

# **ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH**

dla:

GMINY OLSZTYN

Audytel S.A.

Wersja uzupełniona, przekazana do konsultacji

v. 3.0

30.09.2021 r.

## Spis treści

Wykaz skrótów i definicji.....	3
Streszczenie.....	4
1. Wstęp.....	7
1.1. Cel prowadzonych prac.....	7
1.2. Podstawa realizacji analizy.....	7
1.3. Metodyka prowadzonych prac.....	8
1.4. Podsumowanie.....	8
2. Miasto Olsztyn– analiza otoczenia transportu miejskiego.....	9
2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych i środowiskowych.....	9
2.2. Podsumowanie.....	16
3. Przegląd technologii i eksploatacji pojazdów alternatywnych w transporcie publicznym.....	17
3.1. Pojazdy elektryczne.....	17
3.2. Pojazdy zasilane wodorem.....	26
3.3. Pojazdy zasilane gazem ziemnym.....	30
4. Wyniki przeprowadzonych analiz.....	35
4.1. Analiza stanu obecnego.....	35
4.2. Kierunki rozwoju floty na lata 2021 -2035.....	53
4.3. Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza nakładów inwestycyjnych	88
4.4. Analiza społeczno-ekonomiczna.....	103
5. Podsumowanie.....	115
6. Spis rysunków.....	118
7. Spis wykresów.....	119
8. Spis tabel.....	120
9. Spis załączników.....	123

## 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).
CNG	Sprężony gaz ziemny, forma gazu pod ciśnieniem wyższym niż z sieci dystrybucyjnej (ang. Compressed Natural Gas).
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)
LNG	Skroplony gaz ziemny, forma gazu pod wysokim ciśnieniem i w niskiej temperaturze, umożliwiające utrzymywanie gazu w postaci ciekłej (ang. Liquefied Natural Gas).
NGV	Zbiorcza nazwa pojazdów LNG i CNG (ang, Natural Gas Vehicles).
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.
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> .
ZDZiT	Zarząd Dróg, Zieleni i Transportu w Olsztynie
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 Olsztyn powinna zapewnić procentowy udział autobusów zeroemisyjnych w użytkowanej flocie 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 Olsztyna, 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 Olsztynie.

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

Kolejno, opisano możliwe kierunki rozwoju floty autobusowej w Olsztynie:

- **Wariant 0 (bazowy)** – zakładający utrzymanie wyłącznie autobusów konwencjonalnych (zakupione autobusy będą z normą emisji EURO 6 i zastępować będą najstarsze autobusy zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2).
- **Wariant 1** – zakładający zakup autobusów elektrycznych i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- **Wariant 2** – zakładający zakup autobusów zasilanych wodorem i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- **Wariant 3** – zakładający zakup autobusów zasilanych CNG i wymianę taboru zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2.

Dla wariantów zakładających wymianę autobusów na pojazdy niskoemisyjne i zeroemisyjne przeanalizowano po dwa podwarianty stanowiące różne rozwiązania doboru tras przewidzianych dla wymienianych pojazdów oraz lokalizacji stacji ładowania, tankowania wodoru lub CNG. Każdy z analizowanych podwariantów zakłada wymianę pojazdów w liczbie spełniającej wymogi

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

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

wynikające z Ustawy o elektromobilności. Założenia dla wspomnianych podwariantów prezentują się następująco:

- **Wariant 1a** zakłada dobór linii autobusowych przewidzianych do całkowitej elektryfikacji, z możliwością doładowania tych pojazdów na stacjach krańcowych za pomocą ładowarek pantografowych,
- **Wariant 1b** zakłada dobór linii autobusowych przeznaczonych do częściowej elektryfikacji, z których część autobusów będzie miała możliwość doładowania na stacjach krańcowych wyposażonych w ładowarki pantografowe, a pozostałe pojazdy będą poddawane wyłącznie procesowi wolnego ładowania w bazie głównej w wytypowanej lokalizacji,
- **Wariant 2a** zakłada budowę stacji tankowania wodoru wyposażoną w elektrolizer umożliwiający produkcję wodoru na miejscu,
- **Wariant 2b** zakłada budowę stacji tankowania wodoru oraz dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych,
- **Wariant 3a** zakłada wykorzystanie stacji tankowania CNG zlokalizowanej przy ul. Lubelskiej budowanej przez PSG,
- **Wariant 3b** zakłada budowę stacji tankowania CNG przez gminę Olsztyn w wytypowanej lokalizacji.

Analiza finansowo-ekonomiczna oraz analiza społeczno-ekonomiczna zostały sporządzone dla całego systemu komunikacyjnego. W analizie finansowo-ekonomicznej uwzględniono zmiany w strukturze kosztów ponoszonych przez operatora w olsztyńskim systemie komunikacji miejskiej w zależności od kierunków rozwoju floty.

W związku z powyższym przeanalizowano 7 scenariuszy finansowych, zgodnie ze wskazanymi wariantami i ich podwariantami. W celu przeprowadzenia analizy finansowej zostały przyjęte następujące założenia:

1. Analiza finansowa została sporządzona na okres 15 lat, od 2021 do 2035 r., z uwzględnieniem okresu eksploatacji autobusów zeroemisyjnych 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.
2. Przyjęto koszt netto autobusu typu MAXI na poziomie (stan na rok 2021)<sup>4</sup>:
  - Konwencjonalnego – 1,00 mln PLN,
  - Elektrycznego – 2,40 mln PLN,
  - Zasilanego wodorem – 3,40 mln PLN,
  - Zasilanego CNG – 1,00 mln PLN.

---

<sup>4</sup> Sipiński D., Brodacki D., Rynek autobusów CNG w komunikacji publicznej w Polsce, Warszawa, wrzesień 2020 r.

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

Oraz koszt netto autobusu typu MEGA na poziomie (stan na rok 2021)<sup>5</sup>:

- Konwencjonalnego – 1,60 mln PLN,
- Elektrycznego – 3,67 mln PLN,
- Zasilanego wodorem – 5,44 mln PLN,
- Zasilanego CNG – 1,70 mln PLN.

Wyniki analizy finansowej stanowi wskaźnik FNPV obliczony dla każdego wariantu na przestrzeni lat 2021-2035. Wartość wskaźnika FNPV wynoszą odpowiednio:

- Wariant 0 (wymiana floty na nowe autobusy konwencjonalne: **FNPV = - 81,52 mln PLN**)
- Wariant (wymiana floty na tabor elektryczny):
  - Wariant 1a: **FNPV = - 328,38 mln PLN**
  - Wariant 1b: **FNPV = - 324,98 mln PLN**
- Wariant 2 (wymiana floty na tabor zasilany wodorem):
  - Wariant 2a: **FNPV = - 798,93 mln PLN**
  - Wariant 2b: **FNPV = - 298,32 mln PLN (bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru)**
- Wariant 3 (wymiana floty na tabor zasilany CNG):
  - Wariant 3a: **FNPV = - 89,78 mln PLN**
  - Wariant 3b: **FNPV = - 93,75 mln PLN**

W obliczeniach przyjęto brak dofinansowania inwestycji ze środków zewnętrznych.

Wyniki analizy społeczno-ekonomicznej stanowi wskaźnik ENPV obliczony dla wariantów przewidujących wymianę floty na autobusy zeroemisyjne oraz niskoemisyjne na przestrzeni lat 2021-2035. Wskaźniki ENPV na przestrzeni lat 2021-2035 wyniosą odpowiednio:

- Wariant 1 (wymiana floty na tabor elektryczny):
  - Wariant 1a: **ENPV = - 325,25 mln PLN**
  - Wariant 1b: **ENPV = - 321,86 mln PLN**
- Wariant 2 (wymiana floty na tabor zasilany wodorem):
  - Wariant 2a: **ENPV = - 788,51 mln PLN**
  - Wariant 2b: **ENPV = - 287,90 mln PLN (bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru)**
- Wariant 3 (wymiana floty na tabor zasilany CNG):
  - Wariant 3a: **ENPV = - 87,89 mln PLN**
  - Wariant 3b: **ENPV = - 91,85 mln PLN**

Zarówno wyniki analizy finansowo-ekonomicznej jak i analizy społeczno-ekonomicznej nie wykazały zasadności wprowadzenia autobusów zeroemisyjny do floty obsługującej komunikację miejską na terenie Olsztyna.

---

<sup>5</sup> Ibidem

# 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>6</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.

Przeprowadzona w 2018 roku analiza wykazała jako właściwy kierunek prac miasta, inwestycje w rozbudowę sieci tramwajowej. Zgodnie z otrzymanymi wynikami, wariant związany z wymianą części taboru na autobusy elektryczne mógłby pełnić jedynie rolę alternatywnego środka transportu publicznego, jednak ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne, które należałoby ponieść w związku z zakupem pojazdów oraz uruchomieniem niezbędnej infrastruktury stacji ładowania, inwestycja ta okazała się być nieopłacalna w perspektywie najbliższych lat. W oparciu o przeprowadzoną analizę wykazano, że dalszy rozwój sieci tramwajowej pozwoliłby dodatkowo uzyskać zmniejszenie niskiej emisji gazów cieplarnianych pochodzącej z transportu publicznego.

## 1.2. Podstawa realizacji analizy

Poniższy dokument został sporządzony na podstawie umowy zawartej dnia 27 kwietnia 2021 r. pomiędzy Gminą Olsztyn, pl. Jana Pawła II 1, 10-101 Olsztyn, reprezentowaną przez Prezydenta Olsztyna – Piotra Grzymowicza w imieniu, którego działa Dyrektor Wydziału Inwestycji Miejskich, a firmą Audytel S.A.

---

<sup>6</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.)

### 1.3. 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 10.07.2021 r.

### 1.4. Podsumowanie

Dokument został sporządzony zgodnie z wymaganiami Ustawy o elektromobilności przez zespół realizatorski Audytel S.A. na zlecenie Gminy Olsztyn. W celu przygotowania materiału wyjściowego do analiz przeprowadzono spotkania oraz zebrano niezbędne dane od przedstawicieli Zarządu Dróg, Zieleni i Transportu w Olsztynie, Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Olsztynie, Konsorcjum Firm Meteor Sp. z o.o. oraz IREX-3 Sp. z o.o. Oddział Olsztyn, Energa Operator Oddział w Olsztynie, Polskiej Spółki Gazownictwa Sp. z o. o. Oddział Zakład Gazowniczy w Olsztynie. Analiza kosztów i korzyści została sporządzona zgodnie z wymaganiami zawartymi w dokumentach wskazanych jako wytyczne przez organ ustawodawczy.



## 2. Miasto Olsztyn – analiza otoczenia transportu miejskiego

### 2.1. Analiza uwarunkowań regulacyjnych i środowiskowych

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 z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych;
- Plan Rozwoju Elektromobilności "Energia do przyszłości";
- Krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych;
- Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Olsztyna na lata 2012-2027;
- Strategia Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego w Olsztynie do 2027 r.;
- Strategia Rozwoju Miasta – Olsztyna 2020 (dokument w trakcie aktualizacji);
- Strategia miejskiego obszaru funkcjonalnego Olsztyna;
- Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Olsztyna;
- Zintegrowany Program Rozwoju Przestrzennego Śródmieścia Olsztyna;
- Studium Rozwoju Systemów Komunikacyjnych Miasta Olsztyna;
- Koncepcja optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie;
- Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe Miasta Olsztyna (uchwała nr XXXIII/554/21 Rady Miasta Olsztyna z dnia 28 kwietnia 2021 r.);
- Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Olsztyna (uchwała nr XXXIII/553/21 z dnia 28 kwietnia 2021 roku);
- Plan mobilności miejskiego obszaru funkcjonalnego Olsztyna – uchwała Rady Miasta Olsztyna nr XL/693/17 z 27 IX 2017 r. (Plan mobilności MOF Olsztyna do roku 2025);
- Strefa TEMPO 30 dla obszaru Śródmieścia Olsztyna.

#### 2.1.1. Dokumenty o zasięgu krajowym

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

Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych jest kluczowym aktem prawnym, którego zapisy regulują podstawowe obowiązki JST w obszarze elektromobilności. Do tych obowiązków należy m.in. obowiązek sporządzania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści (AKK), zaś podmioty odpowiedzialne za realizację obowiązków w obszarze transportu publicznego na terenie miasta Olsztyna są zobowiązane do przekazywania ministrowi właściwemu do spraw energii oraz ministrowi właściwemu do spraw klimatu informację o liczbie i udziale procentowym pojazdów elektrycznych lub pojazdów napędzanych gazem ziemnym w użytkowanej flocie pojazdów, według stanu na dzień 31 grudnia roku poprzedzającego przekazanie tej informacji.

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

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>7</sup>.

## 2.1.2. Dokumenty o zasięgu regionalnym

### **Strategia rozwoju miasta – Olsztyn 2020**

W „Strategii Rozwoju Miasta – Olsztyn 2020” przyjętej przez radę Miasta Olsztyna uchwałą Nr XLV/752/2013 z 30 października 2013 r. uchylającej poprzednią Strategię rozwoju Miasta na lata 2006 - 2020 założono realizację wizji Olsztyna na 2020 rok, według której miasto miało stać się „nowoczesną aglomeracją z dobrze rozwiniętymi funkcjami metropolitalnymi, tworzoną przez unikatowe środowisko przyrodnicze, wyjątkową jakość życia i konkurencyjne prowadzenie biznesu”. Strategia miała na celu m. in. poprawę funkcjonowania systemu transportowego w mieście. Duże natężenie ruchu drogowego na terenie Miasta Olsztyna jest stopniowo zmniejszane głównie poprzez promowanie i rozbudowę transportu rowerowego, wzrost atrakcyjności transportu publicznego w tym wprowadzenie nowego środka transportu jakim jest tramwaj oraz plany budowy obwodnic, które powodują przekierowanie ruchu tranzytowego poza miasto. Głównymi kierunkami działań w obszarze polepszenia sytuacji komunikacyjnej były m. in.:

- działania informacyjno-edukacyjne zachęcające do korzystania z komunikacji publicznej;
- wydzielenie lub budowa kolejnych pasów ulic z preferencją dla autobusów komunikacji miejskiej (tzw. buspasy);

<sup>7</sup> <http://lcng.pimot.eu/adresy-stacji-cng-Ing-polska/>

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

- zakup niskoemisyjnego taboru autobusowego, w tym pojazdów elektrycznych i hybrydowych;
- rozbudowa sieci tramwajowej na terenie miasta.

Obecnie trwają prace nad przygotowaniem nowej strategii rozwoju miasta do 2030 r.

### **Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Olsztyna**

W „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Olsztyna” przyjętym przez radę Miasta Olsztyna uchwałą Nr VI/46/15 z 25 lutego 2015 r., w kierunkach rozwoju systemu transportowego, odniesiono się do analiz zawartych w opracowaniu pn. „Aktualizacja studium komunikacyjnego dla miasta Olsztyna” uchwalonym w 2009 r. W studium przewidziano dwa scenariusze rozwoju systemu komunikacyjnego miasta – z budową sieci tramwajowej i bez realizacji tego planu.

Zgodnie z opracowanymi w ramach „Studium (...)” prognozami ruchu, brak realizacji inwestycji budowy sieci tramwajowej oraz budowy południowej obwodnicy miasta, skutkowałaby do 2030 r. przekroczeniem przepustowości wielu istotnych dla miasta ciągów komunikacyjnych. Prognozy zawarte w dokumencie wykazały, że realizacja obydwu kluczowych zadań: uruchomienia podsystemu tramwajowego w olsztyńskiej komunikacji miejskiej i budowy południowej obwodnicy miasta, pozwoli na znaczne zmniejszenie obciążenia ulic ruchem pojazdów.

Istotnym kierunkiem rozwoju z punktu widzenia niniejszego opracowania jest rozbudowa sieci tramwajowej. Jest to ważna decyzja w obszarze podsystemu autobusowego, studium zakłada korzystanie z nowoczesnych, niskopodłogowych autobusów dostosowanych do przewozu osób niepełnosprawnych, nadanie priorytetu w ruchu dla autobusów na wydzielonych pasach i spowolnienie ruchu lub wyłączenie z ruchu publicznego wybranych odcinków ulic.

### **Zintegrowany Program Rozwoju Przestrzennego Śródmieścia Olsztyna**

„Zintegrowany Program Rozwoju Przestrzennego Śródmieścia Olsztyna” przyjęty przez radę Miasta Olsztyna uchwałą Nr XI/133/15 z 24 czerwca 2015 r. jest dokumentem strategicznym, w którym określono cele, które przełożą się na kierunki rozwoju kluczowego obszaru miasta. Głównym celem dokumentu jest wzrost atrakcyjności przestrzeni Śródmieścia, który jest znaczącym czynnikiem wzrostu jakości życia w Olsztynie. Wpływa to na wyznaczenie kierunków przekształceń przestrzeni śródmieścia Olsztyna oraz wynikające z nich działania mające na celu poprawę obecnego stanu.

Jednym z obszarów, który podlega zaplanowanym zmianom jest transport. Czynnikiem ten bezpośrednio wpływa na przestrzeń Śródmieścia, jej funkcjonowanie oraz na kształt przestrzeni publicznych i środowiska przyrodniczego (terenów zieleni, jakości powietrza, poziomu hałasu). Celem strategicznym zmian komunikacji jest zmniejszenie ruchu samochodowy w obszarze Śródmieścia. Podjęto następujące działania w celu osiągnięcia powyższych celów:

- przekierowanie tranzytu śródmiejskiego na zewnętrzny ring;
- modernizacja ulic Śródmieścia pod kątem uspokajania ruchu samochodowego;
- prowadzenie spójnej polityki parkingowej;
- poprawa komfortu pieszych;
- poprawa warunków dla rowerzystów;
- podniesienie jakości transportu publicznego.

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

W przypadku ostatniego punktu zaproponowano czynności zmierzające do zwiększenia dostępności infrastruktury związanej z funkcjonowaniem transportu publicznego, zapewnienie wysokiej jakości wyposażenia przystanków autobusowych wraz z rozwijaniem systemu informacji pasażerskiej, zwiększenie ilości przystanków autobusowych zgodnie z oczekiwaniem użytkowników, zapewnienie bezpiecznych warunków dojścia do przystanków, czy likwidacja barier architektonicznych w obrębie przystanków.

### **Studium Rozwoju Systemów Komunikacyjnych Miasta Olsztyna**

W „Studium rozwoju systemów komunikacyjnych Miasta Olsztyna” z 2017 r., podjęto ocenę funkcjonowania systemu transportowego Olsztyna. Efektem przeprowadzonych analiz są wypracowane kierunki rozwoju oraz działania, które należy podjąć w celu realizacji prawidłowej obsługi komunikacyjnej miasta, obecnie oraz w perspektywie czasowej do 2027 i do 2035 roku. W dokumencie uwzględniono przede wszystkim:

- aspekt integracji przestrzennej poszczególnych obszarów miasta,
- dążenie do ograniczenia ruchu kołowego, a w szczególności ruchu transportu ciężkiego przez miasto,
- przekształcenia układu drogowego służące wyznaczaniu obszarów uspokojonego ruchu,
- tworzenie warunków do rozwoju transportu zbiorowego,
- tworzenie warunków do zwiększenia udziału komunikacji pieszej i rowerowej,
- zewnętrzne powiązania miasta z jego obszarem funkcjonalnym, województwem i krajem.

Sprawnie funkcjonująca komunikacja miejska jest niezbędnym elementem zrównoważonego rozwoju transportu. W dokumencie przedstawiono przykłady działań podejmowanych w ramach tego rozwoju:

- priorytetyzacja komunikacji miejskiej;
- zasięg komunikacji miejskiej;
- wysoka jakość informacji pasażerskiej.

### **Strategia Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego w Olsztynie do 2027 r.**

W „Strategii rozwoju transportu zbiorowego w Olsztynie do 2027 r.” jako cel strategiczny dla funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego o charakterze użyteczności publicznej wyznaczono „Stworzenie systemu szybkiej, wygodnej i zawsze dostępnej komunikacji miejskiej, stanowiącej realną alternatywę dla realizacji podróży samochodem osobowym”. Dla realizacji tego celu w dokumencie określono następujące cele operacyjne:

- uruchomienie sprawnego i efektywnego systemu ekologicznej komunikacji miejskiej;
- integracja podsystemów komunikacji miejskiej we wzajemnie współdziałające elementy, tworzące jedną funkcjonalną całość;
- integracja różnych rodzajów transportu publicznego w Olsztynie;
- ograniczenie emisji zanieczyszczeń i natężenia hałasu w mieście;
- zmniejszenie liczby poruszających się w mieście pojazdów, w szczególności samochodów osobowych.

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

Strategia określiła powyższe cele jako zależne od siebie, zatem ich realizacja powinna następować równolegle. Z określeniem celów operacyjnych, wyznaczono priorytety:

- zwiększenie prędkości podróżowania komunikacją miejską;
- wymiana taboru na bez- lub niskoemisyjny;
- zwiększenie dostępności komunikacji miejskiej dla osób o ograniczonej zdolności do poruszania się i niepełnosprawnych;
- nie pogarszanie dostępności komunikacyjnej dla mieszkańców miasta;
- pełna i powszechna dostępność informacji o komunikacji miejskiej.

Strategia została opracowana w okresie realizacji projektu „Modernizacja i rozwój zintegrowanego systemu transportu zbiorowego w Olsztynie”, którego głównym celem była budowa tras tramwajowych dla trzech nowych linii łączących dzielnice południowe i ośrodek akademicki z centrum miasta i z głównym dworcem kolejowym, budowa zajezdni tramwajowej oraz zakup taboru. Jednocześnie, uwzględniono w strategii przebudowę segmentu autobusowego komunikacji miejskiej.

Strategia zakładała także realizację – w ramach systemu ITS – działań uwzględniających:

- minimalizację liczby zatrzymań pojazdów komunikacji miejskiej poza przystankami;
- skrócenie czasów podróży i zwiększenie prędkości dla komunikacji tramwajowej;
- poprawę jakości funkcjonowania i komfortu korzystania z komunikacji miejskiej.

Proces udoskonalania publicznego transportu w Olsztynie opiera się na priorytetach ukazujących dogodną organizację miejskiego transportu zbiorowego. Dąży się do tego, aby podróże odbywające się z wykorzystaniem komunikacji publicznej realizowane były w stosunkowo krótkim czasie, dzięki zwiększeniu prędkości przejazdów. W ramach prac planowano zakup 90 sztuk nowoczesnego taboru do 2023 roku charakteryzującego się niskoemisyjnością oraz dostosowaniem do potrzeb osób niepełnosprawnych.

Na podstawie wskaźników dostarczonych w ramach „Monitoringu wdrażania Strategii Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego w Olsztynie do 2027 r.” można zauważyć, że strategia jest sukcesywnie wdrażana. Udział autobusów niskopodłogowych obecnie wynosi 100%. Ponadto, corocznie rośnie stosunek cen biletów do przeciętnego wynagrodzenia. Od 2015 roku również zdecydowanie wzrosła liczba przystanków przypadających na 1 km<sup>2</sup>.

Widać również spadek wykorzystywania pojazdów o najniższych normach emisyjności spalin oraz wzrost udziału tramwajów w ogólnej liczbie pojazdów w ruchu.

Ze względu na wprowadzenie darmowego biletu dla olsztyńskich uczniów oraz wybuch pandemii COVID-19 widać wyraźny spadek odpłatności uczniów, który w przeciągu 5 lat zmalał niemal dwukrotnie. Sytuacja związana z pandemią wirusa SARS-COV2 widać również w spadku wielkości popytu przewozów, która do roku 2019 sukcesywnie rosła.

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

### **Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Olsztyna na lata 2012-2027**

Według planu transportowego dla miasta Olsztyna przyjętego uchwałą nr IV/43/19, podstawowe znaczenie ma dążenie do racjonalnego zakresu usług świadczonych przez transport zbiorowy na obszarze Olsztyna. Wizja transportu publicznego w mieście, określona w przedstawionej strategii, zakłada „funkcjonowanie oraz rozwój nowoczesnego i proekologicznego transportu zbiorowego, spełniającego oczekiwania pasażerów – w sposób tworzący z tego transportu realną alternatywę dla podróży realizowanych własnym samochodem osobowym”. W 2015 roku miasto Olsztyn zrealizowało projekt związany z modernizacją systemu publicznego transportu zbiorowego, polegający na uruchomieniu nowego podsystemu tramwajowego olsztyńskiej komunikacji miejskiej, obok dotychczas funkcjonującego podsystemu autobusowego. Obecnie kontynuowane są kolejne etapy wyżej wspomnianego przedsięwzięcia.

Aktualizacja dokumentu z 2019 roku podkreśla preferowanie wyboru taboru niskoemisyjnego CNG, LPG lub LCNG, którego wybór uzależniony będzie od możliwości finansowania z budżetu miasta Olsztyn oraz szansy na uzyskanie na ten cel dofinansowania.

Przyjęto również, że w przypadku zainteresowania rozszerzenia zakresu funkcjonowania olsztyńskiej kolei miejskiej przez kolejne gminy ościenne możliwe będzie rozszerzenie jej na kolejnych stacjach i przystankach osobowych m.in. Jonkowo, Godki, Wołowno i Gamerki Wielkie – w Gminie Jonkowo, na linii do Bogaczewa oraz Bartąg, Gągławki, Stawiguda, Gryźliny i Olsztynek – w gminach Stawiguda i Olsztynek, na linii do Działdowa.

### **Założenia do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe Miasta Olsztyna (aktualizacja w 2021 r.)**

W opracowaniu przedstawiono:

- ocenę stanu aktualnego zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe Miasta Olsztyna;
- propozycje przedsięwzięć racjonalizujących użytkowanie ciepła, energii elektrycznej i paliw gazowych;
- ocenę możliwości wykorzystania istniejących nadwyżek i lokalnych zasobów paliw i energii, z uwzględnieniem energii elektrycznej i ciepła wytwarzanych w odnawialnych źródłach energii, energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła oraz zagospodarowania ciepła odpadowego;
- propozycje możliwych do zastosowania środków poprawy efektywności energetycznej w rozumieniu ustawy o efektywności energetycznej;
- analizę zakresu współpracy z innymi gminami ościennymi.

Według informacji przedstawionych w dokumencie przyjętym przez radę Miasta Olsztyna uchwałą Nr XXXIII/554/21 z 28 kwietnia 2021 r. firma ENERGA-OPERATOR S.A. będąca właścicielem miejscowo OSD dla Miasta Olsztyn zobowiązała się do zrealizowania zadania określonego w ustawie z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. 2020, poz. 908) wybudowania brakujących 94 punktów ładowania. Przedsięwzięcie wiązało będzie się z budową 47 stacji ładowania w 46 lokalizacjach. Wszystkie punkty ładowania będą posiadać moc maksymalną 22 kW. Operator

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

zastrzegł sobie, że prace nie zostaną zrealizowane do terminu 31.12.2020 roku. Dokument nie uwzględnia możliwości rozwoju taboru zeroemisyjnego komunikacji publicznej ani związanej z tym potrzeby instalacji punktów ładowania.

### **Aktualizacja Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Miasta Olsztyna**

W „Aktualizacji planu gospodarki niskoemisyjnej dla Miasta Olsztyna” przyjętym przez radę Miasta Olsztyna uchwałą Nr XXXIII/553/21 z 28 kwietnia 2021 r. wskazano jako cel strategiczny „5. Rozwój transportu niskoemisyjnego i elektromobilności”. Do celów szczegółowych zalicza się:

- Efektywne energetycznie i ekonomicznie środki transportu w gestii gminy i jednostek publicznych, jako wynik wdrożenia elektromobilności, w tym przeprowadzenia modernizacji i wymiany taboru autobusowego na pojazdy niskoemisyjne;
- Rozwój nowoczesnych technologii w dziedzinie elektromobilności, w tym m.in. inteligentne zarządzanie ruchem, budowa stacji ładowania pojazdów elektrycznych na terenie miasta;
- Ograniczenie niskiej emisji z transportu indywidualnego poprzez stworzenie alternatywy komunikacyjnej w postaci ciągów pieszo-rowerowych i punktów przesiadkowych, m.in.: dróg rowerowych, ciągów pieszo-rowerowych, infrastruktury dla rowerzystów i pieszych, rozwój systemu ORM w tym parkingów B&R i P&R, i innych rozwiązań organizacyjnych służących zachęceniu korzystania z transportu niskoemisyjnego;
- Ograniczenie niskiej emisji z transportu indywidualnego poprzez rozbudowę i modernizację infrastruktury komunikacyjnej – drogowej i tramwajowej.

Jako jeden z pięciu najważniejszych zagadnień problemowych opisanych w dokumencie wskazano rozwój niskoemisyjnego transportu oraz elektromobilności. W planie wyszczególniono, dotyczące tego obszaru zadania służące ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń powietrza. Są to:

1. Zakup niskoemisyjnego taboru autobusowego;
2. Budowa zintegrowanego węzła przesiadkowego przy Dworcu Głównym w Olsztynie;
3. Budowa nowych zajezdni autobusowej i tramwajowej w Olsztynie;
4. Wprowadzenie transportu tramwajowego na terenie Miasta Olsztyna;
5. Rozwój infrastruktury rowerowej: system roweru publicznego, ścieżki rowerowe, samoobsługowe stacje naprawy rowerów;
6. Budowa i modernizacja obwodnic i odcinków drogowych I, II i III.

W APGN przyjęto kontynuację części zadań ujętych w PGN z 2015 roku oraz rozszerzono realizację o nowe projekty, których efekty mogą osiągnąć następujące poziomy, ograniczyć końcowe zużycie energii o około 118 GWh rocznie, redukcję emisji CO<sub>2</sub> o około 144 tys. MgCO<sub>2</sub> rocznie oraz zwiększyć produkcję energii z OZE o około 105 GWh rocznie.

### **Strefa TEMPO 30 dla obszaru Śródmieścia Olsztyna**

Oprócz budowy i modernizacji dróg w mieście, prowadzone są także inne projekty istotne z punktu widzenia zrównoważonej mobilności. Jednym z nich jest „Strefa Tempo 30” z 2016 r. Strefy uspokojonego ruchu są elementem zmiany planowania sieci transportowych. W szczególności ważnym wyzwaniem w miastach jest aktualnie poprawa bezpieczeństwa ruchu niezmotoryzowanych i słabo chronionych uczestników ruchu (pieszych oraz rowerzystów), a także dążenie do poprawy jakości życia mieszkańców.

Głównym założeniem Strefy jest zmniejszenie ruchu kołowego oraz zmniejszeniu dopuszczalnej prędkości do 30km/h. Zmniejszenie intensywności ruchu samochodów przyczynia się nie tylko do zmniejszenia ilości wypadków, emisji hałasu, ale również do redukcji emisji CO<sub>2</sub>. Zapewnić ma to tzw. przestrzeń współużytkowaną, gdzie nie rozdziela się jezdni i chodników, które mają się stać przestrzenią społeczną. Podstawą uzyskania takiego efektu jest ograniczenie prędkości i ilości pojazdów do niewielkich rozmiarów.

Pożądaną kategorią pojazdów w strefach uspokojonego ruchu jest komunikacja publiczna (tramwaj, trolejbus, autobus) oraz rower. Torowiska tramwajowe zapewniają sprawny dojazd z innych rejonów miasta, w miejsce samochodu zmniejszając przy tym ruch kołowy w strefie.

## 2.2. Podsumowanie

Głównym założeniem dla rozwoju komunikacji miejskiej w mieście jest funkcjonowanie oraz rozwój nowoczesnego i proekologicznego transportu publicznego spełniającego oczekiwania pasażerów. Aktualizacja dokumentu pn. „Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla miasta Olsztyn” z 2019 roku wskazuje na zastosowanie taboru niskoemisyjnego CNG, LPG lub LCNG. Działania takie jak wprowadzenie strefy TEMPO 30 oraz ograniczenie ruchu transportu ciężkiego przez miasto, poprzez budowę południowej obwodnicy Olsztyna, przyczyni się do zmniejszenia liczby wypadków, poprawiając dodatkowo komfort mieszkańców poprzez redukcję hałasu i emisji spalin. 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

Napęd elektryczny w pojazdach kołowych stosowanych do transportu indywidualnego i zbiorowego zyskuje na popularności. Poprawa parametrów technologicznych pojazdów w obszarze baterii trakcyjnych, silników trakcyjnych czy sposobów ładowania to wybrane czynniki, które kierunkują obszar zainteresowania kierowców oraz zarządców transportu zbiorowego na pojazdy elektryczne. Optymizmem napawa również dynamiczny rozwój infrastruktury w ośrodkach miejskich (szczególnie Miastach i Aglomeracjach powyżej 100 tys. Mieszkańców) oraz wzdłuż korytarza sieci TEN-T. Aktualnie w rozwój i popularyzację pojazdów elektrycznych zaangażowani są wiodący producenci pojazdów komunikacji zbiorowej, którzy stale poszerzają swoją ofertę o nowe, coraz bardziej zaawansowane i przystępne dla użytkowników modele. Pomimo, że autobusy elektryczne są obecnie droższe od tych z silnikami spalinowymi, ich popularność stale wzrasta i stają się one coraz bardziej powszechne w polskich miastach. Zastosowanie napędu elektrycznej, zamiast tradycyjnego spalinowego, generuje wiele zalet jak np. poprawa jakości powietrza w miastach poprzez obniżenie emisji gazów cieplarnianych z układu napędowego niższymi kosztami eksploatacji (zakup energii elektrycznej zamiast paliwa trakcyjnego). Mając dodatkowo na uwadze kierunek kreowania regulacji prawnych UE oraz krajowych należy wskazać, iż transport zbiorowy zasilany olejem napędowym nie będzie mógł w najbliższej przyszłości zostać ujęty w obszarze udzielania dofinansowania zewnętrznego ze środków zagranicznych. Napęd elektryczny charakteryzuje się zerową lokalną emisją gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń, a równocześnie jego użytkowaniu towarzyszy zdecydowanie niższy poziom hałasu niż w przypadku autobusów konwencjonalnych.

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

Bateryjne autobusy elektryczne napędzane są za pomocą asynchronicznego centralnego silnika trakcyjnego o mocy do 300 kW<sup>8</sup> zasilanego energią elektryczną, magazynowaną w bateriach akumulatorów. Autobusy elektryczne wyposażone są dodatkowo w funkcję hamowania elektrodynamicznego (zwanego również odzyskowym) z odzyskiem energii elektrycznej tzw. rekuperację energii. Podczas hamowania silniki elektryczne przechodzą w tryb pracy prądnicy i generują prąd elektryczny, który następnie wykorzystywany jest do ładowania akumulatorów, zwiększając zasięg i poprawiając efektywność energetyczną pojazdu. W odróżnieniu od pojazdów z napędem spalinowym, do hamowania wykorzystuje się silnik, co pozwala odzyskać część energii oraz ograniczyć zużywanie klocków hamulcowych. Prędkość pojazdu nie jest w tym przypadku tak istotna jak tryb jazdy i samego hamowania. Rekuperacja przy spokojnej jeździe, pozwala uzyskać najlepsze efekty i odzyskać możliwie najwięcej energii. Hamowanie w takim wypadku powinno

---

<sup>8</sup> ZERO EMISSIONS POWERTRAINS Product catalogue 2020/2021, Solaris

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

odbywać się płynnie i kilkustopniowo. Dzięki powyższym właściwościom autobusów elektrycznych najbardziej odpowiednie będzie wykorzystywanie ich na liniach o gęstym rozmieszczeniu infrastruktury przystankowej na trasie przejazdu. Spowoduje to odzyskanie bardzo dużej ilości energii, która w przypadku autobusów z silnikami spalinowymi 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 bądź klimatyzacji przedziału pasażerskiego, zmniejsza zapotrzebowanie na energię związane z ogrzewaniem nawet o 55%<sup>9</sup> w perspektywie całego roku względem ogrzewania elektrycznego. Autobusy elektryczne w przeciwieństwie do konwencjonalnych są bezemisyjne, przez co nie mogą wykorzystać ciepła spalin do ogrzania przestrzeni pasażerskiej. W związku z tym to rozwiązanie zostało wprowadzone 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>10</sup>, która pozwalałaby na przejechanie od 250 do 350 km.

### Zasięg autobusów elektrycznych

Na zasięg autobusu elektrycznego wpływa szereg różnych czynników, z czego najważniejsze to: pojemność baterii, warunki eksploatacji, czynniki atmosferyczne, czy też natężenie ruchu. W związku z tym zużycie energii może przyjmować wartości 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). 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 w zależności od modelu może wynosić obecnie ok. 200 – 350 km. W autobusach o większym zasięgu stosuje się baterie akumulatorów o większej pojemności, zaś w autobusach ładowanych w trakcie wykonywanych dziennych zadań przewozowych, wykorzystuje się ładowanie za pomocą złącza plug-in lub pantografu. W takich przypadkach częstszego ładowania w ciągu dnia można zastosować tańsze i lżejsze baterie o mniejszej pojemności, co przekłada się na możliwie mniejsze gabaryty pojazdu. Ładowanie w trakcie przewozów wiąże się jednak z koniecznością zakupu energii w godzinach szczytu oraz z koniecznością budowy dedykowanej infrastruktury ładowania.

<sup>9</sup> <https://www.sustainable-bus.com/parts/konvekta-co2-heat-pump-electric-bus/>

<sup>10</sup> Solaris Urbino 15 LE electric, technical details

<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.

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

Innym kryterium podziału autobusów jest rodzaj 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 w zależności od oczekiwanego zastosowania. Oprócz tego 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, a także czas ładowania. W rozwiązaniach o wysokiej gęstości energii wykorzystuje się głównie akumulatory NMC, a w rozwiązaniach o wysokiej gęstości mocy akumulatory LTO.

Dodatkowo, wśród autobusów elektrycznych można rozróżnić pojazdy produkowane przez konkretne firmy. Do największych z nich należą:

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

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

### 3.1.2. Zasilanie

Autobusy zasilane energią elektryczną można podzielić na te, które wykorzystują energię elektryczną zmagazynowaną w bateriach akumulatorowych oraz na te, które pobierają ją z zewnątrz z sieci trakcyjnej za pomocą pantografu (trolejbusy). Ze względu na konieczność utworzenia odpowiedniej sieci trakcyjnej na terenie miasta trolejbusy są mało elastycznym rozwiązaniem i nie wykorzystuje się ich na szeroką skalę w Polsce. W tym momencie system transportu trolejbusowego funkcjonuje tylko w Tychach, Lublinie oraz Gdyni i Sopocie. W przeciwieństwie do trolejbusów, bateryjne autobusy elektryczne są coraz częściej wykorzystywane do wykonywania 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 350 km w zależności od warunków. Odległość ta w niektórych przypadkach może nie być wystarczająca do przejazdu na całodziennych liniach komunikacji miejskiej. W związku z tym konieczne jest doładowywanie baterii w ciągu zmiany roboczej, np. na przystankach bądź na pętli autobusowej. Inną wadą bateryjnych autobusów 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 pozwala zwiększyć pojemność pasażerską pojazdu. Ładowanie autobusu elektrycznego za pomocą szybkiego ładowania wymaga jednak wyłączenia pojazdu z ruchu na okres około 10 min. W związku z tym należy odpowiednio dostosować rozkład jazdy linii zawierających autobusy elektryczne bateryjne, aby uniknąć opóźnień spowodowanych ładowaniem.

#### **Technologie ładowania elektrobusów**

Kluczowym elementem związanym z wprowadzeniem do komunikacji miejskiej floty autobusów elektrycznych jest zapewnienie odpowiedniej infrastruktury, która umożliwi ładowanie różnych typów autobusów na terenie miasta. 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.

Wybór najlepszej metody ładowania możliwej do wprowadzenia jest uzależniony od kilku istotnych czynników:

- kosztów inwestycji infrastrukturalnych,
- kosztu zakupu autobusu,
- możliwości technicznych doładowania autobusu na trasie i w czasie postoju na pętli,
- czasu ładowania autobusu.

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

### Ładowarki typu Plug – in

Pierwszą z omawianych metod jest ładowanie typu plug-in. Do zasilania wykorzystywane są zewnętrzne ładowarki, a autobus jest ładowany przy użyciu gniazda elektrycznego. Jest to najtańsze spośród rozwiązań stosowanych w pojazdach elektrycznych. Kluczowe jest odpowiednie rozmieszczenie stacji ładowania uwzględniając potrzeby pojazdu oraz charakterystykę infrastruktury miejskiej. W większości ładowarki są umiejscowione 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. Czas ładowania zajezdniowego, w zależności od czynników takich jak moc ładowarki czy pojemność baterii, może wynosić od niecałej godziny aż do 10 godzin.

### Ładowarki indukcyjne

Ładowanie indukcyjne polega na bezkontaktowym pobieraniu energii z ładowarek znajdujących się w obrębie infrastruktury przystankowej pod jezdnią. Konstrukcyjnie realizuje się to poprzez montaż małych akumulatorów pod podwoziem pojazdu. Autobus należy ładować przez kilka minut. Główną zaletą tego systemu jest fakt, że cała infrastruktura jest niewidoczna i nie ingeruje w plan zagospodarowania przestrzeni miejskiej. Jednak istnieją również niedogodności związane z ładowaniem indukcyjnym. Przede wszystkim jest to niska sprawność przesyłu energii, ponadto trzeba zadbać o wysoką precyzję podczas parkowania autobusu nad ładowarką indukcyjną. 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>.

### Rysunek 1. Przystanek z zainstalowanym stanowiskiem ładowania indukcyjnego.



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

### Ładowarki pantografowe

<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)

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

Ładowanie pantografowe polega na wykorzystaniu 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. Ładowanie baterii za pomocą tej technologii jest stosunkowo krótkie i pozwala autobusom zachować ciągłość jazdy mimo doładowań na przystankach lub pętlach. Dzięki takiemu rozwiązaniu kierowca, tak jak w przypadku ładowania indukcyjnego, nie musi opuszczać stanowiska pracy. Platforma zasilająca, na której kierowca musi zaparkować ma wymiary dobierane 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 są w stanie osiągnąć nawet do 1,2 MW i ładować jednocześnie 20 pojazdów<sup>15</sup>, jak stacja zainstalowana w holenderskim mieście Zeist produkcji Ekoenergetyki-Polska. W Polsce ładowarki o tak dużej mocy nie są powszechne, większość ma moc 200 kW w przypadku jednego stanowiska, czy też 400 kW dla ładowarek dwustanowiskowych. W Poznaniu stacja z dwoma stanowiskami ma moc 540 kW.<sup>16</sup>

### Rysunek 2. 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.

<sup>15</sup> <https://orpa.pl/ekoenergetyka-dostarczy-stacje-ladowania-o-mocy-12-mw-do-holenderskiego-zeist/>

<sup>16</sup> <https://magazynbiomasa.pl/najszybsze-ladowarki-do-autobusow-sa-w-poznaniu/>

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

### Koszt zakupu autobusu

Najtańszym rozwiązaniem spośród autobusów z napędem elektrycznym jest autobus zasilany poprzez złącze plug-in. Autobusy wykorzystujące ładowanie pantografowe są droższe ze względu na wykorzystanie bardziej złożonego złącza. Z uwagi na wymagania techniczne dotyczące bezpieczeństwa konieczne jest zastosowanie technologii wykorzystującej odpowiednie zabezpieczenia. Autobusy ładowane indukcyjnie są najdroższe spośród tych trzech typów. Akumulatory w nich 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. Takie umieszczenie i skompresowanie akumulatorów wiąże się z wysokim kosztem produkcji pojazdu.

Z danych z przetargów z polskich miast (m. in. Gdynia, Gorzów Wielkopolski, Łomża, Katowice czy Warszawa) można wnioskować, że koszt zakupu 18-metrowego autobusu elektrycznego to ok. 3 mln PLN brutto<sup>17</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>18 19 20 21</sup>.

### Koszt inwestycji w infrastrukturę

Najbardziej kosztownym rozwiązaniem jest obecnie zasilanie indukcyjne. Wymaga ono przystosowania przystanków do nowych technologii, 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 i najmniej ingerującym w obecną infrastrukturę miasta rozwiązaniem jest w tym momencie ładowanie autobusu za pomocą wtyczek plug-in. Ładowarki można umieścić w zajezdniach i na pętlach. 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 – niektóre charakteryzują się niższą ceną, ale wolniej ładujące, które w zależności od mocy ładowania mogą kosztować od 40 do nawet 150 tys. zł z kolei inne, tzw. ładowarki szybkie wiążą się z relatywnie wyższym kosztem również zależnym od mocy ładowarki rzędu od 450 tys. do nawet miliona złotych za sztukę.

<sup>17</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>18</sup> <http://lidzbarkw-um.bip-wm.pl/public/?id=166499>

<sup>19</sup> <https://platformazakupowa.pl/transakcja/219678>

<sup>20</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/pka-gdynia-z-trzema-ofertami-na-dostawy-24-elektrobusow-67163.html>

<sup>21</sup> <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/elektrobus-szkolny-dla-sniadowa-yutong-vs-solaris-69409.html>

### **Eksploatacja**

Istotną cechą elektrobusów 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 pętlach. Pierwsza z opcji zakłada szybkie ładowanie w czasie wymiany pasażerów. W zależności od natężenia ruchu może to trwać do 10 minut. Druga opcja to doładowywanie akumulatorów podczas ich 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. Rozwiązanie z użyciem stacji ładowania plug-in wymaga obsługi, co oznacza konieczność opuszczenia pojazdu przez kierowcę. Ze względów bezpieczeństwa kierowcy, nie jest to możliwe podczas tras, a jedynie w przypadku ładowania na pętli bądź zajezdni. Z kolei zasilanie akumulatorów z sieci pantografowej możliwe jest zarówno na poszczególnych przystankach (ładowanie krótkie), jak i na pętli (ładowanie dłuższe). Eksploatacja pojazdów akumulatorowych wiąże się ze spadkiem pojemności akumulatorów z czasem, określa się, że należy go wymienić przy spadku do 90% pojemności nominalnej. Nie można ogólnie określić, kiedy taki spadek nastąpi ze względu na to, że zależy on od wielu czynników m.in. w jakiej technologii akumulator został wykonany, sposobu czy warunków w jaki jest eksploatowany. Akumulatory w technologii NMC mogą osiągnąć 90% pojemności nominalnej nawet już po 2000 cykli ładowania, gdzie mniej pojemne akumulatory LTO mogą go nie osiągnąć nawet przy 15000 cykli. Wymieniony akumulator nadal doskonale nadaje się do użycia w rozwiązaniach stacjonarnych.

### **Czas ładowania akumulatorów**

Główne czynniki wpływające na czas ładowania akumulatorów to rodzaj akumulatora i ładowarki. Istotnym zagadnieniem z 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. Sprawa wygląda inaczej w przypadku ładowarek miejskich (wykorzystywanych na pętlach lub niektórych przystankach). W celu zachowania ciągłości pełnienia usług przez autobus 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, w celu 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.

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 wystarczy kilkuminutowe doładowanie pojazdu elektrycznego, aby 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 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

Patrząc na powyższe dane zawarte w tabeli widać, że moc ładowarki typu plug-in ma znaczny wpływ 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. Instalacja przyłącza energetycznego musi 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. Układy mogą być instalowane np. w samym punkcie ładowania, osobnym nowym przyłączy wybudowanym przez Operatora systemu dystrybucyjnego (OSD) lub istniejącym przyłączy po jego modernizacji przez OSD. Zależy to m.in. od usytuowania punktu ładowania, uwarunkowań technicznych sieci, uwarunkowań

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

przeznaczonych itp.<sup>22</sup> W momencie, gdy zostanie podjęta decyzja o powstaniu nowego przyłącza, miejsce jego usytuowania jest uzgadniane przez OSD z inwestorem. Dzięki temu można zapewnić optymalne umiejscowienie przyłącza.

Jeśli chodzi o punkty szybkiego ładowania lub zespoły stacji ładowania, które wymagają większej mocy przyłączeniowej, to można przyłączyć je 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 jego 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 ogniwach paliwowych. Produktem takiej reakcji jest woda, dzięki czemu wodór jako paliwo jest określany zeroemisyjnym.

Wodór nie występuje w stanie wolnym w przyrodzie, jednak jest możliwe pozyskiwanie go z różnych związków chemicznych, w których się znajduje. Do głównych metod wytwarzania wodoru należą:

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

W kontekście wodoru jego magazynowanie jest istotnym zagadnieniem. Stosowaną na najszerszą skalę metodą są zbiorniki ciśnieniowe, w których paliwo przechowywane jest w stanie gazowym pod ciśnieniem 700 bar, a także zbiorniki kriogeniczne, magazynujące wodór w postaci ciekłej<sup>23</sup>.

Technologia ogniw paliwowych, stosowana w pojazdach zasilanych wodorem, jest cały czas na etapie rozwoju. Głównym powodem ogromnego zainteresowania tą technologią są znacznie wyższe sprawności przetwarzania energii w stosunku do innych źródeł energii odnawialnej, a także do silników konwencjonalnych. Ponadto istotny jest fakt, że w procesie spalania powstaje czysta woda. Pojazdy wodorowe jako pozbawione silników spalinowych, określane są jako najczystszy ekologicznie silnikowy środek transportu, ponieważ charakteryzują się zerową lokalną emisją z układu napędowego (dwutlenek węgla, tlenki azotu, pyły zawieszone PM), a równocześnie użytkowaniu wodoru towarzyszy zdecydowanie niższy poziom hałasu.

---

<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.

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

Autobusy wodorowe to pojazdy zasilane energią elektryczną pochodzącą z reakcji zachodzącej w ogniwie paliwowym zasilanym wodorem. We wnętrzu pojazdu energia zmagazynowana jest w postaci gazowego wodoru sprężonego do ciśnienia 350 bar, a także w akumulatorach. Ogniwko paliwowe spalając wodór na bieżąco produkuje energię elektryczną, która zasila silniki trakcyjne o łącznej mocy 200-250 kW. Nadwyżka generowanej energii jest przechowywana w akumulatorach, które są wsparciem ogniwa paliwowego przy gwałtownym wzroście poboru prądu przez silniki (sytuacje takie jak ruszanie, przyspieszanie, jazda pod górę), a także pełnią rolę magazynu energii generowanej podczas hamowania generatorowego. Hamowanie rekuperacyjne pozwala zwiększyć zasięg pojazdu, a także wydłużyć żywotność układu hamulcowego w odniesieniu do pojazdów spalinowych. Rekuperacja przy spokojnej jeździe daje najlepsze efekty i pozwala odzyskać najwięcej energii. Hamowanie w takim wypadku powinno odbywać się w sposób płynny, najlepiej kilkustopniowo. Przy wymienionych wcześniej właściwościach autobusów wodorowych dobrym pomysłem jest wykorzystanie ich na liniach o gęstym rozmieszczeniu infrastruktury przystankowej na trasie przejazdu. Wpłyne to na zwiększenie częstotliwości zatrzymań, co zapewni dodatkowy odzysk energii i podładowanie baterii. W zwykłym autobusie spalinowym każde takie hamowanie powoduje bezpowrotną stratę energii.

#### **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 znajduje się tylko jedna stacja tankowania wodoru – mieści się ona w Warszawie na terenie należącym do telewizji Polsat i jest użytkowana jedynie przez flotę należącą do przedsiębiorstwa. Otwarcie pierwszych ogólnodostępnych stacji powinno mieć miejsce przed końcem 2021 roku. Planowana jest między innymi stacja w Koninie, gdzie zainstalowany jest elektrolizer. Ze względu, że technologia ta nie jest dojrzała, a skala rozpowszechnienia nie jest duża, wysokie koszty budowy stacji z czasem będą maleć. Istotną zaletą wodoru jako paliwa jest możliwość energetycznego uniezależnienia się od surowców kopalnych.

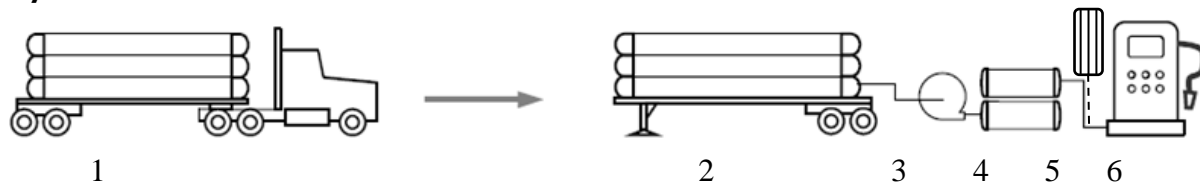
Należy wyróżnić przeznaczenia stacji na publiczne (ogólnodostępne) oraz flotowe (wykorzystywane przez przedsiębiorstwa komunikacji miejskiej i firmy transportowe). Większe możliwości stwarzają stacje użytkowane przez przewoźników oraz otwarte dla wszystkich kierowców. Stacje firm transportowych mogą 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. W przeciwieństwie do technologii uzupełniania energii elektrycznej, stacje tankowania wodoru są łatwo skalowalne, poprzez zwiększanie pojemności zbiorników oraz wydatku maksymalnego sprężarek.

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych (oznaczenia na Rysunek 3: 1,2) o łącznej pojemności do 280 kg H<sub>2</sub> pod ciśnieniem do ponad 21 MPa lub w zbiornikach o pojemności 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),

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

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

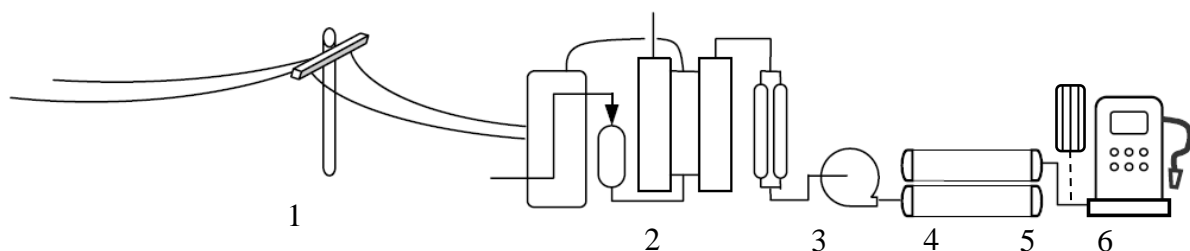
**Rysunek 3. Schemat dostarczania wodoru.**



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 4. 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

Najbardziej znani światowi producenci autobusów zasilanych wodorem należą takie firmy jak Alexander Dennis, CaetanoBus, EvoBus, Rampini, Safra, Ursus Bus, VanHool, VDL BUS & COACH oraz WrightBus.

Jednym z producentów miejskich autobusów wodorowych jest polska firma Solaris, która jest jednym z liderów elektromobilności w Europie. Firma wyprodukowała autobusy wodorowe Solaris Urbino 12 hydrogen, które są wykorzystywane w transporcie miejskim w różnych europejskich krajach, m.in. w Holandii czy Niemczech. Cena zakupu pojazdu napędzanego wodorem o długości 12 metrów z pełnym wyposażeniem, takim jak klimatyzacja, system informacji pasażerskiej czy monitoring,

<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

wynosi 3,4 mln PLN netto. Autobus ten posiada 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 pojawia się 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, która nie jest wyposażona w elektrolizer, przeznaczonej dla taboru zawierającego 50 autobusów wodorowych, może osiągnąć poziom nawet 23 mln PLN. Dokupienie elektrolizera do wyposażenia stacji to koszt w granicach 32 mln PLN netto. Wysoki koszt komponentów umożliwiających stacjonarną produkcję wodoru sprawia, że inwestycja staje się rentowna dopiero wtedy, gdy zaistnieje duże zapotrzebowanie na paliwo wodorowe<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>.

---

<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.

### 3.3. Pojazdy zasilane gazem ziemnym

#### 3.3.1. Opis technologii

Gaz ziemny będący paliwem pochodzenia naturalnego, może stanowić alternatywne rozwiązanie dla benzyny oraz oleju napędowego w transporcie prywatnym, zbiorowym oraz przemysłowym. Zawartość metanu w gazie, który znajduje swoje zastosowanie w transporcie, wynosi blisko 98%.

Gaz ziemny może występować w różnych stanach skupienia, dlatego jego wykorzystanie w transporcie można podzielić na:

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

Promowanie pojazdów zasilanych CNG i LNG jest istotne w kontekście rozwoju transportu niskoemisyjnego w polskich miastach. Pojazdy te są określane mianem NGV (ang. Natural Gas Vehicles), ze względu na ich stosunkowo niewielki wpływ na środowisko. To właśnie z tego względu ich wykorzystanie jest rekomendowane w kontekście ustawy o elektromobilności.

#### **Rodzaje stosowanych paliw**

CNG jest jedną z najszerzej stosowanych odmian paliw alternatywnych. Sprężanie metanu w celu zasilania pojazdów odbywa się na stacjach tankowania 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). Ze względów bezpieczeństwa zbiornik gazu powinien być wytrzymały na duże ciśnienia – 20 MPa. W związku z tym standardowe stalowe zbiorniki cechują się dość dużą masą. Stosowane są również lżejsze zbiorniki kompozytowe.

LNG to skroplony gaz ziemny, pozyskiwany poprzez skroplenie gazu ziemnego w temperaturze poniżej -162°C w instalacjach skraplających. W procesie skroplenia objętość paliwa jest zmniejszana blisko 600 razy. Transport gazu do miejsca docelowego również odbywa się 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. Jedną z zalet LNG jest możliwość transportu do obszarów, gdzie poprowadzenie gazociągu jest niemożliwe. W 2016 roku w Świnoujściu został uruchomiony terminal skroplonego gazu, co zwiększyło dostępność LNG na polskim rynku.

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 (0°C 0,1MPa)	536 (15°C 1,5MPa)	720 – 760 (15°C 0,1MPa)	800 – 850 (15°C 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/>

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

### Ceny paliwa CNG i LNG

Według cennika udostępnionego na stronie PGNiG, ceny CNG oferowanego w ogólnodostępnych (publicznych) punktach tankowania obowiązujące od 26.07.2021 do 08.08.2021 r., wynoszą 3,85 PLN/m<sup>3</sup> brutto<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 4,44 PLN/kg brutto<sup>29</sup>.

### Typy i zastosowanie pojazdów NGV

W skali globalnej główny sektor wykorzystania paliw bazujących na gazie ziemnym to transport ciężarowy, rzadziej transport dalekobieżny, komunikacja miejska oraz praca 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.

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

<sup>29</sup> <http://pgk.srem.pl/stacja-lng-cng/ceny-paliw/>

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

Zaletą technologii pojazdów NGV jest podobna budowa silników do napędów na paliwa konwencjonalne. Stąd istnieje też możliwość dostosowywania pojazdów na paliwa konwencjonalne, żeby mogły wykorzystywać gaz ziemny, np. Diesla do spalania CNG. Modyfikacje takie, nazywane retrofit, nie gwarantują jednak najwyższej sprawności i ich konsekwencją może być 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

Główna różnica w konstrukcji instalacji między napędami CNG i LNG to rodzaj zbiornika. W przypadku CNG gaz załaczany jest pod ciśnieniem 20 MPa. Zbiorniki wytrzymałe na ciśnienia tego rzędu są masywne i zajmują sporo miejsca w pojeździe. Materiały, z których są wykonywane to stal, bądź odpowiednie kompozyty. W celu zwiększenia przestrzeni wewnątrz pojazdu często montuje się je na dachu, np. w przypadku autobusów zasilanych CNG. LNG jako paliwo przechowywane w bardzo niskich temperaturach wymaga magazynowania w zbiornikach kriogenicznych. Ich wymiary oraz masa są znacznie mniejsze niż w przypadku zbiorników CNG. Istotny jest również problem zasięgu pojazdów na gaz ziemny. Zasięg obecnie dostępnych na rynku autobusów na CNG wynosi maksymalnie 500-600 km, a w przypadku autobusów LNG są to wartości do 400 km. Istotną kwestią różnicującą te dwie technologie jest cena. Koszt zakupu pojazdu gazowego jest niższy w przypadku instalacji sprężonego gazu niż skroplonego.

### Zastosowanie gazu ziemnego w pojazdach komunikacji miejskiej

Gaz ziemny może znajdować zastosowanie w pojazdach komunikacji miejskiej ze względu na niski poziom emisji idealny dla pojazdów krótkodystansowych. Czołowi producenci autobusów wprowadzają do swojej oferty autobusy zasilane gazem ziemnym. Głównie są to autobusy CNG, jednak w ostatnich latach na rynku pojawia się coraz więcej autobusów 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



### 3.3.1. Zasilanie – stacje tankowania

Tankowanie pojazdów NGV odbywa się na specjalnych stacjach wyposażonych w dystrybutory gazu ziemnego w postaci lotnej i/lub płynnej. Punktów tankowania gazu sprężonego jest w Polsce więcej niż punktów tankowania gazu skroplonego, co jest spowodowane szerszym wykorzystaniem CNG w odniesieniu do LNG.

#### **Stacje CNG**

Stacje CNG można podzielić na 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 oraz ograniczeniem ilości tankowanych aut do kilku na dobę. Stacje użytkowane przez przewoźników oraz otwarte dla wszystkich kierowców są w stanie stworzyć większe możliwości. Stacje firm transportowych również mogą być udostępnione innym kierowcom na określonych warunkach, natomiast stacje publiczne są często zintegrowane ze stacjami paliw konwencjonalnych, dzięki czemu 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. Z kolei stacje szybkiego tankowania umiejscowione głównie w pobliżu pętli autobusowych pozwalają na tankowanie między kursami w czasie zbliżonym do tankowania standardowego ON – kilkunastu minut.

Gaz ziemny może być dostarczany do stacji gazociągiem lub w postaci skroplonej. Stacja zasilana gazem sieciowym powinna być zlokalizowana w pobliżu stacji redukcyjno-pomiarowej wysokiego ciśnienia. Ciśnienie tłoczenia gazu do zbiorników pojazdów to 20-25 MPa, w związku z czym niezbędne jest stosowanie układu sprężarek wielostopniowych (kompresorów). Inne elementy stacji to: 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, w którym w wyniku dostarczenia ciepła dochodzi do zmiany stanu skupienia formy ciekłej w postać lotną.

#### **Stacje LNG**

Ze względu na mniejszą popularność tej technologii wśród klientów indywidualnych stacje tankowania LNG najczęściej wchodzi w skład infrastruktury firm transportowych, czy też przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. Tankowanie LNG odbywa się przy ciśnieniu 6-8 bar, przy użyciu 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, w związku z czym jest to nieopłacalne rozwiązanie. Stacje LNG

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

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

mogą być zrealizowane w formie stacji pełnowymiarowej, stacji modułowej, czy też kontenerowej, które nie wymagają pełnej zabudowy terenu, ani budowy trwałej infrastruktury. Stacja pełnowymiarowa, analogiczna do tradycyjnych stacji paliwowych wymaga droższej i bardziej skomplikowanej aparatury w odniesieniu do podobnej stacji 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 i dystrybutory. Stacja jest w stanie obsłużyć powyżej 50 pojazdów dziennie. Aby uruchomić stację LNG wymagane jest przystosowanie terenu wokół, a także przyłącze energii elektrycznej o mocy 20 kW.

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

Lokalizacja, na której ma powstać stacja tankowania sprężonego bądź skroplonego gazu ziemnego, musi spełniać szereg warunków. Najbardziej istotnym spośród nich jest oszacowanie wpływu jej budowy i eksploatacji na środowisko naturalne, czyli określenie szacowanych ilości emitowanych zanieczyszczeń, hałasu, ścieków i odpadów niebezpiecznych. Poza tym, w przypadku stacji CNG, wykonanie przyłącza do sieci gazowej jest bardzo ważnym wymogiem.

Koszty wybudowania stacji tankowania CNG mieszczą się w przedziale od 400 tys. PLN do 1 mln PLN<sup>31</sup>. W kwocie tej uwzględnione zostały koszty związane z wyposażeniem stacji w urządzenia techniczne niezbędne do prowadzenia sprzedaży gazu ziemnego. Podane wyżej koszty nie obejmują 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 Olsztyn

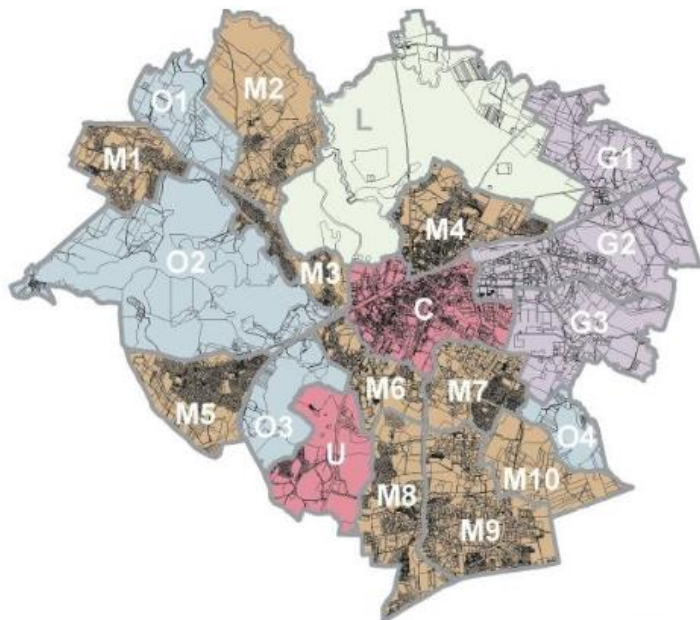
Miasto Olsztyn jest największym miastem w województwie warmińsko-mazurskim. Granice administracyjne obejmują obszar 88,33 km<sup>2</sup>. Zamieszkiwane jest przez 171 249 osób<sup>32</sup>, co nakłada na miasto Olsztyn obowiązek sporządzania co 36 miesięcy analizy kosztów i korzyści wynikających z ustawy o elektromobilności.

Olsztyn graniczy z sześcioma gminami:

- Barczewo,
- Dywity,
- Gietrzwałd,
- Jonkowo,
- Purda,
- Stawiguda.

Studium uwarunkowań i kierunków rozwoju podzieliło miasto na strefy w zależności od rodzaju zabudowy. Są to strefy: centralna śródmiejska (C), uniwersytecka (U), mieszkaniowa (M1 do M10), usługowo-gospodarcza (G1 do G3) oraz otoczenie jezior i Lasu Miejskiego (O1 do O4 i L).

#### Rysunek 5. Podział Olsztyna na strefy.

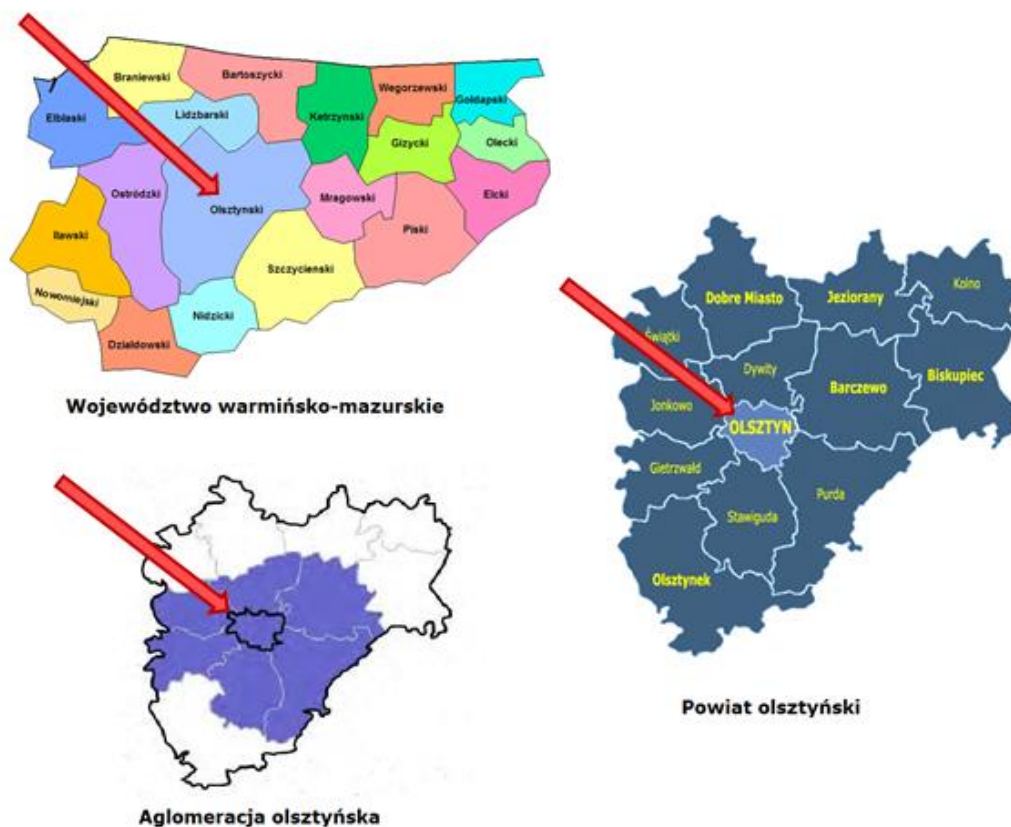


Źródło: Studium uwarunkowań i kierunków rozwoju zagospodarowania przestrzennego Olsztyna, załącznik do Uchwały nr XXXVII/660/13 Rady Miasta Olsztyna z dn. 16.05.2013 r., s. 31

<sup>32</sup> Bank Danych Lokalnych GUS, stan na 21.09.2021, ostatnia aktualizacja 2020-12-31.

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

Rysunek 6. Położenie Olsztyna na tle województwa, aglomeracji i powiatu olsztyńskiego.



Źródło: [gminy.pl](http://gminy.pl), [encyklopedia.warmia.mazury.pl](http://encyklopedia.warmia.mazury.pl), [wikimedia.org](http://wikimedia.org)

### Infrastruktura elektroenergetyczna w Olsztynie

#### Sieć przesyłowa

Operatorem sieci przesyłowej w Polsce jest spółka PSE S.A. Działalność spółki obejmuje przede wszystkim przesyłanie 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 Miasta Olsztyn oraz w jej otoczeniu.

Tabela 5. Zestawienie linii znajdujących się na terenie Miasta Olsztyn oraz w jego otoczeniu.

L.p.	Relacja	Napięcie
		[kV]
1.	Gdańsk Błonia – Olsztyn Mątki	400
2.	Olsztyn Mątki – Olsztyn I	400 pracujące na 220
3.	Olsztyn Mątki – Ostrołęka	400
4.	Olsztyn I – Ostrołęka	400 pracujące na 220
5.	Olsztyn I – Włocławek	220

Źródło: Plan sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć, <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec>, data dostępu: 26.07.2021 r.

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

W tabeli poniżej zestawiono dane dotyczące wykazu stacji transformatorowych na terenie Miasta Olsztyn. Prognoza do roku 2035 nie przewiduje stawiania nowych stacji, zakłada jedynie wymianę transformatorów 16 MVA na układy o mocy 25 MVA.

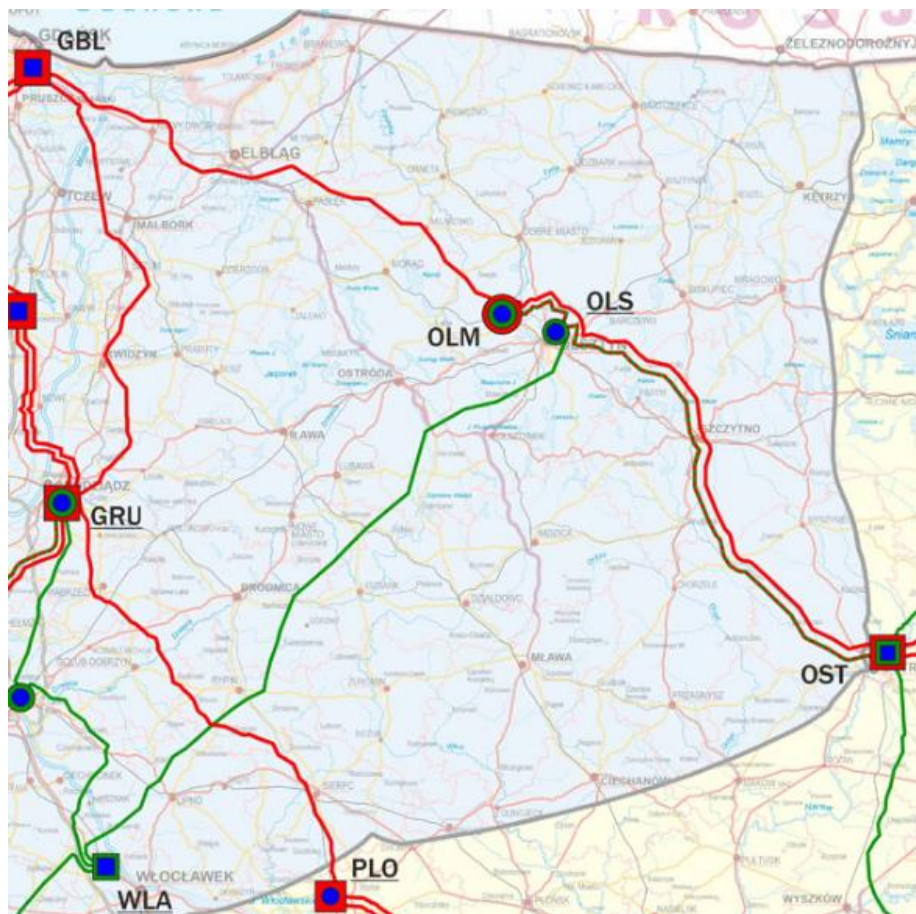
**Tabela 6. Zestawienie stacji transformatorowych znajdujących się w otoczeniu Miasta Olsztyn, obsługiwanych przez operatora sieci przesyłowej.**

L.p.	Stacja transformatorowa	Moc [MVA]
1.	GPZ OLSZTYN 1	2 x 25
2.	GPZ OLSZTYN POŁUDNIE	2 x 25
3.	GPZ OLSZTYN PÓŁNOC	2 x 25
4.	GPZ OLSZTYN WSCHÓD	2 x 16
5.	GPZ OLSZTYN ZACHÓD	2 x 25
6.	GPZ OLSZTYN JAROTY	1 x 25
7.	GPZ OLSZTYN CENTRUM	2 x 25

Źródło: Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Olsztyn.

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

**Rysunek 7. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć w okolicy Olsztyna.**



Źródło: Plan sieci elektroenergetycznej najwyższych napięć, <https://www.pse.pl/obszary-dzialalnosci/krajowy-system-elektroenergetyczny/plan-sieci-elektroenergetycznej-najwyzszych-napiec>, data dostępu: 26.07.2021 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 ENERGA-OPERATOR S.A. Sieci rozdzielcze są wykorzystywane do rozdziału energii pomiędzy odbiorców. Miejskie sieci elektroenergetyczne obejmują sieci niskiego napięcia, średniego napięcia oraz sieć 110 kV.

### Infrastruktura CNG w Olsztynie

Infrastruktura gazownicza zlokalizowana na terenie Miasta Olsztyn obejmuje sieci dystrybucyjne wysokiego, średniego i niskiego ciśnienia oraz stacje redukcyjne, pomiarowe i redukcyjno-pomiarowe wysokiego i średniego ciśnienia.

Przedsiębiorstwem gazowniczym prowadzącym działalność w Olsztynie jest Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o. Oddział w Gdańsku Zakład w Olsztynie. Spółka odpowiada za dystrybucję gazu, prowadzenie pomiarów jakości i ilości transportowanego gazu, projektowanie i wykonanie nowych przyłączy gazowych, planowanie rozszerzenia sieci gazowej i konserwacje sieci i urządzeń. Sprzedażą gazu ziemnego na terenie miasta Olsztyn zajmuje się przede wszystkim jednostka PGNiG S.A.

Sieć systemu dystrybucyjnego gazu w mieście zasilana jest z następujących gazociągów wysokiego ciśnienia obsługiwanych przez Operatora Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A.:

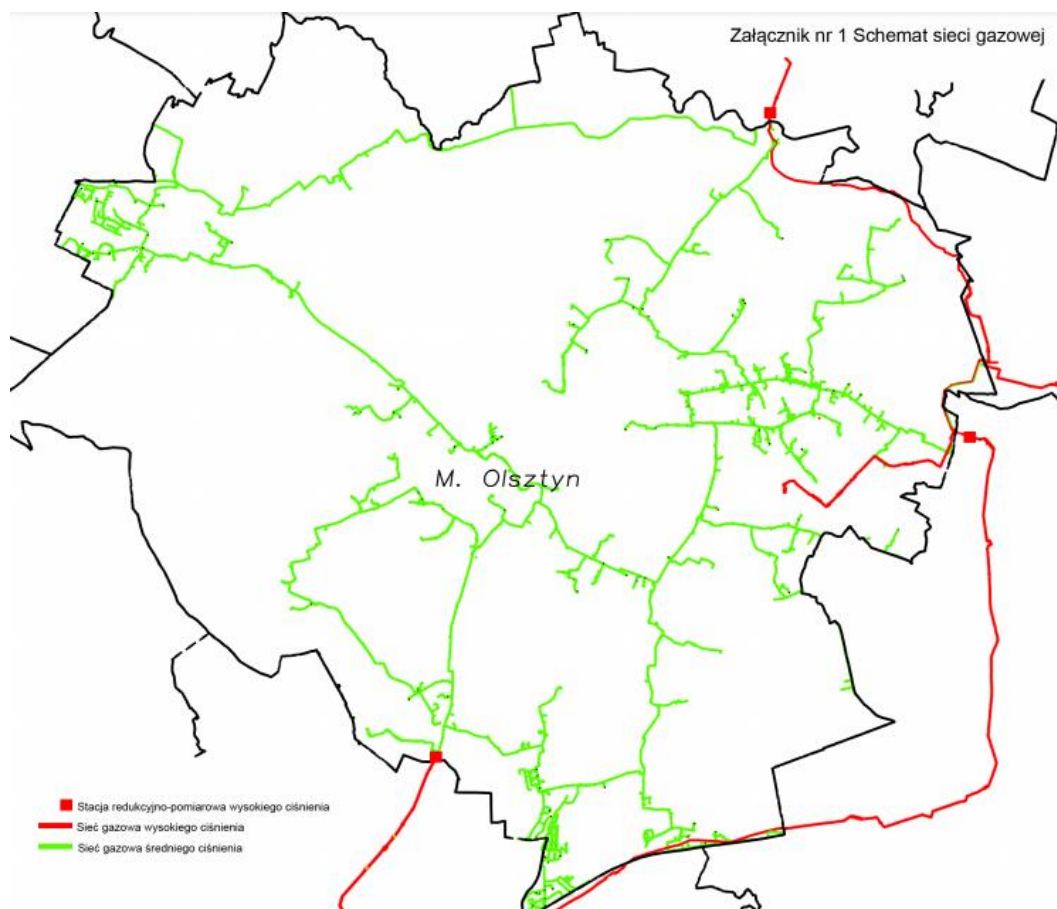
- relacji Olsztynek – Olsztyn DN 150 PN 6,3 MPa, wybudowany w 1973 r.,
- relacji Olsztynek – Olsztyn DN 200 PN 6,3 MPa, wybudowany w 1993 r.,
- relacji Bartąg - Dobre Miasto DN 150 PN 6,3 MPa wybudowany w latach 1980/1984.

Na terenie miasta zlokalizowanych jest 18 stacji redukcyjno-pomiarowych średniego ciśnienia. W 2020 roku długość gazociągów średniego ciśnienia wynosiła ponad 93 km, a instalacja niskiego ciśnienia około 254 km. Liczba czynnych przyłączy średniego oraz niskiego ciśnienia wynosi następująco 1413 oraz 8863 punktów.

Obecna infrastruktura gazowa na terenie Miasta Olsztyn pokrywa zgłaszane zapotrzebowanie na paliwo gazowe, a jej obecny stan jest dobry. Zgodnie ze zgłaszanym zainteresowaniem wykorzystania gazu ziemnego następuje stopniowo dalsza rozbudowa sieci gazowej biorąc pod uwagę techniczne i ekonomiczne warunki przyłączenia do sieci gazowej.

Na koniec 2021 roku planowana jest budowa stacji tankowania CNG zlokalizowanej przy ulicy Lubelskiej.

**Rysunek 8. Schemat zasilania miasta Olsztyn i okolic z sieci gazowej wysokiego i średniego ciśnienia.**



Źródło: PSG

#### 4.1.2. Transport publiczny w Olsztynie

##### **Organizator oraz przewoźnicy realizujący transport publiczny**

Od 2013 r. organizatorem transportu publicznego dla miasta Olsztyn oraz gmin ościennych, w zakresie zwartych porozumień, jest Zarząd Dróg, Zieleni i Transportu w Olsztynie (dalej ZDZiT)<sup>33</sup> powołany przez Radę Miasta.

Na zlecenie ZDZiT lokalny transport zbiorowy realizują dwie firmy:

- Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne spółka z ograniczoną odpowiedzialnością – operator wewnętrzny,
- Konsorcjum Firm Meteor oraz IREX-3 oddział Olsztyn.

Pomiędzy Miejskim Przedsiębiorstwem Komunikacyjnym w Olsztynie sp. z o.o. a Gminą Olsztyn zostały zawarte dwie umowy wykonawcze: na świadczenie usług komunikacji miejskiej w zakresie

<sup>33</sup> Strategia rozwoju publicznego transportu zbiorowego w Olsztynie do 2027 r.

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

przewozów tramwajowych (dnia 5 listopada 2015 r.) oraz o powierzeniu podmiotowi wewnętrznemu Gminy Olsztyn wykonywania zadań w zakresie publicznego transportu zbiorowego (dnia 28 grudnia 2012 r.). Obie, powyższe umowy obowiązują na czas określony - do 30 września 2027 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne dysponuje 154 autobusami oraz 17 tramwajami (dane z dnia 9.08.2021 r.).

Umowa na świadczenie usług komunikacji miejskiej w Olsztynie w zakresie przewozów autobusowych w latach 2015-2025, została zawarta w trybie przetargu nieograniczonego, między Gminą Olsztyn a konsorcjum firm: Meteor sp. z o.o. oraz IREX-3 sp. z o.o. Umowa została zawarta dn. 3 października 2015 r. i obowiązuje przez 10 lat (tj. do 3 października 2025 r.). Na mocy tego dokumentu konsorcjum firm zobowiązało się do wykorzystania minimum 23 autobusów w celu realizacji przedmiotu umowy (maksymalnie 20 autobusów w ruchu w ciągu dnia oraz 3 autobusy stanowiące tzw. rezerwę minimalną Operatora). Oszacowane zostało, że konsorcjum będzie realizowało miesięcznie 108 333,333 wzkm, z możliwością ograniczenia maksymalnie o 5% wzkm. Ponadto umowa określa, że wynagrodzenie operatora za cały okres świadczenia powyższych usług nie może przekroczyć kwoty 123 343 999,62 zł netto. Po przeprowadzonych w 2017 r. negocjacjach dotyczących powyższej umowy ustalono, że wykonawca w jednym dniu wykorzysta w ruchu dodatkowo maksymalnie 10 autobusów. Konsorcjum firm Meteor sp. z o.o. oraz IREX-3 sp. z o.o. dysponuje 33 autobusami.

Konsorcjum firm: Meteor sp. Z o.o. oraz IREX-3 sp. z o.o. realizuje usługi transportu publicznego na wyznaczonych przez organizatora (ZDZiT) trasach o określonych rozkładach jazdy i z wyznaczonymi przystankami.

### **Porozumienia międzygminne**

Porozumienia międzygminne w zakresie realizacji transportu publicznego, obowiązują dla pięciu gmin (dane z dnia 16.08.2021 r.):

- Dywity (porozumienie zawarte dn. 23 czerwca 2016 r.),
- Purda (porozumienie zawarte dn. 3 lipca 2018 r.),
- Stawiguda (porozumienie zawarte dn. 10 sierpnia 2018 r.),
- Olsztynek (porozumienie zawarte dn. 18 września 2018 r.),
- Barczewo (porozumienie zawarte dn. 6 maja 2019 r.).

Dokumenty dotyczą powierzenia Gminie Olsztyn wykonywania przewozów komunikacji miejskiej. ZDZiT w Olsztynie w ramach porozumienia organizuje komunikację miejską w oparciu o rozkład jazdy linii komunikacyjnych, których trasy przebiegają na terenie gminy.



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

**Tabela 7. Podsumowanie porozumień międzygminnych.**

Gmina	Linia	Dystans (część obciążenia) [km]		Praca przewozowa w 2021 r. [wzkm]	Koszt łączny obsługi gminy w 2021 r. [netto zł]
		„Tam”	„Powrót”		
Dywity	108	24,804 (100%)		214 630,219 (styczeń – październik)	2 051 864,89 (styczeń – październik)
	110	9,312 (100%)	9,468 (100%)		
	112	24,835 (100%)			
Purda	105	3,268 (100%)	3,388 (100%)	14 856,192	142 025,20
Stawiguda	129	20,784 (50%)	21,410 (50%)	26 313,663	251 558,62
Olsztynek	129	20,784 (50%)	21,410 (50%)	40 203,809	384 348,41
	129	6,513 (100%)	5,650 (100%)		
Barczewo	114	18,180 (100%)	17,085 (100%)	209 058,745	1 645 257,46
	124	18,320 (100%)	18,274 (100%)		

Źródło: ZDZIT

### Charakterystyka funkcjonowania sieci i systemu komunikacji

Na terenie Olsztyna i gmin sąsiadujących, z którymi Miasto Olsztyn zawarło porozumienia, funkcjonuje 39 linii autobusowych komunikacji miejskiej oraz 3 linie tramwajowe. Operatorem publicznym transportu zbiorowego są 2 przedsiębiorstwa tj. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne sp. z o.o. w Olsztynie oraz konsorcjum firm Meteor sp. z o.o. oraz Irex-3 sp. z o.o., wyłonionych w trybie przetargu nieograniczonego przeprowadzonego w 2015 r. Umowa z konsorcjum jest zawarta na czas określony do 2025 r.

W Olsztynie funkcjonują 3 linie tramwajowe oraz 39 linii autobusowych, do których należą:

- 26 linii zwykłych,
- 5 linii dowozowych do tramwajów,
- 6 linii okresowe,
- 2 linie nocne.

Linie autobusowe można również podzielić z uwagi na obszar jaki obsługują, jest to:

- 29 linii miejskich – funkcjonujących na terenie miasta Olsztyn,
- 8 linii łączących miasto z gminami sąsiednimi.

**Tabela 8. Rodzaje oraz numery linii olsztyńskiego transportu zbiorowego.**

Rodzaj linii	Numer linii
Zwykła	101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 120, 121, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 136, 141
Dowozowa	201, 202, 203, 204, 205
Okresowa	302, 303, 304, 305, 307, 309
Nocna	N01, N02
Tramwajowa	001, 002, 003

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ZDZiT

Obecnie funkcjonują trzy linie tramwajowe:

- Nr 1 – kursująca między przystankami Wysoka Brama oraz Kanta. Jest to linia priorytetowa, która w godzinach szczytów przewożonych kursuje co 7,5 minut, natomiast poza szczytami co 15 minut. Czas jej przejazdu z przystanku początkowego do końcowego zajmuje, zależnie od kierunku 20-21 minut. Na tej linii tramwaje realizują w ciągu dnia powszedniego, w jednym kierunku 76 przejazdów.
- Nr 2 – linia kursująca między przystankami Dworzec Główny oraz Kanta. Jest to linia podstawowa, kursująca przez cały dzień co 15 minut. Czas jej przejazdu z przystanku początkowego do końcowego zajmuje 22 minut. Na tej linii tramwaje realizują w ciągu dnia powszedniego, w jednym kierunku 74 przejazdy.
- Nr 3 – linia kursująca między przystankami Uniwersytet-Prawocheńskiego – Dworzec Główny. Jest to linia zwykła, kursująca w godzinach porannych 5-8 oraz popołudniowych 13-16. Jest to linia podstawowa, kursująca przez cały dzień co 30 minut. Czas jej przejazdu z przystanku początkowego do końcowego zajmuje 16 minut. Na tej linii tramwaje realizują w ciągu dnia powszedniego, w jednym kierunku 31 przejazdów.

Łączna długość torowiska wynosi około 11 km. Transport tramwajowy w Olsztynie został zrealizowany w ramach projektu pn. „Modernizacja i rozwój zintegrowanego systemu transportu zbiorowego w Olsztynie”. Obecnie realizuje się dalszą rozbudowę torów, zakup nowego taboru oraz otwarcie nowych linii tramwajowych do 2023 roku.

**Tabela 9. Aktualny wykaz linii autobusowych komunikacji miejskiej organizowanych przez Miasto Olsztyn wraz z liczbą przystanków, częstotliwością kursów oraz długością trasy na najczęściej kursujących wariantach linii (stan na 10.08.2021).**

Nr linii	Relacja	Maksymalna liczba przystanków na trasie w obu kierunkach	Długość linii (km)	Maksymalna liczba pojazdów obsługująca linię
Linia 101	Dworzec Główny <-> Redykajny	43	17,832	5
Linia 103	Dworzec Główny <-> Stary Dwór	34	16,223	7
Linia 104	Cementowa <-> Klebark Wielki	13	6,052	Linia zawieszona
Linia 105	Borkowskiego <-> Osiedle Mazurskie	30	11,792	3
Linia 106	Cementowa <-> Gutkowo	57	26,126	7
Linia 107	Dajtki <-> Jakubowo	48	25,229	8
Linia 108	Reymonta <-> Reymonta	32	24,804	2
Linia 109	Osiedle Podleśna <-> Słoneczny Stok	41	17,821	6
Linia 110	Polmozbyt <-> Jakubowo	30	14,252	5
Linia 111	Nagórki <-> Gutkowo	56	26,635	7
Linia 112	Reymonta <-> Reymonta	33	25,989	2
Linia 113	Pieczewo <-> Dajtki	56	26,997	9
Linia 114	Dworzec Główny <-> Barczewo	38	17,633	2
Linia 116	Osiedle Mazurskie <-> Track	52	22,885	7
Linia 117	Osiedle Generałów <-> Cmentarz Dywity-Brama Wschodnia	49	28,563	9
Linia 120	Pieczewo <-> Dworzec Główny	36	14,809	5
Linia 121	Bartąska-Rondo <-> Cementowa	68	33,548	10
Linia 124	Dworzec Główny <-> Barczewo	41	18,297	2
Linia 126	Osiedle Generałów <-> Jagiellońska-Ogrody	46	23,450	8
Linia 127	Witosa <-> Redykajny	64	26,539	8
Linia 128	Brzeziny <-> Cementowa	49	15,096	7

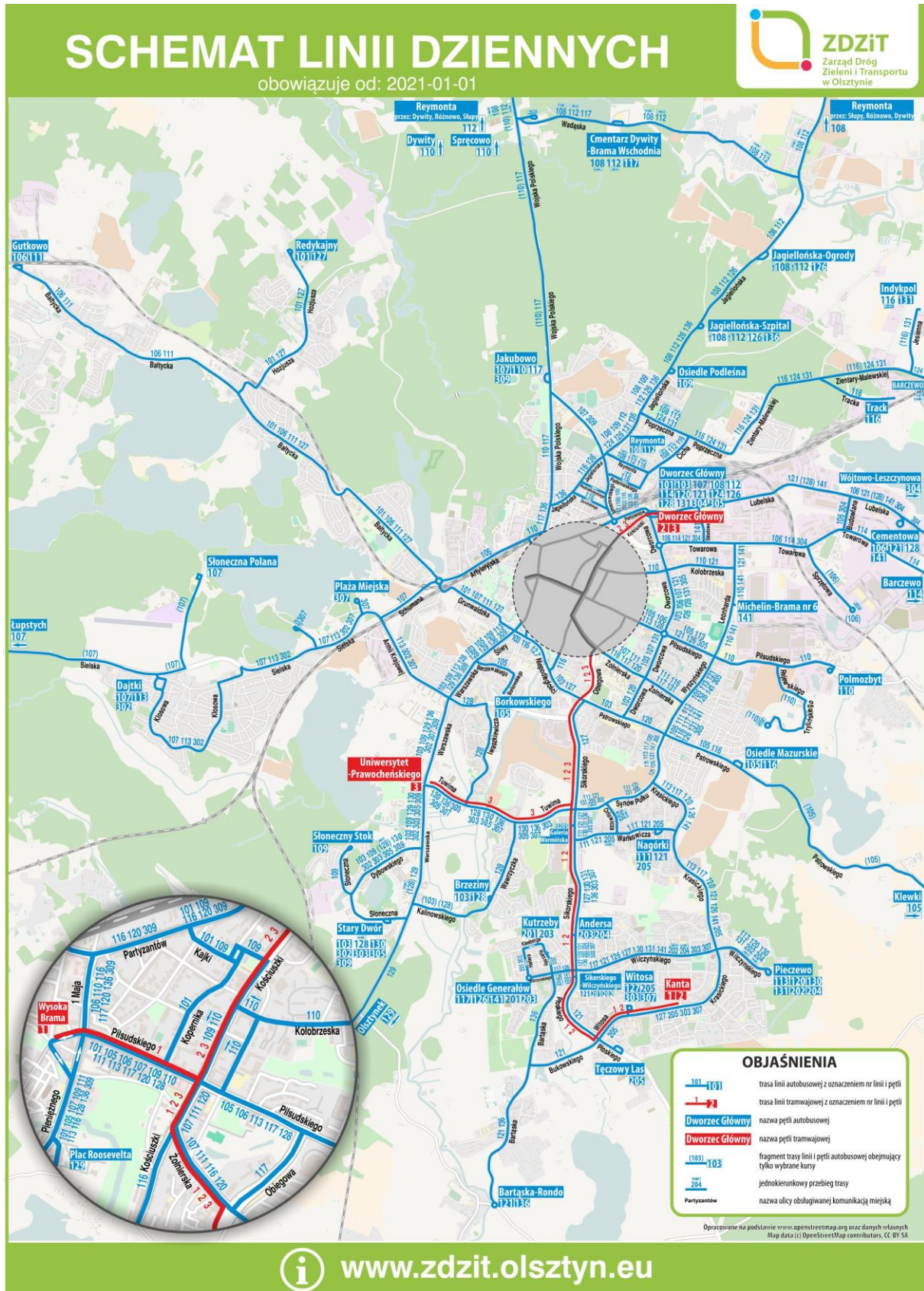
## AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

Nr linii	Relacja	Maksymalna liczba przystanków na trasie w obu kierunkach	Długość linii (km)	Maksymalna liczba pojazdów obsługująca linię
<b>Linia 129</b>	Plac Roosevelta <-> Olsztynek	42	27,179	1
<b>Linia 130</b>	Pieczewo <-> Stary Dwór	36	16,009	6
<b>Linia 131</b>	Pieczewo <-> Indykpol	57	28,878	3
<b>Linia 136</b>	Bartąska-Rondo <-> Jagiellońska-Szpital	48	25,604	8
<b>Linia 141</b>	Osiedle Generałów <-> Cementowa	47	20,129	2
<b>Linia 201</b>	Kutrzeby <-> Sikorskiego-Wilczyńskiego	5	1,232	2
<b>Linia 202</b>	Pieczewo <-> Sikorskiego-Wilczyńskiego	7	2,299	Linia zawieszona
<b>Linia 203</b>	Andersa <-> Osiedle Generałów	6	1,594	2
<b>Linia 204</b>	Andersa <-> Piezewo	7	2,596	Linia zawieszona
<b>Linia 205</b>	Tęczowy Las <-> Galeria Warmińska	27	10,017	4
<b>Linia 302</b>	Dajtki <-> Stary Dwór	34	17,085	1
<b>Linia 303</b>	Witosa <-> Stary Dwór	41	17,461	4
<b>Linia 304</b>	Dworzec Główny <-> Wójtowo-Leszczynowa	30	17,000	1
<b>Linia 305</b>	Dworzec Główny <-> Stary Dwór	33	16,604	1
<b>Linia 307</b>	Witosa <-> Plaża Miejska	43	20,182	3
<b>Linia 309</b>	Jakubowo <-> Stary Dwór	37	16,886	6
<b>Linia N01</b>	Dworzec Główny <-> Dworzec Główny	54	25,989	1
<b>Linia N02</b>	Dworzec Główny <-> Dworzec Główny	78	39,719	1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

# AKTUALIZACJA ANALIZY KOSZTÓW I KORZYŚCI ZWIĄZANYCH Z WYKORZYSTANIEM AUTOBUSÓW ZEROEMISYJNYCH

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



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

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

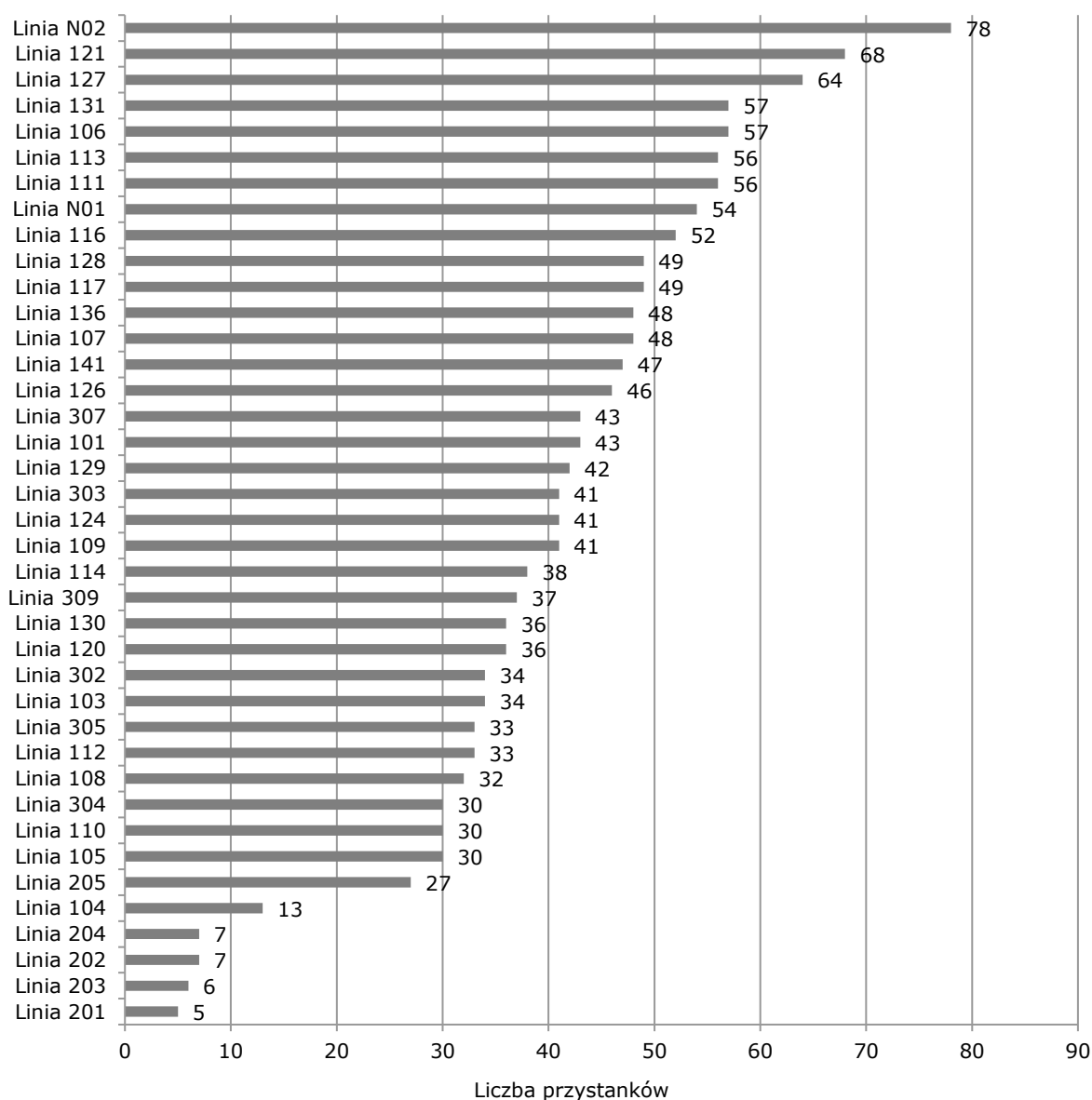
### Linie i realizacja rozkładów jazdy

Operatorzy obsługują 39 linii autobusowych, w tym:

- 26 linii zwykłe,
- 5 linii dowozowe do tramwajów,
- 6 linii okresowe,
- 2 linie nocne.

W celu przedstawienia pełnego obrazu systemu logistyki miejskiej w Olsztynie, na poniższych wykresach przedstawiono maksymalną liczbę przystanków na liniach na trasach podstawowych, długość tras najczęściej kursujących wariantów linii autobusowych oraz maksymalny czas przejazdu na trasie linii autobusowej dla najczęściej kursujących wariantów.

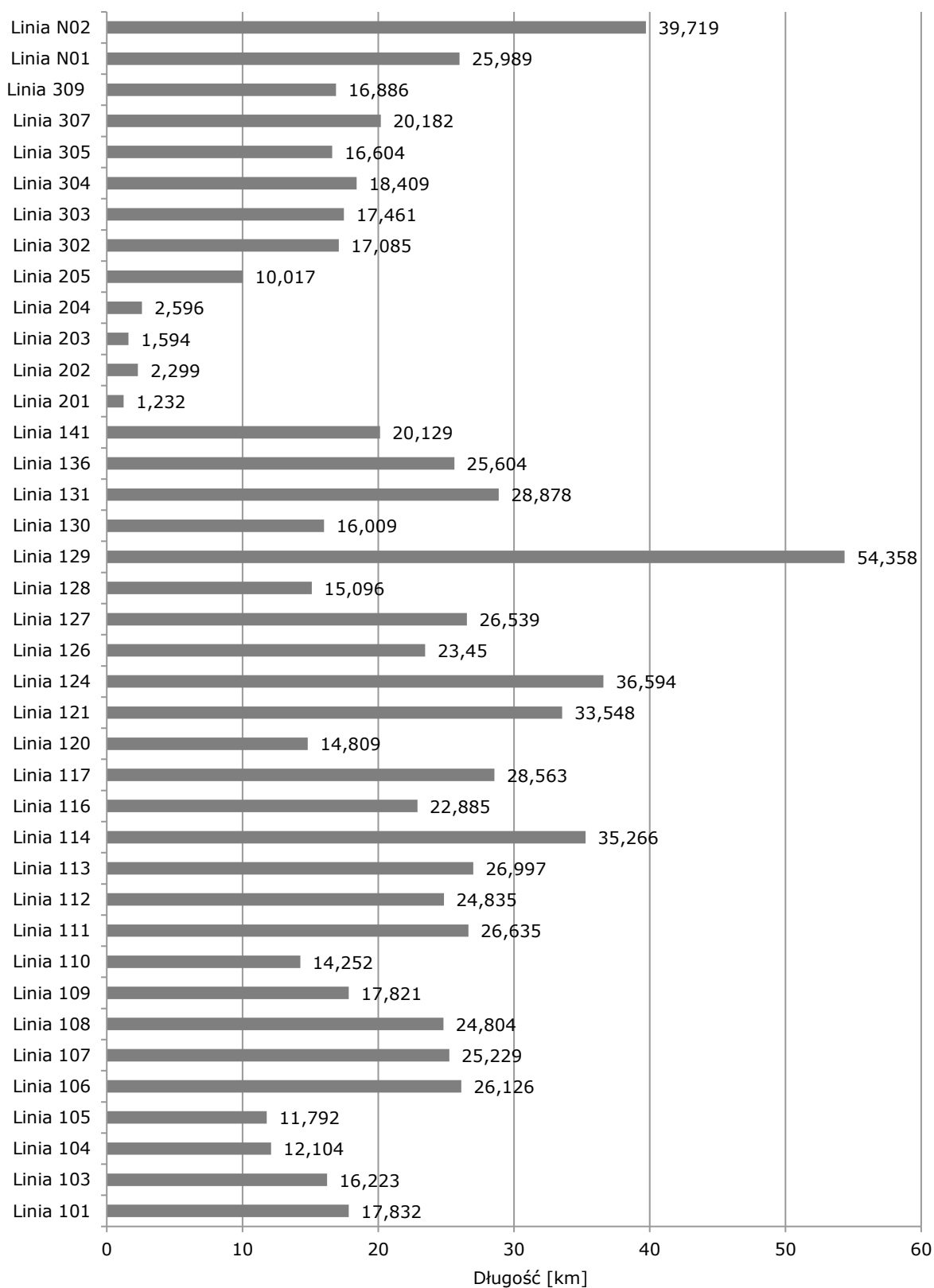
**Wykres 1. Liczba przystanków na liniach autobusowych w obu kierunkach.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

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

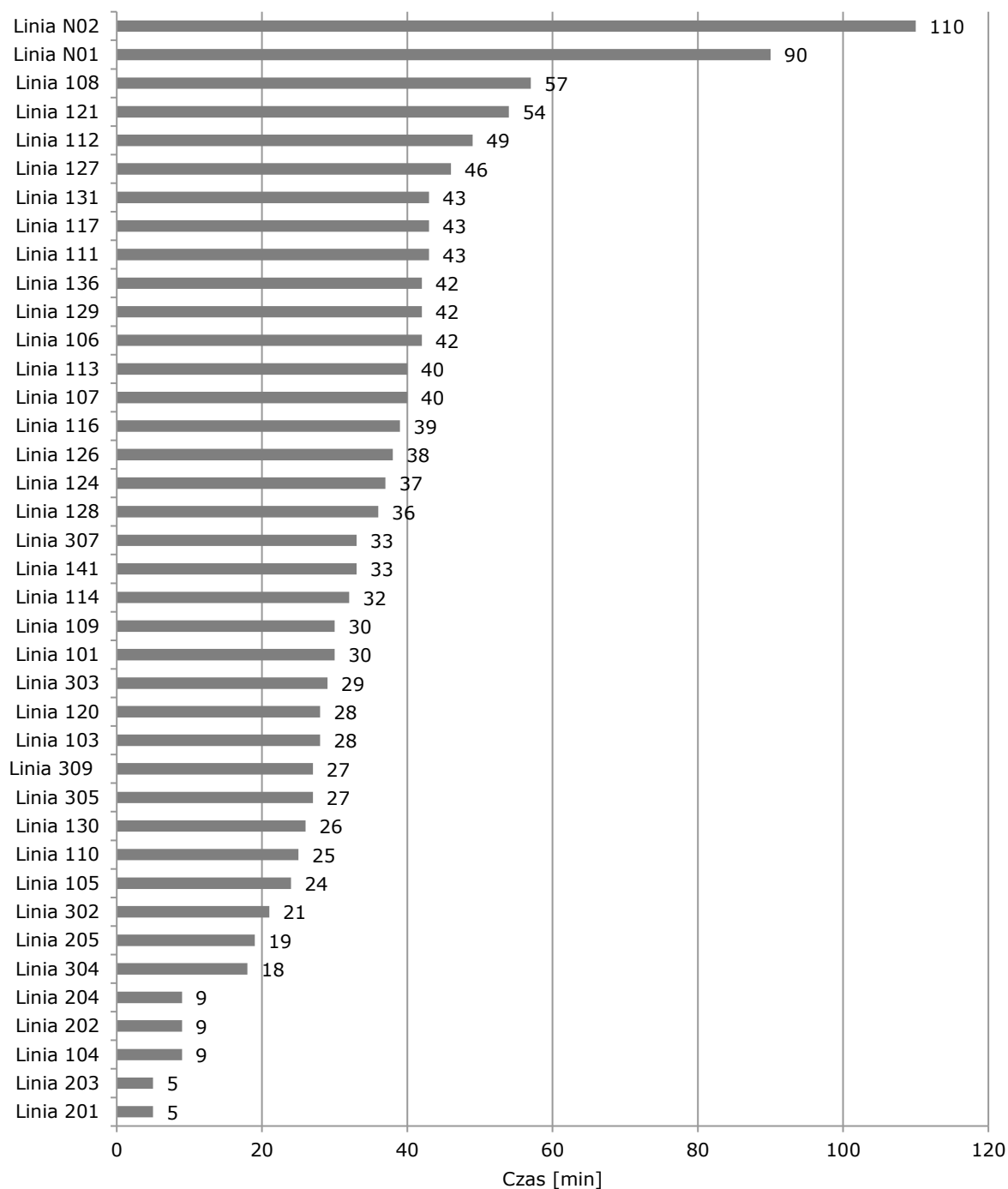
**Wykres 2. Długość najczęściej kursujących wariantów linii autobusowych.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

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

**Wykres 3. Maksymalny czas przejazdu na trasie linii autobusowej dla najczęściej kursujących wariantów.**



Źródło: Opracowanie na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

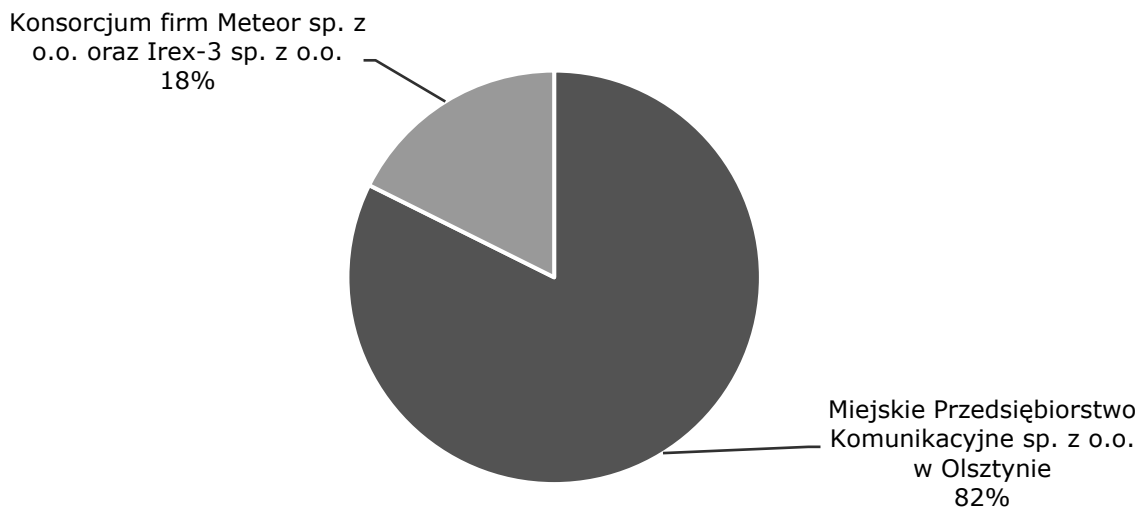
### Tabler autobusowy

Do realizacji zadań przewozowych wykorzystywany jest tabor, składający się z 187 autobusów. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Olsztynie jest właścicielem 154 pojazdów, natomiast pozostałe 33 autobusy należą do konsorcjum firm Irex oraz Meteor. Dane dotyczące funkcjonującej obecnie floty autobusowej przedstawiono w Tabeli 10.



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

**Wykres 4. Procentowy udział taborów MPK Olsztyn oraz konsorcjum firm Meteor i Irex-3 przeznaczonych do realizacji zadań przewozowych w Olsztynie.**



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK Olsztyn i IREX-3.

86 pojazdów użytkowanej floty, realizujących przewozy na terenie Miasta Olsztyn, posiada normę spalania EURO 6, druga najliczniejsza grupa pojazdów w liczbie 54 autobusów posiada normę spalania EURO 5. Najstarsze pojazdy zostały wyprodukowane w 2000 r., a rokiem produkcji najnowszych jest rok 2020. Średni wskaźnik wieku taboru wynosi 9,14 lat. W poniższej tabeli przedstawiono dokładny skład floty operatorów obsługujących przewozy w ramach komunikacji miejskiej w Olsztynie.

**Tabela 10. Tabor autobusowy (stan na dzień 11.08.2021 r.).**

Marka, Typ	Liczba	Rok produkcji	Rodzaj silnika	Norma emisji spalin
<b>Flota MPK</b>				
<b>Solaris u 12</b>	5	2006	Diesel	EURO 3
	10	2007	Diesel	EURO 5
	3	2011	Diesel	EURO 5
	19	2013	Diesel	EURO 5
	16	2015	Diesel	EURO 6
	8	2017	Diesel	EURO 6
	6	2020	Diesel	EURO 6
<b>Solaris u 18</b>	8	2006	Diesel	EURO 5
	10	2013	Diesel	EURO 5
	8	2014	Diesel	EURO 6
	5	2015	Diesel	EURO 6

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

Marka, Typ	Liczba	Rok produkcji	Rodzaj silnika	Norma emisji spalin
	8	2017	Diesel	EURO 6
	2	2020	Diesel	EURO 6
<b>Volvo 7700</b>	4	2007	Diesel	EURO 5
<b>Scania Omni City</b>	4	2003	Diesel	EURO 3
	1	2009	Diesel	EURO 4
	1	2011	Diesel	EURO 5 - EEV
<b>Scania CL94 Omni Link</b>	1	2004	Diesel	EURO 3
	10	2005	Diesel	EURO 3
<b>MAN NL263</b>	2	2000	Diesel	EURO 2
<b>MAN Lion's City</b>	1	2009	Diesel	EURO 5 - EEV
	1	2011	Diesel	EURO 5 - EEV
<b>MAN A76</b>	1	2003	Diesel	EURO 3
	1	2005	Diesel	EURO 3
	2	2006	Diesel	EURO 3
	1	2007	Diesel	EURO 3
<b>MAN A23</b>	5	2002	Diesel	EURO 3
	7	2007	Diesel	EURO 4
	4	2008	Diesel	EURO 4
<b>Suma</b>	<b>154</b>	-	-	-
<b>Flota IREX</b>				
<b>Solaris u 12</b>	23	2016	Diesel	EURO 6
<b>MAN Lion's City</b>	10	2018	Diesel	EURO 6C
<b>Suma</b>	<b>33</b>	-	-	-

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

W poniższej tabeli zaprezentowano liczbę pojazdów należących do MPK Olsztyn i IREX-3 w podziale na wielkość autobusów.

**Tabela 11. Skład floty operatorów według wielkości pojazdów.**

	Midi	Maxi	Przegubowy
<b>MPK Olsztyn</b>	5	92	57
<b>IREX</b>	-	33	-
<b>Suma</b>	<b>5</b>	<b>125</b>	<b>57</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych MPK Olsztyn i IREX-3.

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

Zużycie paliwa przez aktualny tabor autobusowy w latach 2019-2020 zaprezentowano w poniższej tabeli.

**Tabela 12. Zużycie paliwa w latach 2019-2020.**

Rok	Zużycie paliwa [l]		
	MPK	IREX	SUMA
2019	3 213 821,09	963 921,00	4 177 742,09
2020	3 109 297,94	932 257,00	4 041 554,94

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

**Tabela 13. Podsumowanie parametrów eksploatacyjnych za rok 2019 i 2020.**

Rok	Liczba pojazdów	Wozokilometry	Zużycie paliwa (litry)	Średnie zużycie litry na 100 km
<b>MPK</b>				
2019	154	6 199 431	3 213 821,09	51,67
2020	154	6 153 955	3 109 297,94	49,65
<b>IREX</b>				
2019	33	2 259 687	963 921,00	42,66
2020	33	2 258 345	932 257,00	41,28
<b>RAZEM</b>				
2019	187	8 459 118	4 177 742,09	49,27
2020	187	8 412 300	4 041 554,94	47,43

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

### Finansowanie

Publiczny transport zbiorowy w Olsztynie generuje przychody z dwóch źródeł:

- Sprzedaży biletów,
- Dopłat pochodzących z gmin ościennych,
- oraz dopłat pochodzących z Gminy Olsztyn (rekompensaty).

Łączne przychody z organizacji publicznego transportu zbiorowego wynoszą około 38 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. 35 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 14. Zestawienie przychodów w latach 2018-2020.**

	2018	2019	2020
<b>Sprzedaż biletów [PLN]</b>	35 691 646	35 089 599	21 504 313
<b>Dopłaty gmin ościennych [PLN]</b>	1 807 099	3 439 320	3 481 955
<b>Suma [PLN]</b>	37 498 745	38 528 919	24 986 268

Źródło: Dane przekazane przez Zamawiającego.

#### 4.1.3. Podsumowanie

Od 2013 r. zadania organizatora komunikacji miejskiej w imieniu Prezydenta Olsztyna realizuje Zarząd Dróg Zieleni i Transportu w Olsztynie (ZDZiT). Usługi przewozowe w komunikacji miejskiej na zlecenie Miasta Olsztyn realizują dwóch operatorów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego sp. z o.o. w Olsztynie oraz konsorcjum firm Meteor sp. z o.o. oraz IREX-3 sp. z o.o.

Komunikacja miejska obejmuje 39 linii autobusowych obsługiwanych przez 187 autobusów. Wszystkie z nich zostały wyprodukowane w latach 2000-2020 z czego większość posiada normę emisji EURO 5 lub wyższą (por. Tabela 10). Współczynnik wieku taboru wynosi 9,14 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 widocznie się rozwijał, szczególnie jeśli chodzi o utworzenie nowych połączeń z gminami ościennymi. Natomiast, w 2020 roku nastąpił spadek liczby osób korzystającej z transportu miejskiego, a w konsekwencji zmniejszył się przychód ze sprzedaży biletów (por. Tabela 14). Należy przypuszczać, że powodem tego spadku była panująca pandemia COVID-19. Z tego względu 2020 r. nie można uznać za rok reprezentatywny.

## 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 ogniach 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 jedno 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.

Przedstawione powyżej minimalne udziały odnoszą się wprost do sumarycznej liczby pojazdów przeznaczanych do obsługi przewozów w ramach danej komunikacji miejskiej przez ich operatora. Wymogi te odnoszą się do wszystkich połączeń w ramach sieci komunikacyjnej, w tym połączeń międzygminnych realizowanych poza obszarem administracyjnym właściwej jednostki samorządu terytorialnego, pełniącej rolę organizatora komunikacji miejskiej.

W odniesieniu do całkowitej liczby autobusów obsługujących komunikację miejską w Gminie Olsztyn (154 sztuk MPK i 34 sztuki konsorcjum Meteor i Irex-3) wymagania przedstawiają się następująco:

- 20 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2022 r.,
- 38 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2024 r.,
- 57 autobusów zeroemisyjnych do dnia 31.12.2027 r.

Brzmienie art. 36 ust. 1 wskazuje, że jednostka samorządu zleca świadczenie usługi komunikacji miejskiej podmiotowi, którego udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów

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

na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego wynosi co najmniej 30%. Przyjmując zasadę racjonalności prawodawcy, należy uznać, że obowiązek posiadania 30% autobusów zeroemisyjnych we flocie pojazdów dotyczy tych podmiotów, które świadczą usługi komunikacji miejskiej w oparciu o autobusy (w tym trolejbusy) i procent ten jest obliczany w stosunku do floty autobusów<sup>34</sup>. Zgodnie z zapisami w ustawie o elektromobilności art. 36 wchodzi w życie z dniem 1 stycznia 2028 roku.

W oparciu o przedstawione wymagania ustawowe, w poniższej tabeli przedstawiono liczby pojazdów zeroemisyjnych koniecznych do wymiany oraz ich procentowy udział w całkowitej flocie dla MPK oraz operatora zewnętrznego w kolejnych latach.

**Tabela 15. Harmonogram wymiany floty na pojazdy zeroemisyjne dla podmiotów świadczący usługi komunikacji miejskiej w Olsztynie.**

Rok wymiany	Liczba pojazdów zeroemisyjnych			Udział procentowy		
	łącznie	MPK	Operator zewnętrzny	łącznie	MPK	Operator zewnętrzny
2023	20	20	-	10,69%	12,99%	0,00%
2025	38	38	-	20,32%	24,67%	0,00%
2028	57	47	10	30,48%	30,52%	30,30%

*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego oraz wymagań ustawowych.*

Zgodnie z analizą stanu obecnego transportu publicznego w Olsztynie przedstawionej w rozdziale 4.1.2., transport zbiorowy na terenie gminy realizują obecnie dwie firmy – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne oraz konsorcjum firm Meteor oraz IREX-3 oddział Olsztyn. Umowa z operatorem zewnętrznym, jakim jest konsorcjum firm Meteor i IREX-3, została zawarta w 2015 r. i obowiązuje do 2025 r. Harmonogram wymiany floty na pojazdy zeroemisyjne dla podmiotów świadczący usługi komunikacji miejskiej w Olsztynie przewiduje, że do 2025 roku wymianie będą podlegały jedynie pojazdy należące do MPK. Z ustawy wynika, że od 2028 r. Gmina Olsztyn będzie miała obowiązek zlecać świadczenie usług komunikacji miejskiej jedynie podmiotom, których udział autobusów zeroemisyjnych we flocie użytkowanych pojazdów na obszarze tej jednostki samorządu terytorialnego będzie wynosił co najmniej 30%, dlatego też wymóg ten dla operatora zewnętrznego będzie obowiązywał dopiero od tego okresu.

<sup>34</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

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 Olsztyna w latach 2019-2035 przy wykorzystaniu różnych typów pojazdów.

W analizach uwzględniono następujące warianty:

- Wariant 0 (bazowy) – zakłada zakup i wymianę taboru z zastosowaniem pojazdów napędzanych silnikami Diesla spełniającymi wymogi normy EURO 6 zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2. Wariant bazowy stanowi punkt odniesienia dla analiz pozostałych wariantów;
- Wariant 1 – zakup autobusów elektrycznych i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności,
- Wariant 2 – zakup autobusów zasilanych wodorem i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności,
- Wariant 3 – zakup autobusów zasilanych CNG i wymianę taboru zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2.

Dla wariantów 1, 2 i 3 zakładających wymianę autobusów odpowiednio na pojazdy zeroemisyjne i niskoemisyjne przeanalizowano po dwa podwarianty stanowiące różne rozwiązania doboru tras przewidzianych dla wymienianych pojazdów oraz lokalizacji stacji ładowania, tankowania wodoru lub CNG. Każdy z analizowanych podwariantów zakłada wymianę pojazdów w liczbie spełniającej wymogi wynikające z Ustawy o elektromobilności. Założenia dla wszystkich podwariantów przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 16. Zestawienie założeń dla analizowanych wariantów.**

Założenia dla poszczególnych wariantów		
Wariant 1	Wariant 1a	Zakłada dobór linii autobusowych przewidzianych do całkowitej elektryfikacji, z możliwością doładowania tych pojazdów na stacjach krańcowych za pomocą ładowarek pantografowych
	Wariant 1b	Zakłada dobór linii autobusowych przeznaczonych do częściowej elektryfikacji, z których część autobusów będzie miała możliwość doładowania na stacjach krańcowych wyposażonych w ładowarki pantografowe, a pozostałe pojazdy będą poddawane wyłącznie procesowi wolnego ładowania w bazie głównej w wytypowanej lokalizacji
Wariant 2	Wariant 2a	Zakłada budowę stacji tankowania wodoru wyposażoną w elektrolizer umożliwiający produkcję wodoru na miejscu
	Wariant 2b	Zakłada budowę stacji tankowania wodoru oraz dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych

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

<b>Wariant 3</b>	Wariant 3a	Zakłada wykorzystanie stacji tankowania CNG zlokalizowanej przy ul. Lubelskiej budowanej przez PSG
	Wariant 3b	Zakłada budowę stacji tankowania CNG przez gminę Olsztyn w wytypowanej lokalizacji

Źródło: Opracowanie własne

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

### **Założenia wspólne do realizacji wszystkich scenariuszy**

Realizując analizy w celu doboru linii autobusowych rekomendowanych dla pojazdów zeroemisyjnych uwzględniono również plany dotyczące rozbudowy sieci tramwajowej zgodnie z postanowieniami zawartymi w „Koncepcji optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie”. W omawianym dokumencie przewidziano trzy warianty realizacji przedsięwzięcia z podziałem na wersję podstawową i rozszerzoną. We wszystkich przypadkach rozbudowa sieci tramwajowej wiąże się także ze zmianami komunikacji autobusowej. Z informacji uzyskanych ze strony ZDZiT wdrożony w życie zostanie wariant I. Wpływa to dodatkowo na weryfikację linii, na których zostanie dopuszczony do ruchu tabor zeroemisyjny. Z planów przedstawionych w założeniach dotyczących zmian w połączeniach autobusowych względem stanu istniejącego wynika, że od 2023 roku nastąpi likwidacja linii autobusowych nr 141, 202 oraz 204, natomiast dla linii nr 105 i 113 nastąpi zmiana tras. Zmiany wynikające z rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie zgodnie z koncepcją optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej przedstawiono w poniższej tabeli.

**Tabela 17. Założone zmiany w połączeniach autobusowych względem stanu istniejącego wynikające z rozbudowy sieci tramwajowych.**

Nr linii	Aktualna relacja	Relacja po rozbudowie sieci tramwajowej
105	Borkowskiego <-> Osiedle Mazurskie	Gotowca <-> Dworzec Główny
113	Pieczewo <-> Dajtki	Dajtki <-> Klewki
141	Osiedle Generałów <-> Cementowa	Likwidacja
202	Pieczewo -> Sikorskiego-Wilczyńskiego	Likwidacja
204	Andersa -> Pieczewo	Likwidacja

Źródło: Opracowanie własne na podstawie dokumentu pn. „Koncepcji optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie” oraz danych otrzymanych od ZDZiT.



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

##### Założenia

**Wariant 0 zakłada wymianę aktualnego taboru, na autobusy konwencjonalne spełniające najnowszą normę emisji spalin EURO 6.** W skład floty autobusowej wchodzi:

- 44 pojazdy charakteryzujące się normą emisji spalin EURO2, EURO3, EURO4,
- 54 pojazdy o normie emisji EURO5, wraz z uwzględnieniem 3 pojazdów o normie emisji EEV,
- 86 pojazdów z norm emisji spalin EURO6.

Zestawienie ilości pojazdów ze względu na normę emisji spalin zostało zestawione w poniższej tabeli.

**Tabela 18 Zestawienie ilości pojazdów ze względu na normę emisji spalin.**

Norma emisji spalin	Liczba pojazdów
EURO2	2
EURO3	30
EURO4	12
EURO5	54
EURO6	86
EEV	3
Suma	<b>187</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych od Zamawiającego

##### Działania i inwestycje wymagane do realizacji wariantu

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 związanych z infrastrukturą.

##### Harmonogram wymiany floty według wariantu 0

Wymiana obecnie użytkowanego taboru na autobusy spełniające najnowszą normę emisji spalin EURO 6 będzie realizowana zgodnie z harmonogramem wymiany floty przedstawionym w poniższej tabeli. Ze względu, iż jest to wariant bazowy, przyjęto w nim taki sam harmonogram wymiany pojazdów jak w dalszych wariantach 1 i 2, tj. taki jak wynika z obowiązku ustawowego.

**Tabela 19. Harmonogram wymiany floty na autobusy konwencjonalne z normą emisji Euro 6.**

Rok	Wymagany udział pojazdów niskoemisyjnych we flocie	Ilość pojazdów konwencjonalnych podlegająca wymianie			Łączna ilość pojazdów z normą emisji Euro 6
		Łącznie	MAXI	MEGA	
2023	10%	20	15	5	106
2025	20%	18	14	4	124
2028	30%	19	14	5	143

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.2.2. Wariant 1 - wykorzystanie pojazdów elektrycznych w ilości 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.

W wariantcie 1 rozważono dwa rozwiązania związane z doбором tras przewidzianych dla wymienianych pojazdów, który przeprowadzono w oparciu o przyjęte do realizacji i planowane inwestycje w stacje ładowania przez MPK.

##### Wariant 1a

Wariant 1a zakłada dobór linii autobusowych przewidzianych do całkowitej elektryfikacji, z możliwością doładowania tych pojazdów na stacjach krańcowych za pomocą ładowarek pantografowych. Zastosowanie ładowarek pantografowych na trasie linii obsługiwanych taborzem elektrycznym przyczyni się do znaczącego zwiększenia pokonywanych kilometrów, przez co ograniczy ryzyko zjazdu autobusu do zajezdni z powodu rozładowanych akumulatorów przed całodzienną realizacją zadania. Dodatkowym atutem będzie 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. Rozwiązanie to przewiduje inwestycje w większą ilość ładowarek pantografowych. Ładowanie nocne autobusów będzie odbywać się w bazie głównej w wytypowanej lokalizacji, gdzie będą zainstalowane stacje wolnego ładowania.

### Wariant 1b

Wariant 1b zakłada dobór linii autobusowych przeznaczonych do częściowej elektryfikacji, z których część autobusów będzie miała możliwość doładowania na stacjach krańcowych wyposażonych w ładowarki pantografowe, a pozostałe pojazdy będą poddawane wyłącznie procesowi wolnego ładowania w bazie głównej w wytypowanej lokalizacji. 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, bądź nie będzie możliwe całkowite zelektryfikowanie danej linii, ponieważ elektrobusy będą musiały zjeżdżać do zajezdni po wykonaniu około 150-200 km na kilkugodzinne ładowanie. Rozwiązanie to będzie charakteryzować się niższymi kosztami inwestycyjnymi niż wariant 1a, jednak ze względu na zasięg pojazdów elektrycznych część z nich będzie wykorzystywana w mniejszym stopniu.

### Analizowane trasy autobusów o napędzie zeroemisyjnym

Dobór pojazdu zeroemisyjnego do obsługi danej linii powinien być podyktowany szeregiem czynników. Jednym ze znaczących kryteriów jest kierowanie takich pojazdów na obszary miejskie o intensywnej zabudowie wielorodzinnej ze względu na brak emisji hałasu, szczególnie dotkliwego wśród wysokich i gęsto rozlokowanych budynków. Ponadto istotne jest, aby trasa danej linii, obsługiwanej przez omawiane pojazdy, charakteryzowała się dużą liczbą zatrzymań autobusów pomiędzy przystankami i niewielką prędkością jazdy pomiędzy tymi zatrzymaniami wynikającą między innymi z kongestii drogowej, bądź przebiegu trasy przez strefy ograniczonego ruchu. Zastępowany tabor powinien odznaczać się wysoką intensywnością dobowego i rocznego wykorzystania, a co za z tego wynika wprowadzane pojazdy zeroemisyjne powinny być eksploatowane w sposób maksymalnie intensywny. Cechy techniczno-eksploatacyjne elektrobusów predestynują je do obsługi linii o dużej gęstości przystanków oraz tras o względnie płaskim profilu. Analizowane linie powinny stanowić element systemu skoordynowanej obsługi obszaru zurbanizowanego wieloma liniami. Wprowadzenie do floty pojazdów elektrycznych wymaga również synchronizacji rozkładów jazdy w celu zapewnienia dłuższych postojów wyrównawczych na pętlach, co mogłoby pozwolić na efektywne wykorzystanie czasu postoju na doładowanie zasobników energii<sup>35</sup>.

Zgodnie z przedstawionymi powyżej przesłankami, w celu wytypowania linii komunikacyjnych, na których możliwe jest zastąpienie aktualnie wykorzystywanych autobusów spalinowych na autobusy o napędzie zeroemisyjnym, wykorzystano następujące kryteria:

- Prędkość komunikacyjną linii autobusowych,
- Gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych,
- Energochłonność linii autobusowych,
- Wielkość wskaźnika czasu przejazdu WCP.

<sup>35</sup> Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, „Zasady opracowywania kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem przy świadczeniu usług komunikacji miejskiej autobusów zeroemisyjnych – wymaganej ustawą o elektromobilności – Praktyczny przewodnik dla samorządów”, 2018.

### **Prędkość komunikacyjna**

W poniższej tabeli przedstawione zostało zestawienie linii autobusowych wraz z ich wartościami prędkości komunikacyjnych. Prędkość komunikacyjna oznacza stosunek przejechanej przez pojazd drogi do czasu łącznego jazdy oraz postojów na przystankach bez uwzględnienia czasu postoju na pętli. Im mniejsza wartość prędkości komunikacyjnej, tym bardziej rekomendowana jest wymiana pojazdów na zeroemisyjne. Wynika to między innymi z faktu częstszego hamowania, które stwarza możliwość wykorzystania rekuperacji, czyli odzysku energii podczas procesu hamowania. Zestawienie zawiera wyłącznie linie dzienne, ponieważ opracowanie skupia się na stabilnym rozkładzie jazdy. Używanie taboru elektrycznego rekomendowane jest w ciągu dnia ze względu na większą kongestie transportową.

Tabela 20. Zestawienie wartości prędkości komunikacyjnej dla linii autobusowych.

Nr linii	Trasa	Droga [km]	Czas [min]	Prędkość komunikacyjna [km/h]	Średnia prędkość komunikacyjna dla całej linii [km/h]	Liczba pojazdów obsługująca linię
Linia 101	Dworzec Główny -> Redykajny	8,902	28	19,08	18,47	5
	Redykajny -> Dworzec Główny	8,937	30	17,87		
Linia 103	Dworzec Główny -> Stary Dwór	8,259	28	17,70	17,57	7
	Stary Dwór -> Dworzec Główny	8,143	28	17,45		
Linia 104	Cementowa -> Klebark Wielki	3,026	9	20,17	20,17	Linia zawieszona
	Klebark Wielki -> Cementowa	3,026	9	20,17		
Linia 105	Borkowskiego -> Osiedle Mazurskie	5,833	20	17,50	16,88	3
	Osiedle Mazurskie -> Borkowskiego	5,959	22	16,25		
Linia 106	Cementowa -> Gutkowo	13,178	40	19,77	20,38	7
	Gutkowo -> Cementowa	13,291	38	20,99		
Linia 107	Dajtki -> Jakubowo	12,677	40	19,02	19,32	8
	Jakubowo -> Dajtki	13,079	40	19,62		
Linia 108	Reymonta -> Reymonta	24,804	48	31,01	31,01	2
Linia 109	Osiedle Podleśna -> Słoneczny Stok	8,923	30	17,85	17,82	6
	Słoneczny Stok -> Osiedle Podleśna	8,898	30	17,80		
Linia 110	Polmozbyt -> Jakubowo	7,129	25	17,11	17,10	5
	Jakubowo -> Polmozbyt	7,123	25	17,10		
Linia 111	Nagórki -> Gutkowo	13,315	43	18,58	18,80	7
	Gutkowo -> Nagórki	13,320	42	19,03		
Linia 112	Reymonta -> Reymonta	24,835	48	31,04	31,04	2
Linia 113	Pieczewo -> Dajtki	13,541	40	20,31	20,25	9
	Dajtki -> Piezewo	13,456	40	20,18		
Linia 114	Dworzec Główny -> Barczewo	18,180	32	34,09	33,06	2
	Barczewo -> Dworzec Główny	17,085	32	32,03		

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

Nr linii	Trasa	Droga [km]	Czas [min]	Prędkość komunikacyjna [km/h]	Średnia prędkość komunikacyjna dla całej linii [km/h]	Liczba pojazdów obsługująca linię
Linia 116	Osiedle Mazurskie -> Track	10,748	36	17,91	17,56	7
	Track -> Osiedle Mazurskie	11,189	39	17,21		
Linia 117	Osiedle Generałów -> Cmentarz Dywity-Brama Wschodnia	14,472	44	19,73	19,70	9
	Cmentarz Dywity-Brama Wschodnia -> Osiedle Generałów	14,091	43	19,66		
Linia 120	Pieczewo -> Dworzec Główny	7,499	28	16,07	16,60	5
	Dworzec Główny -> Piezewo	7,707	27	17,13		
Linia 121	Bartąska-Rondo -> Cementowa	16,530	51	19,45	19,18	10
	Cementowa -> Bartąska-Rondo	17,018	54	18,91		
Linia 124	Dworzec Główny -> Barczewo	18,320	34	32,33	30,98	2
	Barczewo -> Dworzec Główny	18,274	37	29,63		
Linia 126	Osiedle Generałów -> Jagiellońska-Ogrody	11,752	37	19,06	19,28	8
	Jagiellońska-Ogrody -> Osiedle Generałów	12,349	38	19,50		
Linia 127	Witosa -> Redykajny	13,208	46	17,23	18,37	8
	Redykajny -> Witosa	13,331	41	19,51		
Linia 128	Brzeziny -> Cementowa	10,524	31	20,37	19,66	7
	Cementowa -> Brzeziny	10,734	34	18,94		
Linia 129	Plac Roosevelta -> Olsztynek	27,297	42	39,00	39,79	1
	Olsztynek -> Plac Roosevelta	27,060	40	40,59		
Linia 130	Pieczewo -> Stary Dwór	7,970	26	18,39	18,84	6
	Stary Dwór -> Piezewo	8,039	25	19,29		
Linia 131	Pieczewo -> Indykpol	14,519	43	20,26	19,51	3
	Indykpol -> Piezewo	15,010	48	18,76		
Linia 136	Bartąska-Rondo -> Jagiellońska-Szpital	12,636	39	19,44	18,98	8
	Jagiellońska-Szpital -> Bartąska-Rondo	12,968	42	18,53		
Linia 141	Osiedle Generałów -> Cementowa	10,057	31	19,47	18,89	2
	Cementowa -> Osiedle Generałów	10,072	33	18,31		

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

Nr linii	Trasa	Droga [km]	Czas [min]	Prędkość komunikacyjna [km/h]	Średnia prędkość komunikacyjna dla całej linii [km/h]	Liczba pojazdów obsługująca linię
<b>Linia 201</b>	Kutrzeby -> Sikorskiego-Wilczyńskiego	1,232	5	14,78	14,78	2
<b>Linia 202</b>	Pieczyno -> Sikorskiego-Wilczyńskiego	2,299	9	15,33	15,33	Linia zawieszona
<b>Linia 203</b>	Andersa -> Osiedle Generałów	1,594	5	19,13	19,13	2
<b>Linia 204</b>	Andersa -> Piezewo	2,596	9	17,31	17,31	Linia zawieszona
<b>Linia 205</b>	Tęczowy Las -> Galeria Warmińska	5,131	19	16,20	16,24	4
	Galeria Warmińska -> Tęczowy Las	4,886	18	16,29		
<b>Linia 302</b>	Dajtki -> Stary Dwór	8,542	21	24,41	24,41	1
	Stary Dwór -> Dajtki	8,542	21	24,41		
<b>Linia 303</b>	Witosa -> Stary Dwór	8,730	29	18,06	18,73	4
	Stary Dwór -> Witosa	8,730	27	19,40		
<b>Linia 304</b>	Dworzec Główny -> Wójtowo-Leszczynowa	10,019	16	37,57	32,77	1
	Wójtowo-Leszczynowa -> Dworzec Główny	8,390	18	27,97		
<b>Linia 305</b>	Dworzec Główny -> Stary Dwór	8,481	25	20,35	19,39	1
	Stary Dwór -> Dworzec Główny	8,292	27	18,43		
<b>Linia 307</b>	Witosa -> Plaża Miejska	10,091	30	20,18	19,26	3
	Plaża Miejska -> Witosa	10,091	33	18,35		
<b>Linia 309</b>	Jakubowo -> Stary Dwór	7,910	27	17,58	18,05	6
	Stary Dwór -> Jakubowo	8,028	26	18,53		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

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

Mediana prędkości komunikacyjnej linii autobusowych w Olsztynie wynosi 19,15 km/h. W związku z tym rozpatrywane do wymiany będą autobusy z linii, na których prędkość komunikacyjna jest mniejsza niż wyżej wymieniona wartość. **Te kryteria spełniają następujące linie: 101, 103, 105, 109, 110, 111, 116, 120, 127, 130, 136, 141, 201, 202, 203, 204, 205, 303, 309.**

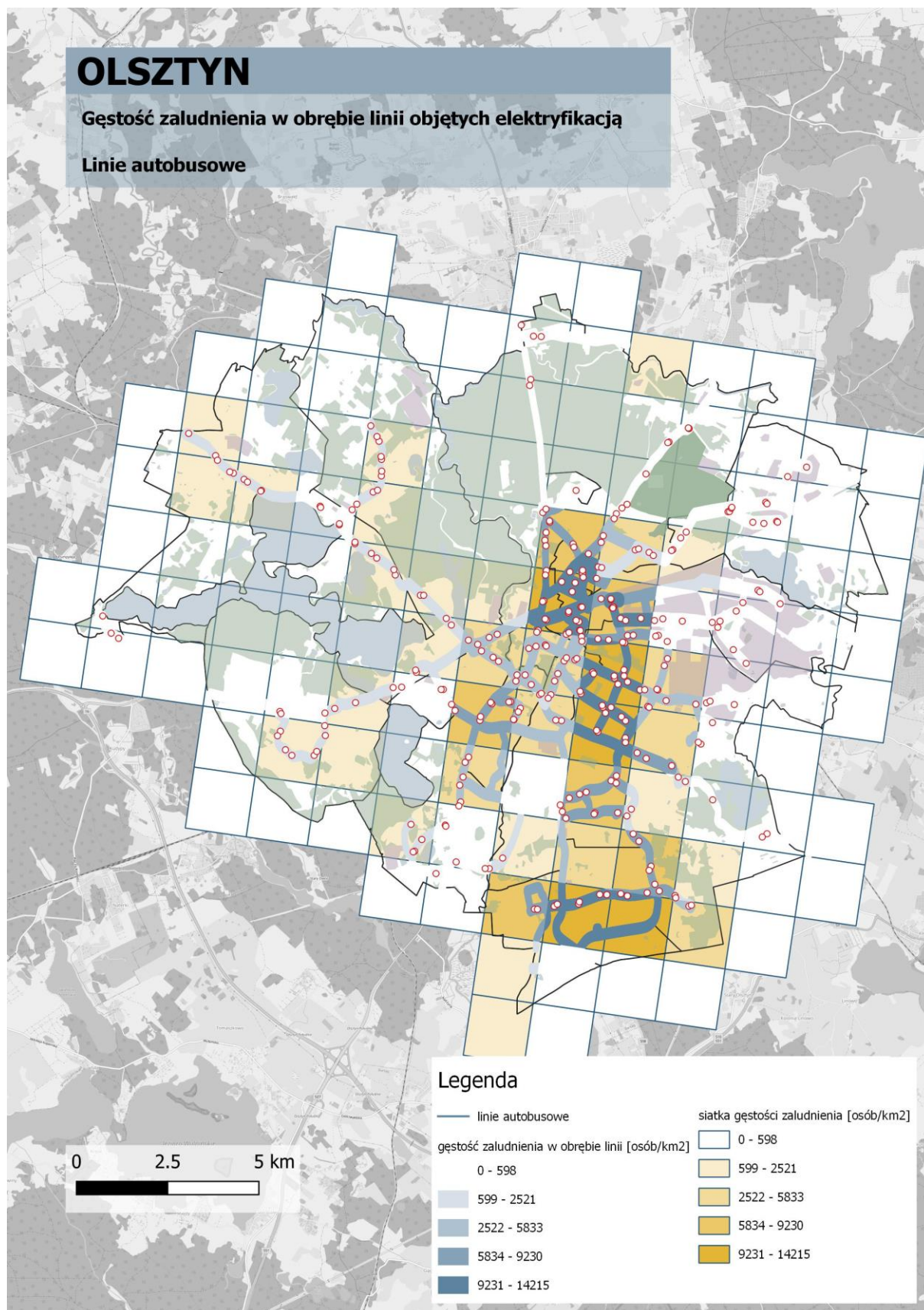
### Gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych

Kolejne spośród kryteriów to gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych. Wymiana pojazdów zasilanych silnikami spalinowymi na pojazdy zeroemisyjne powoduje znaczne zmniejszenie hałasu generowanego przez transport miejski. W związku z tym rekomenduje się wymianę autobusów na trasach, na których gęstość zaludnienia wzdłuż nich jest jak największa. Dobór linii na podstawie gęstości zaludnienia został przeprowadzony w oparciu o wskaźnik będący sumą gęstości zaludnienia dla kwadratów, przez które przebiega dana linia. Do wymiany zostały rozważone autobusy kursujące na liniach, na których wyżej wspomniany wskaźnik gęstości zaludnienia na trasie jest większy niż mediana wyznaczonego zbioru wartości. **Dane kryterium spełniają linie autobusowe o numerach: 101, 103, 107, 110, 113, 116, 117, 120, 121, 126, 127, 131, 136, 141.**

Poniżej przedstawiono mapę gęstości zaludnienia w obrębie wszystkich linii autobusowych kursujących po terenie Olsztyna. Zastosowany podział na mapie dotyczący wielkości gęstości zaludnienia ma znaczenie wyłącznie wizualizacyjne oraz pozwala zobrazować różnice gęstości zaludnienia na ilustracjach zgodnie z progami przedstawionymi w legendzie mapy. Szczegółowa gęstość zaludnienia wzdłuż poszczególnych linii autobusowych została przedstawiona na mapach stanowiących Załącznik nr 1 do niniejszego opracowania.



Rysunek 10. Gęstość zaludnienia w obrębie tras linii autobusowych.



Źródło: Opracowanie własne.

### Energochłonność linii autobusowych

Dążenie do przejścia z napędów spalinowych do elektrycznych wynika nie tylko z konieczności ograniczenia lokalnej emisji zanieczyszczeń, ale również z faktu, że silniki elektryczne charakteryzują się większą sprawnością sięgającą nawet powyżej 98%, podczas gdy silniki spalinowe wysoko doładowane nie przekraczają 43%, co znacząco poprawia bilans energetyczny. Głównym kryterium brany pod uwagę przez przewoźników przy wyborze taboru jest zużycie energii. Szczególnie podczas eksploatacji pojazdów przeznaczonych do przewozu pasażerów koszty związane z energią mają znaczący wpływ na rentowność przedsięwzięcia i cenę, jaką za usługę zapłaci pasażer. W przypadku autobusów miejskich miarą energochłonności układu napędowego jest przebiegowe zużycie paliwa, które stanowi główny koszt eksploatacyjny dla danego operatora<sup>36</sup>.

Na podstawie zakładanych norm zużycia paliwa ustalonej dla wszystkich użytkowanych pojazdów w zależności od obsługiwanej linii, oszacowano średnią wartość energii zużywanej w postaci oleju napędowego przypadającej na jeden kilometr. W celu obliczenia energii zawartej we wspomnianym paliwie założono średnią gęstość oleju napędowego na poziomie 0,83 kg/dm<sup>3</sup> oraz wartość opałową na podstawie materiału KOBIZE „Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO<sub>2</sub> (WE) w roku 2018 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2021”. Wyznaczone wartości przedstawiono w poniżej tabeli.

**Tabela 21. Zestawienie średniej ilości energii zawartej w zużywanym paliwie dla każdej linii.**

Nr linii	Średnie ilość energii zawartej w zużywanym paliwie, kWh/km
Linia 101	4,804
Linia 103	4,746
Linia 104	3,567
Linia 105	4,280
Linia 106	4,649
Linia 107	4,871
Linia 108	3,792
Linia 109	4,880
Linia 110	4,814
Linia 111	5,062
Linia 112	3,774
Linia 113	4,720
Linia 114	4,034
Linia 116	5,052
Linia 117	5,061
Linia 120	5,009
Linia 121	4,681

<sup>36</sup>K. Woźniak, M. Andrzejewski, P. Daszkiewicz, Ł. Rymaniak, Badania zużycia energii przez pojazdy w warunkach rzeczywistych, Poznań, 2020.

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

Nr linii	Średnie ilość energii zawartej w zużywanym paliwie, kWh/km
Linia 124	4,147
Linia 126	5,149
Linia 127	4,901
Linia 128	4,653
Linia 129	4,276
Linia 130	4,922
Linia 131	5,011
Linia 136	5,106
Linia 141	5,158
Linia 201	4,579
Linia 202	4,765
Linia 203	4,623
Linia 204	4,702
Linia 205	4,708
Linia 302	4,660
Linia 303	4,950
Linia 304	4,472
Linia 305	4,697
Linia 307	3,885
Linia 309	4,658

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Mediana średniej ilości energii zawartej w spalonym paliwie w pojazdach przeznaczonych dla poszczególnych linii autobusowych w Olsztynie wynosi 4,702 kWh/km. W związku z tym rozpatrywane do wymiany będą autobusy z linii, na których wartość średniej ilości energii zawartej w spalonym paliwie na przejechany kilometr jest większa niż wyżej wymieniona wartość mediany. **Te kryteria spełniają następujące linie: 101, 103, 107, 109, 110, 111, 113, 116, 117 120, 126, 127, 130, 131, 136, 141, 202, 205, 303.**

### Wskaźnik czasu przejazdu WCP

Jako dodatkowy parametr analityczny dla linii wykorzystano 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 analizach na liniach o niskiej wartości wskaźnika WCP zaproponowano zastosowanie autobusów zeroemisyjnych.

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

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

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

- minimalna długość linii wynosi 5 km,
- wskaźnik czasu przejazdu WCP zawierający się w przedziale od 1,00 do 1,523 (mediana wskaźnika WCP dla analizowanych linii).

W poniższej tabeli przedstawiono linie wraz z ich długości oraz wielkością współczynnika WCP, które spełniają wyżej określone warunki. **Linie spełniające założenia wskaźnika WCP to linie numer: 101, 105, 106, 108, 109, 111, 112, 113, 116, 127, 128, 130, 141, 205, 302, 303, 304, 307, 309.**

**Tabela 22. Zestawienie linii autobusowych wytypowanych na podstawie parametru WCP i długość linii.**

Numer linii	Długość linii	WCP
304	18,409	1,133
302	17,085	1,235
128	21,258	1,327
101	17,839	1,349
127	26,539	1,359
141	20,129	1,362
303	17,461	1,366
106	26,469	1,368
205	10,017	1,370
105	11,792	1,400
130	16,009	1,417
113	26,997	1,429
309	15,938	1,432
116	21,937	1,442
112	24,835	1,455
109	17,821	1,463
307	20,182	1,465

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

Numer linii	Długość linii	WCP
108	24,804	1,500
111	26,635	1,518

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

### Podsumowanie i typowanie końcowe linii według wszystkich przeanalizowanych kryteriów

Uwzględniając założenia ZDZIT, które przedstawiono w założeniach do wszystkich scenariuszy w tabeli poniżej, przedstawiono zestawienie wszystkich analizowanych kryteriów, na podstawie których typowane są linie rekomendowane do obsługi przez pojazdy zeroemisyjne. Biorąc pod uwagę kryteria takie jak gęstość zaludnienia wzdłuż linii autobusowych, ich prędkość komunikacyjna, energochłonność oraz wielkość wskaźnika WCP, dla każdej linii wyznaczono liczbę spełnianych kryteriów.

Tabela 23. Zestawienie wszystkich kryteriów wymiany pojazdów na pojazdy zeroemisyjne na liniach autobusowych.

Nr linii	Prędkość komunikacyjna linii autobusowych	Gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych	Energochłonność linii autobusowych	WCP zawiera się w przedziale od 1 do 1,523	Liczba kryteriów, które spełnia linia
101	X	X	X	X	4
103	X	X	X		3
105	X			X	2
106				X	1
107		X	X		2
108				X	1
109	X		X	X	3
110	X	X	X		3
111	X		X	X	3
112				X	1
113		X	X	X	3
114					0
116	X	X	X	X	4
117		X	X		2
120	X	X	X		3
121		X			1
124					0
126		X	X		2
127	X	X	X	X	4
128				X	1
129					0
130	X		X	X	3
131		X	X		2
136	X	X	X		3
141	X	X	X	X	Zakładana likwidacja linii w przyszłości*
201	X				1

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

<b>202</b>	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>Zakładana likwidacja linii w przyszłości*</b>
<b>203</b>	<b>X</b>				<b>1</b>
<b>204</b>	<b>X</b>				<b>Zakładana likwidacja linii w przyszłości*</b>
<b>205</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>3</b>
<b>302</b>				<b>X</b>	<b>1</b>
<b>303</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>3</b>
<b>304</b>				<b>X</b>	<b>1</b>
<b>305</b>					<b>0</b>
<b>307</b>				<b>X</b>	<b>1</b>
<b>309</b>	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>2</b>

Źródło: Opracowanie własne.

\*Założenia na podstawie dokumentu pn. „Konceptcja optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie” oraz danych przekazanych przez ZDZiT.

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

Zgodnie z powyższą tabelą wytypowano linie autobusowe, które spełniają największą ilość z analizowanych kryteriów. Poniżej zaprezentowano wyniki przeprowadzonych analiz.

**Tabela 24. Podsumowanie liczby kryteriów spełnianych przez dane linie autobusowe.**

Liczba spełnionych kryteriów	Numery linii
Cztery kryteria	101, 116, 127
Trzy kryteria	103, 109, 110, 111, 113, 120, 130, 136, 205, 303
Dwa kryteria	105, 107, 117, 126, 131, 309
Jedno kryterium	106, 108, 112, 121, 128, 201, 203, 302, 304, 307

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku taboru zasilanego energią elektryczną, ze względu na zasięg oraz czas ładowania, istotne jest skoordynowanie obsługi obszaru zurbanizowanego wieloma liniami. W związku z powyższym przy doborze tras przeznaczonych do obsługi przez autobusy napędzane silnikiem elektrycznym, założono również wytypowanie lokalizacji, na których istnieje możliwość uzyskania warunków w celu instalacji punktów ładowania. Ze względu na zasięg pojazdów elektrycznych, dobór odpowiednich lokalizacji pętli autobusowych, na których możliwy byłby montaż ładowarek pantografowych, jest niezbędny do efektywnego wykorzystania taboru elektrycznego.

Analizę pętli autobusowych, na których docelowo miałyby być ulokowane ładowarki, wykonano przede wszystkim w oparciu o strategię MPK, otrzymane plany zakupu i wymiany floty oraz aktualne plany rozmieszczenia ładowarek. Dodatkowo wykorzystano w tym celu rozkład jazdy oraz plany tras linii aktualnych w dniu 01.07.2021 umieszczonych na oficjalnej stronie ZDZiT Olsztyn.

Zgodnie z informacjami przekazanymi przez MPK Olsztyn, plan zakłada zakup odpowiedniej liczby ładowarek typu plug-in i pantografowych do 2023 r. oraz zlokalizowanie ich na zajezdni MPK przy al. Sikorskiego i na krańcach miasta, na których znajdują się pętle autobusowe oraz możliwe jest uzyskanie warunków przyłączeniowych. Główna strategia MPK zakłada umieszczenie ładowarek o niskiej mocy – 40 kW na terenie zajezdni autobusowej, a na krańcach (pętlach) ładowarek o mocy od 540 kW do 600 kW w zależności od uzyskania warunków przyłączenia operatora systemu dystrybucyjnego. W chwili obecnej warunki przyłączeniowe uzyskano dla następujących pętli autobusowych: Redykajny, Stary Dwór, Dajtki oraz Gutkowo, a w przypadku pętli Redykajny i Stary Dwór podpisano umowy z operatorem systemu dystrybucyjnego na przyłączenie do sieci ładowarek pantografowych. Lokalizacje, które są brane pod uwagę w dalszej kolejności to Jakubowo, Jagiellońska-Ogrody, Bartąska-Rondo, Tęczowy Las, Pieczewo oraz Osiedle Generałów. W poniższej tabeli dla każdej z wymienionych wyżej lokalizacji przedstawiono linie, których trasy obejmują pętle autobusowe w tych miejscach.



**Tabela 25. Zestawienie lokalizacji przystanków krańcowych oraz obsługujących je linii autobusowych.**

Przystanek krańcowy (pętla autobusowa)	Numery obsługiwanych linii
Redykajny	101, 127
Stary Dwór	103, 130, 302, 303, 305, 309
Dajtki	107, 113, 302
Gutkowo	106, 111
Jakubowo	107, 110, 309
Jagiellońska-Ogrody	126, 136
Bartąska-Rondo	121, 136
Tęczowy Las	205
Pieczewo	113, 120, 130, 131, 204
Osiedle Generałów	117, 126, 141, 203

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Według Ustawy o elektromobilności Gmina Olsztyn powinna do 2023 roku wprowadzić do eksploatacji 20 autobusów elektrycznych, do 2025 r. kolejne 18, a do 2028 r. 19 elektrobusów, co łącznie daje 57 pojazdów do obsługi linii autobusowych w Olsztynie.

Uwzględniając wytypowane na podstawie kryteriów linie autobusowe oraz lokalizacje pętli autobusowych, dla których uzyskano warunki przyłączeniowe, dla każdego z podwariantów wytypowano trasy i numery linii dla elektrobusów.

#### **Linie oraz lokalizacje stacji dla wariantu 1a**

Wariant 1a, zakładający przeznaczenie wytypowanych linii wyłącznie dla pojazdów elektrycznych, obejmuje następujące trasy linii dedykowane do obsługi przez autobusy elektryczne: **101, 127, 103, 130, 106, 111, 113, 107**. Trasy wybranych linii autobusowych obejmują następujące przystanki krańcowe: **Redykajny, Stary Dwór, Gutkowo, Dajtki**, na których przewidziana jest instalacja ładowarek pantograficznych.

W wariantcie 1a rekomendowane jest wykorzystanie autobusów elektrycznych na trasach m.in. linii 101 i 127, które są obsługiwane w dniu roboczym przez maksymalne liczby pojazdów równe odpowiednio 5 i 8 pojazdów. Dodatkowo rekomenduje się przeznaczenie linii 103 oraz 130 do obsługi przez autobusy elektryczne. Liczba pojazdów przydzielonych do obsługi wyszczególnionych tras linii autobusowych wynosi odpowiednio 7 i 6 pojazdów. Wprowadzanie elektrobusów do taboru obsługującego trasy linii 106, 107, 111 oraz 113, które są obsługiwane w dniu roboczym przez maksymalne liczby pojazdów równe odpowiednio 7, 7, 9 i 8 pojazdów, prowadzi do łącznej liczby pojazdów obsługujących wytypowane trasy równej 57 autobusów. Wprowadzenie przedstawionych rekomendacji pozwoli na spełnienie obowiązku wynikającego z Ustawy o elektromobilności.

### Linie oraz lokalizacje stacji dla wariantu 1b

Wariant 1b, zakładający wprowadzenie taboru elektrycznego do częściowej obsługi wytypowanych tras linii autobusowych, obejmuje następujące trasy linii dedykowane do obsługi przez autobusy elektryczne: **101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303**. Trasy wybranych linii autobusowych obejmują następujące przystanki krańcowe: **Redykajny** oraz **Stary Dwór**, na których przewidziana jest instalacja ładowarek pantograficznych.

W wariantcie 1b rekomendowane jest wykorzystanie autobusów elektrycznych zarówno na trasach, na których przystanki krańcowe będą wyposażone w ładowarki pantografowe jak i na takich, na których takie ładowarki nie będą zlokalizowane. Montaż ładowarek pantografowych na wymienionych powyżej przystankach krańcowych umożliwi doładowywanie autobusów obsługujących linie numer 101, 103, 113, 127, 130, 303. Łączna liczba pojazdów kursujących na tych trasach w ciągu typowego dnia roboczego wynosi 37. Pozostałe trasy, które obsługują linie numer 109, 110, 111, 116, 120, 136 oraz 205, będą obsługiwane przez elektrobusy ładowane wyłącznie metodą plug-in na terenie bazy zlokalizowanej przy al. Sikorskiego, a sumaryczna ilość autobusów obsługujących te trasy jest równa 42.

### Działania i inwestycje wymagane do realizacji wariantu

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 dla obydwóch podwariantów (wariant 1a i 1b) będą należeć następujące przedsięwzięcia:

- 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 wyznaczonych terenach w celu efektywnego ładowania pojazdów wymagane jest posiadanie zwykle jednej ładowarki na pojazd (dla urządzeń jednostanowiskowych) lub jednej na dwa pojazdy (dla urządzeń dwustanowiskowych). Zgodnie z otrzymanymi planami rozmieszczenia stacji ładowania, główne miejsce realizacji stanowi teren zajezdni przy ul. Sikorskiego oraz przewidziany jest zakup ładowarek dwustanowiskowych.
- Zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji szybkiego ładowania pantografowego na pętli linii obsługiwanej przez elektrobusy. Wyznaczone pętle autobusowe w wariantcie 1a to przystanki krańcowe zlokalizowane na następujących osiedlach: Redykajny, Stary Dwór, Dajtki oraz Gutkowo, natomiast w wariantcie 1b: Redykajny oraz Stary Dwór.
- Przystosowanie warsztatu do obsługi autobusów elektrycznych.

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

**Tabela 26. Harmonogram zakupu wymaganych ilości stacji ładowanie plug-in oraz stacji ładowania pantografowego.**

Rok	Ilość pojazdów elektrycznych na dany rok	Wariant 1a		Wariant 1b	
		Ilość stacji wolnego ładowania typu plug-in na dany rok	Ilość stacji szybkiego ładowania pantografowego na dany rok	Ilość stacji wolnego ładowania typu plug-in na dany rok	Ilość stacji szybkiego ładowania pantografowego na dany rok
2022	20	11	4	11	2
2024	18	9	4	9	-
2027	19	9	2	9	-

Źródło: Opracowanie własne.

### Harmonogram wymiany floty według wariantu 1

Wymiana obecnie użytkowanego taboru konwencjonalnego na autobusy elektryczne będzie się odbywać zgodnie z harmonogramem wymiany floty przedstawionym w poniższej tabeli, wynikającym z obowiązku ustawowego.

**Tabela 27. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności.**

Rok	Wymagany udział pojazdów elektrycznych we flocie	Ilość zakupionych pojazdów elektrycznych			Łączna ilość pojazdów elektrycznych
		Łącznie	MAXI	MEGA	
2023	10%	20	15	5	20
2025	20%	18	14	4	38
2028	30%	19	14	5	57

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 Olsztyn (44 985 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 28. Szacowane zużycie energii w danym okresie.**

Rok	Roczny przejechany dystans przez tabor zeroemisyjny [km]	Roczne zużycie energii [kWh]
od 2023	799 200	1 118 880,00
od 2025	1 518 480	2 125 872,00
od 2028	2 277 720	3 188 808,00

Źródło: Opracowanie własne.

### Struktura zapotrzebowania na ON

Wprowadzanie pojazdów elektrycznych do taboru przeznaczonych do obsługi przewozów w ramach komunikacji miejskiej będzie wiązało się ze zmniejszeniem użytkowania pojazdów konwencjonalnych, a co z tego wynika ze zmniejszeniem zużycia zapotrzebowania na olej napędowy. W poniższej tabeli przedstawiono prognozowaną ilość paliwa niezbędnego do zasilania autobusów spalinowych w latach 2022-2035. Założono średnie zużycie paliwa na poziomie 0,38 l/km.

**Tabela 29. Prognoza zużycia paliwa w latach 2022 – 2035.**

Rok	Ilość autobusów elektrycznych	Ilość autobusów konwencjonalnych	Prognozowane zużycie paliwa (ON) przez tabor konwencjonalny w litrach
2023	20	167	2 535 861,60
2024	20	167	2 535 861,60
2025	38	149	2 262 535,20
2026	38	149	2 262 535,20
2027	38	149	2 262 535,20
od 2028	57	130	1 974 024,00

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.

W wariantcie 2 rozważono dwa rozwiązania związane z lokalizacją stacji tankowania wodoru oraz zastosowaną technologią pozyskiwania wodoru. Tabor zeroemisyjny zasilany wodorem cechuje się wysoką uniwersalnością stosowania. Głównie jest to spowodowane faktem, że zasilanie takich pojazdów odbywa się za pomocą paliwa jakim jest wodór, a sam proces tankowania zbiorników zainstalowanych w autobusach odbywa się na przeznaczonych do tego stacjach oraz trwa zaledwie kilka minut. W przypadku autobusów zasilanych wodorem, miejsce, w którym zostanie wybudowana stacja tankowania, nie wpływa tak znacząco na dobór tras. Istotne jest, aby wytypowana lokalizacja stacji umożliwiała optymalny dojazd autobusów z/do zajezdni oraz na trasy.

#### **Wariant 2a**

Wariant 2a zakłada budowę stacji tankowania wodoru wyposażoną w elektrolizer umożliwiający produkcję wodoru na miejscu. Produkcja wodoru na stacji pozwoli uniknąć problemów logistycznych związanych z dostawą wodoru. W tym przypadku, ze względu na bezpieczeństwo prowadzonego procesu, lokalizację stacji tankowania rozpatruje się na terenie znajdującym się na krańcu miasta. Dobór tras linii autobusowych przeznaczonych do obsługi przez pojazdy zasilane wodorem odbywa się na podstawie kryteriów przedstawionych w rozdziale 4.2.2. Rozwiązanie to przewiduje wysokie koszty inwestycyjne związane z zakupem elektrolizera.

#### **Wariant 2b**

Wariant 2b zakłada budowę stacji tankowania wodoru oraz dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych. W tym przypadku lokalizację stacji tankowania rozpatruje się na terenie stanowiącym główną bazę. Dobór tras linii autobusowych przeznaczonych do obsługi przez pojazdy zasilane wodorem odbywa się na podstawie kryteriów przedstawionych w rozdziale 4.2.2. Rozwiązanie to przewiduje niższe koszty inwestycyjne w porównaniu do wariantu 2b, ale wyższe koszty operacyjne związane z koniecznością zakupu oraz dostaw wodoru na miejsce.

#### **Infrastruktura wodorowa w Olsztynie**

Obecnie na terenie Olsztynie nie istnieje stacja tankowania wodoru.

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

Na podstawie analizy przeprowadzonej w celu doboru pojazdów zeroemisyjnych do obsługi linii autobusowych w Olsztynie przedstawionej w rozdziale 4.2.2., rekomenduje się wykorzystanie pojazdów zasilanych wodorem na trasach linii autobusowych, które spełniają więcej niż dwa kryteria (por. Tabela 24). W związku z powyższym linie dedykowane autobusom napędzanym wodorem to linie numer **101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303**.

### **Lokalizacje stacji dla wariantu 2a**

Wariant 2a zakładający produkcję wodoru na miejscu, przewiduje budowę stacji na terenie zlokalizowanym na obrzeżach miasta. Biorąc pod uwagę wytypowane linie, które zgodnie z analizą spełniają największą ilość kryteriów, oraz dostępne tereny na obrzeżach miasta zlokalizowane w pobliżu przystanków krańcowych wybranych linii, rekomendowane jest wybudowanie stacji tankowania wodoru wyposażonej w elektrolizer na obszarze znajdującym się na obrzeżach miasta. Zgodnie z przekazanymi informacjami od MPK obecnie prowadzone jest postępowanie administracyjne w sprawie ustalenia warunków zabudowy dla wykonania instalacji fotowoltaicznej przy ulicy Wiosennej na działce 123-30/26. W docelowym układzie wykonana instalacja fotowoltaiczna ma zasilać elektrolizer do produkcji wodoru.

### **Lokalizacje stacji dla wariantu 2b**

Wariant 2b zakładający dostawę wyprodukowanego wodoru do stacji tankowania wodoru, przewiduje budowę stacji na terenie zlokalizowanym w miejscu ogólnodostępnym dla wszystkich kursujących autobusów, przykładowo w pobliżu zajezdni MPK.

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

W celu zapewnienia ciągłości świadczenia usług przewozowych na trasach obsługiwanych przez autobusy zasilane wodorem niezbędna będzie inwestycja w stacje tankowania wodoru. W takim wypadku do działań i inwestycji niezbędnych do realizacji zadania dla obydwóch podwariantów (wariant 2a i 2b) będą należeć następujące przedsięwzięcia:

- 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 budowę stacji tankowania wodoru wyposażoną w następujące komponenty: sprężarkę, zbiorniki do magazynowania wodoru oraz dystrybutory. Ponadto, stację będzie należało przyłączyć do sieci dystrybucyjnej. W przypadku wariantu 2a konieczna jest również inwestycja w instalację przeznaczoną do elektrolizy.

## Harmonogram wymiany floty według wariantu 2

Wymiana obecnie użytkowanego taboru konwencjonalnego na autobusy zasilane wodorem będzie się odbywać zgodnie z harmonogramem wymiany floty przedstawionym w poniższej tabeli, wynikającym z obowiązku ustawowego.

**Tabela 30. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane wodorem zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności.**

Rok	Wymagany udział pojazdów wodorowych we flocie	Ilość zakupionych pojazdów wodorowych			Łączna ilość pojazdów wodorowych
		Łącznie	MAXI	MEGA	
2023	10%	20	15	5	20
2025	20%	18	14	4	38
2028	30%	19	14	5	57

Źródło: Opracowanie własne

## Szacowane zużycie energii na produkcję wodoru

Przyjęto uśredniony roczny przebieg pojazdów eksploatowanych na liniach komunikacji miejskiej miasta Olsztyn równy 44 985 km oraz średnie zużycie wodoru na poziomie 0,08 kg/km. Założono, że niezbędna energia potrzebna na wyprodukowanie w procesie elektrolizy 1 kg wodoru wynosi 50 kWh. W tabeli poniżej przedstawiono roczne zapotrzebowanie taboru na wodór oraz ilość energii koniecznej do jego wyprodukowania.

**Tabela 31. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie.**

Rok	Roczny przejechany dystans przez tabor zeroemisyjny [km]	Roczne zapotrzebowanie na wodór [kg]	Roczne zużycie energii niezbędnej na wyprodukowanie wodoru [kWh]
od 2023	799 200	63 936,00	3 196 800,00
od 2025	1 518 480	121 478,40	6 073 920,00
od 2028	2 277 720	182 217,60	9 110 880,00

Źródło: Opracowanie własne

## Struktura zapotrzebowania na paliwa ON

Wprowadzanie pojazdów zasilanych wodorem do taboru przeznaczonego do obsługi przewozów w ramach komunikacji miejskiej będzie wiązało się ze zmniejszeniem użytkowania pojazdów konwencjonalnych, a co z tego wynika ze zmniejszeniem zużycia zapotrzebowania na olej napędowy. Ze względu na wymianę jednakowej ilości autobusów konwencjonalnych jak w wariantcie 1, szacowane zużycie oleju napędowego przez niepodlegających wymianie tabor prezentują się tak jak w przypadku wariantu 1 (por. Tabela 29).

#### 4.2.4. Wariant 3 – wykorzystanie pojazdów zasilanych CNG

##### **Założenia**

Wariant 3 zakłada wymianę taboru konwencjonalnego należącego do Gminy Olsztyn na pojazdy napędzane CNG oraz inwestycję w niezbędną infrastrukturę.

W wariantcie 3 rozważono dwa rozwiązania związane z lokalizacją stacji tankowania CNG. Tabor niskoemisyjny zasilany CNG cechuje się wysoką uniwersalnością stosowania. Głównie jest to spowodowane faktem, że zasilanie takich pojazdów odbywa się za pomocą paliwa jakim w tym przypadku jest CNG, a sam proces tankowania zbiorników zainstalowanych w autobusach odbywa się na przeznaczonych do tego stacjach oraz trwa zaledwie kilka minut. Dodatkowo w przypadku pojazdów niskoemisyjnych istotny jest również brak ograniczeń w zakresie zasięgu tych pojazdów, w związku z czym pojazdy zasilane CNG można dedykować do obsługi każdej linii.

##### **Wariant 3a**

Wariant 3a zakłada wykorzystanie stacji tankowania CNG zlokalizowanej przy ul. Lubelskiej budowanej przez PSG. Rozwiązanie to przewiduje niskie koszty inwestycyjne ze względu na brak konieczności budowy własnej stacji tankowania CNG. Dobór tras linii autobusowych przeznaczonych do obsługi przez pojazdy zasilane CNG odbywa się na podstawie kryteriów przedstawionych w rozdziale 4.2.2. Różnica w doborze linii dla pojazdów niskoemisyjnych w porównaniu do pojazdów zeroemisyjnych, wynika z zastosowania innego kryterium dotyczącego wskaźnika WCP.

##### **Wariant 3b**

Wariant 3b zakłada budowę stacji tankowania CNG przez gminę Olsztyn w wytypowanej lokalizacji. Rozwiązanie to charakteryzuje się wysokimi kosztami inwestycyjnymi związanymi z budową stacji tankowania CNG. Dobór tras linii autobusowych przeznaczonych do obsługi przez pojazdy zasilane CNG odbywa się na podstawie kryteriów przedstawionych w rozdziale 4.2.2. Różnica w doborze linii dla pojazdów niskoemisyjnych w porównaniu do pojazdów zeroemisyjnych, wynika z zastosowania innego kryterium dotyczącego wskaźnika WCP.

##### **Analizowane trasy autobusów o napędzie niskoemisyjnym**

W celu wytypowania linii dedykowanych autobusom zasilanym CNG wzięto pod uwagę kryteria analizowane w rozdziale 4.2.2 takie jak gęstość zaludnienia wzdłuż linii autobusowych, ich prędkość komunikacyjna, energochłonność oraz wielkość wskaźnika WCP, dla którego zastosowano następujące kryteria:

- minimalna długość linii wynosi 5 km,
- wskaźnik czasu przejazdu WCP większy niż wartość równa 1,523 (mediana wskaźnika WCP dla analizowanych linii).



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

W poniższej tabeli przedstawiono linie wraz z ich długości oraz wielkością współczynnika WCP, które spełniają wyżej określone warunki. **Linie spełniające założenia wskaźnika WCP to linie numer: 103, 107, 110, 114, 117, 120, 121, 124, 126, 129, 131, 136, 305.**

**Tabela 32. Zestawienie linii autobusowych wytypowanych na podstawie parametru WCP i długość linii.**

Numer linii	Długość linii	WCP
120	15,206	1,528
121	33,548	1,544
305	16,773	1,576
131	29,529	1,596
126	24,101	1,630
103	16,402	1,647
107	25,756	1,667
110	14,252	1,667
114	35,265	1,684
136	25,604	1,688
124	36,594	1,732
117	14,091	1,776
129	54,357	1,952

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych przekazanych przez Zamawiającego.

Przedstawione powyżej wartości WCP uwzględniono w tabeli stanowiącej zestawienie wszystkich analizowanych kryteriów, na podstawie których typowane są linie rekomendowane do obsługi przez pojazdy niskoemisyjne. Biorąc pod uwagę kryteria takie jak gęstość zaludnienia wzdłuż linii autobusowych, ich prędkość komunikacyjna, energochłonność oraz wielkość wskaźnika WCP, dla każdej linii wyznaczono liczbę spełnianych kryteriów.

Tabela 33. Zestawienie wszystkich kryteriów wymiany pojazdów na pojazdy niskoemisyjne na liniach autobusowych.

Nr linii	Prędkość komunikacyjna linii autobusowych	Gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych	Energochłonność linii autobusowych	WCP większy niż 1,523	Liczba kryteriów, które spełnia linia
101	X	X	X		3
103	X	X	X	X	4
105	X				1
106					0
107		X	X	X	3
108					0
109	X		X		2
110	X	X	X	X	4
111	X		X		2
112					0
113		X	X		2
114				X	1
116	X	X	X		3
117		X	X	X	3
120	X	X	X	X	4
121		X		X	2
124				X	1
126		X	X	X	3
127	X	X	X		3
128					0
129				X	1
130	X		X		2
131		X	X	X	3
136	X	X	X	X	4
141	X	X	X		Zakładana likwidacja linii w przyszłości*
201	X				1

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

<b>202</b>	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>Zakładana likwidacja linii w przyszłości*</b>
<b>203</b>	<b>X</b>				<b>1</b>
<b>204</b>	<b>X</b>				<b>Zakładana likwidacja linii w przyszłości*</b>
<b>205</b>	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>2</b>
<b>302</b>					<b>0</b>
<b>303</b>	<b>X</b>		<b>X</b>		<b>2</b>
<b>304</b>					<b>0</b>
<b>305</b>				<b>X</b>	<b>1</b>
<b>307</b>					<b>0</b>
<b>309</b>	<b>X</b>				<b>1</b>

Źródło: Opracowanie własne.

\*Założenia na podstawie dokumentu pn. „Konceptcja optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie” oraz danych przekazanych przez ZDZiT.

Zgodnie z powyższą tabelą wytypowano linie autobusowe, które spełniają największą ilość z analizowanych kryteriów. Poniżej zaprezentowano wyniki przeprowadzonych analiz.

**Tabela 34. Podsumowanie liczby kryteriów spełnianych przez dane linie autobusowe.**

Liczba spełnionych kryteriów	Numery linii
Cztery kryteria	103, 110, 120, 136
Trzy kryteria	101, 107, 116, 117, 126, 127, 131
Dwa kryteria	109, 111, 113, 121, 130, 205, 303
Jedno kryterium	105, 114, 124, 129, 201, 203, 305, 309

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie analizy przeprowadzonej w celu doboru pojazdów niskoemisyjnych do obsługi linii autobusowych w Olsztynie rekomenduje się wykorzystanie pojazdów zasilanych CNG na trasach linii autobusowych, które spełniają więcej niż dwa kryteria przedstawione w powyższej tabeli. W związku z powyższym linie dedykowane autobusom napędzanym wodorem to linie numer **103, 110, 120, 136, 101, 107, 116, 117, 126, 127, 131**.

### Lokalizacje stacji dla wariantu 3a

W tym rozwiązaniu lokalizacja stacji tankowania CNG jest uzależniona od planów przedstawionych przez PSG zgodnie, z którymi na koniec 2021 roku planowana jest budowa stacji tankowania CNG przy ulicy Lubelskiej.

### Lokalizacje stacji dla wariantu 3b

Wariant 3b zakładający własnej stacji tankowania CNG przez gminę Olsztyn przewiduje budowę stacji na terenie zlokalizowanym w miejscu ogólnodostępnym dla wszystkich kursujących autobusów, przykładowo w pobliżu zajezdni MPK.

### Działania i inwestycje wymagane do realizacji wariantu

Do niezbędnych zadań, które pozwolą zapewnić ciągłości świadczenia usług przewozowych zarówno dla podwariantu 3a jak i 3b będzie należeć m. in.:

- Zakup taboru niskoemisyjnego według harmonogramu wymiany floty w wariantach 1 i 2. Przyjęto, że nowo zakupione autobusy napędzane CNG docelowo zastąpią około 30% dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych.

W podwariantach 3a i 3b konieczny będzie również zakup, montaż urządzeń i budowa infrastruktury stacji tankowania sprężonego gazu oraz przyłączenie do sieci dystrybucyjnej (średniego ciśnienia). Przystosowanie warsztatu do obsługi autobusów gazowych na wytypowanej zajezdni oraz przeszkolenie personelu w zakresie obsługi dystrybutorów tankowania gazu.

### Harmonogram wymiany floty według wariantu 3

Wymiana obecnie użytkowanego taboru konwencjonalnego na autobusy zasilane CNG będzie się odbywać zgodnie z harmonogramem wymiany floty przedstawionym w poniższej tabeli, wynikającym z obowiązku ustawowego.

**Tabela 35. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane CNG.**

Rok	Wymagany udział pojazdów zasilanych CNG we flocie	Ilość zakupionych pojazdów zasilanych CNG			Łączna ilość pojazdów zasilanych CNG
		Łącznie	MAXI	MEGA	
2023	10%	20	15	5	20
2025	20%	18	14	4	38
2028	30%	19	14	5	57

Źródło: Opracowanie własne

### Struktura zapotrzebowania na CNG

Zgodnie z przyjętym założeniem dotyczącym średniego rocznego przebiegu pojazdów eksploatowanych na liniach komunikacji miejskiej miasta Olsztyna równym 44 985 km oraz przyjmując średnie zapotrzebowanie na CNG dla autobusu równe 0,52 m<sup>3</sup> CNG/km, obliczono roczne zapotrzebowanie na CNG przez autobusy niskoemisyjne. W tabeli poniżej przedstawiono roczne zapotrzebowanie taboru na CNG.

**Tabela 36. Szacowane zużycie CNG w danym okresie.**

Rok	Roczny przejechany dystans przez tabor zeroemisyjny [km]	Roczne zużycie CNG [m <sup>3</sup> ]
od 2023	799 200	415 584,00
od 2025	1 518 480	789 609,60
od 2028	2 277 720	1 184 414,40

Źródło: Opracowanie własne.

### Struktura zapotrzebowania na paliwa ON

Wprowadzanie pojazdów zasilanych CNG do taboru przeznaczonego do obsługi przewozów w ramach komunikacji miejskiej będzie wiązało się ze zmniejszeniem użytkowania pojazdów konwencjonalnych, a co z tego wynika ze zmniejszeniem zużycia zapotrzebowania na olej napędowy. Ze względu na wymianę jednakowej ilości autobusów konwencjonalnych jak w wariantcie 1, szacowane zużycie oleju napędowego przez niepodlegających wymianie tabor prezentują się tak jak w przypadku wariantu 1 (Tabela 29).

### 4.2.5. Podsumowanie

Analiza możliwości wdrożenia elektromobilności do komunikacji miejskiej na terenie miasta Olsztyna zgodnie z **wariantem 1** wykazała, iż nie istnieją przeciwwskazania uniemożliwiające na przyłączenie infrastruktury ładowania autobusów elektrycznych do sieci elektroenergetycznej.

- W wariantcie 1a inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru elektrycznego w liczbie umożliwiającej spełnienie wymagań wynikających z ustawy o elektromobilności,
  - zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji wolnego ładowania typu plug-in na terenie zajezdni MPK zlokalizowanej przy **al. Sikorskiego**,
  - zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji szybkiego ładowania na przystankach krańcowych zlokalizowane na następujących osiedlach: **Redykajny, Stary Dwór, Dajtki oraz Gutkowo**,

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy elektryczne będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **101, 127, 103, 130, 106, 111, 113, 107**.

- W wariantcie 1b inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru elektrycznego w liczbie umożliwiającej spełnienie wymagań wynikających z ustawy o elektromobilności,
  - zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji wolnego ładowania typu plug-in na terenie zajezdni MPK zlokalizowanej przy **al. Sikorskiego**,
  - zakup, montaż i przyłączenie do sieci dystrybucyjnej stacji szybkiego ładowania na przystankach krańcowych zlokalizowane na następujących osiedlach: **Redykajny oraz Stary Dwór**.

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy elektryczne będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303**.

Analiza możliwości wdrożenia elektromobilności do komunikacji miejskiej na terenie miasta Olsztyna zgodnie z **wariantem 2** wykazała, iż w celu wprowadzeniu tego wariantu konieczna jest inwestycja w budowę stacji tankowania wodorem.

- W wariantcie 2a inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru wodorowego w liczbie umożliwiającej spełnienie wymagań wynikających z ustawy o elektromobilności,
  - budowę stacji tankowania wodoru wyposażonego w elektrolizer do produkcji wodoru na miejscu oraz przyłączenie stacji do sieci dystrybucyjnej.

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy wodorowe będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303**.

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

- W wariantcie 2b inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru wodorowego w liczbie umożliwiającej spełnienie wymagań wynikających z ustawy o elektromobilności,
  - budowę stacji tankowania wodoru na miejscu oraz przyłączenie stacji do sieci dystrybucyjnej. Ogarnięcie dostaw wodoru

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy wodorowe będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303.**

Dodatkowo w niniejszym dokumencie w **wariantcie 3** dokonano analizy możliwości wdrożenia pojazdów niskoemisyjnych tj. autobusów zasilanych CNG do komunikacji miejskiej na terenie miasta Olsztyna.

- W wariantcie 3a inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru niskoemisyjnego zasilanego CNG w liczbie umożliwiającej zastąpienie około 30% dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych.

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy wodorowe będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **103, 110, 120, 136, 101, 107, 116, 117, 126, 127, 131.**

- W wariantcie 3b inwestycje konieczne do zrealizowania przez organizatora transportu publicznego obejmują:
  - zakup taboru niskoemisyjnego zasilanego CNG w liczbie umożliwiającej zastąpienie około 30% dotychczas eksploatowanych autobusów spalinowych.
  - budowę stacji tankowania sprężonego gazu oraz przyłączenie do sieci dystrybucyjnej (średniego ciśnienia).

Wytypowane linie komunikacji, na których autobusy wodorowe będą wykazywać się największą efektywnością to linie: **103, 110, 120, 136, 101, 107, 116, 117, 126, 127, 131.**

## 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 Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Olsztynie.

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 osiągnie poniższe wartości<sup>37</sup>:
  - 2021 r. – 4,20%,
  - 2022 r. – 3,30%,
  - 2023 r. – 3,40%.
  - Od 2024 założono inflację na poziomie 3,4%.
- Stopa dyskonta równa 4%<sup>38</sup>.
- Koszt netto autobusu konwencjonalnego, elektrycznego oraz zasilanego CNG (typu MAXI) został przyjęty na podstawie średniej ceny z najkorzystniejszych ofert otrzymanych w ramach przeprowadzonych przetargów w polskich miastach w 2020 r.<sup>39</sup> Natomiast, koszt autobusu wodorowego (typu MAXI) został przyjęty na podstawie informacji i ofert otrzymanych od producentów autobusów zasilanych wodorem. Przyjęte ceny netto autobusów zestawiono poniżej:
  - Konwencjonalnego – 1,00 mln PLN,
  - Elektrycznego – 2,40 mln PLN,
  - Zasilanego wodorem – 3,40 mln PLN,
  - Zasilanego CNG – 1,00 mln PLN.
- Koszt netto przegubowego autobusu konwencjonalnego, elektrycznego oraz zasilanego CNG został przyjęty na podstawie średniej ceny z najkorzystniejszych ofert otrzymanych w ramach przeprowadzonych przetargów w polskich miastach w 2020 r.<sup>40</sup> Natomiast, koszt przegubowego autobusu wodorowego został przyjęty na podstawie informacji i ofert otrzymanych od producentów autobusów zasilanych wodorem. Przyjęte ceny netto autobusów zestawiono poniżej:
  - Konwencjonalnego – 1,60 mln PLN,
  - Elektrycznego – 3,67 mln PLN,
  - Zasilanego wodorem – 5,44 mln PLN,
  - Zasilanego CNG – 1,70 mln PLN.

<sup>37</sup> Źródło: [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 24.07.2021 r.

<sup>38</sup> Przyjęto zgodnie z założeniami zawartymi w Niebieskiej Księdze Transportu.

<sup>39</sup> Sipiński D., Brodacki D., Rynek autobusów CNG w komunikacji publicznej w Polsce, Warszawa, wrzesień 2020 r.

<sup>40</sup> Ibidem



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

- Koszty związane z niezbędną infrastrukturą towarzyszącą dla autobusów elektrycznych przyjęto następujące:
  - Ładowarek dwustanowiskowe typu plug-in – 135,00 tys. PLN/szt.,
  - Ładowarek pantografowych – 450,00 tys. PLN/szt.
- Koszty związane z niezbędną infrastrukturą towarzyszącą dla autobusów zasilanych wodorem przyjęto następujące:
  - Stacja tankowania wodoru przeznaczona dla 57 autobusów – 23,15 mln PLN,
  - Wyposażenie stacji w elektrolizer – 32,41 mln PLN.
- Koszty związane z niezbędną infrastrukturą towarzyszącą dla autobusów zasilanych CNG przyjęto następujące:
  - Stacja tankowania CNG przeznaczona o wydajności 1200 m<sup>3</sup>/h – 4,15 mln PLN,
- Koszt wymiany baterii w autobusie elektrycznym przyjęto na poziomie 500 tys. PLN.
- W analizie pokazano istotne koszty rodzajowe: paliw, serwisu oraz osobowe.
- Przyjęto następujące wartości kosztów serwisowych autobusu w 2020 r.:
  - Konwencjonalnego – 12,5 tys. PLN,
  - Elektrycznego – 10,00 tys. PLN,
  - Zasilanego wodorem – 11,00 tys. PLN,
  - Zasilanego CNG – 14,375 tys. PLN.
- Wzrost kosztów serwisowych został założony zgodnie ze wzrostem inflacji rok do roku.
- Uwzględniono przychody ze sprzedaży biletów.
- Współczynnik FNPV wyznaczano na podstawie wzoru:

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

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.

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

##### **Nakłady inwestycyjne**

W przypadku inwestycji przez Gminę Olsztyn w autobusy zasilane Dieslem o normie Euro 6 łączne nakłady inwestycyjne związane z zakupem taboru wyniosłyby ok. 73,48 mln PLN przy założeniu, że obecny koszt zakupu autobusu o takim napędzie w rozmiarze MAXI wynosi 1,00 mln PLN, a rozmiarze MEGA 1,60 mln PLN (analiza uwzględnia wzrost cen pojazdów związany z występowaniem inflacji).

##### **Koszty eksploatacyjne**

Głównymi czynnikami wpływającymi na wartość kosztów związanych z eksploatacją autobusów zasilanych olejem napędowym są koszty paliwa, eksploatacja wymaganych płynów (AdBlue, oleje i inne) oraz zużywające się części silnika.

##### **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 wymaganej do obsługi nowego taboru. Zostanie w nim wykorzystane istniejące zaplecze warsztatowo – utrzymaniowe.

##### **Części zamienne**

Przyjęto założenie, że poza wymienionym taborem, struktura wieku eksploatowanych autobusów będzie w kolejnych latach taka sama, a czynnikiem wpływającym na koszty związane z utrzymaniem taboru na odpowiednim poziomie użytkowania jest rosnący wiek pojazdów. Dodatkowo przyjęto, iż co najmniej przez pierwsze 3 lata zakupione pojazdy będą podlegały gwarancji producenta i Podmiot Zarządzający Flotą nie będzie ponosił dodatkowych kosztów z tego tytułu.

##### **Wskaźniki ekonomiczne**

Poszczególne składowe kosztów w wydatkach, wynikających z wprowadzenia założeń wariantu 0, ponoszonych przez Gminę Olsztyn w latach 2022-2035 zostały przedstawione w poniższej tabeli.

W analizowanym okresie koszty zakupu oleju napędowego na dotychczas eksploatowany, jak i wymieniony tabor wyniosą ok. 255,70 mln PLN. Natomiast całkowity serwis pojazdów w okresie 15 lat wyniesie ok. 41,26 mln PLN.

Rentowność wariantu 0 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła: **FNPV = - 81,52 mln PLN.**

**Tabela 37. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 0.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa łącznie [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Suma [mln PLN]
2021	2 337 500	-	13 361 931	-	<b>15,70</b>
2022	2 414 638	-	13 802 874	23 759 000	<b>39,98</b>
2023	2 229 705	-	14 272 172	-	<b>16,50</b>
2024	2 305 515	-	14 757 426	22 530 538	<b>39,59</b>
2025	2 126 955	-	15 259 178	-	<b>17,39</b>
2026	2 199 271	-	15 777 990	-	<b>17,98</b>
2027	2 274 046	305 241	16 314 442	27 193 320	<b>46,09</b>
2028	2 051 525	315 619	16 869 133	-	<b>19,24</b>
2029	2 121 277	620 066	17 442 684	-	<b>20,18</b>
2030	2 193 401	641 148	18 035 735	-	<b>20,87</b>
2031	2 267 976	662 947	18 648 950	-	<b>21,58</b>
2032	2 345 088	1 028 231	19 283 014	-	<b>22,66</b>
2033	2 424 821	1 063 191	19 938 637	-	<b>23,43</b>
2034	2 507 265	1 099 339	20 616 550	-	<b>24,22</b>
2035	2 592 511	1 136 717	21 317 513	-	<b>25,05</b>

Źródło: Opracowanie własne.

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

##### **Nakłady inwestycyjne**

Założono, że koszt autobusu elektrycznego typu MAXI w 2020 roku wyniósł 2,40 mln PLN, natomiast autobusu przegubowego był równy 3,67 mln PLN. Przy zakupie elektrobusów w ilości spełniającej obowiązek wynikający z Ustawy o elektromobilności do 2028 roku szacowany łączny koszt zakupu nowego taboru wyniesie ok. 173,54 mln. PLN.

##### **Infrastruktura zasilania**

Nakłady inwestycyjne przeznaczone na infrastrukturę związane są z modernizacją sieci dystrybucyjnej pod punkty ładowania wymagają określenia przez operatora sieci dystrybucyjnej warunków przyłączenia. Rozbudowa niezbędnej infrastruktury w każdym podwariancie będzie przebiegała zgodnie z harmonogramem przedstawionym w Tabeli 27.

W wariantcie 1a koszty zakupu oraz instalacji stacji ładowania typu plug-in, a także montażu stacji szybkiego ładowania pantografowego szacuje się, że wyniosą 9,31 mln PLN.

W wariantcie 1b koszty zakupu oraz instalacji stacji ładowania typu plug-in, a także montażu stacji szybkiego ładowania pantografowego szacuje się, że wyniosą 6,83 mln PLN.

##### **Koszty eksploatacyjne**

Różnicą w stosunku do wariantu 0 jest zmiana struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego. Część kosztów zakupu oleju napędowego, zostanie zastąpiona przez koszty związane z zakupem energii elektrycznej. Ceny energii elektrycznej zostały przyjęte zgodnie z obecnie obowiązującymi cenami na rynku energii elektrycznej, tj. 410 zł/MWh za zakup energii elektrycznej oraz koszty dystrybucyjne na poziomie 156 zł/MWh.

##### **Pozostałe koszty**

W kosztach serwisowych zawarto koszt wymiany baterii na poziomie 500 tys. PLN po 12 latach eksploatacji.

##### **Wskaźniki ekonomiczne**

Poszczególne składowe kosztów w wydatkach związanych z realizacją założeń każdego z podwariantów, stanowiących różne rozwiązania wariantu 1, ponoszonych przez Gminę Olsztyn zostały przedstawione w poniższych tabelach. W analizowanym okresie całkowite koszty przeznaczone na zakup energii wyniosą 289,65 mln PLN, a wydatki przeznaczone na serwis wymienionych pojazdów 5,84 mln PLN.

Rentowność wariantu 1 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła:

- Dla wariantu 1a: **FNPV = - 328,38 mln PLN,**
- Dla wariantu 1b: **FNPV = - 324,98 mln PLN.**

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

**Tabela 38. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1a.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt energii elektrycznej dla taboru wymienionego [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
<b>2021</b>	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
<b>2022</b>	2 414 638	-	13 802 874	-	56 788 039	3 393 405,00	<b>76,40</b>
<b>2023</b>	2 229 705	-	12 745 736	7 480 341	-	-	<b>22,46</b>
<b>2024</b>	2 305 515	-	13 179 092	7 734 673	53 322 274	3 329 881,02	<b>79,87</b>
<b>2025</b>	2 126 955	-	12 158 383	15 195 538	-	-	<b>29,48</b>
<b>2026</b>	2 199 271	221 403	12 571 768	15 712 186	-	-	<b>30,70</b>
<b>2027</b>	2 274 046	228 931	12 999 208	16 246 401	63 429 103	2 582 339,79	<b>97,76</b>
<b>2028</b>	2 051 525	449 758	11 727 205	25 198 168	-	-	<b>39,43</b>
<b>2029</b>	2 121 277	465 049	12 125 930	26 054 905	-	-	<b>40,77</b>
<b>2030</b>	2 193 401	480 861	12 538 211	26 940 772	-	-	<b>42,15</b>
<b>2031</b>	2 267 976	745 815	12 964 511	27 856 758	-	-	<b>43,84</b>
<b>2032</b>	2 345 088	771 173	13 405 304	28 803 888	-	-	<b>45,33</b>
<b>2033</b>	2 424 821	797 393	13 861 084	29 783 220	-	-	<b>46,87</b>
<b>2034</b>	2 507 265	824 504	14 332 361	30 795 850	-	-	<b>48,46</b>
<b>2035</b>	2 592 511	852 537	14 819 661	31 842 909	-	-	<b>50,11</b>

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tabela 39. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1b.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt energii elektrycznej dla taboru wymienionego [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
<b>2021</b>	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
<b>2022</b>	2 414 638	-	13 802 874	-	56 788 039	2 463 705	<b>75,47</b>
<b>2023</b>	2 229 705	-	12 745 736	7 480 341	-	-	<b>22,46</b>
<b>2024</b>	2 305 515	-	13 179 092	7 734 673	53 322 274	1 341 892	<b>77,88</b>
<b>2025</b>	2 126 955	-	12 158 383	15 195 538	-	-	<b>29,48</b>
<b>2026</b>	2 199 271	221 403	12 571 768	15 712 186	-	-	<b>30,70</b>
<b>2027</b>	2 274 046	228 931	12 999 208	16 246 401	63 429 103	1 483 472	<b>96,66</b>
<b>2028</b>	2 051 525	449 758	11 727 205	25 198 168	-	-	<b>39,43</b>
<b>2029</b>	2 121 277	465 049	12 125 930	26 054 905	-	-	<b>40,77</b>
<b>2030</b>	2 193 401	480 861	12 538 211	26 940 772	-	-	<b>42,15</b>
<b>2031</b>	2 267 976	745 815	12 964 511	27 856 758	-	-	<b>43,84</b>
<b>2032</b>	2 345 088	771 173	13 405 304	28 803 888	-	-	<b>45,33</b>
<b>2033</b>	2 424 821	797 393	13 861 084	29 783 220	-	-	<b>46,87</b>
<b>2034</b>	2 507 265	824 504	14 332 361	30 795 850	-	-	<b>48,46</b>
<b>2035</b>	2 592 511	852 537	14 819 661	31 842 909	-	-	<b>50,11</b>

Źródło: Opracowanie własne

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

#### **Nakłady inwestycyjne**

Nakłady inwestycyjne niezbędne do poniesienia w przypadku zastosowania pojazdów zasilanych wodorem związane są z zakupem nowego taboru oraz kosztem wybudowania niezbędnej infrastruktury towarzyszącej. Przyjęto, że koszt autobusu napędzanego wodorem typu MAXI w 2020 r. wyniósł 3,40 mln PLN, natomiast pojazdu typu MEGA 5,44 mln PLN. W analizie uwzględniono wzrost cen tych pojazdów wynikający z inflacji. Do 2028 r. nakłady na zakup i wymianę taboru na autobusy wodorowe w analizowanym przypadku wyniosą ok. 248,71 mln PLN.

#### **Infrastruktura tankowania wodoru**

Nakłady inwestycyjne na infrastrukturę związane są z zakupem oraz instalacją stacji tankowania, a także z kosztem wyposażenia w stacji w elektrolizer pozwalającym na produkcję wodoru na miejscu w jednym z podwariantów.

W wariantcie 2a koszty zakupu oraz instalacji stacji tankowania wodoru wyposażonej w elektrolizer szacuje się, że wyniosą 57,39 mln PLN.

W wariantcie 2b koszty zakupu oraz instalacji stacji tankowania wodoru szacuje się, że wyniosą 23,91 mln PLN.

#### **Koszty eksploatacyjne**

Podobnie jak w wariantcie 1, różnica kosztów poniesionych w wariantcie 2 w stosunku do wariantu 0 wynika ze zmiany struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego. 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 wodorem. W wariantcie 2a do kosztów operacyjnych należy również doliczyć koszty energii elektrycznej niezbędnej do zasilenia elektrolizera w celu produkcji wodoru, natomiast w wariantcie 2b koszty operacyjne obejmą głównie koszty zakupu wodoru.

#### **Wskaźniki ekonomiczne**

W latach 2022-2035 w wariantcie 2a całkowite koszty przeznaczone na zakup energii niezbędnej do produkcji wodoru na stacji wyniosą ok. 827,56 mln PLN, a wydatki przeznaczone na zakup wodoru w wariantcie 2b będą równe 129,50 mln PLN (bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru). Serwis wymienionych pojazdów 6,23 mln PLN.

Rentowność wariantu 2 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła:

- Dla wariantu 2a: **FNPV = - 798,93 mln PLN,**
- Dla wariantu 2b: **FNPV = - 298,32 mln PLN.**

**Tabela 40. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2a.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt wyprodukowania wodoru dla wymienionego taboru [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
2021	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
2022	2 414 638	-	13 802 874	-	80 780 600	57 393 480	<b>154,39</b>
2023	2 229 705	-	12 745 736	21 372 403	-	-	<b>36,35</b>
2024	2 305 515	-	13 179 092	22 099 065	76 603 830	-	<b>114,19</b>
2025	2 126 955	-	12 158 383	43 415 823	-	-	<b>57,70</b>
2026	2 199 271	236 163	12 571 768	44 891 961	-	-	<b>59,90</b>
2027	2 274 046	244 193	12 999 208	46 418 288	91 328 140	-	<b>153,26</b>
2028	2 051 525	479 741	11 727 205	71 994 765	-	-	<b>86,25</b>
2029	2 121 277	496 053	12 125 930	74 442 587	-	-	<b>89,19</b>
2030	2 193 401	512 918	12 538 211	76 973 635	-	-	<b>92,22</b>
2031	2 267 976	795 536	12 964 511	79 590 738	-	-	<b>95,62</b>
2032	2 345 088	822 585	13 405 304	82 296 823	-	-	<b>98,87</b>
2033	2 424 821	850 552	13 861 084	85 094 915	-	-	<b>102,23</b>
2034	2 507 265	879 471	14 332 361	87 988 143	-	-	<b>105,71</b>
2035	2 592 511	909 373	14 819 661	90 979 739	-	-	<b>109,30</b>

Źródło: Opracowanie własne.



**Tabela 41. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2b.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt wyprodukowania wodoru dla wymienionego taboru [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
2021	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
2022	2 414 638	-	13 802 874	-	80 780 600	23 913 950	<b>120,91</b>
2023	2 229 705	-	12 745 736	21 372 403	-	-	<b>18,32</b>
2024	2 305 515	-	13 179 092	22 099 065	76 603 830	-	<b>95,55</b>
2025	2 126 955	-	12 158 383	43 415 823	-	-	<b>21,08</b>
2026	2 199 271	236 163	12 571 768	44 891 961	-	-	<b>22,03</b>
2027	2 274 046	244 193	12 999 208	46 418 288	91 328 140	-	<b>114,11</b>
2028	2 051 525	479 741	11 727 205	71 994 765	-	-	<b>25,52</b>
2029	2 121 277	496 053	12 125 930	74 442 587	-	-	<b>26,39</b>
2030	2 193 401	512 918	12 538 211	76 973 635	-	-	<b>27,29</b>
2031	2 267 976	795 536	12 964 511	79 590 738	-	-	<b>28,48</b>
2032	2 345 088	822 585	13 405 304	82 296 823	-	-	<b>29,45</b>
2033	2 424 821	850 552	13 861 084	85 094 915	-	-	<b>30,45</b>
2034	2 507 265	879 471	14 332 361	87 988 143	-	-	<b>31,49</b>
2035	2 592 511	909 373	14 819 661	90 979 739	-	-	<b>32,56</b>

Źródło: Opracowanie własne.

\*bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru.

#### 4.3.4. Wariant 3 – wykorzystanie pojazdów zasilanych CNG

##### **Nakłady inwestycyjne**

Zgodnie z założeniami wariantu 3 Gmina Olsztyn poniesie wydatki związane z zakupem nowego taboru zasilanego CNG. Przyjęto, że koszt autobusu napędzanego CNG typu MAXI w 2020 r. wyniósł 1,00 mln PLN, natomiast pojazdu typu MEGA 1,70 mln PLN. W analizie uwzględniono wzrost cen tych pojazdów wynikający z inflacji. Szacowany koszt realizacji tego wariantu wyniesie 74,72 mln PLN.

##### **Infrastruktura tankowania CNG**

W wariantcie 3a w związku z planami PSG dotyczącymi budowy stacji tankowania CNG pod koniec 2021 r. przy ul. Lubelskiej zakłada się, że Gmina Olsztyn w przypadku realizacji wariantu 3a nie poniesie kosztów związanych z koniecznością budowy takiej stacji.

W wariantcie 3b, nakłady inwestycyjne na infrastrukturę związane będą z zakupem oraz instalacją stacji tankowania CNG o wydajności 1200 m<sup>3</sup>/h i wyniosą 4,15 mln PLN.

##### **Koszty eksploatacyjne**

Podobnie jak w wariantcie 1, różnica kosztów poniesionych w wariantcie 3 w stosunku do wariantu 0 wynika ze zmiany struktury kosztów paliwa od momentu wprowadzenia taboru zeroemisyjnego. 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 CNG do zasilania wymienionych pojazdów.

##### **Wskaźniki ekonomiczne**

Całkowite koszty w latach 2022-2035 przeznaczone na zakup paliwa CNG wyniosą 67,72 mln PLN, a koszty związane z serwisem wymienionych pojazdów 8,95 mln PLN.

Rentowność wariantu 3 określono za pomocą współczynnika finansowej wartości bieżącej netto, która wyniosła:

- Dla wariantu 3a: **FNPV = - 89,78 mln PLN,**
- Dla wariantu 3b: **FNPV = - 93,75 mln PLN.**

**Tabela 42. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3a.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt zakupu CNG dla wymienionego taboru [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
2021	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
2022	2 414 638	-	13 802 874	-	24 275 500	-	<b>40,49</b>
2023	2 229 705	-	12 745 736	1 749 001	-	-	<b>16,72</b>
2024	2 305 515	-	13 179 092	1 808 467	22 972 313	-	<b>40,27</b>
2025	2 126 955	-	12 158 383	3 552 914	-	-	<b>17,84</b>
2026	2 199 271	339 485	12 571 768	3 673 713	-	-	<b>18,78</b>
2027	2 274 046	351 027	12 999 208	3 798 619	27 471 700	-	<b>46,89</b>
2028	2 051 525	689 628	11 727 205	5 891 658	-	-	<b>20,36</b>
2029	2 121 277	713 076	12 125 930	6 091 974	-	-	<b>21,05</b>
2030	2 193 401	737 320	12 538 211	6 299 101	-	-	<b>21,77</b>
2031	2 267 976	1 143 583	12 964 511	6 513 271	-	-	<b>22,89</b>
2032	2 345 088	1 182 465	13 405 304	6 734 722	-	-	<b>23,67</b>
2033	2 424 821	1 222 669	13 861 084	6 963 703	-	-	<b>24,47</b>
2034	2 507 265	1 264 240	14 332 361	7 200 469	-	-	<b>25,30</b>
2035	2 592 511	1 307 224	14 819 661	7 445 284	-	-	<b>26,16</b>

Źródło: Opracowanie własne.

**Tabela 43. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3b.**

Rok	Koszty serwisowe taboru niewymienionego [PLN]	Koszty serwisowe taboru wymienionego [PLN]	Zakup paliwa dla taboru niewymienionego [PLN]	Koszt zakupu CNG dla wymienionego taboru [PLN]	Zakup nowego taboru [PLN]	Nakłady na infrastrukturę [PLN]	Suma, mln PLN
2021	2 337 500	-	13 361 931	-	-	-	<b>15,70</b>
2022	2 414 638	-	13 802 874	-	24 275 500	4 150 000	<b>44,78</b>
2023	2 229 705	-	12 745 736	1 749 001	-	-	<b>16,72</b>
2024	2 305 515	-	13 179 092	1 808 467	22 972 313	-	<b>40,27</b>
2025	2 126 955	-	12 158 383	3 552 914	-	-	<b>17,84</b>
2026	2 199 271	339 485	12 571 768	3 673 713	-	-	<b>18,78</b>
2027	2 274 046	351 027	12 999 208	3 798 619	27 471 700	-	<b>46,89</b>
2028	2 051 525	689 628	11 727 205	5 891 658	-	-	<b>20,36</b>
2029	2 121 277	713 076	12 125 930	6 091 974	-	-	<b>21,05</b>
2030	2 193 401	737 320	12 538 211	6 299 101	-	-	<b>21,77</b>
2031	2 267 976	1 143 583	12 964 511	6 513 271	-	-	<b>22,89</b>
2032	2 345 088	1 182 465	13 405 304	6 734 722	-	-	<b>23,67</b>
2033	2 424 821	1 222 669	13 861 084	6 963 703	-	-	<b>24,47</b>
2034	2 507 265	1 264 240	14 332 361	7 200 469	-	-	<b>25,30</b>
2035	2 592 511	1 307 224	14 819 661	7 445 284	-	-	<b>26,16</b>

Źródło: Opracowanie własne.

#### 4.3.5. Podsumowanie

W celu wyznaczenia rentowności analizowanych założeń określono dla każdego wariantu współczynnik FNPV - Finansową wartość bieżąca netto inwestycji. Wartość tą obliczono na podstawie skorygowanych przepływów pieniężnych (przychodów ze sprzedaży biletów i porozumień międzygminnych), a następnie zdyskontowano.

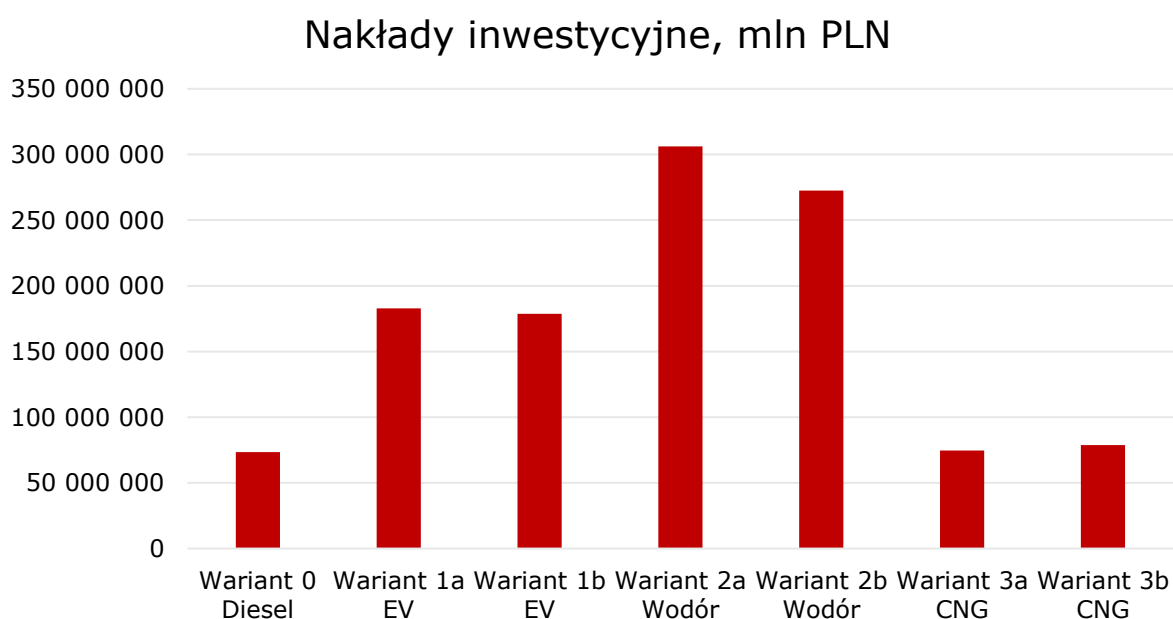
Wskaźniki FNPV na przestrzeni lat 2021-2035 wyniosą odpowiednio:

- Wariant 0: **FNPV = - 81,52 mln PLN**
- Wariant 1:
  - Wariant 1a: **FNPV = - 328,38 mln PLN**
  - Wariant 1b: **FNPV = - 324,98 mln PLN**
- Wariant 2:
  - Wariant 2a: **FNPV = - 798,93 mln PLN**
  - Wariant 2b: **FNPV = - 298,32 mln PLN (bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru)**
- Wariant 3:
  - Wariant 3a: **FNPV = - 89,78 mln PLN**
  - Wariant 3b: **FNPV = - 93,75 mln 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. Poniżej przedstawiono również tabelaryczne zestawienie wszystkich nakładów niezbędnych do realizacji każdego podwariantu do 2028 r.

**Wykres 5. Porównanie nakładów inwestycyjnych w każdym wariantcie.**



Źródło: Opracowanie własne.

**Tabela 44. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych wariantach w latach 2021-2028.**

Rok		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	SUMA
<b>Wariant 0</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	23,76	-	22,53	-	-	27,19	-	<b>73,48</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Wariant 1a</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	56,79	-	53,32	-	-	63,43	-	<b>182,85</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	3,39	-	3,33	-	-	2,58	-	
<b>Wariant 1b</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	56,79	-	53,32	-	-	63,43	-	<b>178,83</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	2,46	-	1,34	-	-	1,48	-	
<b>Wariant 2a</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	80,78	-	76,60	-	-	91,33	-	<b>306,10</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	57,39	-	-	-	-	-	-	
<b>Wariant 2b</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	80,78	-	76,60	-	-	91,33	-	<b>272,62</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	23,91	-	-	-	-	-	-	
<b>Wariant 3a</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	24,28	-	22,97	-	-	27,47	-	<b>74,72</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Wariant 3b</b>	Zakup nowego taboru [mln PLN]	-	24,28	-	22,97	-	-	27,47	-	<b>78,87</b>
	Nakłady na infrastrukturę [mln PLN]	-	4,15	-	-	-	-	-	-	

Źródło: Opracowanie własne.

## 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>41</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>42</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>43</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>41</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>42</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>43</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 45. 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 2	1 018,4	0	4,180	26,600	0,570
Autobus Diesel	EURO 3	1 018,4	0	2,508	19,000	0,380
Autobus Diesel	EURO 4	1 018,4	0	1,748	13,300	0,076
Autobus Diesel	EURO 5	1 018,4	0	1,748	7,600	0,076
Autobus Diesel	EURO 6	1 018,4	0	0,494	1,520	0,038
Autobus CNG	EURO 6	827,95	0	0,600	1,830	0,000
Autobus elektryczny		1 006,600	0,511	0,005	0,576	0,029

Źródło: Opracowanie własne na podstawie „Kalkulator emisji zanieczyszczeń i kosztów klimatu dla środków transportu publicznego”, Centrum Unijnych Projektów Transportowych oraz „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 2016 rok”.

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 Olsztyna 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 Olsztynie wynosi 38 949 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 52 m<sup>3</sup>/100 km,
- Wycenę kosztów i korzyści dokonano w wartościach netto.

W celu dokonania oceny ekonomicznej analizowanych wariantów wymiany taboru obliczono ekonomiczny wskaźnik efektywności, czyli:

- Ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV).

#### 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. 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.

**Tabela 46. 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>	128 504,69	28 716 170,87
SO <sub>2</sub>	-	-
NMHC/NMVOC	116,70	1 346 786,48
NO <sub>x</sub>	502,74	45 746 548,73
PM	7,58	11 402 537,52
<b>SUMA</b>	<b>129 131,71</b>	<b>87 212 043,60</b>

Źródło: Opracowanie własne

W trakcie eksploatacji autobusów spalinowych dwutlenek węgla jest wytwarzany w największej ilości (128 504,69 t). Największe koszty środowiskowe wynikają z emisji NO<sub>x</sub>. Dla okresu objętego analizą będzie to około 45,75 mln PLN. W przypadku silników spalinowych nie występuje emisja SO<sub>2</sub>. Sumaryczne koszty środowiskowe z tytułu eksploatacji taboru spalinowego wyniosą około 87,21 mln PLN.

#### 4.4.3. Wariant 1 – wykorzystanie pojazdów elektrycznych w ilości 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 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 47. 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>	128 180,89	28 640 535,56
SO <sub>2</sub>	14,02	1 486 346,92
NMHC/NMVOC	103,28	1 181 444,43
NO <sub>x</sub>	476,84	43 191 143,15
PM	7,33	11 000 921,99
SUMA	128 782,36	85 500 392,06

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tabela 48. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariantcie 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>	323,80	75 635,31
SO <sub>2</sub>	-14,02	-1 486 346,92
NMHC/NMVOC	13,42	165 342,05
NO <sub>x</sub>	25,90	2 555 405,58
PM	0,25	401 615,53
SUMA	349,35	1 711 651,55

Źródło: Opracowanie własne

Dla Wariantu 1 największy zysk pojawi się z ograniczenia emisji NO<sub>x</sub> (25,90 ton), co w konsekwencji przyniesie około 2,56 mln PLN zysku środowiskowego. Koszty emisji niemetanowych lotnych związków organicznych NMHC/NMVOC zostaną ograniczone o około 165 tys. PLN. Jedyny związek, którego wytwarzanie się zwiększy to SO<sub>2</sub>. Należy tu podkreślić, iż

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

według wskaźników emisji elektrobusesy także są odpowiedzialne za emisje, jednakże odbywa się to w miejscach produkcji energii elektrycznej (w elektrowniach lub elektrociepłowniach). Łączne dodatkowe koszty związane z emisją SO<sub>2</sub> za pośrednictwem autobusów elektrycznych wyniosą około 1,49 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.

W poniższej tabeli przedstawiono wskaźniki ekonomiczne dla wariantu 1a oraz 1b.

**Tabela 49. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1a i 1b.**

Wskaźnik	ENPV [mln PLN]
Wariant 1a	-325,25
Wariant 1b	-321,86

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne zarówno w wariantcie 1a, jak i 1b jest nieefektywna, ponieważ wskaźniki ENPV wynoszą odpowiednio -325,25 mln PLN oraz -321,86 mln PLN.

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 w okresie objętym 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 50. 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>	100 558,93	22 188 458,95
SO <sub>2</sub>	-	-
NMHC/NMVOC	103,14	1 179 753,81
NO <sub>x</sub>	461,03	41 631 912,63
PM	6,54	9 706 827,50
SUMA	101 129,64	74 706 952,90

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tabela 51. 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>	27 945,76	6 527 711,92
SO <sub>2</sub>	-	-
NMHC/NMVOC	13,56	167 032,66
NO <sub>x</sub>	41,71	4 114 636,10
PM	1,04	1 695 710,02
SUMA	28 002,07	12 505 090,70

Źródło: Opracowanie własne

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

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów wodorowych przyniesie ograniczenie emisji o około 28 tys. ton oraz zysk wynikający ze zmniejszenia kosztów środowiskowych o wartości około 12,51 mln PLN. W największym stopniu zostanie ograniczona emisja CO<sub>2</sub> (około 27,95 tys. ton), co w konsekwencji przyniesie około 6,53 mln PLN zysku środowiskowego.

### Wskaźniki ekonomiczne

W poniższej tabeli przedstawiono wskaźniki ekonomiczne dla wariantu 2a oraz 2b.

**Tabela 52. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2a i 2b.**

Wskaźnik	ENPV [mln PLN]
Wariant 2a	-788,51
Wariant 2b	-287,90

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne zarówno w wariantach 2a, jak i 2b jest nieefektywna, ponieważ wskaźniki ENPV wynoszą odpowiednio -788,51 mln PLN oraz -287,90 mln PLN.

#### 4.4.2. Wariant 3 – wykorzystanie 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 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 53. 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>	123 370,10	27 513 736,39
SO <sub>2</sub>	-	-
NMHC/NMVOC	119,72	1 383 572,78
NO <sub>x</sub>	513,05	46 737 521,93
PM	6,57	9 753 901,34
<b>SUMA</b>	<b>124 009,43</b>	<b>85 388 732,44</b>

Źródło: Opracowanie własne

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

**Tabela 54. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariantcie 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>	5 134,59	1 202 434,48
SO <sub>2</sub>	-	-
NMHC/NMVOC	-3,02	-36 786,30
NO <sub>x</sub>	-10,31	-990 973,20
PM	1,01	1 648 636,19
<b>SUMA</b>	<b>5 122,28</b>	<b>1 823 311,16</b>

Źródło: Opracowanie własne

Wprowadzenie do eksploatacji autobusów CNG przyniesie ograniczenie emisji o około 5,12 tys. ton oraz zysk wynikający ze zmniejszenia kosztów środowiskowych o wartości około 1,82 mln PLN. Ograniczone zostaną emisje CO<sub>2</sub> i PM, natomiast zwiększą się emisje NO<sub>x</sub> i NMHC/NMVOC. Największe oszczędności wynikną ze zmniejszenia emisji PM (około 1,65 mln PLN).

### Wskaźniki ekonomiczne

W poniższej tabeli przedstawiono wskaźniki ekonomiczne dla wariantu 3a oraz 3b.

**Tabela 55. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 3a i 3b.**

Wskaźnik	ENPV [mln PLN]
Wariant 3a	-87,89
Wariant 3b	-91,85

Źródło: Opracowanie własne

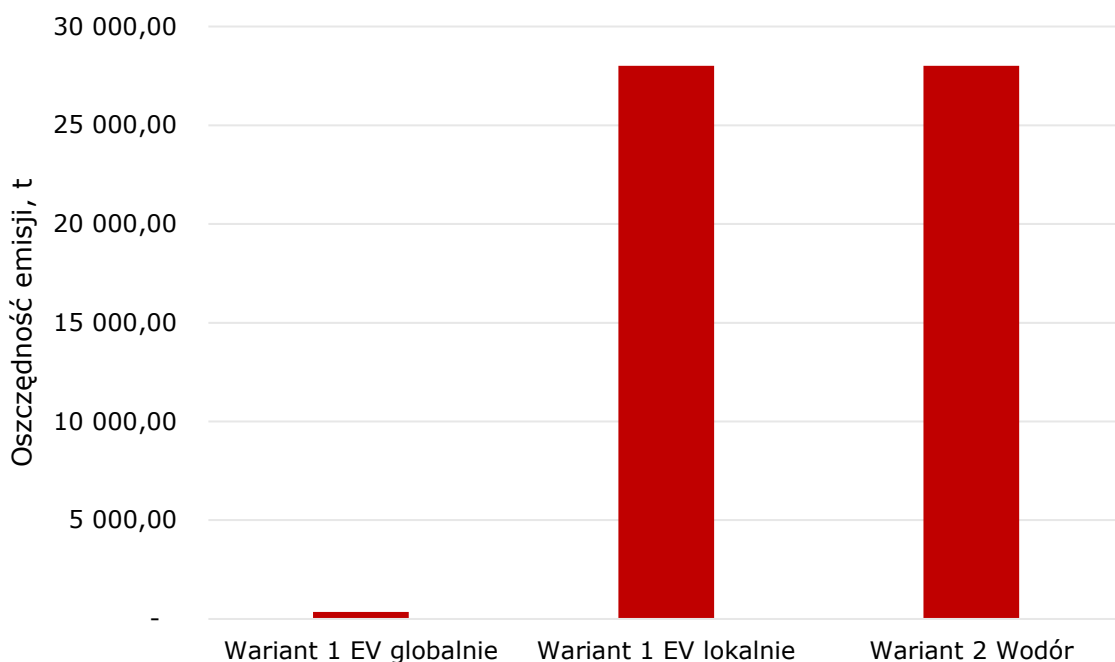
Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że inwestycja w autobusy elektryczne zarówno w wariantcie 3a, jak i 3b jest nieefektywna, ponieważ wskaźniki ENPV wynoszą odpowiednio -87,89 mln PLN oraz -91,85 mln PLN.



#### 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 6. Oszczędność emisji dla poszczególnych wariantów w latach 2021-2035.**



Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z uzyskanymi wynikami najkorzystniejszym wariantem pod względem środowiskowym jest wariant 1 (emisja liczona lokalnie) i 2, w których zakłada się wymianę taboru na autobusy zeroemisyjne od 2023 r. W tym przypadku emisja zostanie ograniczona o około 28 000 ton. Emisje dla wariantu 1 rozpatrywane globalnie dają niską oszczędność emisji, co 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 Miasta Olsztyn pojazdy zasilane energią elektryczną są pojazdami zeroemisyjnymi, ponieważ generowane zanieczyszczenia przeniesione są z obszaru miasta do miejsc wytwarzania energii (wariant 1 EV lokalnie).

W celu dokonania oceny ekonomicznej analizowanych wariantów wymiany taboru obliczono współczynnik ENPV - Ekonomiczną wartością bieżącą netto inwestycji.

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

Wskaźniki ENPV na przestrzeni lat 2021-2035 wyniosą odpowiednio:

- Wariant 1:
  - Wariant 1a: **FNPV = - 325,25 mln PLN**
  - Wariant 1b: **FNPV = - 321,86 mln PLN**
- Wariant 2:
  - Wariant 2a: **FNPV = - 788,51 mln PLN**
  - Wariant 2b: **FNPV = - 287,90 mln PLN (bez uwzględnienia kosztów logistyki dostaw wodoru)**
- Wariant 3:
  - Wariant 3a: **FNPV = - 87,89 mln PLN**
  - Wariant 3b: **FNPV = - 91,85 mln PLN**

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

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 Olsztyna.

## 5. Podsumowanie

Niniejszy dokument został przygotowany w celu oceny efektywności finansowej i społeczno-ekonomicznej inwestycji polegającej na zakupie taboru zeroemisyjnego dla świadczenia usług komunikacji miejskiej w Olsztynie.

Przeprowadzona analiza kosztów i korzyści odnosi się do możliwości wymiany aktualnie użytkowanej floty pojazdami uznawanymi za spełniające wymogi Ustawy o elektromobilności. Analizie poddano tabor autobusowy, którym dysponuje Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacji w Olsztynie oraz tabor, którym dysponuje operator zewnętrzny jakim jest konsorcjum firm Meteor sp. z o.o. i IREX-3 sp. z o.o., obsługujące transport publiczny w Olsztynie. W analizie wskazano możliwe kierunki rozwoju floty autobusowej w Olsztynie:

- **Wariant 0 (bazowy)** – zakładający utrzymanie wyłącznie autobusów konwencjonalnych (zakupione autobusy będą z normą emisji EURO 6 i zastępować będą najstarsze autobusy zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2).
- **Wariant 1** – zakładający zakup autobusów elektrycznych i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;
- **Wariant 2** – zakładający zakup autobusów zasilanych wodorem i wymianę taboru zgodnie z obowiązkiem wynikającym z ustawy o elektromobilności;

Dodatkowo, przeanalizowano Wariant 3 zakładający zakup autobusów zasilanych CNG i wymianę taboru zgodnie z harmonogramem w wariantach 1 i 2.

Dla wariantów zakładających wymianę autobusów na pojazdy niskoemisyjne i zeroemisyjne przeanalizowano po dwa podwarianty stanowiące różne rozwiązania doboru tras przewidzianych dla wymienianych pojazdów oraz lokalizacji stacji ładowania, tankowania wodoru lub CNG. Każdy z analizowanych podwariantów zakłada wymianę pojazdów w liczbie spełniającej wymogi wynikające z Ustawy o elektromobilności. Założenia dla wspomnianych podwariantów prezentują się następująco:

- **Wariant 1a** zakłada dobór linii autobusowych przewidzianych do całkowitej elektryfikacji, z możliwością doładowania tych pojazdów na stacjach krańcowych za pomocą ładowarek pantografowych,
- **Wariant 1b** zakłada dobór linii autobusowych przeznaczonych do częściowej elektryfikacji, z których część autobusów będzie miała możliwość doładowania na stacjach krańcowych wyposażonych w ładowarki pantografowe, a pozostałe pojazdy będą poddawane wyłącznie procesowi wolnego ładowania w bazie głównej w wytypowanej lokalizacji,
- **Wariant 2a** zakłada budowę stacji tankowania wodoru wyposażoną w elektrolizer umożliwiający produkcję wodoru na miejscu,
- **Wariant 2b** zakłada budowę stacji tankowania wodoru oraz dostarczanie wodoru na stację tankowania w zbiornikach cylindrycznych,
- **Wariant 3a** zakłada wykorzystanie stacji tankowania CNG zlokalizowanej przy ul. Lubelskiej budowanej przez PSG,

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

- **Wariant 3b** zakłada budowę stacji tankowania CNG przez gminę Olsztyn w wytypowanej lokalizacji.

Dobór tras dla wyżej opisanych podwariantów przeprowadzono w oparciu o kryteria takie jak: prędkość komunikacyjną linii autobusowych, gęstość zaludnienia wzdłuż tras linii autobusowych, energochłonność linii autobusowych oraz wielkość wskaźnika czasu przejazdu WCP. Dodatkowo wzięto pod uwagę plany przedstawione przez spółki MPK i ZDZiT oraz dokument pn. „Koncepcja optymalizacji oferty przewozowej olsztyńskiej komunikacji miejskiej po realizacji kolejnego etapu rozbudowy sieci tramwajowej w Olsztynie”. Uwzględniając wyżej wspomniane kryteria dla każdego z podwariantów wytypowano linie komunikacji, na których autobusy zeroemisyjne (elektryczne lub wodorowe) oraz niskoemisyjne będą wykazywać się największą efektywnością:

- **Dla wariantu 1a:** linie numer 101, 127, 103, 130, 106, 111, 113, 107.
- **Dla wariantu 1b:** linie numer 101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303.
- **Dla wariantu 2a i wariantu 2b:** linie numer 101, 103, 109, 110, 111, 113, 116, 120, 127, 130, 136, 205, 303.
- **Dla wariantu 3a i wariantu 3b:** linie numer 103, 110, 120, 136, 101, 107, 116, 117, 126, 127, 131.

Ponadto, dla wariantu zakładającego wymianę taboru na pojazdy zasilane elektrycznie w każdym podwariantcie wytypowano lokalizacje stacji ładowania wolnego oraz szybkie:

- **Dla wariantu 1a:** stacje wolnego ładowania typu plug-in na terenie zajezdni MPK zlokalizowanej przy al. Sikorskiego, a stacje szybkiego ładowania na przystankach krańcowych zlokalizowane na następujących osiedlach: Redykajny, Stary Dwór, Dajtki oraz Gutkowo,
- **Dla wariantu 1b:** stacje wolnego ładowania typu plug-in na terenie zajezdni MPK zlokalizowanej przy al. Sikorskiego, a stacje szybkiego ładowania na przystankach krańcowych zlokalizowane na następujących osiedlach: Redykajny oraz Stary Dwór.

Przeprowadzona analiza finansowo-ekonomiczna miała na celu wykazanie czy zastosowanie taboru zeroemisyjnego (elektrycznego bądź wodorowego) byłoby z punktu widzenia Gminy Olsztyn inwestycją opłacalną finansowo, tzn. taką, która gwarantowałaby spełnienie warunku zerowej lub dodatniej finansowej wartości bieżącej netto (FNPV). Wyniki przeprowadzonej analizy finansowo-ekonomicznej pozwoliły na przedstawienie następujących wniosków:

- Wyniki analizy wskazują, że **każdy z analizowanych wariantów** zakładających wprowadzenia do eksploatacji autobusów o napędzie zeroemisyjnym jest **nieopłacalny finansowo**,
- Najbardziej korzystnym pod kątem ekonomicznym spośród wariantów dotyczących pojazdów zeroemisyjnych jest **wariant 1b** zakładający wymianę części floty na autobusy elektryczne i przeznaczenie ich częściowej obsługi linii wytypowanych powyżej. Wartość wskaźnika FNPV dla tego podwariantu wyniosła - **324,98 mln PLN**. Wariant 2b zakładający wymianę części

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

floty na autobusy wodorowe oraz zakup i dostawę wodoru z zewnętrznego źródła wykazuje niższą wartość wskaźnika FNPV, równą - 298,32 mln PLN, jednak otrzymana wartość nie uwzględnia kosztów logistyki dostaw wodoru, które znacząco podniosłyby wartość tego wskaźnika i jednocześnie obniżyły opłacalność tej inwestycji.

- Najmniej korzystny pod kątem ekonomicznym spośród wariantów dotyczących pojazdów zeroemisyjnych jest **wariant 2a** zakładający przyjęcie do realizacji i zakup autobusów wodorowych oraz budowę infrastruktury umożliwiającej produkcję wodoru na miejscu. Wartość wskaźnika FNPV dla tego podwariantu wyniosła **-798,93 mln PLN**. Tak wysoka nieopłacalność finansowa wynika głównie z wysokich kosztów zakupu elektrolizera oraz konieczności zakupu dużej ilości energii elektrycznej do wyprodukowania wodoru.
- Nie wykazano znaczącej różnicy w nakładach pomiędzy podwariantami 1a i 1b różniącymi się ilością zakupionych ładowarek pantografowych. Koszty infrastruktury ładowania są nieznacznie wyższe w wariantcie 1a. Ponadto oba te podwarianty charakteryzują się zbliżonym poziomem kosztów operacyjnych.
- Najwyższe nakłady inwestycyjne niezbędne są dla podwariantów 2a i 2b, ze względu na wysokie ceny autobusów zasilanych wodorem oraz całej infrastruktury towarzyszącej.

Przeprowadzona analiza społeczno-ekonomiczna miała na celu wykazanie czy zastosowanie taboru zeroemisyjnego (elektrycznego bądź wodorowego) pozwoliłoby uzyskać efekt ekonomiczny na poziomie zadowalającym z punktu widzenia społecznego. Wyniki przeprowadzonej analizy finansowo-ekonomicznej pozwoliły na przedstawienie następujących wniosków:

- Spadek emisji zanieczyszczeń środowiska osiągnięty w wyniku realizacji wszystkich wariantów wyrażony w ekwiwalencie pieniężnym wynosi maksymalnie do 12,51 mln PLN dla wariantu 2 i wariantu 1 rozpatrywanego lokalnie, co jednak nie umożliwi kompensacji najwyższych kosztów poniesionych na jego realizację w całym okresie analizy.

Na dzień sporządzania analizy nie wykazano opłacalności zastosowania autobusów zeroemisyjnych. Osiągnięcie wysokich wskaźników opłacalności dla tego typu taboru możliwe jest jedynie w przypadku pozyskania wysokiego (na poziomie minimum 80 proc. kosztów netto), bezzwrotnego dofinansowania ze środków zewnętrznych. Tylko w takim przypadku zasadnym będzie podjęcie realizacji obowiązków wynikających z Ustawy o elektromobilności.

## 6. Spis rysunków

Rysunek 1. Przystanek z zainstalowanym stanowiskiem ładowania indukcyjnego.....	21
Rysunek 2. Ładowarka pantografowa przy ul. Spartańskiej w Warszawie.....	22
Rysunek 3. Schemat dostarczania wodoru.....	28
Rysunek 4. Schemat wytwarzania wodoru na stacji tankowania.....	28
Rysunek 5. Podział Olsztyna na strefy.....	35
Rysunek 6. Położenie Olsztyna na tle województwa, aglomeracji i powiatu olsztyńskiego.....	36
Rysunek 7. Plan sieci przesyłowej najwyższych napięć w okolicy Olsztyna.....	37
Rysunek 8. Schemat zasilania miasta Olsztyn i okolic z sieci gazowej wysokiego i średniego ciśnienia. .....	39
Rysunek 9. Schemat linii komunikacyjnych organizowanych przez Gminę Olsztyn (stan na 01.2021 r.).....	45
Rysunek 10. Gęstość zaludnienia w obrębie tras linii autobusowych.....	65

## 7. Spis wykresów

Wykres 1. Liczba przystanków na liniach autobusowych w obu kierunkach. ....	46
Wykres 2. Długość najczęściej kursujących wariantów linii autobusowych.....	47
Wykres 3. Maksymalny czas przejazdu na trasie linii autobusowej dla najczęściej kursujących wariantów. ....	48
Wykres 4. Procentowy udział taborów MPK Olsztyn oraz konsorcjum firm Meteor i Irex-3 przeznaczonych do realizacji zadań przewozowych w Olsztynie. ....	49
Wykres 5. Porównanie nakładów inwestycyjnych w każdym wariantcie.....	101
Wykres 6. Oszczędność emisji dla poszczególnych wariantów w latach 2021-2035. ....	113

## 8. Spis tabel

Tabela 1. Porównanie parametrów stacji szybkiego ładowania elektrobusów. ....	25
Tabela 2. Przykłady systemu ładowania zajezdniowego typu plug-in. ....	25
Tabela 3. Porównanie paliw płynnych .....	31
Tabela 4. Wybrane modele autobusów gazowych. ....	32
Tabela 5. Zestawienie linii znajdujących się na terenie Miasta Olsztyn oraz w jego otoczeniu. ....	36
Tabela 6. Zestawienie stacji transformatorowych znajdujących się w otoczeniu Miasta Olsztyn, obsługiwanych przez operatora sieci przesyłowej.....	37
Tabela 7. Podsumowanie porozumień międzygminnych. ....	41
Tabela 8. Rodzaje oraz numery linii olsztyńskiego transportu zbiorowego. ....	42
Tabela 9. Aktualny wykaz linii autobusowych komunikacji miejskiej organizowanych przez Miasto Olsztyn wraz z liczbą przystanków, częstotliwością kursów oraz długością trasy na najczęściej kursujących wariantach linii (stan na 10.08.2021). ....	43
Tabela 10. Tabor autobusowy (stan na dzień 11.08.2021 r.).....	49
Tabela 11. Skład floty operatorów według wielkości pojazdów.....	50
Tabela 12. Zużycie paliwa w latach 2019-2020. ....	51
Tabela 13. Podsumowanie parametrów eksploatacyjnych za rok 2019 i 2020. ....	51
Tabela 14. Zestawienie przychodów w latach 2018-2020.....	52
Tabela 15. Harmonogram wymiany floty na pojazdy zeroemisyjne dla podmiotów świadczący usługi komunikacji miejskiej w Olsztynie. ....	54
Tabela 16. Zestawienie założeń dla analizowanych wariantów. ....	55
Tabela 17. Założone zmiany w połączeniach autobusowych względem stanu istniejącego wynikające z rozbudowy sieci tramwajowych.....	56
Tabela 18 Zestawienie ilości pojazdów ze względu na normę emisji spalin. ....	57
Tabela 19. Harmonogram wymiany floty na autobusy konwencjonalne z normą emisji Euro 6. ....	58
Tabela 20. Zestawienie wartości prędkości komunikacyjnej dla linii autobusowych.....	61
Tabela 21. Zestawienie średniej ilości energii zawartej w używanym paliwie dla każdej linii. ....	66
Tabela 22. Zestawienie linii autobusowych wytypowanych na podstawie parametru WCP i długość linii.....	68
Tabela 23. Zestawienie wszystkich kryteriów wymiany pojazdów na pojazdy zeroemisyjne na liniach autobusowych.....	70
Tabela 24. Podsumowanie liczby kryteriów spełnianych przez dane linie autobusowe. ....	72



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

Tabela 25. Zestawienie lokalizacji przystanków krańcowych oraz obsługujących je linii autobusowych. ....	73
Tabela 26. Harmonogram zakupu wymaganych ilości stacji ładowanie plug-in oraz stacji ładowania pantografowego. ....	75
Tabela 27. Harmonogram wymiany floty na autobusy elektryczne zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności. ....	75
Tabela 28. Szacowane zużycie energii w danym okresie. ....	76
Tabela 29. Prognoza zużycia paliwa w latach 2022 – 2035. ....	76
Tabela 30. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane wodorem zgodny z założeniami Ustawy o elektromobilności. ....	79
Tabela 31. Szacowane zużycie wodoru i energii w danym okresie. ....	79
Tabela 32. Zestawienie linii autobusowych wytypowanych na podstawie parametru WCP i długość linii. ....	81
Tabela 33. Zestawienie wszystkich kryteriów wymiany pojazdów na pojazdy niskoemisyjne na liniach autobusowych. ....	82
Tabela 34. Podsumowanie liczby kryteriów spełnianych przez dane linie autobusowe. ....	84
Tabela 35. Harmonogram wymiany floty na autobusy napędzane CNG. ....	85
Tabela 36. Szacowane zużycie CNG w danym okresie. ....	85
Tabela 37. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 0. ...	91
Tabela 38. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1a. ...	93
Tabela 39. Zestawienie kosztów w latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 1b. ...	94
Tabela 40. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2a. ....	96
Tabela 41. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 2b. ....	97
Tabela 42. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3a. ....	99
Tabela 43. Zestawienie kosztów latach 2021-2035 wynikających z wprowadzenia wariantu 3b. ...	100
Tabela 44. Nakłady inwestycyjne w poszczególnych wariantach w latach 2021-2028. ....	102
Tabela 45. Wartości wskaźników emisyjności wykorzystanych w analizie społeczno-ekonomicznej. ....	104
Tabela 46. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji przy wykorzystaniu taboru spalinowego oraz opłaty z tym związane. ....	106
Tabela 47. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 1 i koszty z tym związane. ....	107

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

Tabela 48. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariancie 1 oraz zysk środowiskowy z tym związany.....	107
Tabela 49. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 1a i 1b. ....	108
Tabela 50. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 2 i koszty z tym związane. ....	109
Tabela 51. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariancie 2 oraz zysk środowiskowy z tym związany.....	109
Tabela 52. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 2a i 2b. ....	110
Tabela 53. Emisja gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji dla wariantu 3 i koszty z tym związane. ....	111
Tabela 54. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i szkodliwych substancji po wprowadzeniu taboru zeroemisyjnego w Wariancie 3 oraz zysk środowiskowy z tym związany.....	111
Tabela 55. Zestawienie wskaźników ekonomicznych dla wariantu 3a i 3b. ....	112

## 9. Spis załączników

Załącznik nr 1. Zestawienie map z gęstością zaludnienia wzdłuż linii autobusowych.