

Wytyczne dotyczące opracowywania strategii gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze transportu publicznego

Wnioski wyciągnięte ze strategii i planów działania CE4CE



Stopka redakcyjna

Projekt

CE0100250 CE4CE - Infrastruktura transportu publicznego w Europie Środkowej - ułatwianie przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym

Kontakt

Przedsiębiorstwo Transportu Publicznego w Lipsku

Adres: Georgiring 3, 04103 Lipsk, Niemcy

Strona internetowa: <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/>

E-mail: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Finansowane przez

Program Interreg Europa Środkowa: <https://www.interreg-central.eu/>

Autorzy i współautorzy[AB1.1]

Leventcan Er, Laura López, Ana-Maria Baston, Marcelian Handoko (Rupprecht Consult, Niemcy), Stefan Röhl, Conrad Jentzsch (Leipzig Public Transport Company, Niemcy), Jan Röhl (Kruch Railways, Austria), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Włochy), Gabriele Grea, Anja Seyfert (Redmint Impresa Sociale scrl, Włochy), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Polska), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (Uniwersytet Gdański, Polska), Mitja Klemencic (Gmina Maribor), Danijel Hojski (Uniwersytet w Mariborze), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (stowarzyszenie trolley:motion, Austria), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Węgry), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Węgry)

Układ i projekt

Danaja Dvornik (@_studio_kai_) i Marcelian Handoko (Rupprecht Consult)

Data publikacji

marzec 2026 r. [AB2.1]

Prawa autorskie

Niniejsza publikacja jest objęta prawami autorskimi konsorcjum projektu CE4CE, kierowanego przez Przedsiębiorstwo Transportu Publicznego w Lipsku. Wszystkie zdjęcia i elementy tekstowe zawarte w niniejszej publikacji, dla których podano źródło, są własnością wymienionych organizacji lub osób.

Lista skrótów

Skrót	Definicja
AI	Sztuczna inteligencja
BESS	System magazynowania energii w bateriach
BSR	Region Morza Bałtyckiego
CCC	Climate City Contract
EN	Norma europejska
eBRT	Elektryczny system szybkiego transportu autobusowego
ESG	Środowisko, społeczeństwo i ład korporacyjny
UE	Unia Europejska
GIS	System informacji geograficznej
ISO	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna
KPI	Kluczowy wskaźnik efektywności
LCC	Kalkulacja kosztów cyklu życia
MR.pro®	Oprogramowanie/system do zarządzania konserwacją stosowany przez LVB
PV	Fotowoltaika
SECAP	Plan na rzecz zrównoważonej energii i działań w zakresie klimatu
SMEA	Strategiczna ocena konserwacji i inżynierii (odniesienie metodologiczne związane z ustalaniem priorytetów/zarządzaniem ryzykiem)
SUMP	Planowanie zrównoważonej mobilności miejskiej
ZEDAS	System oprogramowania do konserwacji kolei i zarządzania aktywami

Skróty partnerów

Skrót	Nazwa partnera
LVB	Przedsiębiorstwo Transportu Publicznego w Lipsku, Niemcy
PKA	Przewoźnik autobusowy w Gdyni, Polska
UG	Uniwersytet Gdański, Polska
SZKT	Przedsiębiorstwo Transportowe w Szegedzie, Węgry
Kruch	Kruch Railways Innovations, Austria
MOM	Gmina Maribor, Słowenia
UM	Uniwersytet w Mariborze, Słowenia
ATB	ATB Mobility Bergamo, Włochy
Redmint	Przedsiębiorstwo społeczne Redmint, Włochy
Mobilissimus	Mobilissimus Ltd., Węgry
TM	Stowarzyszenie trolley:motion, Austria
RUPPRECHT	Rupprecht Consult (consultant to LVB), Germany

Wykaz Rysunków

Rysunek 1. Schemat AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE). Źródło: stowarzyszenie trolley:motion	9
Rysunek 2. Sektor energetyczny w strukturze kompasu gospodarki o obiegu zamkniętym	12
Rysunek 3. Sektor infrastruktury w strukturze kompasu obiegu zamkniętego	17
Rysunek 4. Sektor taboru kolejowego w strukturze kompasu gospodarki o obiegu zamkniętym (cyrkularności)	21
Rysunek 5. Ramy strategiczne wspierające wizję	26
Rysunek 6. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Mariboru	27
Rysunek 7. Kluczowe działania i harmonogram realizacji w Mariborze	28
Rysunek 8. Warsztaty dla zainteresowanych stron na temat gospodarki o obiegu zamkniętym i energii w transporcie publicznym. Źródło: Gmina Maribor, CE4CE	29
Rysunek 9. Główne wnioski z Mariboru	30
Rysunek 10. Wizja i cele strategiczne planu działania LVB	31
Rysunek 11. Kluczowe działania w Lipsku	33
Rysunek 12. Główne wnioski z Lipska	35
Rysunek 13. Elektrownia fotowoltaiczna zasilająca trolejbusy w zajezdni w Gdyni. Źródło: CE4CE36	36
Rysunek 14. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Gdyni	37
Rysunek 15. Kluczowe działania w Gdyni i harmonogram wdrożenia	37
Rysunek 16. Główne wnioski z Gdyni	40
Rysunek 17. ATB Mobility Bergamo	41
Rysunek 19. Kluczowe działania w Bergamo	41
Rysunek 18. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Bergamo	42
Rysunek 20. Główne wnioski z Bergamo	44

Spis Tabel

Tabela 1. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom energetycznym w transporcie publicznym	15
Tabela 2. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom infrastrukturalnym w transporcie publicznym	19
Tabela 3. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom flotowym w transporcie publicznym	24

Spis treści

Streszczenie	7
1. Wprowadzenie do projektu CE4CE	8
2. Strategie zwiększania obiegu zamkniętego w sektorze transportu publicznego	9
2.1. Strategia pozyskiwania i optymalizacji wykorzystania energii odpadowej oraz odnawialnych źródeł energii w nowych łańcuchach wartości cyklu życia	12
2.2. Strategia dodawania i odzyskiwania wartości oraz optymalizacji dostarczania infrastruktury transportu publicznego w ramach nowych łańcuchów wartości cyklu życia	17
2.3. Strategia dodawania i odzyskiwania wartości oraz optymalizacji dostaw taboru kolejowego/pojazdów w ramach nowych łańcuchów wartości cyklu życia	21
3. Plany działania odnoszące się do kluczowych wyzwań w sektorze transportu publicznego	26
3.1. Plan działania dotyczący pozyskiwania i wykorzystania energii odpadowej z pociągów oraz ładowania zużytych akumulatorów przy użyciu odnawialnych źródeł energii w Mariborze, Słowenia	26
3.2. Plan działania mający na celu optymalizację utrzymania infrastruktury poprzez minimalnie inwazyjne prace konserwacyjne w Lipsku, Niemcy	31
3.3. Plan działania na rzecz optymalizacji dostaw infrastruktury poprzez współpracę i współdzielenie między dostawcami publicznymi, jako aktualizacja miejskiej strategii elektromobilności w Gdyni, Polska	36
3.4. Plan działania mający na celu zwiększenie wartości łańcucha dostaw i optymalizację dostaw pojazdów poprzez zamówienia publiczne oparte na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym w Bergamo we Włoszech	41
4. Wnioski i zalecenia	45
4.1. Wnioski wyciągnięte z procesu opracowywania strategii i planów działania	45
4.2. Zalecenia dotyczące wdrażania środków	45
5. Wnioski	48
6. Referencje	49

Streszczenie

Projekt Interreg Central Europe CE4CE: Infrastruktura transportu publicznego w Europie Środkowej - ułatwienie przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym¹, wspierał myślenie systemowe w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym wśród podmiotów sektora transportu publicznego z krajów Europy Środkowej, aby ograniczyć ilość odpadów i tworzyć wartość w ramach nowych cykli życia infrastruktury i taboru. W tym celu w ramach projektu CE4CE wspólnie opracowano rozwiązania, które poszerzają wiedzę i zwiększają możliwości sektora, pomagają zmniejszyć bariery i koszty oraz inicjują rozwój nowych usług i miejsc pracy wymagających wysokich kwalifikacji, a także strategie i plany działania, które usprawniają kształtowanie polityki, uczenie się i wymianę na poziomie regionalnym i transnarodowym. Celem projektu CE4CE było wdrożenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze transportu publicznego, a tym samym zmniejszenie ilości odpadów, zwiększenie wydajności sektora i poprawa śladu ekologicznego transportu publicznego.

Ponadto interesariusze ze społeczności transportu publicznego współpracowali w ramach CE4CE, aby wspólnie opracować i dostosować procesy i rozwiązania jako kluczowe czynniki umożliwiające integrację zasad gospodarki o obiegu zamkniętym, takie jak koncepcje wymiany danych, nowe i innowacyjne wytyczne dotyczące zamówień publicznych, projekty produktów i modeli biznesowych, rozszerzona ocena cyklu życia oraz metodologie analizy kosztów i korzyści.

Partnerstwo w ramach projektu CE4CE odzwierciedlało całą perspektywę łańcucha wartości i systemu sektora transportowego, obejmując 11 partnerów projektowych z 6 krajów Europy Środkowej, od organizatorów /operatorów transportu publicznego, poprzez instytucje przemysłowe i naukowo-badawcze, po grupy interesariuszy. Aby poszerzyć tę współpracę, partnerzy stowarzyszeni, tacy jak międzynarodowe sieci ICLEI, UITP i EIT Urban Mobility, zostali strategicznie zaangażowani jako doradcy w celu maksymalizacji zasięgu komunikacji i transferu wiedzy na temat wyników projektu.

Jednym z kluczowych czynników sukcesu projektu była współpraca między partnerami projektu, partnerami stowarzyszonymi, ekspertami zewnętrznymi i doradcami, którzy wspólnie opracowali wyniki w oparciu o współtworzenie i wzajemne recenzje, przeznaczone do wykorzystania przez sektor transportu publicznego w Europie, np. działania pilotażowe i rozwiązania, takie jak narzędzie do samooceny CE4CE Circularity Compass dla transportu publicznego, platformę wiedzy CE4CE Circularity Knowledge Platform, internetową platformę handlu używanymi produktami, strategie i działania pilotażowe mające na celu zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów oraz projekty pilotażowe demonstrujące podejścia oparte na zasadach „wykorzystaj więcej, ponownie wykorzystaj i poddaj recyklingowi” w sektorze transportu publicznego. Każdy partner wniósł praktyczne doświadczenie, działania pilotażowe i wiedzę techniczną związaną z systemami energetycznymi, infrastrukturą i taboru. Wspólnie zbadano podejścia oparte na cyklu życia, które poprawiają efektywność wykorzystania zasobów, wydłużają żywotność aktywów, optymalizują zużycie energii i wspierają przejście w kierunku bardziej cyrkularnych i zrównoważonych systemów transportu publicznego.

¹ <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

1. Wprowadzenie do projektu CE4CE

Projekt CE4CE, finansowany w ramach programu Interreg Europa Środkowa, wspierał myślenie systemowe w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym wśród podmiotów sektora transportu publicznego z krajów Europy Środkowej, aby ograniczyć ilość odpadów i tworzyć wartość w nowych cyklach życia infrastruktury i taboru. Celem projektu CE4CE było wdrożenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze transportu publicznego, a tym samym zmniejszenie ilości odpadów, zwiększenie wydajności sektora oraz poprawa śladu ekologicznego transportu publicznego. W tym celu w ramach projektu CE4CE wspólnie opracowano rozwiązania, które poszerzają wiedzę i możliwości sektora, pomagają zmniejszyć bariery i koszty oraz inicjują rozwój nowych usług i miejsc pracy wymagających wysokich kwalifikacji, a także strategię i plany działania, które usprawniają tworzenie polityki, uczenie się i wymianę na poziomie regionalnym i transnarodowym.

Sektor transportu publicznego stoi obecnie przed rosnącymi wyzwaniami związanymi ze starzeniem się infrastruktury, niezawodnością operacyjną, efektywnością kosztową oraz przejściem na bardziej zrównoważone i cyfrowe praktyki. W tym kontekście działania w ramach projektu CE4CE, a mianowicie strategię, plany działania, projekty pilotażowe i rozwiązania, miały na celu zajęcie się kwestią obiegu zamkniętego jako całości i obejmowały takie aspekty, jak modernizacja procesów zarządzania konserwacją poprzez integrację innowacyjnych narzędzi cyfrowych, podejścia oparte na konserwacji predykcyjnej, metody podejmowania decyzji oparte na danych, drugie życie aktywów oraz zamówienia publiczne.

Niniejszy podręcznik został opracowany jako praktyczny dokument referencyjny, mający na celu wsparcie operatorów transportowych, kierowników ds. utrzymania ruchu, personelu technicznego oraz interesariuszy projektu w zrozumieniu i stosowaniu metodologii, narzędzi oraz wniosków wyciągniętych w trakcie realizacji projektu, aby przełożyć zasady gospodarki o obiegu zamkniętym na logikę cyklu życia transportu publicznego. Wspiera on transfer wiedzy i powielanie dobrych praktyk w innych systemach transportu publicznego oraz organizacjach dążących do poprawy efektywności, zrównoważonego charakteru i obiegu zamkniętego swoich procesów, w tym planowania, zamówień, eksploatacji, utrzymania i wycofania z eksploatacji. Obejmuje on strategię projektową i plany działania opracowane wspólnie przez partnerów projektu przy udziale podmiotów wspierających i ekspertów.

W celu uzyskania dalszych informacji na temat pilotażowych projektów i rozwiązań, o których mowa w niniejszym dokumencie, opracowano odrębny podręcznik, który jest publicznie dostępny na stronie internetowej projektu CE4CE.



2. Strategie zwiększania obiegu zamkniętego w sektorze transportu publicznego

7 R-principles for circular public transport systems



© Trolley:Motion & Rupprecht Consult

Rysunek 1. Schemat AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE). Źródło: stowarzyszenie trolley:motion

Transport publiczny jest powszechnie uznawany za fundament zrównoważonej mobilności. Jednakże, mimo że emisje związane z jego eksploatacją są zazwyczaj niższe niż w przypadku transportu prywatnego, w cyklach życia systemów energetycznych, infrastruktury i taboru nadal występują znaczące oddziaływania na środowisko. Obejmują one nie tylko zużycie zasobów i emisje podczas działalności operacyjnej, ale także energię oraz emisje wynikające z wykorzystania surowców, paliw kopalnych i odpadów powstających na etapach produkcji, budowy, konserwacji i wycofania z eksploatacji. W szczególności materiały takie jak stal, beton, miedź i surowce krytyczne wykorzystywane w infrastrukturze, flotach i akumulatorach stanowią zarówno wyzwania środowiskowe, jak i strategiczne dla europejskich miast i regionów.

Tradycyjne modele liniowe oparte na logice „weź-użyj-wyrzuć” nie są już zgodne z celami neutralności klimatycznej, bezpieczeństwem zasobów i długoterminową przystępnością cenową systemów transportu publicznego. Sam recykling, choć niezbędny, jest niewystarczający i stosowany jedynie na końcu cyklu życia. Strategie CE4CE przyjmują zatem model cyklu życia „Unikaj-Przedłużaj-Przekształcaj-Umożliwiaj” (AETE) jako wspólne ramy integracji zasad gospodarki o obiegu zamkniętym z transportem publicznym. Zamiast skupiać się wyłącznie na gospodarce odpadami, podejście AETE promuje perspektywę systemową, która ma na celu zminimalizowanie zużycia zasobów,

maksymalizację wykorzystania i żywotności aktywów oraz stworzenie warunków sprzyjających praktykom opartym na obiegu zamkniętym w całym procesie planowania, zamówień, eksploatacji i zarządzania końcem cyklu życia w transporcie publicznym. Dzięki tym ramom obieg zamknięty staje się strategiczną zasadą kierującą decyzjami w całym cyklu życia systemów transportu publicznego.

Strategie CE4CE odpowiadają na to wyzwanie, przekładając zasady gospodarki o obiegu zamkniętym na konkretne, specyficzne dla sektora podejścia dotyczące systemów energetycznych, infrastruktury i taboru transportu publicznego. Ich celem jest wspieranie organów zarządzających transportem publicznym i operatorów w przejściu od izolowanych działań w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym do systemowych strategii opartych na cyklu życia, które ograniczają ilość odpadów, optymalizują wykorzystanie zasobów i tworzą długoterminową wartość.

Wspólne ramy: model cyklu życia AETE

Wszystkie trzy strategie CE4CE opierają się na wspólnych ramach analitycznych i operacyjnych: modelu cyklu życia AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE) służącym wdrażaniu gospodarki o obiegu zamkniętym.

- **AVOID** koncentruje się na zapobieganiu powstawaniu odpadów i emisji u źródła poprzez odrzucanie zbędnego wykorzystania zasobów, ograniczanie zapotrzebowania na materiały i energię oraz podejmowanie świadomych decyzji projektowych i planistycznych.
- **EXTEND** ma na celu zachowanie wartości poprzez przedłużanie okresu użytkowania aktywów dzięki konserwacji, naprawom, renowacji, ponownemu wykorzystaniu i zastosowaniom w ramach drugiego życia.
- **TRANSFORM** zajmuje się etapami końca cyklu życia poprzez umożliwianie recyklingu, odzysku i odpowiedzialnego usuwania, zapewniając ponowne włączenie materiałów do nowych łańcuchów wartości.
- **ENABLE** odnosi się do przekrojowych warunków, które umożliwiają obieg zamknięty, w tym ram zarządzania, praktyk zamówień publicznych, cyfryzacji, norm, umiejętności i współpracy w ramach łańcuchów wartości.

Spójne stosowanie tej struktury w obszarach energii, infrastruktury i taboru kolejowego zapewnia spójność strategii i pozwala miastom identyfikować synergie, unikać kompromisów oraz nadawać priorytet działaniom o największym oddziaływaniu systemowym.

Ogólne cele strategii CE4CE

TW ujęciu całościowym trzy strategie CE4CE mają na celu realizację zestawu wspólnych, nadrzędnych celów:

- Zmniejszenie wpływu na środowisko związanego z produkcją i eksploatacją systemów transportu publicznego.
- Optymalizacja wykorzystania zasobów i minimalizacja ilości odpadów w całym cyklu życia aktywów.
- Wydłużenie okresu użytkowania i zwiększenie wartości aktywów transportu publicznego, co pozwoli obniżyć całkowity koszt posiadania.
- Wzmocnienie odporności i autonomii poprzez zmniejszenie zależności od surowców pierwotnych i krytycznych.

- Wspieranie innowacji i nowych łańcuchów wartości, w tym rynków ponownego wykorzystania, usług renowacyjnych i rozwiązań cyfrowych.
- Wspieranie miast i regionów w przekładaniu zasad gospodarki o obiegu zamkniętym na praktyczne i skalowalne działania.

Cele te znajdują odzwierciedlenie w każdej strategii tematycznej, przy jednoczesnym uwzględnieniu specyficznych cech i wyzwań związanych z systemami energetycznymi, infrastrukturą i taborem kolejowym.

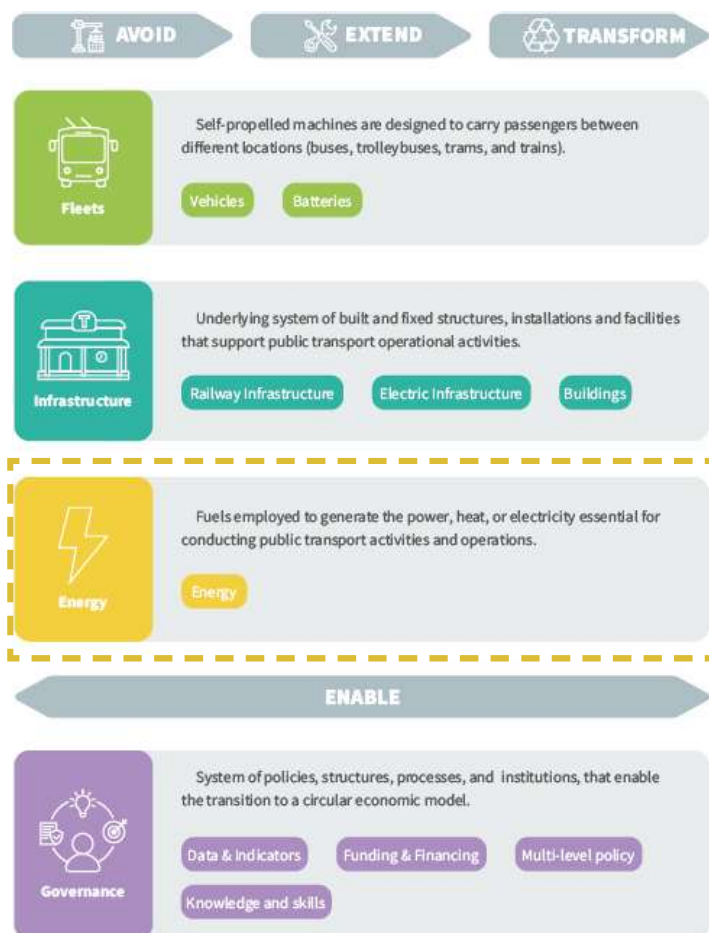
Ramy regulacyjne UE wspierające obieg zamknięty i zrównoważony rozwój

Strategie CE4CE są w pełni zgodne z ewoluującą polityką Unii Europejskiej i ramami regulacyjnymi w zakresie zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym oraz są przez nie wzmocnione. Kluczowe czynniki polityczne obejmują:

- Europejski Zielony Ład, wyznaczający nadrzędny cel neutralności klimatycznej.
- Plan działania UE na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, promujący podejście oparte na cyklu życia, zapobieganie powstawaniu odpadów i zachowanie wartości.
- Dyrektywa w sprawie ekologicznych pojazdów (UE) 2019/1161, zachęcająca do stosowania pojazdów transportu publicznego o niskiej emisji lub zerowej emisji.
- Rozporządzenie UE w sprawie baterii, zaostrzające wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju, identyfikowalności, ponownego użycia i recyklingu baterii.
- Zasady i wytyczne dotyczące ekologicznych zamówień publicznych (GPP), wspierające zamówienia w obiegu zamkniętym.

W tym kontekście CE4CE zapewnia praktyczne wytyczne, aby pomóc podmiotom sektora transportu publicznego w realizacji celów polityki UE, wypełnieniu luk między regulacjami a wdrażaniem oraz dostosowaniu lokalnych planów działania do europejskich celów zrównoważonego rozwoju.

2.1. Strategia pozyskiwania i optymalizacji wykorzystania energii odpadowej oraz odnawialnych źródeł energii w nowych łańcuchach wartości cyklu życia



Rysunek 2. Sektor energetyczny w strukturze kompasu gospodarki o obiegu zamkniętym

odzyskiwanie energii z odpadów, przedłużanie żywotności aktywów energetycznych (zwłaszcza akumulatorów) oraz ponowne włączanie przepływów energii do systemu, transport publiczny może znacznie zmniejszyć emisje operacyjne, emisje wbudowane oraz koszty długoterminowe. Strategia CE4CE opiera się na ramach cyklu życia **AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)**, aby zapewnić uwzględnienie obiegu zamkniętego od pozyskiwania energii po zarządzanie na końcu cyklu życia

Szczegółowe cele strategii to:

- Zmniejszenie zależności od energii elektrycznej wytwarzanej z paliw kopalnych i charakteryzującej się wysoką emisją dwutlenku węgla.
- Maksymalizacja wykorzystania lokalnie wytwarzanej energii odnawialnej w transporcie publicznym.
- Wykorzystanie i ponowne wykorzystanie energii odpadowej (np. hamowanie regeneracyjne, nadwyżki energii odnawialnej).
- Wydłużenie okresu użytkowania i zwiększenie wartości aktywów związanych z energią, takich jak akumulatory i infrastruktura ładowania.
- Umożliwienie systemowej integracji podmiotów z sektorów energii, transportu i infrastruktury miejskiej.

Zużycie energii jest jednym z najważniejszych punktów zaczepienia dla zmniejszenia śladu środowiskowego systemów transportu publicznego. Chociaż elektryfikacja flot znacznie zmniejsza emisje z rur wydechowych, ogólne korzyści dla klimatu i zasobów zależą w dużym stopniu od tego, w jaki sposób energia jest pozyskiwana, zarządzana, ponownie wykorzystywana i odzyskiwana w całym cyklu życia. Liniowe podejście do energii oparte na scentralizowanej energii elektrycznej z paliw kopalnych, nieefektywnym ładowaniu i utylizacji aktywów związanych z energią grozi przeniesieniem emisji w górę łańcucha dostaw i uwięzieniem systemów transportu publicznego w ścieżkach wymagających intensywnego wykorzystania zasobów.

Podejście oparte na gospodarce o obiegu zamkniętym postrzega energię jako strumień wartości, a nie jako surowiec do zużycia. Poprzez priorytetowe traktowanie odnawialnych źródeł energii (OZE),

2.1.1 Podejścia

Podejścia te powinny przekładać strategię energetyczną na konkretne działania, które podmioty sektora transportu publicznego mogą wdrażać na etapie planowania, zamówień publicznych, eksploatacji oraz gospodarowania pojazdami wycofanymi z eksploatacji. Elektryfikacja floty pozostaje głównym punktem wyjścia, ale nie należy jej traktować jako samodzielnego rozwiązania. Decyzje dotyczące autobusów elektrycznych powinny być od samego początku powiązane z lokalizacją punktów ładowania, charakterystyką tras, typem akumulatorów, wydajnością sieci oraz dostępnością energii odnawialnej. Zamówienia publiczne mogą odgrywać kluczową rolę poprzez wymaganie wydajnych systemów ładowania, zgodności z otwartymi standardami, dostępu do danych o stanie akumulatorów, komponentów modułowych oraz jasnych ustaleń dotyczących odbioru, ponownego wykorzystania lub recyklingu akumulatorów.

Infrastrukturę ładowania należy planować w oparciu o rzeczywiste potrzeby operacyjne, a nie stosować ją jednolicie w całej sieci. Ładowanie w zajezdni w nocy może być odpowiednie w przypadku autobusów o wystarczającym zasięgu i dłuższym czasie postoju, natomiast ładowanie szybkie lub okazjonalne może wspierać trasy o dużej częstotliwości z krótkimi postojami. Wybór powinien uwzględniać szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną, dostępną przepustowość sieci, ograniczenia przestrzeni miejskiej, kompatybilność ładowarki z autobusem oraz wpływ schematów ładowania na żywotność akumulatorów. Wielofunkcyjne centra ładowania mogą również poprawić efektywność infrastruktury, obsługując różne usługi mobilności elektrycznej z tego samego systemu, ograniczając powielanie funkcji i lepiej wykorzystując ograniczoną przestrzeń miejską.

Inteligentne ładowanie i magazynowanie energii powinny być wykorzystywane w celu zmniejszenia obciążenia sieci energetycznej i poprawy opłacalności operacji. Przenosząc ładowanie na okresy poza szczytem, kontrolując intensywność ładowania i wykorzystując stacjonarne magazyny energii w okresach szczytowego zapotrzebowania, operatorzy mogą obniżyć opłaty sieciowe, uniknąć szczytów mocy i zmniejszyć potrzebę kosztownych modernizacji sieci. Systemy magazynowania energii mogą również wspierać niezawodność usług, pełniąc rolę bufora w okresach wysokiego zapotrzebowania lub ograniczeń sieciowych. Tam, gdzie jest to technicznie i prawnie wykonalne, zużyte baterie pojazdów elektrycznych typu mogą zostać ponownie wykorzystane do stacjonarnego magazynowania energii w zajezdniach lub punktach ładowania, co przedłuży ich wartość przed recyklingiem.

W zajezdniach, stacjach ładowania i innych odpowiednich obiektach transportu publicznego należy nadać priorytet integracji energii odnawialnej. Energia słoneczna ma szczególne znaczenie, ponieważ można ją zainstalować na istniejących budynkach lub infrastrukturze transportowej i połączyć z magazynowaniem w celu zwiększenia wykorzystania na miejscu. Pozwala to na magazynowanie nadwyżek energii odnawialnej i wykorzystanie jej później do ładowania autobusów, co zmniejsza zależność od scentralizowanej energii elektrycznej opartej na paliwach kopalnych. Projektując systemy energii odnawialnej, należy uwzględnić dostępną powierzchnię, lokalne nasłonecznienie, sprawność falowników, zacienienie, potrzeby konserwacyjne oraz dopasowanie wzorców wytwarzania energii do zapotrzebowania na ładowanie. Należy zbadać możliwości odzyskiwania energii z odpadów tam, gdzie istniejące systemy transportowe generują strumień energii nadające się do wykorzystania. Hamowanie regeneracyjne w systemach kolejowych, tramwajowych i metra pozwala odzyskać energię, która w przeciwnym razie zostałaby utracona, i ponownie wykorzystać ją w sieci, zmagazynować lub potencjalnie przekierować na inne potrzeby związane z ładowaniem. Takie rozwiązania są najskuteczniejsze tam, gdzie infrastruktura techniczna, pojemność magazynowa i warunki

regulacyjne pozwalają na efektywne pozyskiwanie i redystrybucję odzyskanej energii.

Zarządzanie końcem cyklu życia należy zaplanować, zanim akumulatory i aktywa energetyczne osiągną koniec okresu eksploatacji. Akumulatory, które nie spełniają już wymagań dotyczących osiągnięć pojazdów, mogą nadal nadawać się do mniej wymagających zastosowań stacjonarnych, ale zależy to od rzetelnej oceny stanu technicznego, kontroli bezpieczeństwa oraz jasnego podziału obowiązków między operatorami, producentami, podmiotami zajmującymi się recyklingiem i firmami zajmującymi się gospodarką odpadami. Gdy ponowne wykorzystanie nie jest już możliwe, recykling powinien pozwolić na odzyskanie cennych materiałów i zmniejszenie zależności od nowych surowców krytycznych. Cyfrowe paszporty akumulatorów, przejrzyste ustalenia dotyczące własności, znormalizowane procedury oraz współpraca w całym łańcuchu wartości mają zasadnicze znaczenie dla umożliwienia ponownego wykorzystania i recyklingu na dużą skalę.

Kluczowe czynniki sprzyjające

Pomyślne wdrożenie strategii energetycznych opartych na gospodarce o obiegu zamkniętym w transporcie publicznym zależy nie tylko od środków technicznych, ale także od istnienia warunków sprzyjających koordynacji, uczeniu się i długoterminowej transformacji. W odniesieniu do systemów energetycznych, infrastruktury i taboru kolejowego strategii CE4CE wskazują cztery wzajemnie się wzmacniające obszary sprzyjające: cyfryzację, zarządzanie, innowacje i technologię.

 Cyfryzacja	 Zarządzanie	 Innowacje	 Technologia	 Dodatkowe czynniki sprzyjające
Wdrożenie systemów zarządzania energią w celu monitorowania, optymalizacji i kontroli przepływów energii w zajezdniach, infrastrukturze ładowania i pojazdach.	Włączenie celów dotyczących energii odnawialnej i gospodarki o obiegu zamkniętym do strategii energetycznych i transportowych na szczeblu lokalnym i regionalnym.	Projekty pilotażowe i demonstracyjne testujące nowe modele integracji energii, takie jak lokalne wytwarzanie energii odnawialnej w połączeniu z magazynowaniem.	Wdrażanie technologii energii odnawialnej, w szczególności fotowoltaiki zintegrowanej z zajezdniami i stacjami ładowania.	Budowanie potencjału w zakresie zarządzania energią w ramach organów i operatorów transportu publicznego.
Wykorzystanie inteligentnych rozwiązań ładowania w celu dostosowania profili ładowania do dostępności energii odnawialnej, taryf poza godzinami szczytu oraz ograniczeń sieci.	Wykorzystanie zamówień publicznych i polityki pozyskiwania energii w celu nadania priorytetowego znaczenia energii elektrycznej z odnawialnych źródeł oraz nośnikom energii niskoemisyjnej.	Eksperymenty z rozwiązaniami w zakresie odzyskiwania i ponownego wykorzystania energii, w tym hamowania regeneracyjnego i magazynowania stacjonarnego.	Wykorzystanie systemów magazynowania energii, w tym magazynowania stacjonarnego i akumulatorów z drugiego życia.	Dostęp do funduszy i instrumentów finansowania wspierających inwestycje w energię odnawialną i magazynowanie energii

Wykorzystanie monitorowania w czasie rzeczywistym i analizy danych w celu poprawy efektywności energetycznej oraz wykrywania strat.	Wykorzystanie zamówień publicznych i polityki pozyskiwania energii w celu nadania priorytetowego znaczenia energii elektrycznej z odnawialnych źródeł oraz nośnikom energii niskoemisyjnej	Eksperymenty z rozwiązaniami w zakresie odzyskiwania i ponownego wykorzystania energii, w tym hamowania regeneracyjnego i magazynowania stacjonarnego.	Wykorzystanie systemów magazynowania energii, w tym magazynowania stacjonarnego i akumulatorów z drugiego życia.	Dostępność norm i wytycznych dotyczących efektywności energetycznej, systemów ładowania i magazynowania energii.
Wykorzystanie narzędzi cyfrowych do monitorowania wydajności i degradacji akumulatorów, wspierające optymalne użytkowanie i wydłużenie okresu eksploatacji.	Zgodność z unijnymi i krajowymi przepisami dotyczącymi energii i klimatu, w tym z celami w zakresie energii odnawialnej i redukcji emisji.	Udział w inicjatywach branżowych i platformach wymiany wiedzy dotyczących efektywności energetycznej i elektryfikacji w transporcie publicznym.	Wdrożenie wydajnych elektrycznych układów napędowych oraz zoptymalizowanych technologii ładowania.	Współpraca z podmiotami z sektora energetycznego i sieci energetycznych w celu zapewnienia integracji i elastyczności systemu.
Opracowanie modeli cyfrowych i symulacji wspierających planowanie infrastruktury ładowania, magazynowania energii i integracji odnawialnych źródeł energii.	Jasne określenie ról i obowiązków w zakresie zarządzania energią w organizacjach transportu publicznego.	Wykorzystanie działań pilotażowych CE4CE jako środowisk edukacyjnych w celu ograniczenia ryzyka i wsparcia powielania rozwiązań.	Wykorzystanie dojrzałych, wysokowydajnych rozwiązań w zakresie dostaw energii, takich jak systemy trolejbusowe i ładowanie podczas jazdy, tam gdzie to możliwe do zastosowania .	Ramy monitorowania i wskaźniki służące do śledzenia wyników w zakresie efektywności energetycznej i obiegu zamkniętego.
Włączenie danych dotyczących energii do szerszych systemów zarządzania flotą i operacyjnego.			Ciągła ocena technologii energetycznych z wykorzystaniem kryteriów wydajności w całym cyklu życia i na poziomie systemu.	

Tabela 1. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom energetycznym w transporcie publicznym

2.1.2 Przykłady dobrych praktyk



Reinforce energy-efficient technology

Dobra praktyka 1:

Szybkie ładowanie w celu maksymalizacji wydajności operacyjnej i oszczędności kosztów

Lokalizacja: Barcelona, Hiszpania

Obszar zainteresowania: Wzmocnienie technologii energooszczędnych



Charging infrastructure at bus stop

Źródło: TMB Barcelona Public Reports & ELIPTIC Deliverables. <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/solaris-delivers-three-articulated-urbino-electric-to-tmb-barcelona/>, <https://arquivo.pt/wayback/20201230033847/https://eliptic-project.eu/>

Cele: Wdrożenie infrastruktury szybkiego ładowania o dużej mocy (400 kW) na przystankach końcowych w celu zmniejszenia zależności od dużych akumulatorów pokładowych, obniżenia kosztów energii i eksploatacji oraz wykazania, że linie autobusów w pełni elektrycznych mogą działać niezawodnie bez rezerwowego zasilania dieslowskiego.

Wyzwania:

- Utrzymanie stabilności sieci przy wysokich obciążeniach szczytowych
- Zarządzanie ograniczeniami termicznymi podczas szybkiego ładowania
- Zapewnienie zgodności ładowarek z autobusami różnych producentów
- Wysokie koszty początkowe i złożoność logistyczna infrastruktury dużej

Wniosek: Zastosowanie szybkich ładowarek o dużej pojemności pozwoliło na oszczędność kosztów energii wynoszącą około 68%, przy jednoczesnym zachowaniu pełnej zgodności z rozkładem jazdy i wydajności operacyjnej. Sukces Barcelony pokazuje, że szybkie ładowanie może znacznie obniżyć koszty operacyjne i umożliwić obsługę autobusów elektrycznych o dużym zapotrzebowaniu bez większych zmian w rozkładzie jazdy. Miasta o gęstych trasach miejskich i regularnych przystankach końcowych mogą skorzystać ze strategicznie rozmieszczonych szybkich ładowarek, które zmniejszają zapotrzebowanie na nadmiernie duże akumulatory i zwiększają czas sprawności pojazdów.



Recycle energy in storage systems

Dobra praktyka 2:

Wykorzystanie akumulatorów z recyklingu i energii słonecznej do ładowania autobusów

Lokalizacja: Maribor, Słowenia

Obszar zainteresowania: Recykling energii w systemie magazynowania



Zespół akumulatorów

Cele: wdrożenie banku akumulatorów wykorzystującego akumulatory z drugiego życia, zasilanego ze źródeł odnawialnych (RES), w celu wsparcia szybkiej ładowarki na stacji Vzpenjača.

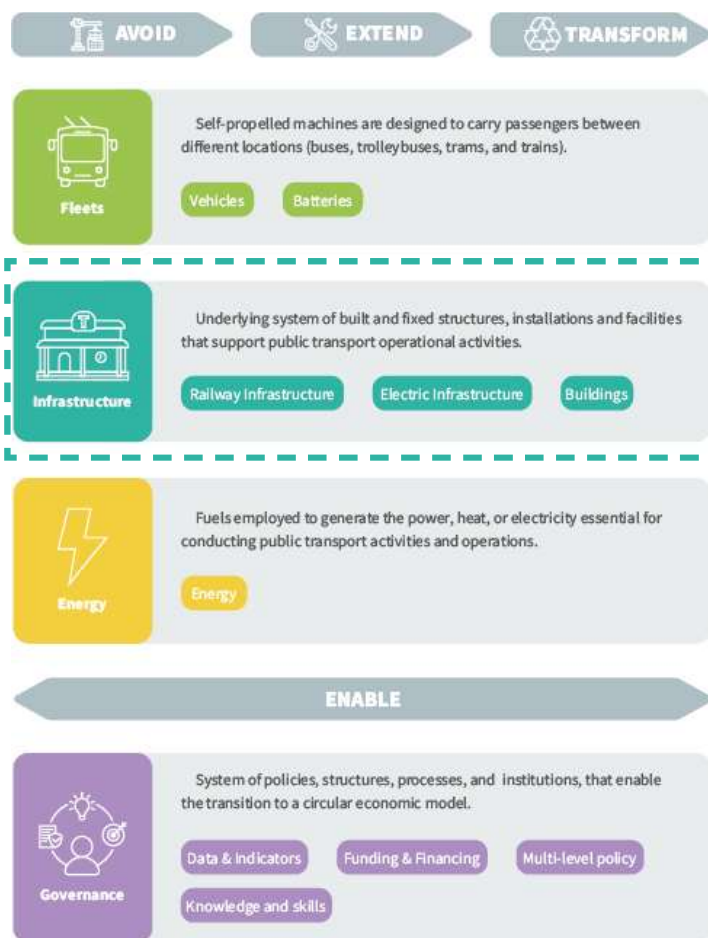
Wyzwania:

- Duża zależność stacji szybkiego ładowania od energii z sieci
- Ograniczenia techniczne, regulacyjne i ekonomiczne związane z integracją akumulatorów
- Zapewnienie stabilnego ładowania autobusów elektrycznych w różnych warunkach eksploatacyjnych

Wnioski: Dzięki wdrożeniu akumulatorów z drugiego życia do ładowania autobusów elektrycznych projekt pilotażowy w Mariborze pokazuje, w jaki sposób modele gospodarki o obiegu zamkniętym mogą zoptymalizować zużycie energii, obniżyć koszty i poprawić wydajność transportu publicznego. Inicjatywa ta stanowi wzór dla przyszłych inwestycji w zrównoważoną infrastrukturę transportu miejskiego.

Źródło: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/use-of-used-batteries-to-store-energy-for-powering-a-fast-charger/

2.2. Strategia dodawania i odzyskiwania wartości oraz optymalizacji dostarczania infrastruktury transportu publicznego w ramach nowych łańcuchów wartości cyklu życia



Rysunek 3. Sektor infrastruktury w strukturze kompasu obiegu zamkniętego

Infrastruktura transportu publicznego, taka jak tory kolejowe, stacje, zajezdnie, podstacje elektryczne i budynki operacyjne, stanowi jedno z największych źródeł emisji wbudowanych i zużycia materiałów w sektorze transportowym. Emisje i oddziaływanie na środowisko powstają nie tylko podczas eksploatacji, ale przede wszystkim na etapach planowania, budowy, utrzymania i wycofania z eksploatacji, przy użyciu materiałów wysokoemisyjnych, takich jak beton, stal i miedź, oraz w wyniku liniowych praktyk budowlanych i rozbiórkowych

Podejście oparte na gospodarce o obiegu zamkniętym pozwala organom zarządzającym transportem publicznym i operatorom przejść od wymiany aktywów do zarządzania nimi, maksymalizując wartość infrastruktury w długim okresie eksploatacji przy jednoczesnym minimalizowaniu ilości odpadów i wydobycia surowców. Dzięki zastosowaniu zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w całym cyklu

życia infrastruktury - od projektowania, przez budowę, eksploatację i konserwację, aż po likwidację - infrastruktura transportu publicznego może stać się bardziej odporna, opłacalna i zrównoważona pod względem środowiskowym.

Opierając się na kompasie cyrkularności CE4CE oraz ramach AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE), niniejsza strategia wprowadza systemowe podejście do infrastruktury, które priorytetowo traktuje wczesne decyzje projektowe, optymalizację cyklu życia oraz współpracę w ramach łańcucha wartości

Szczegółowe cele strategii to:

- Zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i zużycia materiałów w nowych projektach infrastrukturalnych.
- Wydłużenie okresu użytkowania i wartości funkcjonalnej istniejących aktywów infrastrukturalnych.
- Umożliwienie ponownego wykorzystania, zmiany przeznaczenia i recyklingu elementów infrastruktury.
- Poprawa przejrzystości i identyfikowalności materiałów i aktywów w całym cyklu życia.
- Wzmocnienie roli zamówień publicznych i narzędzi cyfrowych w osiąganiu wyników zgodnych z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.

2.2.1 Podejścia

Strategia obiegu zamkniętego w odniesieniu do infrastruktury transportu publicznego przenosi punkt ciężkości z liniowych cykli budowy i wymiany na długoterminowe zarządzanie aktywami oraz optymalizację wartości w całym cyklu życia. Infrastruktura, taka jak tory, zajezdnie, stacje i podstacje, stanowi główne źródło emisji wbudowanych ze względu na materiały o wysokiej emisji dwutlenku węgla, takie jak cement i stal. Decyzje podejmowane na etapie planowania i projektowania mają zatem wpływ na środowisko i finanse przez dziesięciolecia. Włączenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym na tym etapie pozwala władzom i operatorom transportu publicznego uniknąć niepotrzebnego zużycia materiałów, ograniczyć nadmierne wymiarowanie oraz nadać priorytet trwałym, elastycznym i modułowym rozwiązaniom. Zastąpienie materiałów pierwotnych alternatywami pochodzącymi z recyklingu lub o niższej emisji dwutlenku węgla oraz stosowanie metod oceny cyklu życia (LCA) i analizy kosztów cyklu życia (LCC) wspierają świadome decyzje inwestycyjne, które zapewniają równowagę między efektywnością środowiskową a opłacalnością ekonomiczną.

Podczas budowy i eksploatacji przedłużenie żywotności aktywów staje się najskuteczniejszym narzędziem gospodarki o obiegu zamkniętym. Konserwacja zapobiegawcza i predykcyjna, wspierana przez czujniki, analizę danych i cyfrowe systemy zarządzania aktywami, umożliwia operatorom wczesne wykrywanie zużycia i optymalizację cykli interwencji. Ogranicza to przedwczesną wymianę, pozwala zachować wartość wbudowaną i zwiększa niezawodność usług. Elementy infrastruktury, takie jak szyny, podsypka i elementy elektryczne, często mogą być ponownie wykorzystane w sieciach lub przeznaczone do mniej wymagających zastosowań. Wzmocnienie tych praktyk wymaga koordynacji między operatorami, zarządcami infrastruktury i dostawcami, a także jaśniejszych wykazów aktywów i systemów monitorowania stanu.

Aby jeszcze bardziej zwiększyć zachowanie wartości, rynki produktów używanych i cyfrowe platformy wymiany mogą ułatwić uporządkowany obieg elementów w sieciach. Przejrzyste standardy jakości i mechanizmy identyfikowalności są niezbędne do budowania zaufania między podmiotami i rozszerzenia ponownego wykorzystania poza pojedyncze przypadki. Jednocześnie strategie zamówień powinny uwzględniać zależność od dostawców i ograniczoną dostępność części zamiennych poprzez promowanie projektowania modułowego, możliwości naprawy i długoterminowych zobowiązań w zakresie konserwacji.

Pod koniec cyklu życia należy przedkładać ponowne wykorzystanie nad recykling. Podczas gdy metale, takie jak stal i miedź, można skutecznie odzyskać, inne materiały wymagają ulepszanego segregowania, logistyki i współpracy ze specjalistycznymi podmiotami zajmującymi się recyklingiem. Uwzględnienie kwestii demontażu już na etapie projektowania zwiększa przyszłe wskaźniki odzysku. Tam, gdzie ponowne wykorzystanie nie jest możliwe, infrastrukturę można przeznaczyć do alternatywnych funkcji, unikając emisji związanych z rozbiórką i zachowując wartość strukturalną.

Na wszystkich etapach cyklu życia kluczową rolę odgrywają zamówienia publiczne i zarządzanie. Dzięki uwzględnieniu kryteriów gospodarki o obiegu zamkniętym, analizy kosztów cyklu życia oraz wymagań opartych na wynikach w przetargach i umowach, organy publiczne mogą wpływać na łańcuchy dostaw i promować innowacje. Narzędzia cyfrowe, takie jak modelowanie informacji o budynku (BIM) i systemy śledzenia materiałów, zwiększają przejrzystość cyklu życia, wspierają optymalizację ilościową i ułatwiają długoterminowe zarządzanie aktywami. Wreszcie, pomyślnie wdrożenie zależy od budowania potencjału wewnętrznego i współpracy międzysektorowej łączącej podmioty z branży transportowej, budowlanej, gospodarki odpadami i energetyki. Łącznie podejścia te umożliwiają przejście systemów infrastrukturalnych od modeli budowlanych wymagających dużych nakładów zasobów w kierunku odpornych, zachowujących wartość systemów aktywów o obiegu zamkniętym.

2.2.2 Kluczowe czynniki sprzyjające

Transformacja infrastruktury transportu publicznego w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga czegoś więcej niż tylko dostosowań technicznych; zależy ona od warunków sprzyjających podejmowaniu długoterminowych decyzji zorientowanych na cykl życia. Narzędzia cyfrowe, ramy zarządzania, ekosystemy innowacji i odpowiednie technologie tworzą podstawę do zmniejszenia emisji wbudowanych, wydłużenia okresu użytkowania aktywów i poprawy odzysku wartości. Poniższe czynniki sprzyjające zapewniają wsparcie strukturalne i organizacyjne niezbędne do skutecznego wdrażania strategii infrastruktury o obiegu zamkniętym na dużą skalę.

 Cyfryzacja	 Zarządzanie	 Innowacje	 Technologia	 Dodatkowe czynniki sprzyjające
Wykorzystanie BIM do planowania cyklu życia, optymalizacji materiałów oraz projektowania z myślą o demontażu.	Włączenie celów gospodarki o obiegu zamkniętym do planowania infrastruktury oraz strategii inwestycji w infrastrukturę.	Projekty pilotażowe dotyczące ponownego wykorzystania i renowacji elementów infrastruktury budowlanej.	Wprowadzenie niskoemisyjnych i pochodzących z recyklingu materiałów budowlanych.	Szkolenie personelu i budowanie wewnętrznych kompetencji w zakresie zarządzania infrastrukturą zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.
Cyfrowe systemy zarządzania aktywami służące do monitorowania stanu, wieku i wydajności.	Systematyczne stosowanie analizy kosztów cyklu życia (LCC) i oceny cyklu życia (LCA) w zamówieniach publicznych i ocenie projektów.	Rozwój rynków produktów używanych oraz platform wymiany.	Modułowe i znormalizowane elementy infrastruktury.	Dostęp do finansowania na remonty i inwestycje oparte na cyklu życia.
Narzędzia konserwacji predykcyjnej (czujniki, sztuczna inteligencja, analiza danych) w celu wydłużenia okresu eksploatacji infrastruktury.	Kryteria zamówień publicznych oparte na obiegu zamkniętym, promujące trwałość, modułowość i możliwość recyklingu.	Modele kontraktowania oparte na wynikach i zorientowane na usługi.	Zaawansowane technologie kontroli i monitorowania konstrukcji.	Standardowe wytyczne dotyczące ponownego wykorzystania i recyklingu.
Cyfrowe wykazy materiałów i paszporty wspierające ponowne wykorzystanie i odzysk.	Jasno określone obowiązki dotyczące faz konserwacji, renowacji i wycofania z eksploatacji.	Współpraca z innowatorami z sektora badawczego i budowlanego.	Wydajne techniki demontażu i segregacji materiałów.	Współpraca międzysektorowa między podmiotami z branży transportowej, budowlanej i gospodarki odpadami.
Zintegrowane platformy danych do śledzenia emisji wbudowanych i wykorzystania zasobów.	Zgodność z unijnymi przepisami dotyczącymi odpadów, budownictwa i klimatu.	Udział w europejskich sieciach wymiany wiedzy.	Projekty infrastruktury z możliwością rozbudowy i dostosowania.	Ramy monitorowania i wskaźniki wydajności.

Tabela 2. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom infrastrukturalnym w transporcie publicznym

2.2.3 Przykłady dobrych praktyk



Refuse use of carbon-intensive materials

Dobra praktyka 1:

Zastosowanie materiałów niskoemisyjnych w obiektach transportu publicznego

Lokalizacja: Neapol, Włochy

Obszar zainteresowania:
Odrzucenie stosowania materiałów wysokoemisyjnych



Dworzec Centralny w Neapolu

Cele: poprawa jakości architektonicznej dworca oraz zapewnienie stabilności i trwałości konstrukcji poprzez wykorzystanie drewna jako głównego elementu konstrukcyjnego. Materiał ten zapewnia niezawodność konstrukcyjną i opłacalność, jednocześnie znacznie zmniejszając wpływ na środowisko. Ponadto lekkość drewna pozwala na szybszą budowę, zmniejszając ogólne zużycie energii podczas montażu.

Wyzwania:

- Kwestie związane z trwałością i bezpieczeństwem przeciwpożarowym
- Elastyczne zachowanie konstrukcji utrudnia zapewnienie niezawodnego ustawienia i działania na stacjach wyposażonych w drzwi peronowe.

Wnioski: Projekt ten dowodzi, że dzięki włączeniu materiałów pochodzących z recyklingu i obiegu zamkniętego, takich jak drewno, do infrastruktury transportu publicznego, miasta mogą osiągnąć niższy poziom emisji dwutlenku węgla, zwiększyć efektywność wykorzystania zasobów oraz poprawić zrównoważony charakter cyklu życia.

Źródła: <https://www.arup.com/insights/material-change-can-timber-play-a-role-in-sustainable-rail-infrastructure>
<https://www.archdaily.com/970506/new-images-reveal-emtbs-timber-central-station-in-naples>



Reuse spare parts and components

Dobra praktyka 2:

Ponowne wykorzystanie intensywnie eksploatowanych zwrotnic trolejbusowych

Lokalizacja: Szeged, Węgry

Obszar zainteresowania: Ponowne wykorzystanie części zamiennych i komponentów



Trolejbus w Szeged

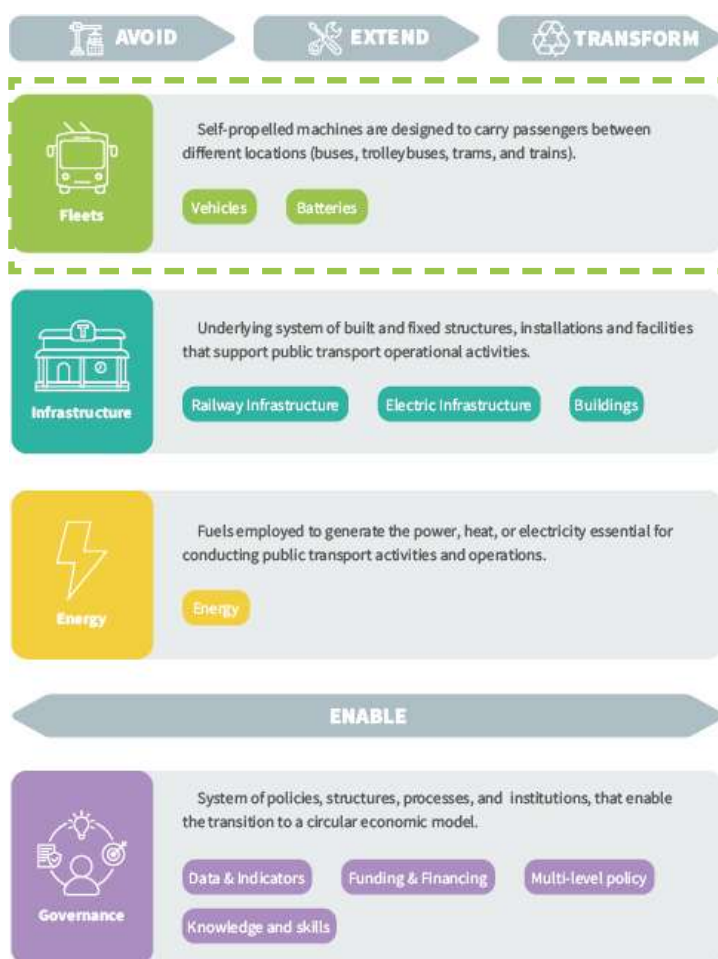
Cele: wymiana najbardziej zużytych zwrotnic trolejbusowych w newralgicznych lokalizacjach na nowe urządzenia oraz przeniesienie zużytych zwrotnic do obszarów sieci o mniejszym natężeniu ruchu, a mianowicie do zajezdni trolejbusowej przy ulicy Körtöltés utca, w celu ich dalszego wykorzystania.

Wyzwanie: zwrotnice trolejbusowe ulegają różnemu stopniowi zużycia w zależności od lokalizacji i częstotliwości użytkowania.

Wniosek: system zyskuje zarówno na zwiększonej niezawodności w kluczowych węzłach, jak i na przedłużonym użytkowaniu cennych materiałów, co ma na celu podwojenie typowej 15-20-letniej żywotności komponentów. Inicjatywa ta ogranicza ilość odpadów i oferuje skalowalny model zrównoważonego zarządzania aktywami w elektrycznym transporcie publicznym. Dzięki dostosowaniu strategii zarządzania cyklem życia aktywów do zasad gospodarki o obiegu zamkniętym promowanych w ramach projektu CE4CE, rozwiązanie z Szeged będzie również stanowić wzór dla innych operatorów transportowych pragnących wdrożyć podobne strategie ponownego wykorzystania infrastruktury.

Źródło: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/demonstration-on-how-to-prolong-the-lifespan-of-electric-public-transport-infrastructure-reutilizing-heavily-used-trolleybus-switches-in-szeged-hungary/

2.3. Strategia dodawania i odzyskiwania wartości oraz optymalizacji dostaw taboru kolejowego/pojazdów w ramach nowych łańcuchów wartości cyklu życia



Rysunek 4. Sektor taboru kolejowego w strukturze kompasu gospodarki o obiegu zamkniętym (cyrkularności)

konserwacji i wycofywania z eksploatacji strategii oparte na obiegu zamkniętym mogą zmniejszyć emisje związane z produkcją, wydłużyć żywotność pojazdów, zoptymalizować wykorzystanie zasobów oraz stworzyć nowe strumienie wartości poprzez ponowne wykorzystanie, renowację i zastosowania w drugim cyklu życia.

Opierając się na kompasie cyrkularności CE4CE oraz ramach AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE), strategia ta traktuje pojazdy, akumulatory i konserwację jako wzajemnie powiązane podsystemy oraz identyfikuje zamówienia publiczne jako kluczowy punkt zaczepienia dla zmian systemowych

Szczegółowe cele strategii to:

- Zminimalizowanie wpływu materiałów i energii podczas projektowania i produkcji pojazdów.
- Wydłużenie okresu eksploatacji pojazdów i kluczowych komponentów.
- Umożliwienie ponownego wykorzystania, odnowienia i zmiany przeznaczenia taboru kolejowego i akumulatorów.
- Poprawa identyfikowalności i odpowiedzialności w całym cyklu życia taboru kolejowego.
- Włączenie kryteriów gospodarki o obiegu zamkniętym do zamówień publicznych i zarządzania flotą

Transport publiczny - tabor autobusowy, trolejbusowy, tramwajowy i metra - odgrywa kluczową rolę w dekarbonizacji systemów mobilności. Elektryfikacja nabiera tempa w całej Europie, ale bez podejścia opartego na gospodarce o obiegu zamkniętym przejście to grozi przeniesieniem skutków na wcześniejsze etapy łańcucha dostaw, zwłaszcza poprzez intensywne wykorzystanie surowców, energochłonne procesy produkcyjne oraz rosnące strumienie odpadów na końcu cyklu życia, szczególnie w przypadku akumulatorów i komponentów elektronicznych

Podejście oparte na gospodarce o obiegu zamkniętym pozwala operatorom transportu publicznego (PTO) i organom (PTA) wyjść poza cykle wymiany pojazdów i zamiast tego zarządzać taborami jako aktywami o długoterminowej wartości. Dzięki przyjęciu podejścia opartego na cyklu życia w zakresie zamówień, eksploatacji,

2.3.1 Podejścia

Strategia obiegu zamkniętego dla taboru kolejowego i pojazdów koncentruje się na zarządzaniu autobusami, tramwajami, pojazdami metra i ich komponentami jako aktywami o długoterminowej wartości, a nie produktami o krótkim cyklu wymiany. Elektryfikacja zmniejsza emisje operacyjne, ale produkcja pojazdów i akumulatorów pozostaje zasobochłonna i uzależniona od surowców krytycznych. Podejście oparte na obiegu zamkniętym obejmuje zatem cały cykl życia pojazdu, od projektowania i zamówień po eksploatację, renowację i zarządzanie na końcu cyklu życia.

Najsilniejszym punktem zaczepienia dla taboru opartego na obiegu zamkniętym jest etap zamówień i projektowania pojazdów, gdzie decyzje podjęte przed wprowadzeniem pojazdu do eksploatacji mogą determinować jego efektywność środowiskową, wymagania konserwacyjne i opcje związane z końcem cyklu życia na dziesięciolecia. Władze i operatorzy transportu publicznego mogą włączyć kryteria gospodarki o obiegu zamkniętym bezpośrednio do specyfikacji przetargowych, wymagając analizy kosztów cyklu życia (LCC), oceny cyklu życia (LCA), modułowej architektury pojazdów, możliwości naprawy, modernizacji, wymiany akumulatorów oraz wysokiego poziomu odzysku materiałów. W przypadku autobusów elektrycznych i innych pojazdów bezemisyjnych specyfikacje zamówień mogą również uwzględniać trwałość akumulatorów, potencjał drugiego życia, standaryzację komponentów, dostępność części zamiennych oraz obowiązki producenta w zakresie programów odbioru lub regeneracji. Dzięki uwzględnieniu takich wymagań od samego początku władze mogą uniknąć przedwczesnego starzenia się pojazdów, zmniejszyć zużycie zasobów i wydłużyć okres eksploatacji pojazdów. Sprawia to, że decyzje dotyczące zamówień przestają koncentrować się na początkowych kosztach zakupu, a skupiają się na całkowitej wartości cyklu życia, odporności operacyjnej i długoterminowych wynikach środowiskowych. Dlatego też działy zamówień publicznych, producenci i dostawcy odgrywają kluczową rolę, ponieważ wymogi umowne mają bezpośredni wpływ na projekt pojazdu, dobór materiałów, modele konserwacji oraz praktyki biznesowe oparte na obiegu zamkniętym. Umowy oparte na wynikach i zorientowane na usługi mogą dodatkowo zachęcać do zwiększania trwałości, łatwości naprawy i optymalizacji cyklu życia, a nie do wczesnej wymiany.

Podczas projektowania pojazdów i planowania floty cykliczność jest wzmocniana poprzez unikanie niepotrzebnego zużycia materiałów i nadmiernego wymiarowania. Optymalizacja rozmiarów akumulatorów, wybór wydajnych układów napędowych oraz elastycznych układów wewnątrz zmniejsza emisje związane z produkcją i poprawia wydajność operacyjną. Cyfrowe narzędzia symulacyjne, oprogramowanie do modelowania floty oraz cyfrowe bliźniaki wspierają analizę scenariuszy i porównanie technologii, umożliwiając władzom zrównoważenie potrzeb operacyjnych z efektywnością wykorzystania zasobów.

Kolejnym kluczowym działaniem jest wydłużenie okresu eksploatacji pojazdów i komponentów. Konserwacja zapobiegawcza i predykcyjna, wspierana przez diagnostykę pokładową, czujniki i systemy monitorowania oparte na sztucznej inteligencji, pozwala operatorom wcześniej wykrywać zużycie i interweniować, zanim dojdzie do awarii. Programy renowacyjne, takie jak przeglądy autobusów lub tramwajów w połowie okresu eksploatacji, umożliwiają dalsze użytkowanie elementów konstrukcyjnych przy jednoczesnej modernizacji kluczowych podsystemów. Operatorzy, producenci OEM i dostawcy usług serwisowych muszą ściśle współpracować, aby zapewnić dostępność części zamiennych, dokumentację techniczną i długoterminowe wsparcie.

Zarządzanie akumulatorami ma szczególne znaczenie dla strategii dotyczących taboru kolejowego w obiegu zamkniętym. Akumulatory charakteryzują się innym profilem zużycia niż pojazdy i często mogą być ponownie wykorzystane do stacjonarnego magazynowania

energii, gdy nie nadają się już do zastosowań trakcyjnych. Stworzenie zastosowań w ramach drugiego życia wymaga koordynacji między operatorami, dostawcami energii, firmami zajmującymi się recyklingiem i integratorami technologii. Cyfrowe paszporty akumulatorów i narzędzia do monitorowania wydajności zwiększają identyfikowalność i ułatwiają ponowne wykorzystanie, a zgodność z ewoluującymi przepisami UE dotyczącymi akumulatorów wspiera ustrukturyzowane ścieżki odzysku i recyklingu.

Pod koniec cyklu życia pojazdy i komponenty powinny być zaprojektowane i zarządzane w sposób ułatwiający demontaż, segregację materiałów i wysokiej jakości recykling. Konstrukcja modułowa, odwracalne połączenia i przejrzysta dokumentacja poprawiają wskaźniki odzysku i zmniejszają ilość odpadów. Współpraca między producentami, firmami zajmującymi się demontażem i recyklingiem ma zasadnicze znaczenie dla zamknięcia obiegu materiałów oraz ponownego włączenia cennych metali i komponentów do nowych cykli produkcyjnych.

Na wszystkich etapach cyklu życia kluczowe znaczenie mają zarządzanie i budowanie wewnętrznych zdolności. Strategie odnowy floty powinny być zgodne z długoterminowymi celami w zakresie klimatu i gospodarki o obiegu zamkniętym, wspierane przez przejrzyste wskaźniki wydajności i ramy monitorowania. Uczestnictwo w sieciach branżowych i inicjatywach europejskich umożliwia operatorom dzielenie się doświadczeniami i przyspiesza powielanie innowacyjnych podejść.

W sumie środki te przekształcają zarządzanie taborem z liniowego modelu wymiany w podejście oparte na łańcuchu wartości w całym cyklu życia. Łącząc wpływ na zamówienia publiczne, narzędzia cyfrowe, konserwację predykcijną, ponowne wykorzystanie akumulatorów i odpowiedzialne zarządzanie na końcu cyklu życia, władze i operatorzy transportu publicznego mogą zmniejszyć zależność od surowców, zoptymalizować koszty cyklu życia i wzmocnić odporność w procesie przejścia na systemy mobilności neutralne dla klimatu.

2.3.2 Kluczowe czynniki sprzyjające

Transformacja taboru w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga czegoś więcej niż tylko ulepszeń w technologii pojazdów; zależy ona od warunków strukturalnych i organizacyjnych, które umożliwiają optymalizację cyklu życia. Narzędzia cyfrowe, przyszłościowe ramy zamówień publicznych, partnerstwa na rzecz innowacji oraz odpowiednie wybory technologiczne stanowią podstawę do wydłużenia okresu eksploatacji pojazdów, umożliwiają ponowne wykorzystanie akumulatorów i zapewniają odpowiedzialne zarządzanie pojazdami po zakończeniu eksploatacji. Poniższe czynniki wspierają władze transportu publicznego, operatorów i dostawców we wdrażaniu zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w całym cyklu życia floty .

 Cyfryzacja	 Zarządzanie	 Innowacje	 Technologia	 Dodatkowe czynniki sprzyjające
Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków („digital twins”) i narzędzi do symulacji taboru w celu planowania floty w oparciu o cykl życia oraz porównania technologii.	Włączenie kryteriów gospodarki o obiegu zamkniętym do procesu zamówień taboru kolejowego, w tym wymagań dotyczących trwałości, możliwości naprawy i recyklingu.	Projekty pilotażowe testujące zastosowania akumulatorów po zakończeniu pierwotnego cyklu życia oraz modele ponownego wykorzystania.	Wprowadzenie modułowej konstrukcji pojazdów w celu umożliwienia napraw, modernizacji i łatwiejszego demontażu.	Budowanie potencjału zespołów ds. zamówień i konserwacji w zakresie zarządzania pojazdami w obiegu zamkniętym.
Wdrożenie pokładowych systemów diagnostycznych i systemów konserwacji predykcyjnej (czujniki, sztuczna inteligencja, analiza danych) w celu wydłużenia okresu eksploatacji pojazdów i komponentów.	Systematyczne stosowanie analizy kosztów cyklu życia (LCC) oraz oceny cyklu życia (LCA) przy podejmowaniu decyzji dotyczących odnowy floty.	Opracowanie programów renowacji i modernizacji w połowie cyklu życia autobusów i pojazdów szynowych.	Wykorzystanie energooszczędnych układów napędowych i technologii odzyskiwania energii.	Dostęp do mechanizmów finansowania wspierających modernizację i inwestycje oparte na cyklu życia.
Wdrożenie cyfrowych systemów zarządzania aktywami w celu monitorowania stanu i wydajności pojazdów.	Jasny podział obowiązków w zakresie konserwacji, modernizacji i fazy wycofania z eksploatacji.	Modele kontraktowania zorientowane na usługi i oparte na wynikach, promujące trwałość.	Wdrożenie zaawansowanych systemów zarządzania akumulatorami w celu optymalizacji wydajności i żywotności.	Ujednolicone wytyczne dotyczące naprawy, ponownego wykorzystania i recyklingu części samochodowych.
Wprowadzenie cyfrowych paszportów akumulatorów w celu poprawy identyfikowalności, ponownego wykorzystania i zgodności z przepisami.	Dostosowanie do ram regulacyjnych UE (np. dyrektywy w sprawie ekologicznych pojazdów, rozporządzenia UE w sprawie akumulatorów).	Współpraca z producentami, instytucjami badawczymi i start-upami w zakresie projektowania pojazdów w obiegu zamkniętym.	Wdrożenie zasad projektowania z myślą o demontażu w celu usprawnienia recyklingu i odzysku materiałów.	Współpraca międzysektorowa między operatorami transportu, dostawcami energii i podmiotami zajmującymi się recyklingiem.
Włączenie danych dotyczących cyklu życia do platform zarządzania flotą w celu wsparcia decyzji dotyczących odnawiania i wymiany pojazdów.	Długoterminowe strategie dotyczące floty dostosowane do celów neutralności klimatycznej i efektywnego gospodarowania zasobami.	Uczestnictwo w sieciach europejskich i branżowych w celu wymiany najlepszych praktyk i skalowania rozwiązań.	Wdrożenie elastycznych technologii ładowania i magazynowania energii w celu zaspokojenia zmieniających się potrzeb floty.	Ramy monitorowania i wskaźniki wydajności służące do śledzenia wyników floty w obiegu zamkniętym.

Tabela 3. Kluczowe czynniki sprzyjające strategiom flotowym w transporcie publicznym

2.3.3 Przykłady dobrych praktyk



Redesign operations for more ridership

Dobra praktyka 1:

Narzędzie do symulacji cyfrowego bliźniaka korytarza elektrycznego

Lokalizacja: Gdynia, Polska

Obszar zainteresowania:
Przeprojektowanie operacji w celu uzyskania bardziej energooszczędnych rozwiązań



Autobus elektryczny w Gdynia

Źródło: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/a-digital-twin-a-circular-economy-business-tool-for-public-transport-planners-and-operators/

Cele: Opracowano cyfrowego bliźniaka w celu symulacji różnych scenariuszy elektryfikacji i ładowania dla korytarza transportu publicznego w mieście. Narzędzie to wspiera optymalizację doboru rozmiarów akumulatorów, współdzielenie infrastruktury i zużycie energii, umożliwiając oszczędne planowanie floty oraz wydłużenie okresu użytkowania aktywów dzięki podejmowaniu świadomych decyzji

Wyzwania:

- Transport publiczny jest „niskoemisyjny”, ale nadal wymaga dużych nakładów zasobów i generuje dużo odpadów
- Dostępność danych + integracja między pojazdami i infrastrukturą

Wnioski: Podsumowując, cyfrowy bliźniak może służyć jako doskonały punkt wyjścia do przeprowadzenia złożonej i precyzyjnej analizy kosztów i korzyści zintegrowanej elektryfikacji transportu publicznego. W końcowej fazie, w oparciu o recenzje i opinie użytkowników, symulacyjny cyfrowy bliźniak ma zostać przekształcony w uniwersalne, poręczne i użyteczne narzędzie do planowania biznesowego w obiegu zamkniętym dla zelektryfikowanych flot transportu publicznego i infrastruktury.

Retrofit existing vehicle fleet



Dobra praktyka 2:

używane autobusy publiczne z silnikiem diesla przekształcone w pojazdy elektryczne

Lokalizacja: Ankara, Turcja

Obszar zainteresowania: Modernizacja istniejącej floty pojazdów



Zmodernizowany e-autobus w Ankarze

Cele: przyspieszenie procesu przejścia na bardziej przyjazne dla środowiska i o niższej emisji dwutlenku węgla rozwiązania w zakresie transportu publicznego, które wydłużają żywotność autobusów w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym.

W ramach tej innowacji nadwozie, podwozie i osie zachowują swój pierwotny kształt, a stare układy napędowe - silnik wysokoprężny, skrzynię biegów i układ paliwowy - zastępuje się silnikiem elektrycznym, zestawami akumulatorów i systemami zarządzania akumulatorami, dzięki czemu pojazd zostanie przekształcony w autobus w 100% elektryczny.

Wyzwania:

- Ograniczony zasięg, niewystarczająca infrastruktura ładowania, wysokie początkowe koszty zakupu

Wnioski: Podsumowując, przekształcanie starych autobusów z silnikiem diesla w autobusy elektryczne stanowi praktyczny i zrównoważony sposób modernizacji transportu publicznego, pozwalający jednocześnie ograniczyć ilość odpadów i obniżyć koszty. Koszt takiej modernizacji może wynieść zaledwie 35-45% ceny nowego autobusu elektrycznego, a inwestycja zwraca się w ciągu około 24 miesięcy; po 3,5-godzinym ładowaniu autobus może przejechać nawet 300 km. Chociaż badania wskazują, że w niektórych warunkach letnich zmodernizowane autobusy mogą zużywać więcej energii niż nowo wyprodukowane autobusy elektryczne, nadal zapewniają one znaczące korzyści dla środowiska - analizy dotyczące modernizacji wykazują o 28-42% niższy poziom emisji CO₂ oraz o 57-64% niższe koszty energii w porównaniu z autobusami z silnikiem diesla.

Źródło: <https://academic.oup.com/ijlct/article/doi/10.1093/ijlct/ctae049/7723583>
<https://aim2flourish.com/innovations/buses-that-come-alive-again-with-electricity-7>

3. Plany działania odnoszące się do kluczowych wyzwań w sektorze transportu publicznego

Opierając się na doświadczeniach i wynikach pilotażowych działań i strategii CE4CE, cztery plany działania przedstawione w niniejszym podręczniku przekształcają testy techniczne, współpracę zainteresowanych stron i refleksję strategiczną w ramy zorientowane na wdrożenie, dostosowane do konkretnych kontekstów partnerów projektu: Przedsiębiorstwo Transportu Publicznego w Lipsku - LVB (Niemcy), Gdynski Przewoźnik Autobusowy - PKA (Polska), Przedsiębiorstwo Transportowe w Bergamo - ATB Mobility (Włochy) oraz Gmina Maribor (Słowenia). Plany działania CE4CE dotyczą szerokiego zakresu wyzwań związanych z infrastrukturą transportu publicznego, taborem, systemami energetycznymi oraz zarządzaniem operacyjnym. Kluczowe tematy obejmują konserwację predykcijną, efektywność energetyczną, zamówienia publiczne oparte na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, współdzielenie infrastruktury, integrację energii odnawialnej, ponowne wykorzystanie akumulatorów oraz zarządzanie aktywami zorientowane na cykl życia.

Chociaż każdy plan działania odzwierciedla konkretne potrzeby i priorytety uczestniczących instytucji, wszystkie one przyczyniają się do realizacji wspólnego celu, jakim jest ograniczenie ilości odpadów, zachowanie wartości, poprawa efektywności wykorzystania zasobów oraz wzmocnienie długoterminowej zrównoważoności i odporności systemów transportu publicznego. Plany działania opracowane dla Mariboru, Lipska, Gdyni i Bergamo pokazują, w jaki sposób zasady gospodarki o obiegu zamkniętym można włączyć do planowania mobilności, zarządzania infrastrukturą, procesów zamówień publicznych i praktyk operacyjnych poprzez współpracę zainteresowanych stron, cyfryzację, środki zarządzania oraz podejście oparte na wdrażaniu etapowym. Jednocześnie dostarczają one doświadczeń, które można wykorzystać w innych miejscach, oraz praktycznych wskazówek dla organów zarządzających transportem publicznym, operatorów, gmin i innych zainteresowanych stron, które chcą zastosować podobne podejście w swoich własnych kontekstach miejskich i regionalnych.

3.1. Plan działania dotyczący pozyskiwania i wykorzystania energii odpadowej z pociągów oraz ładowania zużytych akumulatorów przy użyciu odnawialnych źródeł energii w Mariborze, Słowenia



Rysunek 5. Ramy strategiczne wspierające wizję

3.1.1 Strategiczne tło i kontekst opracowania planu działania

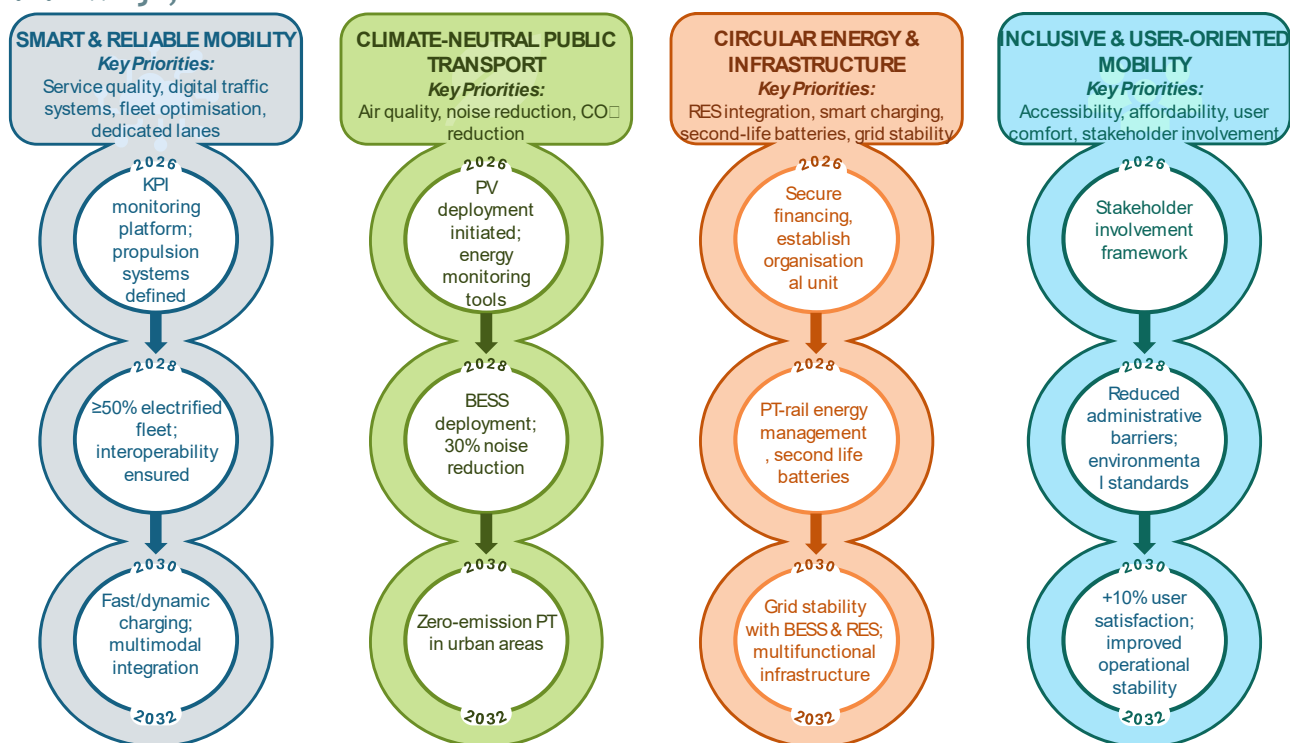
Plan działania dla Mariboru został opracowany w ramach projektu CE4CE jako aktualizacja „Strategii na rzecz ekologicznej, wielofunkcyjnej infrastruktury ładowania” z 2022 r. i jest silnie osadzony w procesie tworzenia miejskiego planu zrównoważonej mobilności miejskiej (SUMP). Odpowiada on na potrzebę zmniejszenia zużycia energii, emisji i nieefektywności w systemie transportu publicznego w Mariborze poprzez wprowadzenie rozwiązań opartych na obiegu zamkniętym i energooszczędnych. Plan jest zgodny z planem zrównoważonej mobilności miejskiej Mariboru na lata 2026-2030 - SUMP Maribor (zaktualizowanym w 2026 r.), strategią przejścia

na gospodarkę o obiegu zamkniętym gminy Maribor na lata 2024-2030 oraz szerszymi ramami UE, takimi jak Europejski Zielony Ład i plan działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, wspierającymi transformację w kierunku sektora transportowego o niskiej emisji dwutlenku węgla, energooszczędnego i opartego na obiegu zamkniętym.

Głównym wyzwaniem, na które odpowiada plan działania, jest rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną związane z elektryfikacją transportu publicznego. Maribor przechodzi z systemu energetycznego transportu opartego na paliwach kopalnych w kierunku bardziej skoncentrowanego systemu opartego na energii elektrycznej, co wymaga silniejszej infrastruktury ładowania, lepszego zarządzania energią i zmniejszenia obciążenia sieci energetycznej. Analiza interesariuszy pozwoliła zidentyfikować kilka konkretnych barier: niewystarczającą integrację odnawialnych źródeł energii, brak systematycznych systemów magazynowania energii w akumulatorach, ograniczone możliwości inteligentnego ładowania, słabo rozwinięte ponowne wykorzystanie akumulatorów i komponentów oraz słabą integrację między planowaniem transportu, przestrzennym i energetycznym. Ograniczenia regulacyjne między producentami, dystrybutorami i konsumentami zostały ocenione jako jedna z najważniejszych barier, obok zależności od finansowania unijnego i miejskiego.

Plan działania nie jest prawnie wiążący, ale jego środki są włączone do planu zrównoważonego transportu miejskiego (SUMP) w Mariborze, co zapewnia im silniejszą podstawę do wdrożenia. Plan ten stanowi zatem ramy zorientowane na wdrożenie, łączące cele w zakresie mobilności, energii i gospodarki o obiegu zamkniętym.

3.1.2 Wizja, cele i zadania



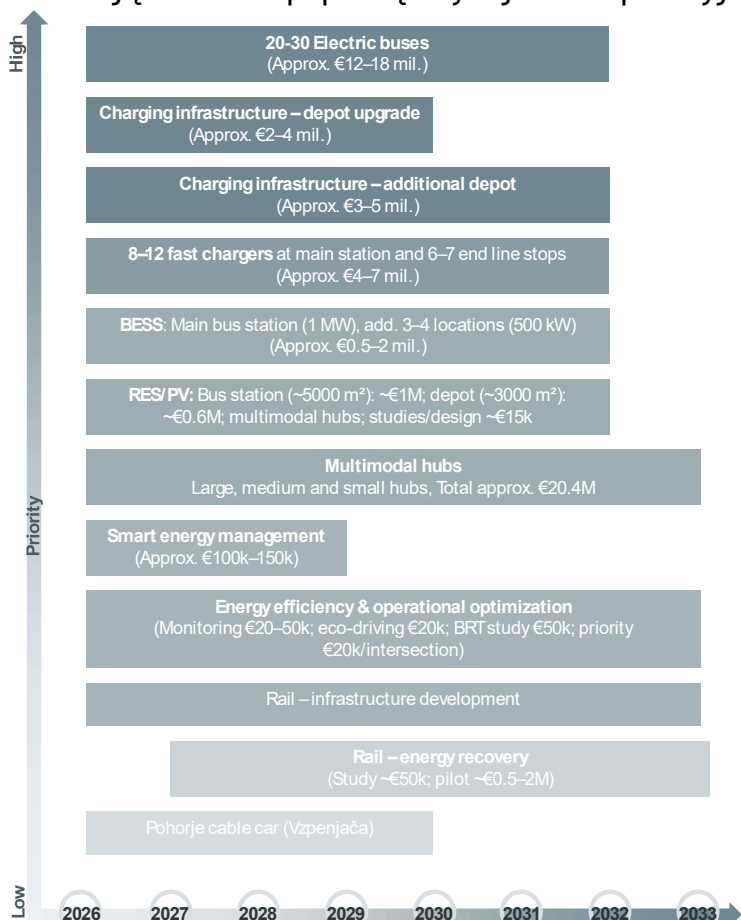
Rysunek 6. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Mariboru

Wizją planu działania dla Mariboru jest rozwój konkurencyjnych, energooszczędnych i zrównoważonych usług transportu publicznego z wykorzystaniem technologii niskoemisyjnych i alternatywnych źródeł energii. Celem jest ograniczenie emisji, poprawa jakości powietrza, obniżenie poziomu hałasu na obszarach miejskich, zmniejszenie zużycia energii na potrzeby mobilności oraz stworzenie przyjaznego dla użytkownika,

cyfrowego i akceptowanego społecznie systemu transportowego. Plan działania określa stopniowe przejście w kierunku niskoemisyjnego, energooszczędnego i zorientowanego na użytkownika systemu transportu publicznego poprzez wymiary strategiczne oraz zestaw średnio- i długoterminowych kamieni milowych wdrożenia.

3.1.3 Kluczowe działania

Plan działania proponuje pakiet środków dotyczących infrastruktury, energii, operacji i zarządzania. Proponowane środki obejmują wdrożenie autobusów elektrycznych, rozbudowę infrastruktury ładowania, systemy magazynowania energii w bateriach (BESS) oraz integrację energii odnawialnej poprzez instalacje fotowoltaiczne (PV). Działania te mają na celu poprawę wydajności operacyjnej, zmniejszenie emisji i wzmocnienie



Rysunek 7. Kluczowe działania i harmonogram realizacji w Mariborze

innymi lokalnymi interesariuszami. Harmonogram realizacji jest określony w szerszych przedziałach czasowych, a nie w konkretnych latach. Bardziej szczegółowy i operacyjny harmonogram znajduje się w planie zrównoważonego zarządzania ruchem w Mariborze (SUMP), który służy jako główne ramy realizacji rozwoju transportu w mieście.

3.1.4 Aspekty monitorowania i oceny

Monitorowanie planu działania dla Mariboru będzie dostosowane do rocznych ram monitorowania i sprawozdawczości SUMP dla Mariboru, ale zostanie rozszerzone o wskaźniki dotyczące energii i gospodarki o obiegu zamkniętym. Gmina Maribor będzie koordynować gromadzenie i przetwarzanie danych we współpracy z głównymi interesariuszami: Marprom, Public Holdings Maribor, Agencją Energetyczną, Elektro Maribor oraz Uniwersytetem w Mariborze.

długoterminowej odporności energetycznej.

Szacowane inwestycje różnią się znacznie w zależności od działania, wahając się od około 15 000 EUR na badania przygotowawcze do około 12-18 mln EUR na zakup autobusów elektrycznych na dużą skalę. Większość działań związanych z infrastrukturą szacuje się w średnim przedziale inwestycyjnym wynoszącym około 0,5-7 mln EUR.

Realizacja opiera się na połączeniu mechanizmów finansowania, przy czym najczęściej wymieniane źródła to fundusze lokalne, programy finansowania UE, Słoweński Fundusz Ekologiczny oraz wkłady sektora prywatnego, szczególnie w przypadku inwestycji w energię odnawialną.

Realizacja jest planowana etapowo w latach 2026-2032 i zakłada współpracę między władzami miejskimi, operatorami transportu publicznego, partnerami technicznymi oraz

System monitorowania będzie wykorzystywał kluczowe wskaźniki efektywności (KPI) obejmujące mobilność, środowisko, energię, infrastrukturę, operacje i aspekty związane z użytkownikami. Wskaźniki mobilności obejmują wskaźnik czasu podróży transportem publicznym, punktualność i niezawodność, liczbę pasażerów oraz obłożenie pojazdów. Wskaźniki środowiskowe obejmują emisje CO₂, zanieczyszczenia powietrza, takie jak NO_x i PM (w miarę dostępności), oraz poziomy hałasu w mieście. Wskaźniki energetyczne obejmują zużycie energii na pojazd lub pasażera, udział energii odnawialnej w koszyku energetycznym transportu publicznego oraz redukcję obciążenia szczytowego dzięki systemom BESS. Wskaźniki infrastrukturalne obejmują zainstalowaną moc ładowania, pojemność systemów BESS oraz moc instalacji fotowoltaicznych.

Dane będą pochodzić z systemów zarządzania flotą, narzędzi monitorowania energii, danych dotyczących infrastruktury ładowania, analiz transportowych, ankiet, monitorowania infrastruktury oraz zewnętrznych zbiorów danych od dostawców energii. Ocena będzie przeprowadzana co 2-3 lata i będzie obejmować porównanie osiągniętych wyników z planowanymi celami, ocenę opłacalności, identyfikację barier wdrożeniowych i czynników sukcesu, analizę wpływu na poziomie systemu oraz uwzględnienie opinii interesariuszy i użytkowników. Wyniki zostaną wykorzystane do aktualizacji środków, dopracowania priorytetów inwestycyjnych oraz utrzymania spójności z SUMP.

3.1.5 Zaangażowanie interesariuszy w proces przygotowania i wdrażania



Rysunek 8. Warsztaty dla zainteresowanych stron na temat gospodarki o obiegu zamkniętym i energii w transporcie publicznym. Źródło: Gmina Maribor, CE4CE

Zaangażowanie interesariuszy zorganizowano poprzez lokalne warsztaty, konsultacje z ekspertami oraz w ramach współpracy i wspólnego rozwoju oferowanych przez projekt CE4CE. W procesie tym uczestniczyli przedstawiciele władz miejskich, regionalnych, środowisk akademickich, energetyki, transportu i sektora prywatnego, a także partnerzy projektu. Na poziomie gminnym głównymi uczestnikami były: gmina Maribor, Marprom jako operator transportu publicznego, podmioty zajmujące się infrastrukturą miejską i robotami publicznymi, lokalny dostawca energii i ciepła sieciowego oraz przedsiębiorstwo zajmujące się gospodarką odpadami. Wśród podmiotów regionalnych znalazły się: Regionalna Agencja Rozwoju Podravje-Maribor oraz regionalna agencja energetyczna. Uniwersytet w Mariborze wniósł wkład jako główny partner akademicki i badawczy. Wkład w zakresie technologii i sektora prywatnego pochodził od dostawców infrastruktury szybkiego ładowania i dystrybutorów autobusów elektrycznych.

Proces zaangażowania skupiał się na zidentyfikowaniu wyzwań i potrzeb związanych z zastosowaniem zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w transporcie publicznym, zwłaszcza w odniesieniu do zużycia energii, energii odnawialnej, magazynowania

energii i ponownego wykorzystania. Zainteresowane strony oceniły bariery, takie jak słaba integracja energii odnawialnej, brak inteligentnego ładowania, niewystarczający monitoring, ograniczenia regulacyjne, skomplikowane procedury wydawania zezwoleń, słaba koordynacja między planowaniem przestrzennym, transportowym i energetycznym oraz słabo rozwinięte systemy ponownego wykorzystania komponentów i akumulatorów.

Proces ten pomógł określić priorytety planu działania, w tym wdrożenie systemów BESS, inteligentne ładowanie, integrację fotowoltaiki, wykorzystanie energii odzyskanej z kolei, multimodalne węzły energetyczne oraz poprawę zarządzania. Wzmocnił on również współpracę między podmiotami z sektora transportu i energetyki, co uznano za niezbędne do realizacji projektu.

3.1.6 Najważniejsze wnioski z procesu opracowywania planu działania

Opracowanie planu działania dla Mariboru dostarczyło ważnych spostrzeżeń strategicznych i organizacyjnych dotyczących przejścia na bardziej zrównoważony, energooszczędny i oparty na obiegu zamkniętym system transportu publicznego. Proces ten uwypuklił kilka istotnych aspektów istotnych dla przyszłego wdrożenia i długoterminowego planowania mobilności miejskiej:



GLÓWNE WNIOSKI

Ścisła integracja z procesem SUMP: Ścisłe powiązanie z planem zrównoważonej mobilności miejskiej (SUMP) gwarantuje, że proponowane działania są osadzone w długoterminowych ramach mobilności, inwestycji i monitorowania w Mariborze.

Wdrażanie etapowe i elastyczne: Ze względu na ewoluujące technologie, warunki regulacyjne i niepewność finansową, ciągłe monitorowanie, ocena i zarządzanie adaptacyjne będą miały zasadnicze znaczenie dla zapewnienia długoterminowej skuteczności i odporności proponowanych środków.

Zintegrowane podejście systemowe: Elektryfikacja musi łączyć perspektywę transportu, energii i planowania przestrzennego. Proces ten potwierdził, że elektryfikacja floty musi być wspierana przez skoordynowane planowanie infrastruktury ładowania, integrację energii odnawialnej, systemy magazynowania energii oraz rozwiązania w zakresie zarządzania energią.

Współpraca międzysektorowa: Silniejsza współpraca między operatorami transportowymi, wydziałami miejskimi, dostawcami energii, podmiotami infrastrukturalnymi i instytucjami badawczymi okazała się kluczowym czynnikiem sprzyjającym podczas procesu opracowywania planu.

Cyfryzacja i zarządzanie oparte na danych: Planowanie długoterminowe wymaga systemów monitorowania, ram wskaźników KPI oraz narzędzi optymalizacyjnych. Elementy te są niezbędne do podejmowania adaptacyjnych, wydajnych i opartych na dowodach decyzji dotyczących rozwiązań w zakresie zarządzania energią.

Znaczenie działań pilotażowych i demonstracyjnych: Doświadczenia z projektu CE4CE wykazały, jak ważne jest testowanie technologii i podejść organizacyjnych przed ich wdrożeniem na większą skalę lub szerszym zastosowaniem.

Potencjał instytucjonalny i struktury zarządzania: Proces ten uwypuklił potrzebę jasnego podziału obowiązków, długoterminowego zaangażowania interesariuszy oraz gotowości organizacyjnej, obok rozwiązań technicznych.

Rysunek 9. Główne wnioski z Mariboru

3.2. Plan działania mający na celu optymalizację utrzymania infrastruktury poprzez minimalnie inwazyjne prace konserwacyjne w Lipsku, Niemcy

3.2.1 Strategiczne tło i kontekst opracowania planu działania

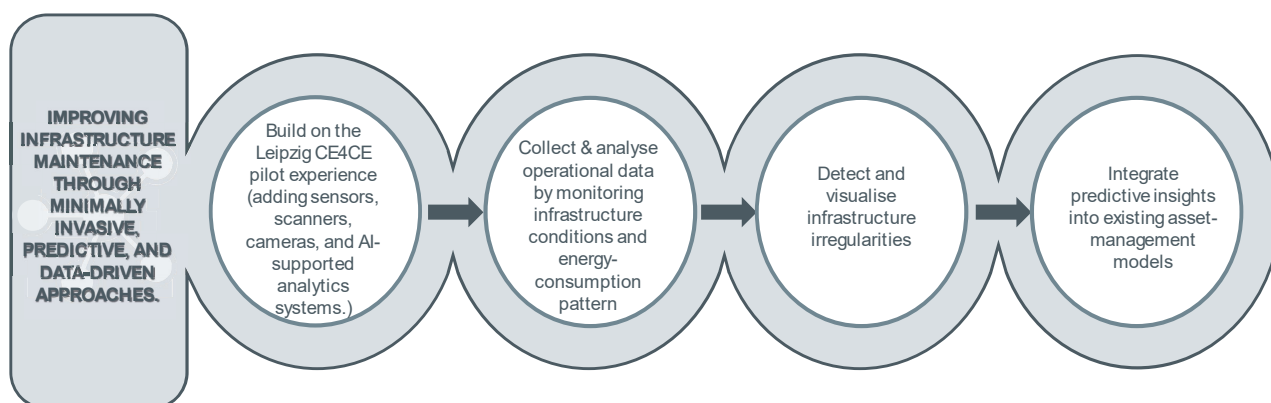
Plan działania dla Lipska został opracowany przez Lipskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne (LVB) w ramach projektu CE4CE w celu zbadania możliwości poprawy utrzymania infrastruktury poprzez minimalnie inwazyjne, predykcyjne i oparte na danych podejścia. Inicjatywa ta stanowi odpowiedź na ograniczenia tradycyjnych praktyk konserwacyjnych, które nadal opierają się w dużej mierze na oględzinach, stałych cyklach odnowy i interwencjach reaktywnych.

Potrzeba bardziej zaawansowanych podejść do utrzymania ma szczególne znaczenie dla LVB, która obsługuje jedną z największych sieci tramwajowych w Niemczech, obejmującą ponad 300 km torów i charakteryzującą się dużą częstotliwością kursów. Rosnące zapotrzebowanie pasażerów, wzrost liczby ludności, polityka transformacji mobilności oraz rozszerzone usługi nocne wywierają coraz większą presję na dostępność infrastruktury i efektywność utrzymania. Jednocześnie na działania konserwacyjne wpływają takie wyzwania, jak niedobór wykwalifikowanej siły roboczej, zmiany demograficzne, ograniczona dostępność betonu i specjalistycznej wiedzy, ograniczone okna konserwacyjne oraz niekompletne dane dotyczące stanu technicznego.

W tym kontekście plan działania ma na celu wsparcie stopniowego przejścia od reaktywnego do predykcyjnego zarządzania aktywami i praktyk konserwacyjnych. Podejście to opiera się na doświadczeniach z pilotażowych testów CE4CE w Lipsku, w ramach których trzy tramwaje zostały wyposażone w czujniki drgań, kamery, skanery laserowe, systemy pomiaru przepływu energii, urządzenia do przetwarzania brzegowego oraz platformy analityczne wspierane przez sztuczną inteligencję. Działania pilotażowe wykazały potencjał wykorzystania tych technologii do wspierania wczesnego wykrywania i wizualizacji uszkodzeń torów, nieprawidłowości w sieci trakcyjnej oraz wzorców zużycia energii w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

Proponowane podejście ma również na celu uzupełnienie istniejących modeli kosztów cyklu życia (LCC) stosowanych przez LVB. Podczas gdy metody LCC służą przede wszystkim długoterminowemu planowaniu finansowemu, podejścia oparte na konserwacji predykcyjnej mogą zapewnić dodatkową perspektywę operacyjną i taktyczną dzięki wykorzystaniu aktualnych danych pomiarowych, trendów dotyczących stanu technicznego oraz prognoz dotyczących wydajności infrastruktury.

3.2.2 Vision, targets and objectives



Rysunek 10. Wizja i cele strategiczne planu działania LVB

Wizją planu działania z Lipska jest ustanowienie skalowalnego podejścia do konserwacji predykcyjnej, które wspiera dostępność infrastruktury, bardziej efektywne wykorzystanie zasobów oraz stopniowe dostosowywanie praktyk zarządzania aktywami do zasad normy ISO 55001 obowiązujących w przedsiębiorstwie. Plan działania ma na celu umożliwienie wcześniejszych, bardziej ukierunkowanych i mniej inwazyjnych interwencji konserwacyjnych, przy jednoczesnym wzmocnieniu powiązania między operacyjnymi działaniami konserwacyjnymi a strategicznym planowaniem inwestycji.

Głównym celem jest wsparcie przejścia od konserwacji opartej na interwałach i reaktywnej w kierunku systemu opartego w większym stopniu na danych, wykorzystującego czujniki, analizy wspierane przez sztuczną inteligencję, pulpity nawigacyjne i modele parametrów. Podejście to ma na celu poprawę identyfikacji potencjalnych wzorców uszkodzeń, wsparcie ustalania priorytetów interwencji w oparciu o ryzyko oraz przyczynienie się do ograniczenia zbędnych prac renowacyjnych.

Plan działania ma ponadto na celu stworzenie cyfrowego katalogu uszkodzeń, opracowanie modelu parametrycznego do kontroli scenariuszy i inwestycji, integrację danych monitorowania z systemami takimi jak MR.pro®, GIS i ZEDAS oraz wsparcie wykorzystania pulpity nawigacyjnych w podejmowaniu decyzji operacyjnych. Ponadto plan bada możliwości poprawy efektywności energetycznej poprzez analizę zużycia energii na kilometr przejechany przez pojazd oraz wzorców zachowań kierowców.

Kolejny ważny cel dotyczy współpracy organizacyjnej. Plan działania promuje ściślejszą współpracę między działami utrzymania ruchu, zarządzania aktywami, cyfryzacji, operacji, kontroli oraz partnerami zewnętrznymi poprzez wspólne struktury danych i jaśniejsze ścieżki podejmowania decyzji. Ma on również na celu opracowanie podejść, które można by przenieść na inne linie tramwajowe, inne klasy aktywów oraz infrastrukturę autobusową w Lipsku. Wymiana wiedzy i doświadczeń, a także wspólne opracowywanie metodologii oceny i prognozowania mogą zostać przeniesione na innych operatorów transportu publicznego.

3.2.3 Kluczowe działania w ramach planu działania

Plan działania dla Lipska proponuje ustrukturyzowany zestaw działań mających na celu wsparcie integracji konserwacji predykcyjnej z procesami zarządzania aktywami, przy jednoczesnej poprawie strategicznego sterowania rozwojem infrastruktury.

Jednym z kluczowych działań jest opracowanie cyfrowego katalogu uszkodzeń, który systematycznie rejestruje i klasyfikuje powtarzające się usterki infrastruktury, takie jak pofałdowania szyn, pęknięcia szyn i usterki przewodów jezdnych. Dzięki połączeniu pomiarów czujników, inspekcji wideo i konwencjonalnych metod kontroli katalog ma wspierać automatyczne wykrywanie usterek, ustalanie priorytetów w oparciu o ryzyko oraz bardziej znormalizowane procedury oceny. Do opracowania tego podejścia przyczyniają się doświadczenia z projektu pilotażowego CE4CE, w ramach którego przetestowano analizy typowych wzorców uszkodzeń wspomaganą sztuczną inteligencją.

Kolejnym ważnym działaniem jest opracowanie modelu parametrów do analizy scenariuszy i kontroli inwestycji. Model łączy dane o stanie, prognozy dotyczące cyklu życia, wpływ na eksploatację oraz wskaźniki kosztów, aby wspierać ocenę różnych strategii utrzymania i długoterminowych opcji inwestycyjnych. Metodologia opiera się na trzech uzupełniających się źródłach informacji: precyzyjnych pomiarach indywidualnych, ustrukturyzowanych inspekcjach wizualnych oraz strumieniach danych z ciągłego monitoringu. Oczekuje się, że połączenie tych elementów zapewni solidniejszą podstawę do prognozowania stanu infrastruktury i analizy potencjalnych scenariuszy utrzymania.

MEASURES

- **Digital damage catalogue:** Records and classifies recurring defects such as rail corrugation, rail breaks, and contact wire defects.
- **Automated fault detection:** Uses sensor data, video inspections, and conventional inspections to identify infrastructure problems.
- **Risk-based prioritisation:** Supports more systematic assessment and ranking of defects based on urgency and impact.
- **Parameter model for scenario analysis:** Combines condition data, lifecycle forecasts, operational impacts, and cost indicators to compare maintenance strategies.
- **Integration of monitoring data:** Connects monitoring outputs with systems such as GIS, MR.pro®, and ZEDAS through interoperable interfaces.
- **Central data platform and dashboards:** Brings together measurement data, images, and fault classifications in map-based visualisations.
- **Organisational development and change management:** Promotes user participation, competence development, interdisciplinary cooperation, and continuous learning.
- **Workshops and stakeholder exchanges:** Gathers user requirements and supports acceptance of new systems and workflows.

Rysunek 11. Kluczowe działania w Lipsku

Plan działania przewiduje również integrację danych z monitoringu z istniejącymi systemami, takimi jak GIS, MR.pro® i ZEDAS, za pośrednictwem interoperacyjnych interfejsów oraz centralnej platformy danych. Integracja ta ma na celu zapewnienie bardziej całościowego obrazu stanu infrastruktury poprzez połączenie danych pomiarowych, zdjęć i klasyfikacji usterek w ramach pulpitów nawigacyjnych i wizualizacji opartych na mapach. Otwarte i znormalizowane interfejsy uznaje się za istotne dla umożliwienia przyszłej rozbudowy systemu oraz przenoszenia go na potrzeby innych operatorów transportu publicznego.

Oprócz środków technicznych plan działania podkreśla znaczenie rozwoju organizacyjnego i zarządzania zmianą. Proponowane podejście kładzie nacisk na udział użytkowników, rozwój kompetencji, współpracę interdyscyplinarną oraz procesy ciągłego uczenia się. Warsztaty i wymiana doświadczeń między zainteresowanymi stronami przeprowadzone podczas pilotażu CE4CE przyczyniły się do zebrania wymagań użytkowników oraz wsparcia akceptacji nowych systemów i procesów roboczych.

Opierając się na doświadczeniach zdobytych podczas pilotażowego projektu CE4CE w Lipsku, plan działania proponuje strategię wdrażania etapowego. Obejmuje to identyfikację kluczowych aktywów, opracowanie i testowanie modeli prognostycznych oraz stopniowe włączanie sprawdzonych narzędzi i procesów do operacyjnych przepływow pracy i działań związanych z planowaniem strategicznym. Iteracyjne podejście do wdrażania ma na celu zmniejszenie ryzyka, wspieranie uczenia się organizacyjnego oraz ułatwienie stopniowego wdrażania praktyk konserwacji predykcyjnej w ramach długoterminowych struktur zarządzania aktywami.

3.2.4 3Aspekty monitorowania i oceny w ramach planu działania

Działania monitorujące w ramach planu działania dla Lipska koncentrują się na ocenie, czy podejścia do konserwacji predykcyjnej przyczyniają się do poprawy niezawodności technicznej, procesów operacyjnych i strategicznych decyzji dotyczących zarządzania aktywami. Proponowane ramy monitorowania obejmują kilka kluczowych wskaźników efektywności (KPI), które są również istotne w kontekście oceny wyników zgodnie z normą ISO 55001.

Proponowane wskaźniki obejmują wczesne wykrywanie usterek, zanim staną się one krytyczne, ograniczenie nieplanowanych działań konserwacyjnych, dostępność infrastruktury, efektywność energetyczną oraz wskaźniki jakości danych, takie jak czas sprawności czujników i niezawodność transmisji danych. Dodatkowe wskaźniki mogą obejmować czas reakcji między wykryciem usterki a podjęciem działań naprawczych, a także potencjalne oszczędności wynikające z uniknięcia napraw i wydłużenia okresu eksploatacji aktywów.

Oczekuje się, że gromadzenie danych będzie opierać się na zautomatyzowanych systemach czujników i platformach danych, uzupełnionych o porównania z danymi MR.pro®, inspekcje na miejscu, ankiety i istniejące metody oceny. Działania oceniające mają na celu połączenie automatycznej analizy z opiniami ekspertów oraz regularnymi spotkaniami koordynacyjnymi między zespołami ds. zarządzania aktywami, konserwacji i cyfryzacji. Oczekuje się, że wyniki działań pilotażowych i faz wdrożeniowych przyczynią się do ciągłego ulepszania algorytmów, dostosowywania systemów i procesów planowania konserwacji. W dłuższej perspektywie działania monitorujące mają na celu wsparcie procesów kontroli inwestycji i planowania konserwacji poprzez podejmowanie decyzji w oparciu o dane.

3.2.5 Zaangażowanie interesariuszy w proces przygotowania i wdrożenia

Plan działania dla Lipska opiera się na ścisłej współpracy między wewnętrznymi działami LVB, zewnętrznymi partnerami technicznymi oraz innymi przedsiębiorstwami komunalnymi wchodzącymi w skład grupy „L” kierowanej przez gminę Lipsk (Stadt Leipzig). W ramach LVB zarządzanie aktywami odgrywa wiodącą rolę w integracji podejść opartych na konserwacji predykcyjnej ze strategicznym zarządzaniem infrastrukturą. IFTEC (odpowiedzialna za znaczną część usług technicznych i inżynierskich związanych z systemem transportu publicznego w Lipsku) przyczynia się do wdrożenia technicznego, działań kalibracyjnych oraz przekazywania informacji zwrotnych dotyczących wzorców uszkodzeń i środków konserwacyjnych. Zespół ds. cyfryzacji wspiera rozwój platform danych, pulpitu nawigacyjnego i interfejsów, podczas gdy personel operacyjny i kierownicy przekazują informacje zwrotne dotyczące komfortu jazdy i zakłóceń w świadczeniu usług. Jednostki ds. kontroli i planowania inwestycji są zaangażowane w wykorzystanie modeli parametrycznych do budżetowania i opracowywania scenariuszy.

Partnerzy zewnętrzni dostarczają rozwiązania sprzętowe, technologie przetwarzania brzegowego, systemy monitorowania, analizy wspierane przez sztuczną inteligencję oraz narzędzia do analizy zużycia energii. Projekt pilotażowy CE4CE obejmował współpracę z organizacjami, takimi jak IFTEC, Kruch Railways (również partner CE4CE), CI4RAIL, CEMIT i PantoHealth. Uniwersytety i instytucje badawcze zapewniły wsparcie techniczne i metodologiczne, natomiast miejskie podmioty zaangażowane w projekt udostępniły linki do inicjatyw w zakresie inteligentnych miast oraz miejskich platform danych.

Działania angażujące interesariuszy obejmowały warsztaty dotyczące definiowania wymagań i wyboru systemu, regularne spotkania koordynacyjne, sesje szkoleniowe oraz formaty przeglądów przeprowadzanych przez interesariuszy. W fazie pilotażowej działania te wspierały gromadzenie opinii użytkowników, zwłaszcza motorniczych tramwajów, testowanie akceptacji systemu oraz wspólne opracowywanie pulpitu nawigacyjnego i interfejsów.

3.2.6 Najważniejsze wnioski wynikające z procesu opracowywania planu działania

Proces opracowywania planu działania dla Lipska sugeruje, że podejścia oparte na konserwacji predykcyjnej mogą oferować znaczny potencjał, gdy zostaną zintegrowane z codziennymi czynnościami konserwacyjnymi i strategicznymi procesami zarządzania aktywami. Doświadczenia z projektu pilotażowego CE4CE wskazują, że technologie takie jak czujniki, systemy monitorowania i analityka oparta na sztucznej inteligencji mogą przyczynić się do identyfikacji krytycznych odcinków torów, uszkodzeń szyn, nieprawidłowości w sieci trakcyjnej i innych problemów związanych z infrastrukturą w warunkach eksploatacyjnych.

Ważnym wnioskiem jest wartość dodana ciągłego monitorowania jako uzupełnienia istniejących podejść do zarządzania aktywami. Połączenie aktualnych danych pomiarowych z praktykami kontroli wizualnej i modelami kosztów cyklu życia może wspierać bardziej dynamiczne i świadome podejmowanie decyzji w porównaniu z samymi stałymi cyklami odnowy.

Proces ten uwypuklił również fakt, że cyfryzacja stanowi nie tylko wyzwanie techniczne, ale także organizacyjne. Działania szkoleniowe, akceptacja użytkowników, umiejętność korzystania z danych, zrewidowane zakresy odpowiedzialności oraz długoterminowe procesy zarządzania zmianą wydają się niezbędne do zapewnienia skutecznej integracji pulpitów nawigacyjnych i analiz opartych na sztucznej inteligencji z praktyką operacyjną.



GLÓWNE WNIOSKI

Potencjał konserwacji predykcyjnej: Konserwacja predykcyjna może wnieść znaczną wartość dodaną, gdy zostanie włączona do codziennej konserwacji i strategicznego zarządzania aktywami.

Wdrażanie etapowe i elastyczne: Ze względu na ewoluujące technologie, warunki regulacyjne i niepewność finansową, ciągłe monitorowanie, ocena i zarządzanie adaptacyjne będą miały zasadnicze znaczenie dla zapewnienia długoterminowej skuteczności i odporności proponowanych środków.

Wartość ciągłego monitorowania: Ciągłe monitorowanie uzupełnia inspekcje wizualne i modele kosztów cyklu życia, umożliwiając podejmowanie bardziej dynamicznych decyzji opartych na danych.

Wyjście poza stałe cykle odnowy: Połączenie danych w czasie rzeczywistym z istniejącymi metodami zarządzania aktywami może pomóc w lepszym wycuciu czasu konserwacji i odnowy.

Potrzeby związane ze zmianami organizacyjnymi: Skuteczna cyfryzacja wymaga szkoleń, akceptacji użytkowników, umiejętności korzystania z danych, zmiany zakresu obowiązków oraz długoterminowego zarządzania zmianą.

Potencjał transferu: Modułowy, certyfikowany dla kolei system można rozszerzyć na inne linie tramwajowe, aktywa infrastrukturalne i zastosowania związane z autobusami.

Długoterminowa instytucjonalizacja: Trwałe stosowanie będzie zależało od stabilnego finansowania, integracji systemu, zdolności personelu oraz dostosowania do procesów zarządzania aktywami LVB.

Rysunek 12. Główne wnioski z Lipska

Wreszcie plan działania wykazuje potencjał transferu poza środowisko pilotażowe. W ramach projektu pilotażowego wykorzystano komponenty certyfikowane dla kolei, zgodne z normami EN 50155 i EN 45545, a modułowa architektura systemu może wspierać przyszłą ekspansję na dodatkowe linie tramwajowe, inne elementy infrastruktury oraz potencjalne zastosowania związane z autobusami, takie jak infrastruktura ładowania. Jednocześnie długoterminowa instytucjonalizacja podejść do konserwacji predykcijnej będzie prawdopodobnie zależała od stabilnego finansowania, integracji systemowej, możliwości kadrowych oraz ich ciągłej integracji z szerszymi procesami zarządzania aktywami LVB.

3.3. Plan działania na rzecz optymalizacji dostaw infrastruktury poprzez współpracę i współdzielenie między dostawcami publicznymi, jako aktualizacja miejskiej strategii elektromobilności w Gdyni, Polska



Rysunek 13. Elektrownia fotowoltaiczna zasilająca trolejbusy w zajezdni w Gdyni. Źródło: CE4CE

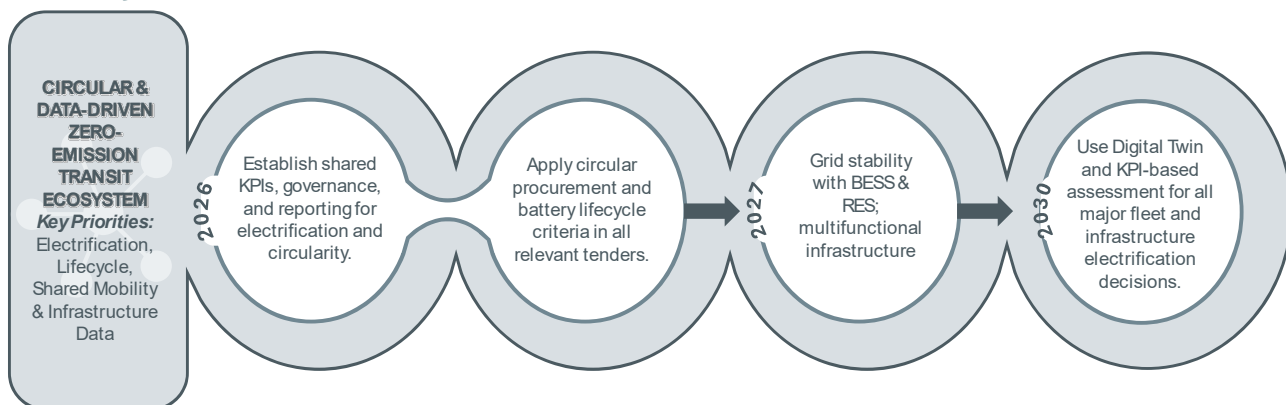
3.3.1 Strategiczne tło i kontekst opracowania planu działania

Plan działania dla Gdyni aktualizuje miejskie podejście do elektromobilności, koncentrując się na elektryfikacji w obiegu zamkniętym, współdzieleniu infrastruktury oraz współpracy między dostawcami usług publicznych: PKA - miejskim operatorem autobusowym i partnerem projektu CE4CE oraz PKT - miejskim operatorem trolejbusowym. Plan opiera się na istniejących atutach Gdyni: długoletnim systemie trolejbusowym, doświadczeniu w zakresie ładowania podczas jazdy oraz autobusach elektrycznych wprowadzonych w 2022 r.

Plan działania odpowiada na pięć konkretnych wyzwań zidentyfikowanych przez PKA i jej partnerów: starzejące się aktywa, rosnące koszty energii elektrycznej i cyklu życia, potrzeba zamówień publicznych opartych na obiegu zamkniętym, ograniczone narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji w zakresie planowania inwestycji oraz potrzeba lepszego dostosowania elektromobilności do celów miasta w zakresie klimatu i mobilności. Zajmuje się on również ryzykiem zidentyfikowanym w ramach pilotażu przeprowadzonego w Gdyni w ramach projektu CE4CE, w tym zapotrzebowaniem na energię związanym z zatorami komunikacyjnymi, zbyt dużymi akumulatorami i infrastrukturą ładowania, fragmentacją danych między instytucjami, niepewnością co do przyszłego finansowania oraz możliwością uwięzienia miasta w nieefektywnych rozwiązaniach na 12-30 lat.

Pod względem strategicznym plan ten jest powiązany ze Strategią Rozwoju Miasta Gdyni 2030, Planem Zrównoważonej Mobilności Miejskiej Gdyni oraz pracami w zakresie monitorowania i oceny w ramach planów SUMP dla regionu Morza Bałtyckiego. Na poziomie krajowym plan jest zgodny z polską ustawą o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Na poziomie UE jest on zgodny z aktualnymi ramami regulacyjnymi tworzonymi przez następujące strategie ramowe i dyrektywy: Europejski Zielony Ład, dyrektywa w sprawie ekologicznych pojazdów, rozporządzenie w sprawie infrastruktury dla paliw alternatywnych, dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej oraz dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii i rozporządzenie w sprawie baterii.

3.3.2 Wizja, cele i zadania



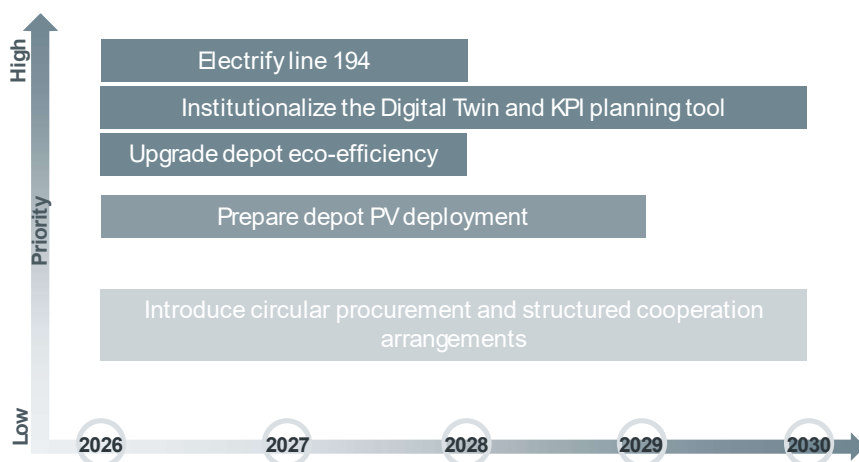
Rysunek 14. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Gdyni

Wizja zakłada, że do 2030 r. PKA Gdynia stanie się bardziej opartym na obiegu zamkniętym, niskoemisyjnym i gotowym do inwestycji dostawcą usług transportu publicznego. Plan działania ma na celu zwiększenie skali elektromobilności poprzez wspólne wykorzystanie danych, myślenie w kategoriach cyklu życia oraz ściślejszą współpracę między PKA, miastem i innymi dostawcami usług publicznych, przy jednoczesnym unikaniu niepotrzebnego zużycia materiałów i energii.

Plan wyznacza kilka konkretnych celów. Do 2026 r. Gdynia powinna zinstytucjonalizować wspólny zestaw wskaźników KPI, model odpowiedzialności oraz procedurę corocznej sprawozdawczości w zakresie decyzji dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym i elektryfikacji. Do 2027 r. powinien zostać przygotowany i uruchomiony pierwszy pakiet wdrożeniowy, zaczynający się od elektryfikacji linii 194, w zależności od dostępności finansowania. Ponadto do 2027 r. należy zrealizować pakiet inwestycji w zakresie ekowydajności zajezdni i fotowoltaiki, obejmujący inteligentne ładowanie i projektowanie z uwzględnieniem możliwości magazynowania energii. Od 2026 r. w odpowiednich przetargach należy stosować kryteria zamówień publicznych opartych na obiegu zamkniętym oraz wymagania dotyczące cyklu życia akumulatorów. Do 2030 r. ocena cyfrowego bliźniaka i wskaźników KPI powinna być stosowana we wszystkich ważnych decyzjach dotyczących floty PKA i elektryfikacji infrastruktury.

Cele te łączą zatem redukcję emisji, większą niezawodność usług, niższe koszty cyklu życia, zmniejszone zapotrzebowanie na akumulatory i materiały, lepszą gotowość do finansowania oraz jaśniejsze zarządzanie elektromobilnością w obiegu zamkniętym.

3.3.3 Kluczowe działania



Rysunek 15. Kluczowe działania w Gdyni i harmonogram wdrożenia

Plan działania opiera się na pięciu priorytetowych działaniach.

Pierwszym z nich jest elektryfikacja linii autobusowej nr 194, planowana jako projekt demonstracyjny o wysokim priorytecie, mający na celu rozszerzenie opartej na danych i cyrkularnej usługi o zerowej emisji w latach 2026-2028.

Drugim jest instytucjonalizacja projektu pilotażowego „Digital Twin” oraz narzędzia do planowania biznesowego w oparciu o model gospodarki o obiegu zamkniętym dla zelektryfikowanych flot transportu publicznego i infrastruktury, począwszy od 2026 r., tak aby testowanie scenariuszy i odpowiedzialność za wskaźniki KPI stały się częścią rutynowych procedur inwestycyjnych i sprawozdawczych.

Trzecim działaniem jest ekologiczna efektywność zajezdni, która również ma wysoki priorytet w latach 2026-2028. Obejmuje to lepsze pomiary, inteligentną logikę ładowania, zarządzanie obciążeniem szczytowym oraz modernizacje techniczne.

Czwartym działaniem jest wdrożenie instalacji fotowoltaicznej w zajezdni w latach 2026-2029, z uwzględnieniem możliwości magazynowania energii oraz potencjalnego wykorzystania w przyszłości akumulatorów z drugiego życia, tam gdzie to możliwe.

Piąte działanie obejmuje zamówienia publiczne oparte na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym oraz ustrukturyzowane porozumienia o współpracy w zakresie procesów zamówień publicznych, które rozpoczną się już w 2026 r. i są planowane jako działanie ciągłe. Obejmuje to zarządzanie cyklem życia akumulatorów, specyfikacje techniczne dotyczące ponownego wykorzystania, klauzule przetargowe dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym oraz usprawnioną wymianę danych z dostawcami miejskimi i jednostkami miejskimi.

Działania te zostały zaprojektowane jako pakiet wdrażany etapowo, a nie jako pojedyncze, duże przedsięwzięcie, co pozwoli Gdyni na testowanie, dostosowywanie i skalowanie inwestycji. Szacunki kosztów nie są jeszcze szczegółowe, jednak obaj miejscy operatorzy transportu publicznego są mocno zaangażowani w realizację działań zgodnie z planem i pozyskanie finansowania z wielu źródeł. Plan określa potrzeby rządu wielkości: wysokie wydatki na elektryfikację linii 194, niskie do średnich wydatki na narzędzie planowania biznesowego Digital Twin i Circular dla zelektryfikowanych flot transportu publicznego i infrastruktury, średnie wydatki na ekowydajność zajezdni, średnie do wysokich wydatki na infrastrukturę fotowoltaiczną i gotową do magazynowania energii oraz głównie wysiłki organizacyjne na rzecz usprawnienia zamówień publicznych w obiegu zamkniętym.

3.3.4 Aspekty monitorowania i oceny

System monitorowania opiera się na kompaktowym zestawie wskaźników KPI powiązanych z narzędziem Circular do planowania biznesowego dla zelektryfikowanych flot transportu publicznego i infrastruktury oraz, w stosownych przypadkach, z SUMP i sprawozdawczością węzłów miejskich w ramach wymogów UE opartych na rozporządzeniu TEN-T w sprawie zrównoważonego transportu (przyjętym w 2025 r.). Proponowane wskaźniki obejmują udział kilometrów przejechanych przez pojazdy bezemisyjne, roczne zużycie energii elektrycznej na kilometr przejechany przez pojazd, średnią pojemność akumulatorów w zakupionych pojazdach, udział energii elektrycznej wytwarzanej wewnątrz, stan wdrożenia działań priorytetowych oraz udział odpowiednich zamówień zawierających klauzule dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym i cyklu życia.

Planuje się gromadzenie danych co kwartał i ich konsolidację raz w roku. Dane operacyjne będą pochodzić z telematyki pojazdów, ładowarek w zajezdniach, liczników energii i systemów rozkładów jazdy. Informacje dotyczące inwestycji i zamówień będą pochodzić z dokumentacji projektowej i rejestrów umów, natomiast dane dotyczące ESG oraz ładu korporacyjnego będą pochodzić z raportów zarządczych. PKA powinno prowadzić

centralny rejestr wskaźników KPI, przy czym ZKM Gdynia (Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni) oraz wydziały miejskie będą dostarczać dodatkowe dane w przypadkach, gdy wskaźniki pokrywają się z raportowaniem na poziomie miasta.

Ocena powinna łączyć ocenę procesu i wyników. Ocena procesu sprawdza, czy działania zostały uruchomione, sfinansowane, przypisane do właścicieli i włączone do zamówień publicznych i operacji. Ocena wyników porównuje rezultaty z poziomem bazowym na lata 2025/2026 oraz scenariuszami Digital Twin, zwłaszcza w zakresie zużycia energii, zapotrzebowania na baterie, wydajności infrastruktury, niezawodności usług, efektu dźwigni finansowej oraz efektów obiegu zamkniętego. Zaleca się przeprowadzenie przeglądu śródkresowego w 2028 r. oraz pełniejszego przeglądu w 2030 r.

3.3.5 Stakeholder engagement in the preparation and implementation process

Proces zaangażowania interesariuszy został zorganizowany wokół głównego zespołu projektowego i szerszej mapy instytucjonalnej. W skład głównego zespołu weszły PKA Gdynia, Uniwersytet Gdański oraz KRUCH Railways, które pracowały nad bazą dowodów technicznych, lokalną stosowalnością i projektowaniem działań. Szersza mapa interesariuszy obejmowała Gminę Gdynia, ZKM Gdynia, PKT Gdynia oraz innych dostawców publicznych i jednostki miejskie odpowiedzialne za mobilność, energię, zamówienia publiczne i strategię.

Dyskusje skupiały się na praktycznych kwestiach wdrożeniowych: wyborze korytarzy, opcjach infrastrukturalnych, odpowiedzialności za wskaźniki KPI, logice finansowania oraz ograniczeniach operacyjnych. Od września 2023 r. proces przeszedł przez etapy wspólnego zdefiniowania problemów, testowania scenariuszy oraz wewnętrznego przeglądu. Do marca 2026 r. ukończono projekt planu działania, mapę interesariuszy oraz ramy wskaźników KPI.

Zaangażowanie interesariuszy pomogło przekształcić plan działania z technicznego ćwiczenia z zakresu elektryfikacji w ramy zarządzania i współpracy. Wyjaśniło to, że elektromobilność o obiegu zamkniętym zależy nie tylko od pojazdów i ładowarek, ale także od wspólnych standardów, wymiany danych, zasad zamówień publicznych, przygotowania finansowania oraz koordynacji między PKA, gminą i innymi dostawcami publicznymi.

3.3.6 Główne wnioski z procesu opracowywania planu działania

Proces w Gdyni pokazał, że udana elektryfikacja transportu publicznego wymaga czegoś więcej niż tylko zastąpienia autobusów z silnikiem diesla autobusami elektrycznymi. Pilotażowy projekt CE4CE, który stanowi podstawę planu działania, podkreślił znaczenie włączenia planowania infrastruktury, myślenia w kategoriach cyklu życia, cyfrowych narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji oraz współpracy międzyresortowej do długoterminowej strategii transformacji. Doświadczenie to pokazało również, że wdrażanie etapowe i jasne struktury zarządzania są niezbędne do efektywnego zwiększania skali elektromobilności przy jednoczesnym unikaniu niepotrzebnego zużycia materiałów i energii.

Projekt w Gdyni wykazał, że przyszła elektryfikacja powinna uwzględniać kwestie infrastruktury i cyklu życia pojazdów, a nie polegać wyłącznie na stopniowej wymianie pojazdów. Pilotażowy projekt CE4CE udowodnił, że ładowanie podczas jazdy oraz ładowanie okazjonalne mogą znacznie zmniejszyć zapotrzebowanie na energię w porównaniu z koncepcjami opartymi wyłącznie na ładowaniu nocnym. Na przykład na trasie autobusu nr 141 w Gdynie zapotrzebowanie na energię spada z około 700 kWh w

przypadku ładowania nocnego do około 60 kWh przy zastosowaniu ładowania podczas jazdy oraz ładowania okazjonalnego.

Drugim wnioskiem jest to, że narzędzia cyfrowe tworzą wartość tylko wtedy, gdy są włączone w proces podejmowania decyzji. Cyfrowy bliźniak i przepływ pracy KPI wymagają jasnego przypisania odpowiedzialności, rocznej sprawozdawczości oraz wykorzystania w zamówieniach publicznych i wnioskach o finansowanie. Jakość danych i zarządzanie nimi są zatem równie ważne jak sama technologia.

Proces ten potwierdził również, że gospodarka o obiegu zamkniętym nie może ograniczać się tylko do jednego działu. Dział operacyjny, zespoły techniczne, dział zamówień, dział finansowy, dział strategii oraz partnerzy miejscy - wszyscy muszą dzielić się odpowiedzialnością. Niezbędne jest zaangażowanie kierownictwa w zarządzanie, ponieważ nawet silne technicznie środki mogą stracić impet bez widocznej odpowiedzialności.

Wreszcie plan podkreśla wartość wdrażania etapowego. Rozpoczynając od linii 194, ekologicznej efektywności zajezdni i zarządzania wskaźnikami KPI, ocena środków pozwala Gdyni wyciągnąć wnioski przed rozszerzeniem zakresu działań. Obecym ograniczeniem jest to, że plan nadal wymaga ostatecznego zatwierdzenia, potwierdzenia finansowania oraz formalnego przydzielenia obowiązków, zanim wdrożenie będzie mogło w pełni się rozpocząć.



MAIN TAKEAWAYS

Elektryfikacja musi uwzględniać wpływ na infrastrukturę i cykl życia: Proces w Gdyni pokazał, że elektryfikacja nie powinna polegać po prostu na zastąpieniu autobusów z silnikiem diesla w stosunku jeden do jednego. Zamiast tego planowanie powinno uwzględniać infrastrukturę ładowania, potrzeby operacyjne i długoterminową wydajność pojazdów.

Ładowanie podczas jazdy i ładowanie okazjonalne zmniejszają wymagania dotyczące wielkości akumulatorów: Pilotażowy projekt CE4CE wykazał, że połączenie ładowania podczas jazdy (IMC) z ładowaniem okazjonalnym może radykalnie zmniejszyć zapotrzebowanie na pojemność akumulatorów. Na trasie 141 wymagana wielkość akumulatora spadła z około 700 kWh przy ładowaniu nocnym do około 60 kWh.

Narzędzia cyfrowe są skuteczne tylko wtedy, gdy są zintegrowane z procesem podejmowania decyzji: systemy Digital Twin i KPI tworzą wartość tylko wtedy, gdy są aktywnie wykorzystywane w procesach zarządzania, zamówieniach, sprawozdawczości rocznej i wnioskach o finansowanie. Dlatego kluczowe znaczenie mają wiarygodne i wysokiej jakości dane.

Gospodarka o obiegu zamkniętym wymaga współpracy między działami: proces ten potwierdził, że gospodarką o obiegu zamkniętym nie może zarządzać jeden dział. Dział operacyjny, zespoły techniczne, dział zaopatrzenia, dział finansowy, jednostki strategiczne i partnerzy miejscy muszą dzielić się obowiązkami i ściśle koordynować działania.

Wsparcie kierownictwa jest niezbędne dla długoterminowego postępu: Nawet silne technicznie środki mogą stracić impet bez jasnej odpowiedzialności i widocznego wsparcia ze strony kierownictwa. Wewnętrzne zaangażowanie jest niezbędne do utrzymania wysiłków wdrożeniowych:

Wdrażanie etapowe zmniejsza ryzyko i wspiera proces uczenia się: Rozpoczęcie od mniejszych działań, takich jak linia 194, środki na rzecz efektywności ekologicznej zajezdni oraz zarządzanie wskaźnikami KPI, pozwala Gdyni testować podejścia, uczyć się na podstawie doświadczeń i stopniowo zwiększać skalę działań.

3.4. Plan działania mający na celu zwiększenie wartości łańcucha dostaw i optymalizację dostaw pojazdów poprzez zamówienia publiczne oparte na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym w Bergamo we Włoszech

3.4.1 Strategiczne tło i kontekst opracowania planu działania

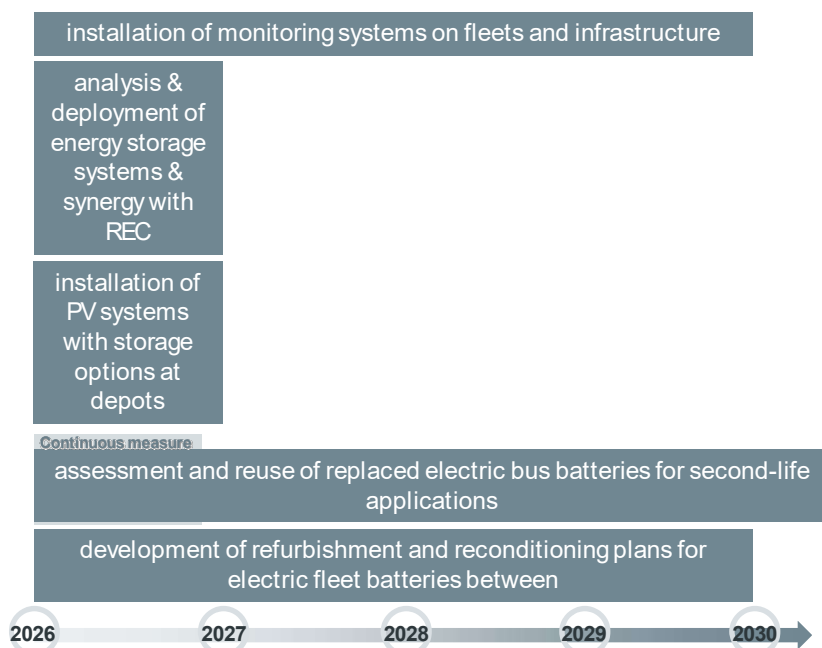


Rysunek 17. ATB Mobility Bergamo

Plan działania ATB Mobility Bergamo został opracowany w ramach wielopoziomowych ram strategicznych łączących lokalne, krajowe i europejskie polityki w zakresie mobilności, klimatu i gospodarki o obiegu zamkniętym. Na poziomie lokalnym plan działania jest zgodny z planem działania na rzecz zrównoważonej energii i klimatu (SECAP) miasta Bergamo, umową klimatyczną miasta (CCC) oraz planem zrównoważonej mobilności miejskiej (SUMP), , co gwarantuje, że zasady gospodarki o obiegu zamkniętym staną się integralnym elementem długoterminowego planowania transportu, a nie odosobnioną inicjatywą.

At national level, the Action Plan is Na poziomie krajowym plan działania jest

wspierany przez możliwości inwestycyjne związane z włoskim planem odbudowy i odporności (PNRR), w szczególności w zakresie modernizacji infrastruktury, elektryfikacji i innowacyjnych systemów transportowych, takich jak eBRT. Na poziomie europejskim plan działania opiera się na projekcie Interreg CE4CE oraz synergii z innymi projektami, takimi jak Interreg Euro-MED E-MED oraz Interreg Alpine Space Degree4Alps , wspierając



Rysunek 19. Kluczowe działania w Bergamo

testowanie i wdrażanie rozwiązań opartych na obiegu zamkniętym w transporcie publicznym.

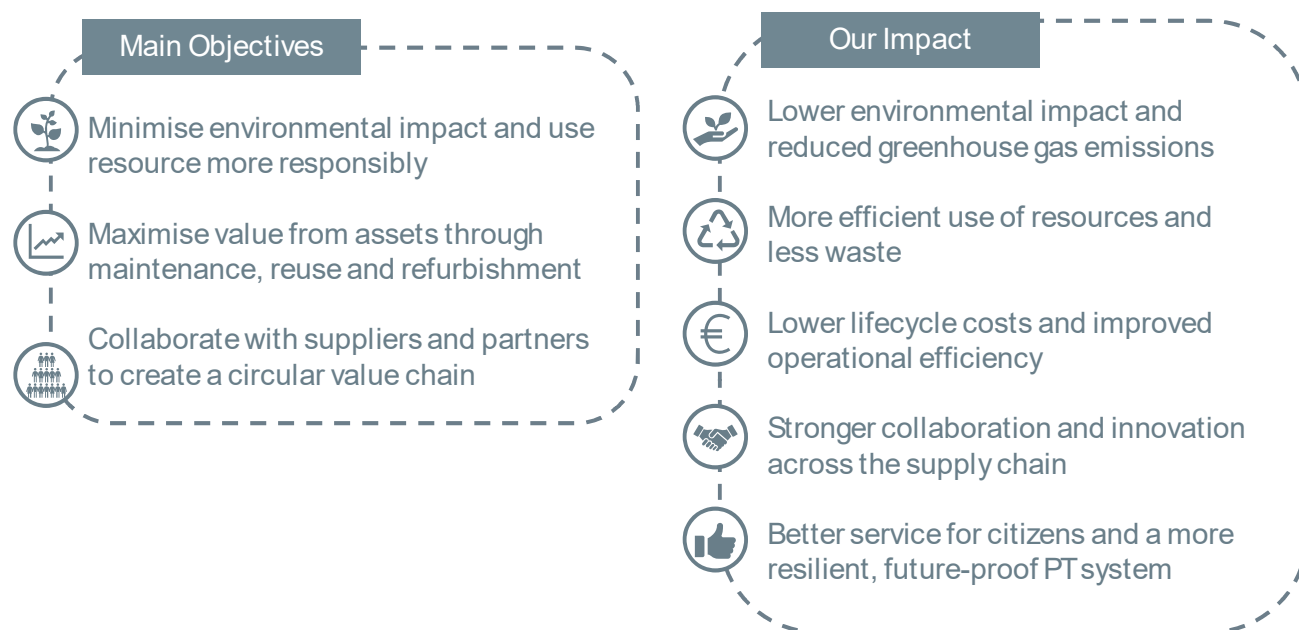
Plan działania stanowi odpowiedź na kilka kluczowych wyzwań zidentyfikowanych przez ATB Mobility:

- wysokie zużycie energii i materiałów w ramach działalności transportu publicznego,
- ograniczone zarządzanie cyklem życia taboru i infrastruktury,
- rosnące koszty operacyjne i zaostrzające się wymogi regulacyjne,
- potrzeba integracji energii odnawialnej i rozwiązań w zakresie magazynowania energii,
- niewystarczające uwzględnienie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym w praktykach związanych z zamówieniami i konserwacją.

Ogólnym celem jest wsparcie ATB w przejściu na bardziej zrównoważony, zasobooszczędny i oparty na obiegu zamkniętym system transportu publicznego, który przyniesie korzyści środowiskowe i gospodarcze dla obszaru metropolitalnego Bergamo.

3.4.2 Wizja, cele i zadania

Wizją planu działania jest przekształcenie ATB w operatora transportu publicznego działającego zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym poprzez wdrożenie tych zasad we wszystkich działaniach operacyjnych, infrastrukturalnych i strategicznych.



Rysunek 18. Wizja i cele strategiczne planu działania dla Bergamo

3.4.3 Najważniejsze dane

W planie działania określono pakiet działań operacyjnych, energetycznych, konserwacyjnych i związanych z zamówieniami publicznymi, mających na celu wsparcie przejścia na model funkcjonowania transportu publicznego oparty na obiegu zamkniętym:

Kluczowe działania obejmują:

- instalację systemów monitorowania w flotach i infrastrukturze w celu optymalizacji zużycia energii i konserwacji predykcyjnej do 2030 r.
- analizę i wdrożenie systemów magazynowania energii oraz synergię ze społecznościami energii odnawialnej (REC) do 2027 r
- instalację systemów fotowoltaicznych z opcjami magazynowania energii w zajezdniach do 2027 r.,
- ocena i ponowne wykorzystanie wymienionych akumulatorów autobusów elektrycznych do zastosowań w ramach programu „drugiego życia” od 2026 r.,
- opracowanie planów odnowy i regeneracji akumulatorów floty pojazdów elektrycznych w latach 2026-2030,
- przygotowanie korporacyjnej strategii obiegu zamkniętego obejmującej działania operacyjne i procesy zarządzania,
- włączenie zasad zamówień publicznych opartych na obiegu zamkniętym do procedur zakupowych dotyczących taboru kolejowego i łańcucha dostaw.

Plan działania promuje również:

- podejścia oparte na konserwacji predykcijnej,
- optymalizację efektywności energetycznej,
- zarządzanie aktywami zorientowane na cykl życia,
- włączenie wytwarzania i magazynowania energii odnawialnej do infrastruktury transportowej

3.4.4 Kwestie związane z monitorowaniem i oceną

Plan działania ustanawia ustrukturyzowane ramy monitorowania i oceny, mające na celu śledzenie zarówno postępów we wdrażaniu, jak i długoterminowych skutków działań w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym w ramach ATB Mobility. System monitorowania opiera się na trzech uzupełniających się wymiarach: wdrażaniu działań fizycznych, opracowywaniu wyników strategicznych i organizacyjnych oraz wdrażaniu praktyk zamówień publicznych opartych na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym.

Monitorowanie działań fizycznych koncentruje się na aspektach operacyjnych, takich jak udział monitorowanej floty i infrastruktury, zainstalowana moc energii odnawialnej, wdrożenie systemów magazynowania energii oraz liczba aktywów zarządzanych w oparciu o podejście oparte na konserwacji predykcijnej. Równoległe wskaźniki strategiczne służą do oceny opracowywania i wdrażania planów, strategii i działań pilotażowych związanych z obiegiem zamkniętym, a także poziomu integracji zasad obiegu zamkniętego z procesami firmy i strukturami zarządzania. Monitorowanie związane z zamówieniami ocenia stopniowe włączanie kryteriów obiegu zamkniętego do procedur zakupowych, w tym udział i wartość procesów zamówień publicznych, w których stosuje się wymagania dotyczące cyklu życia i zrównoważonego rozwoju.

Plan działania przewiduje również szerszy monitoring wpływu związany z wytwarzaniem energii odnawialnej i jej własnym zużyciem, wydłużeniem okresu użytkowania aktywów, oszczędnościami w zakresie konserwacji, redukcją kosztów cyklu życia oraz odroczonej inwestycjami kapitałowymi.

Metodologia oceny łączy zautomatyzowane gromadzenie danych operacyjnych ze ustrukturyzowanymi wewnętrznymi procesami sprawozdawczości. Źródła danych obejmują systemy zarządzania flotą, bazy danych dotyczące konserwacji, systemy zarządzania energią, rejestry zamówień oraz dokumentację projektową. Oczekuje się, że wskaźniki operacyjne będą poddawane przeglądowi co kwartał, natomiast wskaźniki strategiczne i finansowe będą oceniane w dłuższych odstępach czasu, aby wspierać proces podejmowania decyzji w perspektywie średnio- i długoterminowej.

3.4.5 Zaangażowanie interesariuszy w proces przygotowania i wdrażania

Zaangażowanie interesariuszy odgrywało kluczową rolę na każdym etapie opracowywania planu działania i zostało włączone do procesu jako działanie ciągłe, a nie jednorazowa konsultacja. Wstępne działania skupiały się na zaangażowaniu dostawców i podmiotów technicznych poprzez warsztaty, ankiety i dyskusje na temat podejść do zamówień publicznych opartych na obiegu zamkniętym oraz kryteriów ekologicznych zamówień publicznych zarówno na szczeblu unijnym, jak i krajowym. Wymiana poglądów pomogła zidentyfikować praktyczne możliwości i przeszkody związane z łańcuchami dostaw opartymi na obiegu zamkniętym oraz praktykami w zakresie zamówień publicznych. Proces przygotowawczy obejmował szeroko zakrojoną koordynację wewnętrzną w ramach

ATB Mobility i jej spółki zależnych, w tym TEB i ATB Servizi, co zapewniło uwzględnienie perspektyw operacyjnych, technicznych i strategicznych przy definiowaniu środków. Na zewnątrz kluczową rolę odegrała gmina Bergamo, zarówno jako udziałowiec, jak i partner instytucjonalny, wspierając dostosowanie planu działania do szerszych celów dotyczących mobilności miejskiej, klimatu i zrównoważonego rozwoju w ramach inicjatywy. Proces angażowania interesariuszy skorzystał również z wymiany wiedzy w ramach europejskich projektów współpracy i międzynarodowych sieci ekspertów. W szczególności współpraca w ramach takich projektów jak Interreg Alpine Space Degree4Alps i Interreg Euro-MED E-MED wsparła ocenę skalowalności, przenoszalności i potencjału innowacyjnego proponowanych środków. Jeśli chodzi o wdrożenie, oczekuje się, że ATB Mobility będzie koordynować ogólny proces realizacji i monitorowania, podczas gdy spółki zależne, partnerzy techniczni i zewnętrzne zainteresowane strony będą uczestniczyć w wdrażaniu operacyjnym, dostarczaniu danych, wiedzy technicznej i działaniach ewaluacyjnych.

3.4.6 Główne wnioski z procesu opracowywania planu działania.

Proces ten wykazał, że zasady gospodarki o obiegu zamkniętym można systematycznie włączać do planowania i funkcjonowania transportu publicznego poprzez połączenie środków technicznych, organizacyjnych oraz zarządzania.

Proces ten podkreślił również znaczenie włączenia zamówień publicznych opartych na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym, konserwacji predykcyjnej, systemów energii odnawialnej oraz zarządzania cyklem życia do długoterminowego planowania transportu publicznego. Ogólnie rzecz biorąc, plan działania stanowi praktyczne ramy wspierające przejście ATB w kierunku bardziej zrównoważonego, odpornego i opartego na zasadach gospodarki o obiegu zamkniętym systemu transportu publicznego.



GŁÓWNE WNIOSKI

Holistyczne i strategicznie spójne podejście: Włączenie obiegu zamkniętego do systemów transportu publicznego działa najlepiej, gdy jest realizowane przez różne działy i dostosowane do szerszych strategii dotyczących mobilności i klimatu, zwłaszcza Planu Zrównoważonej Mobilności Miejskiej (SUMP).

Koordinacja wewnętrzna: Wczesna i ciągła współpraca w ramach organizacji pomaga zapewnić, że proponowane środki są wykonalne, praktyczne i popierane przez zespoły odpowiedzialne za ich wdrożenie.

Zaangażowanie zewnętrzne: Współpraca z zewnętrznymi interesariuszami pomaga powiązać działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym z szerszymi celami politycznymi, priorytetami finansowania i oczekiwaniami regulacyjnymi.

Działania pilotażowe wspierają podejmowanie świadomych decyzji: Projekty pilotażowe są cenne dla testowania innowacyjnych rozwiązań, identyfikowania wyzwań i wyciągania wniosków przed wdrożeniem na większą skalę.

Elastyczność w zarządzaniu niepewnością: Planowanie gospodarki o obiegu zamkniętym musi pozostać elastyczne w stosunku do zmieniających się warunków dotyczących finansowania, technologii i regulacji.

Dane i monitorowanie na potrzeby planowania opartego na dowodach: Wiarygodne dane i systemy monitorowania są niezbędne do śledzenia postępów, oceny wyników i wspierania lepszych decyzji strategicznych.

Rysunek 20. Główne wnioski z Bergamo

4. Wnioski i zalecenia

Opracowanie strategii i planów działania CE4CE pokazało, że zasady gospodarki o obiegu zamkniętym mogą pomóc władzom i operatorom transportu publicznego w przejściu od pojedynczych działań na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym do systemowego podejścia opartego na cyklu życia. Strategie podkreśliły znaczenie ograniczania ilości odpadów, optymalizacji zasobów i tworzenia długoterminowej wartości w systemach energetycznych, infrastrukturze i taborze kolejowym.

4.1. Wnioski wyciągnięte z procesu opracowywania strategii i planów działania

Jednym z głównych wniosków jest to, że gospodarka o obiegu zamkniętym wymaga perspektywy cyklu życia w zakresie planowania, eksploatacji, utrzymania i zarządzania na końcu cyklu życia. Dokument podkreśla, że sam recykling jest niewystarczający, jeśli stosuje się go tylko na końcu cyklu życia, a wartość musi być zachowana i odtworzona przez cały okres użytkowania aktywów poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na materiały, wydłużenie okresu użytkowania aktywów, ponowne wykorzystanie, renowację i recykling.

Kolejny ważny wniosek dotyczy roli cyfryzacji i zarządzania danymi. W strategiach wskazano cyfryzację jako kluczowy warunek umożliwiający gospodarkę o obiegu zamkniętym, w tym wykorzystanie systemów zarządzania energią, monitorowania w czasie rzeczywistym, analizy danych, modeli cyfrowych i symulacji w celu wsparcia planowania, utrzymania i optymalizacji operacyjnej.

Plany działania i strategie CE4CE wykazały również znaczenie współpracy między zainteresowanymi stronami. Wdrożenie gospodarki o obiegu zamkniętym zależy od współpracy między organami transportu publicznego, operatorami transportu publicznego, gminami, dostawcami, instytucjami badawczymi, dostawcami energii i innymi podmiotami w całym łańcuchu wartości. Strategie wielokrotnie podkreślają koordynację, wymianę wiedzy i zaangażowanie zainteresowanych stron jako ważne warunki umożliwiającej wdrożenie.

Kolejną wyciągniętą lekcją jest to, że przedłużenie okresu użytkowania aktywów stanowi ważną szansę na zmniejszenie zużycia zasobów i zachowanie wartości wbudowanej. Strategie podkreślają znaczenie konserwacji zapobiegawczej i predykcyjnej, renowacji, zastosowań w drugim cyklu życia oraz ponownego wykorzystania elementów infrastruktury i materiałów jako ważnych podejść do osiągnięcia celów gospodarki o obiegu zamkniętym.

W strategiach podkreślono również znaczenie włączenia zasad gospodarki o obiegu zamkniętym do procesów zamówień publicznych i zarządzania. Zwraca się w nich uwagę, że procedury udzielania zamówień, umowy i wymagania dotyczące wyników mogą wpływać na zachowania dostawców oraz wspierać innowacje w całym łańcuchu wartości.

Wreszcie strategie i plany działania wykazały, że działania pilotażowe i praktyczne eksperymenty są ważne dla ograniczenia ryzyka wdrożeniowego, testowania innowacyjnych rozwiązań oraz wspierania powielania tych rozwiązań w innych kontekstach transportu publicznego.

4.2. Zalecenia dotyczące wdrażania środków

W strategiach i planach działania CE4CE zidentyfikowano następujące kluczowe aspekty jako ważne zalecenia i warunki wspierające wdrażanie podejść opartych na gospodarce o obiegu zamkniętym w systemach transportu publicznego.

Aspekty strategiczne i planistyczne

- Stosowanie podejścia opartego na cyklu życia w planowaniu, eksploatacji, utrzymaniu i zarządzaniu na końcu cyklu życia.
- Włączenie celów gospodarki o obiegu zamkniętym do strategii transportowych, energetycznych i zrównoważonego rozwoju.
- Dostosowanie lokalnego wdrażania do europejskich i krajowych celów dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym oraz klimatu.
- Wykorzystanie narzędzi, takich jak ocena cyklu życia (LCA), kalkulacja kosztów cyklu życia (LCC) oraz modele cyfrowe w celu wsparcia procesu podejmowania decyzji.

Cyfryzacja i monitorowanie

- Wdrożenie systemów zarządzania energią w celu monitorowania i optymalizacji przepływów energii.
- Stosowanie monitorowania w czasie rzeczywistym i analizy danych w celu poprawy efektywności energetycznej i wykrywania strat.
- Wykorzystanie narzędzi cyfrowych do monitorowania wydajności i degradacji akumulatorów.
- Opracowanie modeli cyfrowych i symulacji w celu wsparcia planowania infrastruktury ładowania, magazynowania energii i integracji odnawialnych źródeł energii.
- Zintegrowanie danych dotyczących energii z szerszymi systemami zarządzania flotą i operacjami.

Zarządzanie i współpraca z interesariuszami

- Nawiązanie długoterminowego partnerstwa z dostawcami mediów, operatorami sieci i innymi interesariuszami.
- Określenie jasnych ról i obowiązków w zakresie zarządzania energią i aktywami.
- Promowanie współpracy między władzami transportu publicznego, operatorami, dostawcami i instytucjami badawczymi.
- Wspieranie udziału w inicjatywach branżowych i platformach wymiany wiedzy.
- Zapewnienie zaangażowania interesariuszy podczas procesów przygotowawczych i wdrożeniowych.

Aspekty techniczne i operacyjne

- Nadanie priorytetu podejściom opartym na konserwacji zapobiegawczej i predykcyjnej.
- Wspieranie ponownego wykorzystania, renowacji i zastosowań w ramach drugiego życia infrastruktury i taboru .
- Wdrażanie systemów hamowania regeneracyjnego i odzyskiwania energii tam, gdzie jest to możliwe do zastosowania.
- Wdrażanie technologii energii odnawialnej oraz systemów magazynowania energii.
- W stosownych przypadkach należy stosować sprawdzone i wydajne rozwiązania w zakresie dostaw energii.

Aspekty finansowe i organizacyjne

- Wspieranie dostępu do instrumentów finansowania i środków finansowych na inwestycje

w energię odnawialną i magazynowanie energii.

- Promowanie budowania potencjału wśród organów zarządzających transportem publicznym i operatorów.
- Wykorzystanie działań pilotażowych jako środowisk edukacyjnych wspierających powielanie i wdrażanie.
- Monitorowanie efektywności energetycznej i wyników w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym przy użyciu określonych wskaźników i ram.

5. Wnioski

Strategie i plany działania CE4CE pokazują, w jaki sposób zasady gospodarki o obiegu zamkniętym mogą wspierać bardziej zasobooszczędne i zrównoważone systemy transportu publicznego. Dzięki zastosowaniu ram AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE) w odniesieniu do systemów energetycznych, infrastruktury i taboru, dokumenty te promują podejście oparte na cyklu życia, skoncentrowane na ograniczaniu ilości odpadów, zachowaniu wartości i optymalizacji wykorzystania zasobów.

Strategie pokazują, że obieg zamknięty w transporcie publicznym zależy od połączenia podejść technicznych, organizacyjnych i dotyczących zarządzania. Cyfryzacja, współpraca zainteresowanych stron, innowacje, praktyki w zakresie zamówień publicznych oraz długoterminowe planowanie w ramach inicjatyw są przedstawione jako ważne warunki sprzyjające wdrażaniu i skalowalności rozwiązań opartych na obiegu zamkniętym.

Plany działania CE4CE podkreślają również znaczenie projektów pilotażowych, eksperymentów i wymiany wiedzy dla wspierania wdrażania, rozszerzania skali i przenoszenia rozwiązań. Dzięki praktycznym testom i współpracy między zainteresowanymi stronami, a także w oparciu o solidne podstawy strategiczne i dane empiryczne, partnerzy projektu opracowali plany działania, które przyczyniają się do zmniejszenia barier i wspierają przejście na systemy transportu publicznego oparte na gospodarce o obiegu zamkniętym w ich lokalnym i regionalnym kontekście.

W perspektywie długoterminowej strategie te stanowią podstawę do dalszego rozwoju praktyk gospodarki o obiegu zamkniętym w transporcie publicznym. Dalsza współpraca, budowanie potencjału, cyfryzacja oraz włączenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym do procesów planowania i zamówień publicznych pozostaną istotne dla wspierania długoterminowego wdrażania i dostosowania do europejskich celów zrównoważonego rozwoju.

Aby uzyskać więcej informacji na temat strategii i planów działania, a także projektów pilotażowych i rozwiązań opracowanych w ramach CE4CE, zapraszamy do odwiedzenia strony internetowej projektu: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

6. Referencje

Wyniki projektu CE4CE opublikowane na stronie internetowej projektu

- Wynik D.2.1.1 Raport dotyczący wspólnego opracowania strategii gospodarki o obiegu zamkniętym w celu lepszego wykorzystania energii z odpadów i odnawialnych źródeł energii w transporcie publicznym
- Wynik D.2.2.1 Raport dotyczący wspólnego opracowania strategii obiegu zamkniętego w celu zachowania wartości i ograniczenia marnotrawstwa infrastruktury
- Wynik D.2.3.1 Raport dotyczący wspólnego opracowania strategii o obiegu zamkniętym w celu zachowania wartości i ograniczenia marnotrawstwa pojazdów transportu publicznego/taboru
- Wynik D.2.1.2 Plan działania dla Mariboru, Słowenia
- Wynik D.2.2.2 - część 1 Plan działania przedsiębiorstwa transportowego w Lipsku, Niemcy
- Wynik D.2.2.2 - część 2 Plan działania Gdynia, Polska
- Wynik D.2.3.2 Plan działania ATB Mobility, Bergamo, Włochy

Ramy strategiczne i regulacyjne

- Rozporządzenie w sprawie infrastruktury paliw alternatywnych (AFIR): https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en
- Rozporządzenie w sprawie akumulatorów: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>
- Plan działania Bergamo na rzecz zrównoważonej energii i klimatu: <https://www.terraria.com/en/case-studies/secap-of-the-municipality-of-bergamo/>
- Plan działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en?prefLang=de
- Dyrektywa w sprawie ekologicznych pojazdów: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj/eng>
- Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
- Europejski Zielony Ład: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- Interreg Alpine Space Degree4Alps: <https://www.alpine-space.eu/project/degree4alps/>
- Interreg Euro-MED: <https://interreg-euro-med.eu/en/>
- Włoski plan odbudowy i odporności (PNRR): https://reforms-investments.ec.europa.eu/recovery-and-resilience-facility-1/country-pages/italys-recovery-and-resilience-plan_en
- Polska ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180000317>
- Dyrektywa w sprawie energii odnawialnej: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

- Zmienione rozporządzenie w sprawie sieci transportowych o znacznym znaczeniu (TENT): https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/revisted-ten-t-regulation-adopted-sustainable-and-resilient-transport-network-bringing-europe-closer-2024-06-25_en
- Słoweński Fundusz Ekologiczny: <https://www.ekosklad.si/english>
- Inteligentne miasto: Smart City Lab Leipzig - Miasto Lipsk
- Strategia rozwoju miasta Gdyni 2030 : [strategia rozwoju miasta gdyni 2030_folder.pdf](#)
- SUMP Bergamo: <https://www.trt.it/en/progetti/sump-of-bergamo/>
- SUMP Gdynia: <https://www.climatehub.si/en/sustainable-mobility-good-practice-1/>
- SUMP Maribor: [OCPS-MOM-brosura-05.pdf](#)
- SUMP dla regionu Morza Bałtyckiego: <https://interreg-baltic.eu/project/sumpsforbsr/>
- Strategia przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym gminy Maribor na lata 2024-2030: https://circularcitiesdeclaration.eu/fileadmin/user_upload/Materials/SKG_MOM_2024%E2%80%932030__1_.pdf
- Umowa klimatyczna miasta Bergamo: <https://netzerocities.app/resource-4432>
- Platforma danych miejskich: Witamy - Connected Urban Twins

Wsparcie dla podmiotów działających w obszarze oraz ekspertów

- CEMIT - Centrum Monitoringu, Technologii Informacyjnych i Systemów Transportowych: <https://cemit.com/>
- CI4RAIL - Condition Intelligence for Rail: <https://www.ci4rail.com/>
- IFTEC GmbH & Co. KG: <https://www.iftec.de/index.html>
- ZENIT GmbH - Centrum Innowacji i Technologii w Nadrenii Północnej-Westfalii: <https://www.zenit.de/english/>
- PKT Gdynia - Operator Trolejbusów Gdynia: <https://pktgdynia.pl/en/firm/>
- ZKM Gdynia - Zarząd Komunikacji Miejskiej w Gdyni: <https://zkmgdynia.pl/>
- ICLEI Europe - Samorządy na rzecz Zrównoważonego Rozwoju: <https://iclei-europe.org/>
- UITP - Międzynarodowe Stowarzyszenie Transportu Publicznego: <https://www.uitp.org/>
- EIT Urban Mobility - Hub East: <https://www.eiturbanmobility.eu/>
- PantoHealth - PANTOhealth: <https://pantohealth.com/>
- Marprom - Przedsiębiorstwo Transportu Publicznego Maribor: <https://www.marprom.si/>
- Public Holdings Maribor - Javni holding Maribor: <https://www.jhmb.si/>
- Agencja Energetyczna / ENER GAP - Agencja ds. Energii i Klimatu regionu Podravje / Energetska podnebna agencija za Podravje: <https://www.energap.si/homepage>
- Elektro Maribor d.d.: <https://elektro-maribor.si/>
- RRA Podravje-Maribor - Regionalna Agencja Rozwoju Podravje-Maribor: <https://rra-podravje.si/>
- Smart City Lab Leipzig - Miasto Lipsk: <https://www.leipzig.de/leipzig-strategie/digitale-stadt/smart-city-lab-leipzig>
- Connected Urban Twins - Connected Urban Twins / inicjatywa dotycząca platformy

danych miejskich: <https://www.connectedurbantwins.de/>

- MR.pro® - oprogramowanie do zarządzania danymi infrastrukturalnymi MR.pro®: <https://www.mr-pro.de/en/indexEN.php>
- ZEDAS - ZEDAS GmbH / zedas@asset: <https://www.zedas.com/en/>
- TEB - Tramvie Elettriche Bergamasche: <https://www.teb.bergamo.it/en>
- NetZeroCities - platforma Climate City Contract: <https://netzerocities.app/>



Scan me for the project website

Copyright: Szeged Transport Company

The CE4CE project (Public Transport Infrastructure in Central Europe - facilitate transitioning to circular economy) empowers circular economy system thinking for public transport actors in Central Europe to reduce waste and create value along new life cycles of infrastructure and rolling stock.

CONTACT US

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ Leipzig Public Transport Company

Project coordinator: Mr. Stefan Röll

Email: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Project website: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/interreg-ce4ce/>

YouTube: <https://www.youtube.com/@InterregCE4CE>

Project knowledge platform: <https://circularity4publictransport.eu/>

