lata 2018-2022.....   | 54 |
| Tabela 21. Harmonogram zakupu wymaganych ilości stacji ładowanie plug-in oraz stacji ładowania pantografowego. ....  | 55 |
| Tabela 22. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności.....  | 56 |
| Tabela 23. Szacowane zużycie energii w danym okresie. ....   | 56 |
| Tabela 24. Prognoza zużycia paliwa w latach 2020 – 2035.....   | 56 |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|  |    |
|--|----|
| Tabela 25. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane wodorem zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności. ....   | 58 |
| Tabela 26. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie .....  | 58 |
| Tabela 27. Harmonogram wymiany floty należącej do Gminy Wałbrzych na autobusy napędzane wodorem.....   | 60 |
| Tabela 28. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie .....  | 60 |
| Tabela 29. Harmonogram wymiany floty należącej do Gminy Wałbrzych na autobusy napędzane CNG. ....  | 61 |
| Tabela 30. Prognoza zużycia CNG w latach 2020 – 2035. ....   | 62 |
| Tabela 31. Prognoza zużycia paliwa (ON). ....  | 62 |
| Tabela 32. Szacowana zmienność cen paliwa. ....  | 66 |
| Tabela 33. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 0. ....   | 67 |
| Tabela 34. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wkm w wariantach 0 i 1.....   | 69 |
| Tabela 35. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1. ..   | 70 |
| Tabela 36. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wkm w wariantach 0 i 2.....   | 72 |
| Tabela 37. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2. ....   | 73 |
| Tabela 38. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wkm w wariantach 0 i 3 z podziałem na pojazdy zasilane H <sub>2</sub> i CNG. ....   | 74 |
| Tabela 39. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3. ....   | 75 |
| Tabela 40. Porównanie kosztów zakupu paliwa na 1 wkm w wariantach 0 i 4.....   | 76 |
| Tabela 41. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 4. ....   | 77 |
| Tabela 42. Wysokości nakładów inwestycyjnych dla wszystkich wariantów.....   | 79 |
| Tabela 43. Koszty operacyjne dla wszystkich wariantów w latach 2021-2027 oraz w roku 2030 i 2035.....  | 81 |
| Tabela 44. Wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej. ....  | 87 |
| Tabela 45. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru spalinowego oraz opłaty z tym związane. ....                                     | 89 |
| Tabela 46. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 1 i koszty z tym związane. ....   | 89 |
| Tabela 47. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariacie 1 oraz zysk środowiskowy z tym związany..... | 90 |
| Tabela 48. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1. ....   | 90 |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 49. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 2 i koszty z tym związane. ....  | 91  |
| Tabela 50. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariacie 2 oraz zysk środowiskowy z tym związany. .... | 91  |
| Tabela 51. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2. ....  | 92  |
| Tabela 52. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 3 i koszty z tym związane. ....  | 92  |
| Tabela 53. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariacie 3 oraz zysk środowiskowy z tym związany. .... | 93  |
| Tabela 54. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 3. ....  | 93  |
| Tabela 55. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 4 i koszty z tym związane. ....  | 94  |
| Tabela 56. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariacie 4 oraz zysk środowiskowy z tym związany. .... | 94  |
| Tabela 57. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 4. ....  | 95  |
| Tabela 58. Koszty operacyjne dla wszystkich wariantów w latach 2028-2035. ....  | 107 |

## Załącznik A – Zestawienie kosztów operacyjnych dla wszystkich wariantów w latach 2021-2035

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Wariant 0 – koszty operacyjne [mln zł]</b>     | <b>7,84</b>  | <b>8,07</b>  | <b>8,31</b>  | <b>8,56</b>  | <b>8,81</b>  | <b>9,07</b>  | <b>9,34</b>  |
| <b>Paliwo [mln zł]</b>                            | <b>7,03</b>  | <b>7,24</b>  | <b>7,46</b>  | <b>7,69</b>  | <b>7,92</b>  | <b>8,15</b>  | <b>8,40</b>  |
| Liczba wozokilometrów na rok                      | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    |
| Cena paliwa [PLN/l]                               | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         |
| <b>Koszty serwisowe [mln zł]</b>                  | <b>0,81</b>  | <b>0,83</b>  | <b>0,85</b>  | <b>0,87</b>  | <b>0,89</b>  | <b>0,92</b>  | <b>0,94</b>  |
| Łączna liczba autobusów konwencjonalnych          | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           |
| Koszt jednostkowy serwisu i naprawy               | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       |
| <b>Wariant 1 – koszty operacyjne [mln zł]</b>     | <b>7,59</b>  | <b>7,60</b>  | <b>7,81</b>  | <b>7,49</b>  | <b>7,68</b>  | <b>7,94</b>  | <b>7,71</b>  |
| <b>Energia [mln zł]</b>                           | <b>0,107</b> | <b>0,244</b> | <b>0,244</b> | <b>0,462</b> | <b>0,441</b> | <b>0,490</b> | <b>0,737</b> |
| Łączna liczba autobusów elektrycznych             | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           |
| Liczba wozokilometrów                             | 252 000      | 504 000      | 504 000      | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 428 000    |
| Łączne zużycie energii [kWh]                      | 352 800      | 705 600      | 705 600      | 1 411 200    | 1 411 200    | 1 411 200    | 1 999 200    |
| Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]               | 0,304        | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b> | <b>6,65</b>  | <b>6,47</b>  | <b>6,66</b>  | <b>6,04</b>  | <b>6,22</b>  | <b>6,40</b>  | <b>5,85</b>  |
| Liczba niewymienionych pojazdów                   | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           |
| Liczba wozokilometrów na rok                      | 4 452 000    | 4 200 000    | 4 200 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 276 000    |
| Cena paliwa [PLN/l]                               | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Koszty serwisowe autobusów elektrycznych [mln zł]</b>    | <b>0,071</b> | <b>0,146</b> | <b>0,150</b> | <b>0,308</b> | <b>0,316</b> | <b>0,325</b> | <b>0,472</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów</b>                              | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 23 782       | 24 400       | 25 035       | 25 686       | 26 353       | 27 039       | 27 742       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,763</b> | <b>0,739</b> | <b>0,758</b> | <b>0,684</b> | <b>0,702</b> | <b>0,721</b> | <b>0,655</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       |
| <b>Wariant 2 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>7,87</b>  | <b>8,23</b>  | <b>8,44</b>  | <b>8,69</b>  | <b>8,81</b>  | <b>9,20</b>  | <b>9,62</b>  |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                     | <b>0,398</b> | <b>0,908</b> | <b>0,905</b> | <b>1,721</b> | <b>1,641</b> | <b>1,826</b> | <b>2,744</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>                   | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                                | 252 000      | 504 000      | 504 000      | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 008 000    | 1 428 000    |
| <b>Zużycie wodoru [kg]</b>                                  | 24 840       | 49 680       | 49 680       | 99 360       | 99 360       | 99 360       | 140 760      |
| <b>Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]</b>            | 1 316 520    | 2 633 040    | 2 633 040    | 5 266 080    | 5 266 080    | 5 266 080    | 7 460 280    |
| <b>Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]</b>                  | 0,304        | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>6,65</b>  | <b>6,47</b>  | <b>6,66</b>  | <b>6,04</b>  | <b>6,22</b>  | <b>6,40</b>  | <b>5,85</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                         | 4 452 000    | 4 200 000    | 4 200 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 696 000    | 3 276 000    |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                                  | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | 5,10         |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b>       | <b>0,056</b> | <b>0,115</b> | <b>0,118</b> | <b>0,241</b> | <b>0,247</b> | <b>0,254</b> | <b>0,369</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów</b>                              | 3            | 6            | 6            | 12           | 12           | 12           | 17           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 18 612       | 19 096       | 19 592       | 20 102       | 20 624       | 21 161       | 21 711       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,763</b> | <b>0,739</b> | <b>0,758</b> | <b>0,684</b> | <b>0,702</b> | <b>0,721</b> | <b>0,655</b> |



## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                | 53           | 50           | 50           | 44           | 44           | 44           | 39           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>            | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | 16 800       |
| <b>Wariant 3 – koszty operacyjne [mln zł]</b>         | <b>7,84</b>  | <b>8,26</b>  | <b>9,06</b>  | <b>8,95</b>  | <b>9,13</b>  | <b>9,66</b>  | <b>10,12</b> |
| <b>Energia [mln zł]</b>                               | <b>0,00</b>  | <b>1,06</b>  | <b>1,51</b>  | <b>1,86</b>  | <b>2,19</b>  | <b>2,74</b>  | <b>3,23</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>             | 0            | 7            | 10           | 13           | 16           | 18           | 20           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                          | -            | 588 000      | 840 000      | 1 092 000    | 1 344 000    | 1 512 000    | 1 680 000    |
| <b>Zużycie wodoru [kg]</b>                            | -            | 57 960       | 82 800       | 107 640      | 132 480      | 149 040      | 165 600      |
| <b>Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]</b>      | -            | 3 071 880    | 4 388 400    | 5 704 920    | 7 021 440    | 7 899 120    | 8 776 800    |
| <b>Koszt jednostkowy energii</b>                      | -            | 0,346        | 0,345        | 0,327        | 0,312        | 0,348        | 0,369        |
| <b>CNG [mln zł]</b>                                   | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>4,95</b>  | <b>5,16</b>  | <b>5,36</b>  | <b>5,58</b>  | <b>5,80</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>         | 0            | 0            | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                          | -            | -            | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    |
| <b>Zużycie CNG [m<sup>3</sup>/rok]</b>                | -            | -            | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    |
| <b>Cena CNG [PLN/ m<sup>3</sup>]</b>                  | -            | -            | 3,15         | 3,28         | 3,41         | 3,55         | 3,69         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>     | <b>7,03</b>  | <b>6,34</b>  | <b>1,33</b>  | <b>0,96</b>  | <b>0,57</b>  | <b>0,29</b>  | <b>0,00</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                   | 4 704 000    | 4 116 000    | 840 000      | 588 000      | 336 000      | 168 000      | -            |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                            | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b> | <b>0,000</b> | <b>0,134</b> | <b>0,196</b> | <b>0,261</b> | <b>0,330</b> | <b>0,381</b> | <b>0,434</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>             | 0            | 7            | 10           | 13           | 16           | 18           | 20           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>            | -            | 19 096       | 19 592       | 20 102       | 20 624       | 21 161       | 21 711       |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2021         | 2022         | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         | 2027         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b>   | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,588</b> | <b>0,603</b> | <b>0,619</b> | <b>0,635</b> | <b>0,651</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 0            | 0            | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | -            | -            | 16 327       | 16 752       | 17 187       | 17 634       | 18 092       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,807</b> | <b>0,724</b> | <b>0,490</b> | <b>0,109</b> | <b>0,064</b> | <b>0,033</b> | <b>0,000</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 14 402       | 14 777       | 15 161       | 15 555       | 15 959       | 16 374       | -            |
| <b>Wariant 4 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>7,84</b>  | <b>8,11</b>  | <b>8,90</b>  | <b>8,91</b>  | <b>9,29</b>  | <b>9,65</b>  | <b>10,04</b> |
| <b>CNG [mln zł]</b>   | <b>0,00</b>  | <b>0,93</b>  | <b>6,33</b>  | <b>7,02</b>  | <b>7,74</b>  | <b>8,37</b>  | <b>9,03</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 0            | 7            | 46           | 49           | 53           | 54           | 56           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                                | -            | 588 000      | 3 864 000    | 4 116 000    | 4 368 000    | 4 536 000    | 4 704 000    |
| <b>Zużycie CNG [m<sup>3</sup>/rok]</b>                      | -            | 305 760      | 2 009 280    | 2 140 320    | 2 271 360    | 2 358 720    | 2 446 080    |
| <b>Cena CNG [PLN/ m<sup>3</sup>]</b>                        | -            | 3,03         | 3,15         | 3,28         | 3,41         | 3,55         | 3,69         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>7,03</b>  | <b>6,34</b>  | <b>1,33</b>  | <b>0,96</b>  | <b>0,57</b>  | <b>0,29</b>  | <b>0,00</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                         | 4 704 000    | 4 116 000    | 840 000      | 588 000      | 336 000      | 168 000      | -            |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                                  | 4,27         | 4,40         | 4,53         | 4,67         | 4,81         | 4,95         | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b>   | <b>0,000</b> | <b>0,111</b> | <b>0,751</b> | <b>0,821</b> | <b>0,911</b> | <b>0,952</b> | <b>1,014</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 0            | 7            | 46           | 49           | 53           | 54           | 56           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | -            | 15 913       | 16 327       | 16 752       | 17 187       | 17 634       | 18 092       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,807</b> | <b>0,724</b> | <b>0,490</b> | <b>0,109</b> | <b>0,064</b> | <b>0,033</b> | <b>0,000</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 56           | 49           | 10           | 7            | 4            | 2            | 0            |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|  | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   | 2026   | 2027 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b> | 14 402 | 14 777 | 15 161 | 15 555 | 15 959 | 16 374 | -    |

**Tabela 58. Koszty operacyjne dla wszystkich wariantów w latach 2028-2035.**

|   | 2028         | 2029         | 2030         | 2031         | 2032         | 2033         | 2034         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Wariant 0 – koszty operacyjne [mln zł]</b>     | <b>9,61</b>  | <b>9,90</b>  | <b>10,19</b> | <b>10,49</b> | <b>10,80</b> | <b>11,12</b> | <b>11,45</b> | <b>11,79</b> |
| <b>Paliwo [mln zł]*</b>                           | <b>8,64</b>  | <b>8,91</b>  | <b>9,17</b>  | <b>9,45</b>  | <b>9,73</b>  | <b>10,03</b> | <b>10,32</b> | <b>10,64</b> |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>               | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                        | 5,25         | 5,41         | 5,57         | 5,74         | 5,91         | 6,09         | 6,27         | 6,46         |
| <b>Koszty serwisowe [mln zł]</b>                  | <b>0,97</b>  | <b>0,99</b>  | <b>1,02</b>  | <b>1,04</b>  | <b>1,07</b>  | <b>1,10</b>  | <b>1,13</b>  | <b>1,16</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów konwencjonalnych</b>   | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>        | 17 237       | 17 685       | 18 145       | 18 617       | 19 101       | 19 597       | 20 107       | 20 630       |
| <b>Wariant 1 – koszty operacyjne [mln zł]</b>     | <b>8,01</b>  | <b>8,29</b>  | <b>8,60</b>  | <b>8,77</b>  | <b>9,04</b>  | <b>9,31</b>  | <b>9,59</b>  | <b>9,88</b>  |
| <b>Energia [mln zł]</b>                           | <b>0,834</b> | <b>0,906</b> | <b>0,994</b> | <b>0,944</b> | <b>0,980</b> | <b>1,016</b> | <b>1,052</b> | <b>1,088</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów elektrycznych</b>      | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                      | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    |
| <b>Łączne zużycie energii [kWh]</b>               | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    | 1 999 200    |
| <b>Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]</b>        | 0,417        | 0,453        | 0,497        | 0,472        | 0,490        | 0,508        | 0,526        | 0,544        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b> | <b>6,02</b>  | <b>6,20</b>  | <b>6,39</b>  | <b>6,58</b>  | <b>6,78</b>  | <b>6,98</b>  | <b>7,19</b>  | <b>7,41</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>            | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>               | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                        | 5,25         | 5,41         | 5,57         | 5,74         | 5,91         | 6,09         | 6,27         | 6,46         |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2028         | 2029         | 2030         | 2031         | 2032         | 2033         | 2034         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Koszty serwisowe autobusów elektrycznych [mln zł]</b>    | <b>0,484</b> | <b>0,496</b> | <b>0,509</b> | <b>0,523</b> | <b>0,536</b> | <b>0,550</b> | <b>0,564</b> | <b>0,579</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów</b>                              | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 28 463       | 29 203       | 29 962       | 30 741       | 31 541       | 32 361       | 33 202       | 34 065       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,672</b> | <b>0,690</b> | <b>0,708</b> | <b>0,726</b> | <b>0,745</b> | <b>0,764</b> | <b>0,784</b> | <b>0,805</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 17 237       | 17 685       | 18 145       | 18 617       | 19 101       | 19 597       | 20 107       | 20 630       |
| <b>Wariant 2 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>9,99</b>  | <b>10,47</b> | <b>11,00</b> | <b>11,03</b> | <b>11,39</b> | <b>11,75</b> | <b>12,12</b> | <b>12,50</b> |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                     | <b>3,11</b>  | <b>3,38</b>  | <b>3,71</b>  | <b>3,52</b>  | <b>3,66</b>  | <b>3,79</b>  | <b>3,92</b>  | <b>4,06</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>                   | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                                | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    | 1 428 000    |
| <b>Zużycie wodoru [kg]</b>                                  | 140 760      | 140 760      | 140 760      | 140 760      | 140 760      | 140 760      | 140 760      | 140 760      |
| <b>Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]</b>            | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    | 7 460 280    |
| <b>Koszt jednostkowy energii [PLN/kWh]</b>                  | 0,417        | 0,453        | 0,497        | 0,472        | 0,490        | 0,508        | 0,526        | 0,544        |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>6,02</b>  | <b>6,20</b>  | <b>6,39</b>  | <b>6,58</b>  | <b>6,78</b>  | <b>6,98</b>  | <b>7,19</b>  | <b>7,41</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                         | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    | 3 276 000    |
| <b>Cena paliwa [PLN/l]</b>                                  | 5,25         | 5,41         | 5,57         | 5,74         | 5,91         | 6,09         | 6,27         | 6,46         |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b>       | <b>0,379</b> | <b>0,389</b> | <b>0,399</b> | <b>0,409</b> | <b>0,420</b> | <b>0,431</b> | <b>0,442</b> | <b>0,453</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów</b>                              | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           | 17           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 22 275       | 22 855       | 23 449       | 24 058       | 24 684       | 25 326       | 25 984       | 26 660       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,484</b> | <b>0,496</b> | <b>0,509</b> | <b>0,523</b> | <b>0,536</b> | <b>0,550</b> | <b>0,564</b> | <b>0,579</b> |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2028         | 2029         | 2030         | 2031         | 2032         | 2033         | 2034         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                    | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           | 39           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                | 17 237       | 17 685       | 18 145       | 18 617       | 19 101       | 19 597       | 20 107       | 20 630       |
| <b>Wariant 3 – koszty operacyjne [mln zł]</b>             | <b>10,81</b> | <b>11,39</b> | <b>12,06</b> | <b>12,14</b> | <b>12,60</b> | <b>13,07</b> | <b>13,56</b> | <b>14,05</b> |
| <b>Energia [mln zł]</b>                                   | <b>3,66</b>  | <b>3,98</b>  | <b>4,36</b>  | <b>4,14</b>  | <b>4,30</b>  | <b>4,46</b>  | <b>4,62</b>  | <b>4,77</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>                 | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                              | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    | 1 680 000    |
| <b>Zużycie wodoru [kg]</b>                                | 165 600      | 165 600      | 165 600      | 165 600      | 165 600      | 165 600      | 165 600      | 165 600      |
| <b>Zużycie energii na produkcję wodoru [kWh]</b>          | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    | 8 776 800    |
| <b>Koszt jednostkowy energii</b>                          | 0,417        | 0,453        | 0,497        | 0,472        | 0,490        | 0,508        | 0,526        | 0,544        |
| <b>CNG [mln zł]</b>                                       | <b>6,04</b>  | <b>6,27</b>  | <b>6,53</b>  | <b>6,79</b>  | <b>7,06</b>  | <b>7,34</b>  | <b>7,64</b>  | <b>7,94</b>  |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>             | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                              | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    | 3 024 000    |
| <b>Zużycie CNG [m<sup>3</sup>/rok]</b>                    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    | 1 572 480    |
| <b>Cena CNG [PLN/ m<sup>3</sup>]</b>                      | 3,84         | 3,99         | 4,15         | 4,32         | 4,49         | 4,67         | 4,86         | 5,05         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>         | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                    | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                       | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów wodorowych [mln zł]</b>     | <b>0,446</b> | <b>0,457</b> | <b>0,469</b> | <b>0,481</b> | <b>0,494</b> | <b>0,507</b> | <b>0,520</b> | <b>0,533</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów wodorowych</b>                 | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           | 20           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                | 22 275       | 22 855       | 23 449       | 24 058       | 24 684       | 25 326       | 25 984       | 26 660       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b> | <b>0,668</b> | <b>0,686</b> | <b>0,703</b> | <b>0,722</b> | <b>0,741</b> | <b>0,760</b> | <b>0,780</b> | <b>0,800</b> |

## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

|   | 2028         | 2029         | 2030         | 2031         | 2032         | 2033         | 2034         | 2035         |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           | 36           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 18 563       | 19 045       | 19 541       | 20 049       | 20 570       | 21 105       | 21 653       | 22 216       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Wariant 4 – koszty operacyjne [mln zł]</b>               | <b>10,43</b> | <b>10,83</b> | <b>11,25</b> | <b>11,69</b> | <b>12,13</b> | <b>12,61</b> | <b>13,10</b> | <b>13,60</b> |
| <b>CNG [mln zł]</b>   | <b>9,39</b>  | <b>9,76</b>  | <b>10,15</b> | <b>10,57</b> | <b>10,98</b> | <b>11,42</b> | <b>11,89</b> | <b>12,35</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           |
| <b>Liczba wozokilometrów</b>                                | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    | 4 704 000    |
| <b>Zużycie CNG [m<sup>3</sup>/rok]</b>                      | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    | 2 446 080    |
| <b>Cena CNG [PLN/ m<sup>3</sup>]</b>                        | 3,84         | 3,99         | 4,15         | 4,32         | 4,49         | 4,67         | 4,86         | 5,05         |
| <b>Paliwo dla niewymienionego taboru [mln zł]</b>           | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,00</b>  |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Liczba wozokilometrów na rok</b>                         | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| <b>Koszty serwisowe autobusów zasilanych CNG [mln zł]</b>   | <b>1,040</b> | <b>1,067</b> | <b>1,094</b> | <b>1,123</b> | <b>1,152</b> | <b>1,182</b> | <b>1,213</b> | <b>1,244</b> |
| <b>Łączna liczba autobusów zasilanych CNG</b>               | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           | 56           |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | 18 563       | 19 045       | 19 541       | 20 049       | 20 570       | 21 105       | 21 653       | 22 216       |
| <b>Koszty serwisowe autobusów konwencjonalnych [mln zł]</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> | <b>0,000</b> |
| <b>Liczba niewymienionych pojazdów</b>                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| <b>Koszt jednostkowy serwisu i naprawy</b>                  | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |