

UNAPRJEĐENJE KRUŽNOG JAVNOG PRIJEVOZA

Pilot-iskustva i rješenja kružnog
gospodarstva za operatore javnog
prijevoza



Interreg
CENTRAL EUROPE



Co-funded by
the European Union

CE4CE

Kolofon

Projekt

CE0100250 CE4CE - Infrastruktura javnog prijevoza u Srednjoj Europi - poticanje prijelaza na kružno gospodarstvo

Kontakt

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ Leipziško poduzeće za javni prijevoz,

Adresa: Georgiring 3, 04103 Leipzig, Njemačka

Web: <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/>

E-pošta: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Financira

Interreg Central Europe Programme

Web: <https://www.interreg-central.eu/>

Autori

Danijel Hojski, Marjan Lep, Vlasta Rodošek (Sveučilište u Mariboru, Slovenija)

Suradnici

Stefan Röhl, Conrad Jentzsch (Leipziško poduzeće za javni prijevoz, Njemačka), Jan Röhl (Kruhc Railways, Austrija), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Italija), Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale srl, Italija), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Poljska), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (Sveučilište u Gdanjsku, Poljska), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Mađarska), Mitja Klemencic (Grad Maribor), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (udruga trolley:motion, Austrija), Laura López, Ana-Maria Baston (Rupprecht Consult, Njemačka), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Mađarska)

Prijelom i dizajn

Danaja Dvornik (@_studio_kai_)

Datum objave

travanj 2026

Autorska prava

Ova publikacija autorsko je djelo konzorcija projekta CE4CE, koji vodi Leipziško poduzeće za javni prijevoz. Sve slike i tekstualni elementi u ovoj publikaciji za koje je naveden izvor vlasništvo su organizacija ili pojedinaca navedenih kao autori.

O projektu CE4CE

Projekt CE4CE potiče sustavno promišljanje kružnog gospodarstva među dionicima javnog prijevoza iz srednjoeuropskih zemalja kako bi se smanjio otpad i stvorila vrijednost u novim životnim ciklusima infrastrukture i voznog parka. U tu svrhu CE4CE zajednički razvija rješenja koja povećavaju znanje i kapacitete sektora, pomažu smanjiti prepreke i troškove te potiču razvoj novih usluga i kvalificiranih radnih mjesta, kao i strategija i akcijskih planova koji poboljšavaju oblikovanje politika, učenje i razmjenu na regionalnoj i transnacionalnoj razini.

Cilj projekta CE4CE jest uvesti načela kružnog gospodarstva u sektor javnog prijevoza te time smanjiti količinu otpada, povećati učinkovitost sektora i poboljšati okolišni otisak javnog prijevoza.



Slika 1: Partneri projekta CE4CE tijekom zajedničke rasprave o rješenjima i akcijskim planovima u 2025. Izvor: Konzorcij CE4CE.

Sadržaj

1. Uvod	6
2. Struktura pilot-projekata i rješenja CE4CE	6
2.1. Povezivanje aktivnosti CE4CE s okvirom životnog ciklusa AETE	7
3. Pilot-projekti i rješenja CE4CE	10
3.1. Aktivnost A.1: Razvoj Kompassa kružnosti CE4CE i Platforme znanja za javni prijevoz	11
3.1.1. Pilot P.1: Kompas kružnosti za javni prijevoz	11
3.1.2. Rješenje S.1: Platforma znanja za kružni javni prijevoz	13
3.1.3. Rješenje S.2: Internetsko tržište rabljene imovine i platforma za povezivanje	15
3.2. Aktivnost A.2: Razvoj zajedničkih digitalnih rješenja za omogućavanje i ubrzavanje kružnosti u javnom prijevozu	16
3.2.1. Pilot P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem (Leipzig, Njemačka)	16
3.2.2. Pilot P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem (Bergamo, Italija)	18
3.2.3. Rješenje S.3: Moduli za prediktivno održavanje infrastrukture i voznog parka	20
3.2.4. Pilot P.4: Simulacija elektrificiranih koridora javnog prijevoza energetskih tokova (Gdynia, Poljska).....	22
3.2.5. Rješenje S.4: Alat za kružno poslovno planiranje elektrificiranih voznih parkova i infrastrukture	24
3.3. Aktivnost A.3: Razvoj rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza	25
3.3.1. Pilot P.5: Ponovna uporaba trolejbusnih skretnica (Szeged, Mađarska)	25
3.3.2. Rješenje S.5: Definiranje kriterija za uvođenje ponovne uporabe trolejbusnih skretnica	27
3.3.3. Pilot P.6: Uporaba pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika energije za brzo punjenje obnovljivom energijom (Maribor, Slovenija)	27
3.3.4. Rješenje S.6: Prenosivi poslovni modeli za uporabu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu	29
3.4. Aktivnost A.4: Poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka	30
3.4.1. Pilot P.7: Ponovna proizvodnja i redizajn upravljačkih jedinica tramvaja radi omogućavanja ponovne uporabe komponenti (Szeged, Mađarska)	30
4. Stečena iskustva	33
5. Kontrolni popis za provedbu i ključni aspekti	35
5.1. Ključni aspekti za uspješnu provedbu	35
5.2. Kontrolni popis za provedbu	35
5.3. Uobičajeni rizici i mjere za njihovo ublažavanje	37
5.4. Zaključci i pogled unaprijed	37
6. Izvori	38

Popis kratica

Kratica	Definicija
AETE	Avoid - Extend - Transform - Enable (izbjegni - produlji - transformiraj - omogući)
BESS	Sustav za pohranu energije u baterijama
CAN-BUS	Komunikacijska sabirnica Controller Area Network
CE4CE	Kružno gospodarstvo za Srednju Europu
DC	Istosmjerna struja
EFS	Simulacija energetske tokova
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sustav
IMC	Punjenje tijekom vožnje
KPI	Ključni pokazatelj uspješnosti
PV	Fotovoltaika
RES	Obnovljivi izvori energije

Popis kratica partnera

Kratica	Definicija
LVB	Leipziger Verkehrsbetriebe, Njemačka
KRUCH	KRUCH Railway Innovations, Austrija
TM	trolley:motion, Austrija
ATB REDMINT	Azienda Trasporti Bergamo, Italija
SZKT	Redmint Impresa Sociale, Italija
MOBILISSIMU	Prometno poduzeće Szeged, Mađarska
S PKA	Mobilissimus, Mađarska
MOM	Operator autobusa javnog prijevoza u Gdyniji, Poljska
UG	Grad Maribor, Slovenija
UM	Sveučilište u Gdanjsku, Poljska
RUPPRECHT	Sveučilište u Mariboru, Slovenija Rupprecht Consult (savjetnik za LVB), Njemačka

Sažetak

Projekt CE4CE podupire prijelaz na prakse kružnog gospodarstva u sustavima javnog prijevoza u Srednjoj Europi prijenosom načela kružnog gospodarstva u praktične pilot-aktivnosti i prenosiva rješenja koja obuhvaćaju životne cikluse infrastrukture i voznog parka. Eksperimentiranjem u stvarnom okruženju i razvojem rješenja CE4CE pridonosi smanjenju otpada, očuvanju vrijednosti i stvaranju novih kružnih lanaca vrijednosti u javnom prijevozu.

U okviru projekta tijela javnog prijevoza, operateri i drugi dionici zajednički su razvili i testirali pilot-aktivnosti i rješenja koja povećavaju sektorsko znanje i kapacitete, pomažu smanjiti provedbene prepreke i troškove te omogućuju razvoj novih usluga, vještina i krunih poslovnih modela. Usmjeravanjem na konkretne primjene u stvarnim operativnim uvjetima CE4CE podupire bolju učinkovitost uporabe resursa, manje utjecaje na okoliš i dugoročnu održivost sustava javnog prijevoza.

Pilot-projekti i rješenja predstavljani u ovom priručniku temelje se na sukreciji, pilot-testiranju i stručnim međusobnim pregledima. Prikazuju kružne prakse kao što su produljenje životnog vijeka, ponovna uporaba, prenamjena i ponovna proizvodnja imovine, kao i omogućujuće mehanizme, uključujući digitalne alate, platforme i poslovne modele koji podupiru uvođenje u sektoru javnog prijevoza.

CE4CE je provodilo transnacionalno partnerstvo koje odražava cjelovitu perspektivu lanca vrijednosti i sustava te uključuje tijela i operatere javnog prijevoza, općine i gradove, industriju i istraživačke organizacije iz šest srednjoeuropskih zemalja. Uključivanje pridruženih partnera i međunarodnih mreža dodatno je podržalo komunikaciju, razmjenu znanja i širi prijenos projektnih rezultata.

Ovaj priručnik dokumentira i širi ključne pilot-aktivnosti i rješenja razvijena u okviru projekta CE4CE te pruža praktične spoznaje i smjernice za dionike koji žele primijeniti načela kružnog gospodarstva u kontekstu javnog prijevoza.

Priručnik je strukturiran kako slijedi:

Poglavlje 2

predstavlja konceptualni i metodološki okvir pristupa CE4CE, uključujući model AETE i njegovu relevantnost za uvođenje kružnog gospodarstva u javnom prijevozu.

Poglavlje 3

predstavlja pilot-aktivnosti CE4CE zajedno s pripadajućim rješenjima te ističe kako su praktična iskustva pretvorena u prenosive rezultate usmjerene na primjenu.

Poglavlje 4

sažima ključna stečena iskustva iz svih pilot-projekata i rješenja te utvrđuje zajedničke čimbenike uspjeha, izazove i implikacije za ponavljanje.

Poglavlje 5

daje provedbene smjernice, uključujući praktične korake, ključne aspekte i čimbenike rizika pri uvođenju rješenja CE4CE, te završava pogledom na buduće primjene i mogućnost širenja.



Slika 2: Konzorcij CE4CE na završnom sastanku projekta u Mariboru, ožujak 2026. Autorska prava: Sveučilište u Mariboru.

1. Uvod

Glavni cilj projekta CE4CE

Glavni cilj projekta CE4CE jest omogućiti tijelima i operaterima javnog prijevoza prijelaz s linearnih pristupa upravljanju imovinom na kružne modele usmjerene na životni ciklus. Rješavanjem tehničkih, organizacijskih i tržišnih prepreka CE4CE podupire očuvanje vrijednosti, smanjenje otpada i učinkovitiju uporabu resursa u infrastrukturi, vozilima i povezanoj imovini javnog prijevoza.

Za postizanje tog cilja CE4CE povezuje provedbu pilota s razvojem rješenja usmjerenih na primjenu, koja se mogu prenijeti i prilagoditi izvan projektnog partnerstva.

Projektno partnerstvo

CE4CE provodi transnacionalno partnerstvo koje okuplja tijela i operatere javnog prijevoza, općine i gradove, istraživačke ustanove i pružatelje rješenja iz više srednjoeuropskih zemalja. Ta raznolikost omogućuje testiranje i razvoj pristupa kružnog

gospodarstva u različitim operativnim, organizacijskim i regulatornim okruženjima, uz poticanje uzajamnog učenja i razmjene među regijama.

Obuhvat ovog priručnika

Cilj ovog priručnika jest dokumentirati, strukturirati i predstaviti pilot-aktivnosti i rješenja razvijena u okviru projekta CE4CE. Usredotočuje se na to kako su načela kružnog gospodarstva testirana u praksi i kako nastala rješenja mogu podržati njihovo uvođenje u organizacijama javnog prijevoza.

Priručnik je zamišljen kao praktičan referentni dokument za tijela javnog prijevoza, operatere, donositelje politika i druge dionike zainteresirane za uvođenje pristupa kružnog gospodarstva. Pruža strukturirane opise pilota i rješenja, ističe stečena iskustva te podupire prenosivost i ponavljanje u drugim okruženjima.

2. Struktura pilot-projekata i rješenja CE4CE

U okviru CE4CE pilot-aktivnosti i rješenja organizirani su i predstavljeni prema **trima tematskim skupinama aktivnosti** definiranim u projektu. Te skupine odražavaju različita problemska područja kružnog gospodarstva u javnom prijevozu i pružaju zajednički okvir unutar kojega su razvijeni projektni rezultati.

Svaka skupina aktivnosti uključuje **pilot-aktivnosti i pripadajuća rješenja**. Pilot-aktivnosti provode se kao praktične intervencije u stvarnim operativnim uvjetima te služe testiranju pristupa, prikupljanju empirijskih dokaza i prepoznavanju tehničkih, organizacijskih i tržišnih izazova. Na temelju iskustava, rezultata i spoznaja stečenih provedbom pilota i zajedničkim razvojnim procesima, **svaki je pilot izravno povezan s pripadajućim rješenjem** koje objedinjuje nalaze pilota u prenosiv rezultat usmjeren na primjenu.

Četiri tematska područja obrađena u ovom priručniku jesu:

- **A.1: Razvoj Kompassa kružnosti CE4CE i Platforme znanja za javni prijevoz**, uključujući strukturirani okvir za procjenu kružnosti, internetsku platformu znanja te internetsko tržište rabljene imovine i platformu za povezivanje, koji podupiru suradnju i razmjenu informacija među akterima životnog ciklusa javnog prijevoza

- **A.2: Razvoj zajedničkih digitalnih rješenja za omogućavanje i ubrzanje kružnosti u javnom prijevozu**, uključujući zajednički analitički okvir te pilote u području prediktivnog održavanja i simulacije e-koridora.

- **A.3: Razvoj rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza**, koja obuhvaćaju ponovnu uporabu infrastrukturnih komponenti i primjene energetske sredstava u drugom životnom ciklusu.

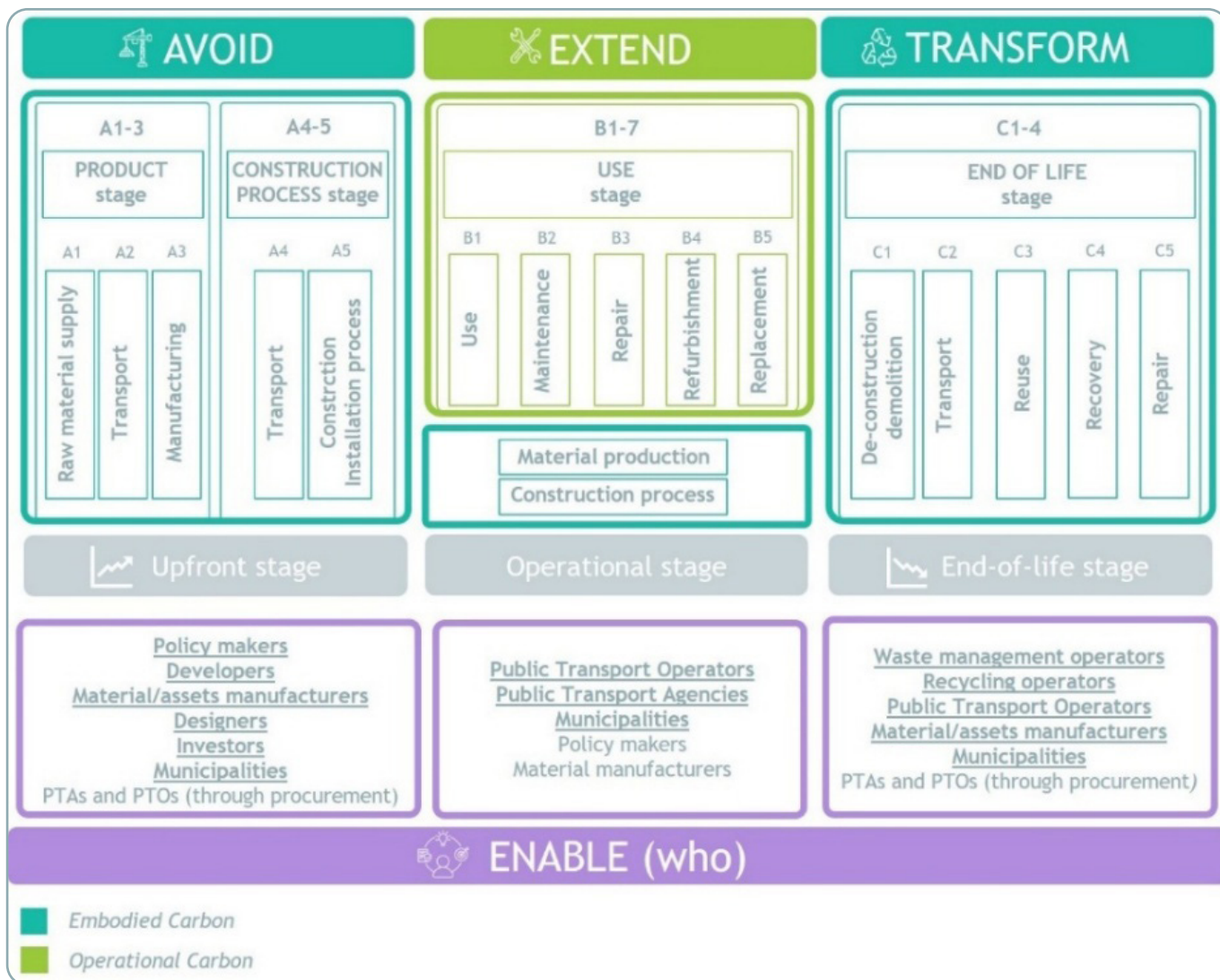
- **A.4: Poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka**, s naglaskom na ponovnoj proizvodnji, ponovnoj uporabi i tržišno usmjerenim mehanizmima.

Struktura temeljena na aktivnostima čitateljima omogućuje jednostavnu navigaciju između pilot-aktivnosti i rješenja unutar istog tematskog područja te podupire jasno razumijevanje načina na koji rezultati CE4CE pridonose uvođenju načela kružnog gospodarstva u različitim segmentima sustava javnog prijevoza.

2.1. Povezivanje aktivnosti CE4CE s okvirom životnog ciklusa AETE

Aktivnosti CE4CE te s njima povezane pilot-aktivnosti i rješenja usklađene su s okvirom životnog ciklusa **AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)** za prihvaćanje kružnog gospodarstva u javnom prijevozu. Taj okvir podupire sustavno prepoznavanje mjesta i načina na koji se kružna vrijednost može stvarati ili očuvati u različitim fazama životnog ciklusa imovine javnog prijevoza.

Svaka aktivnost CE4CE primarno obuhvaća određena **akcijska područja AETE**, a istodobno pridonosi omogućujućim uvjetima u cijelom sustavu. Piloti provedeni u okviru pojedine aktivnosti stoga operacionaliziraju načela kružnog gospodarstva usmjeravanjem na konkretne faze životnog ciklusa, kao što su uporaba, održavanje, ponovna uporaba, obnova ili prenamjena.



Slika 3: Prilagođena inačica životnog ciklusa PTI na temelju EN15978

A.1: Razvoj Kompassa kružnosti CE4CE i Platforme znanja za javni prijevoz

Ova aktivnost primarno obuhvaća dimenziju ENABLE okvira AETE. Razvojem i testiranjem Kompassa kružnosti CE4CE te povezane Platforme znanja uspostavlja sustavne i organizacijske preduvjete potrebne za uvođenje kružnog gospodarstva u javnom prijevozu.

Pilot Kompassa kružnosti podupire dimenziju **ENABLE** pružanjem strukturirane **metodologije procjene** za prepoznavanje praznina u kružnosti i oblikovanje novih vrijednosnih lanaca životnog ciklusa. Omogućuje strateško promišljanje, uključivanje dionika i informirano odlučivanje.

Platforma znanja te internetsko tržište rabljene imovine i platforma za povezivanje dodatno jačaju uvjete **ENABLE** poticanjem razmjene znanja, dijeljenja informacija i suradnje među akterima životnog ciklusa. Platforma za povezivanje istodobno neizravno podupire **EXTEND - ponovnu uporabu i ponovnu proizvodnju**, jer omogućuje tržišne mehanizme za komponente u drugom životnom ciklusu i obnovljenu imovinu.

Ova aktivnost stoga pruža horizontalnu osnovu na kojoj se grade tehnički usmjerenije pilot-aktivnosti i rješenja.

A.2: Digitalna rješenja za omogućavanje i ubrzavanje kružnosti u javnom prijevozu

Ova aktivnost primarno obuhvaća dimenziju ENABLE okvira AETE. Digitalnim alatima za prediktivno održavanje, simulaciju i poslovno planiranje stvara uvjete potrebne za potporu mjerama **AVOID** i **EXTEND** u životnim ciklusima infrastrukture i voznog parka. Piloti prediktivnog održavanja posebno pridonose fazama **EXTEND - održavanje i popravak**, jer omogućuju rano djelovanje, smanjuju kvarove i produljuju životni vijek imovine. Simulacija e-koridora i energetske tokove podupire **AVOID** informiranjem boljih planskih odluka i izbjegavanjem predimenzioniranja imovine.

A.3: Rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza

Ova aktivnost smještena je ponajprije u dimenzije **EXTEND** i **TRANSFORM** okvira AETE. Piloti usmjereni na ponovnu uporabu trolejbusnih skretnica izravno obuhvaćaju **EXTEND - ponovnu uporabu jer**, zadržavanjem infrastrukturnih komponenti u uporabi i nakon prve faze uporabe, čuvaju ugrađeni materijal i energiju. Pilot proveden u Mariboru, koji analizira uporabu rabljenih baterija za napajanje brzih punionica, obuhvaća **EXTEND - prenamjenu**, jer se baterije iz svoje izvorne pogonske funkcije preraspoređuju u novu uporabu kao stacionarni spremnik energije. Istodobno ova aktivnost pridonosi dimenziji **TRANSFORM** jer priprema podlogu za nove vrijednosne lance životnog ciklusa i strategije upravljanja krajem prvog životnog ciklusa.

A.4: Poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka

Ova aktivnost primarno obuhvaća **EXTEND - obnovu i ponovnu uporabu** te **ENABLE**. Pilot ponovne proizvodnje upravljačkih jedinica tramvaja usmjeren je na produljenje funkcionalnog životnog vijeka komponenti vozila redizajnom i obnovom. Povezano rješenje, internetsko tržište rabljene imovine i platforma za povezivanje, jača uvjete **ENABLE** podupiranjem razmjene informacija, stvaranja tržišta i suradnje među akterima životnog ciklusa, što su preduvjete za skalabilne prakse ponovne uporabe i ponovne proizvodnje.

Aktivnosti CE4CE u cjelini prikazuju kako se različita **akcijska područja AETE komplementarno obrađuju** u sustavima javnog prijevoza. Pojedini piloti mogu biti usmjereni na specifične faze, kao što su održavanje, ponovna uporaba ili prenamjena, ali njihov zajednički učinak pridonosi sustavnom prijelazu s linearnog upravljanja imovinom na kružne sustave javnog prijevoza usmjerene na životni ciklus.

Pregled tematskih skupina aktivnosti i pripadajućih parova pilot-rješenja prikazan je u Tablici 1, koja sažima odnose između pilot-aktivnosti, rješenja i uključenih partnera.

Aktivnost	Pilot	Rješenje	Vrsta rješenja	Primarna mjera AETE
A.1 Razvoj Kompassa kružnosti CE4CE i Platforme znanja za javni prijevoz	P.1 Kompas kružnosti za javni prijevoz - procjena praznina u kružnosti i oblikovanje novih vrijednosnih lanaca radi povećanja učinkovitosti uporabe resursa	S.1 CE4CE Platforma znanja za kružni javni prijevoz	Digitalna platforma / središte znanja	ENABLE - sustavno znanje i suradnja
		S.2 Internetsko tržište rabljenih dijelova i proizvoda te platforma za povezivanje i razmjenu informacija	Digitalno tržište / alat za povezivanje	EXTEND - omogućavanje ponovne uporabe / ponovne proizvodnje
A.2 Razvoj zajedničkih digitalnih rješenja za omogućavanje i ubrzavanje kružnosti u javnom prijevozu	P.2 i P.3 Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem	S.3 Moduli za prediktivno održavanje infrastrukture i voznog parka	Sustav praćenja / digitalno rješenje	EXTEND - održavanje / popravak
	P.4 Simulacija e-koridora i energetskih tokova za simulaciju kružnih scenarija širenja elektrifikacije (autobusni trak, električno napajanje i punjenje tijekom vožnje)	S.4 Alat za kružno poslovno planiranje elektrificiranih voznih parkova i infrastrukture javnog prijevoza	Alat za planiranje / alat za potporu odlučivanju	AVOID - prethodno planiranje / optimizacija sustava
A.3 Razvoj rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza	P.5 Prikaz izvedivosti ponovne uporabe trolejbusnih skretnica	S.5 Definiranje kriterija za uvođenje ponovne uporabe trolejbusnih skretnica	Metodologija / okvir za odlučivanje	EXTEND - ponovna uporaba
	P.6 Analiza uporabe rabljenih baterija za pohranu obnovljive energije za napajanje brze punionice kao primjer strateškog usmjerenja prema kružnosti	S.6 Prenosivi poslovni modeli za uporabu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika	Poslovni model / provedbeni okvir	EXTEND - prenamjena
A.4 Poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka	P.7 Dizajn upravljačkih jedinica tramvaja u okviru ponovne proizvodnje tramvaja	Promocija i širenje uz potporu S.2 Internetskog tržišta rabljene imovine i platforme za povezivanje		EXTEND - obnova / ponovna proizvodnja

Tablica 1: Pregled pilota CE4CE i pripadajućih rješenja po aktivnostima.

3. Pilot-projekti i rješenja CE4CE

Pilot-aktivnosti čine središnji provedbeni element projekta CE4CE. Koncepte, metode i alate kružnog gospodarstva prenose u konkretne primjene u stvarnim operativnim uvjetima, čime tijelima i operaterima javnog prijevoza te drugim dionicima omogućuju testiranje pristupa, procjenu izvedivosti i stjecanje praktičnog iskustva.

Piloti provedeni u okviru CE4CE imaju više svrha. Pružaju empirijske dokaze o tehničkim, organizacijskim i ekonomskim implikacijama praksi kružnog gospodarstva, podupiru učenje među partnerima i smanjuju nesigurnosti povezane s provedbom i uvođenjem. Istodobno pilot-aktivnosti djeluju kao most između strateških ciljeva i razvoja rješenja jer stvaraju spoznaje i podatke potrebne za objedinjavanje pilot-iskustava u prenosiva i skalabilna rješenja.

U okviru CE4CE pilot-aktivnosti usmjerene su na skup definiranih pilot-tema koje odražavaju glavne poluge kružnog gospodarstva obrađene u projektu kroz životne cikluse infrastrukture javnog prijevoza i voznog parka:

- Procjena kružnosti i oblikovanje novih vrijednosnih lanaca životnog ciklusa
- Prediktivno održavanje infrastrukture javnog prijevoza i voznog parka
- Digitalna simulacija elektrificiranih koridora javnog prijevoza i energetskih tokova
- Ponovna uporaba infrastrukturnih komponenti javnog prijevoza
- Uporaba pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika energije
- Ponovna proizvodnja i ponovna uporaba komponenti voznog parka

Te su teme obrađene kroz **sedam pilot-aktivnosti** koje su provela tijela i operateri javnog prijevoza u različitim srednjoeuropskim gradovima:

- **Pilot Kompassa kružnosti za javni prijevoz**, koji je koordinirala udruga trolley:motion (uz potporu Rupprecht Consulta), razvio je i testirao strukturirani alat za procjenu radi prepoznavanja praznina u kružnosti i oblikovanja novih vrijednosnih lanaca za povećanje učinkovitosti uporabe resursa. Pilot je uključivao razvoj internetskog sučelja i praktičnu primjenu u projektom partnerstvu.
- U **Leipzigu** u Njemačkoj lokalni operater javnog

prijevoza LVB proveo je pilot **prediktivnog održavanja**, pri kojem je digitalno praćenje stanja primijenjeno na odabranu infrastrukturnu imovinu i imovinu voznog parka radi testiranja podatkovno utemeljenih pristupa održavanju i potpore produljenju životnog vijeka.

- U **Bergamu** u Italiji ATB je proveo sličan pilot **prediktivnog održavanja** u drukčijem operativnom kontekstu, što je omogućilo usporedbu metodologija, podatkovnih zahtjeva i organizacijskih uvjeta među mrežama.
- U **Gdyniji** u Poljskoj operater javnog prijevoza PKA proveo je pilot simulacije **elektrificiranih koridora javnog prijevoza** radi analize energetskih tokova i procjene kružnih scenarija elektrifikacije, uključujući punjenje tijekom vožnje i elektrifikaciju autobusne trake.
- U **Szegedu** u Mađarskoj operater javnog prijevoza SZKT proveo je pilot koji prikazuje **ponovnu uporabu trolejbusnih skretnica**, s naglaskom na produljenje životnog vijeka intenzivno korištenih infrastrukturnih komponenti i smanjenje materijalnog otpada.
- U **Mariboru** u Sloveniji Grad Maribor - MOM analizirao je **uporabu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu** kao stacionarnog spremnika energije za potporu infrastrukturi brzog punjenja napajanoj obnovljivom energijom te istražio tehničku izvedivost i aspekte integracije.
- U **Szegedu** je SZKT proveo i dodatni pilot koji je obrađivao **ponovnu proizvodnju i redizajn upravljačkih jedinica tramvaja**, s ciljem produljenja životnog vijeka komponenti i omogućavanja ponovne uporabe prilagođenim dizajnom i razmjenom informacija

Dok se pilot-aktivnosti usredotočuju na testiranje i validaciju pristupa u stvarnim operativnim okruženjima, rješenja predstavljaju objedinjene rezultate usmjerene na primjenu, razvijene na temelju provedbe pilota i zajedničkog analitičkog rada.

Rješenja prenose pilot-iskustva u **strukturirane alate, metodologije, kriterije i poslovne modele** koji se mogu prenijeti, ponoviti i proširiti u drugim kontekstima javnog prijevoza. Svako je rješenje povezano s jednom ili više pilot-aktivnosti unutar istog tematskog područja te se temelji na empirijskim dokazima, povratnim informacijama dionika i iterativnim procesima poboljšanja.

Za svako područje aktivnosti pilot-aktivnosti opisane su zajedno s pripadajućim rješenjima, pri čemu je istaknut put od testiranja i validacije do objedinjavanja i prijenosa.

3.1. Aktivnost A.1: Razvoj Kompassa kružnosti CE4CE i Platforme znanja za javni prijevoz

Iako ova aktivnost formalno ne pripada radnom paketu „Prikaz kako javni prijevoz može postati kružan”, Kompas kružnosti proveden je i potvrđen postupkom testiranja nalik pilotu. Alat je razvijen, a zatim testiran s dionicima javnog prijevoza putem radionica, anketa i validacijskih vježbi u kojima su sudjelovali operateri, tijela, istraživači i predstavnici industrije. Te su aktivnosti omogućile praktičnu provjeru metodologije i doradu alata na temelju stvarnih

operativnih povratnih informacija. Kompas kružnosti stoga predstavlja tehnički pilot i rješenje koje podupire prijelaz na kružne sustave javnog prijevoza, iako je organizacijski smješten u metodološki radni paket projekta, a ne u demonstracijski radni paket.

3.1.1. Pilot P.1: Kompas kružnosti za javni prijevoz

Kratak opis pilota

Pilot Kompassa kružnosti razvijen je kao odgovor na ključni izazov pri prijelazu na kružne sustave javnog prijevoza: nedostatak praktičnih alata koji organizacijama pomažu razumjeti gdje i kako se načela kružnog gospodarstva mogu integrirati u svakodnevno poslovanje i strateško planiranje.

Iako se o konceptima kružnog gospodarstva u prometnom sektoru sve više raspravlja, tijela i operateri javnog prijevoza često nemaju strukturirane pristupe za prijenos tih načela u konkretne mjere. Kompas kružnosti stoga želi pružiti praktičan orijentacijski alat koji organizacijama pomaže procijeniti njihove trenutačne kružne prakse i prepoznati mogućnosti za poboljšanja u cijelom sustavu javnog prijevoza.

Cilj pilota bio je razviti i validirati metodologiju koja dionicima javnog prijevoza omogućuje vrednovanje praksi kružnog gospodarstva kroz životni ciklus infrastrukture, vozila i energetske sustave. Za razliku od infrastrukturnih ili tehnoloških pilota provedenih u okviru CE4CE, Kompas kružnosti predstavlja rješenje utemeljeno na znanju, namijenjeno omogućavanju prijelaza na kružno poslovanje boljim razumijevanjem sustava i odlučivanjem.

Rješenje Kompas kružnosti

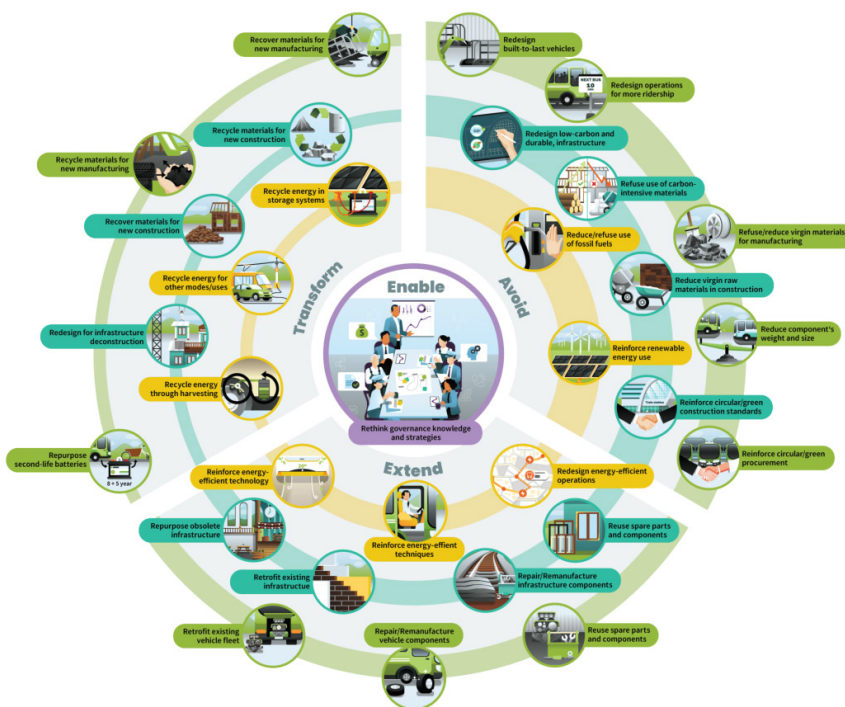
[Kompas kružnosti](#) internetski je [alat za samoprocjenu](#) dostupan putem platforme znanja CE4CE. Pruža strukturirani okvir koji organizacijama javnog prijevoza omogućuje vrednovanje praksi kružnog gospodarstva u različitim komponentama njihovih sustava.

Procjena obuhvaća četiri ključna područja sustava javnog prijevoza: vozne parkove, uključujući vozila i baterije; infrastrukturu; energetske sustave; te upravljanje, koje uključuje organizacijske i omogućujuće uvjete. Zajedničkom obradom tih područja alat odražava sustavnu prirodu kružnosti u javnom prijevozu.

Okvir slijedi logiku kružnog životnog ciklusa Avoid - Extend - Transform - Enable (AETE). U praksi to znači da se organizacije vode prema razmišljanju o tome kako boljim planiranjem i nabavom mogu smanjiti potrošnju resursa, produljiti životni vijek imovine održavanjem i obnovom, transformirati imovinu ponovnom uporabom ili prenamjenom te uspostaviti organizacijske uvjete potrebne za potporu kružnoj provedbi.

Jezgru alata čini strukturirana anketa za samoprocjenu koja obuhvaća ključne faze životnog ciklusa, od proizvodnje i nabave do rada, održavanja i upravljanja na kraju životnog vijeka. Rezultati pružaju jasan pregled trenutačnih kružnih praksi i ističu područja u kojima organizacije mogu dalje razvijati kružne strategije i rješenja.

10 R-principles for circular public transport systems



Slika 4: Prilagodba načela kružnog gospodarstva 10R za sustave javnog prijevoza.

Potrebni resursi

Provedba Kompassa kružnosti prije svega zahtijeva organizacijske i analitičke resurse. Temelji se na uključivanju dionika, stručnoj facilitaciji i pristupu operativnom znanju unutar organizacija javnog prijevoza.

Faza testiranja provedena je kroz radionice, stručna savjetovanja i ankete za samoprocjenu u koje su bili uključeni operateri javnog prijevoza, tijela i istraživači. Taj suradnički proces osigurao je da alat odražava stvarne operativne uvjete i da je primjenjiv u različitim organizacijskim okruženjima.

Očekivani rezultati/koristi

Kompass kružnosti organizacijama javnog prijevoza omogućuje prepoznavanje praznina u kružnosti, procjenu spremnosti za prihvaćanje kružnog gospodarstva i istraživanje mogućih područja poboljšanja kroz životni ciklus javnog prijevoza.

Strukturiranjem složenih informacija u jasan okvir procjene alat podupire podizanje svijesti i strateško planiranje. Organizacijama pomaže bolje razumjeti kako se načela kružnog gospodarstva mogu primijeniti u praksi, osobito u područjima upravljanja infrastrukturom, rada voznog parka i energetske sustava.

Circularity Compass

The Circularity Compass is a life-cycle orientation tool designed for public transport operators and authorities to foster circularity approaches, principles, and solutions through their planning, procurement, operations, maintenance, and end-of-life stages of public transport systems.

It aims to enhance understanding and raises awareness of the importance and benefits of implementing a circular economy, assesses current status and readiness levels, and uncovers actionable solutions to operationalise the transition towards circular public transport systems where resources are used mindfully, assets are durable and repairable by design, and ecological footprint is being reduced to net zero.

- Vehicles
- Batteries
- Railway Infrastructure
- Electric Infrastructure
- Buildings
- Energy
- Knowledge, Governance & Policy

Slika 5: Sučelje internetskog alata za samoprocjenu CE4CE Kompass kružnosti.

Mogućnosti širenja i budućeg razvoja

Kompas kružnosti pruža skalabilan okvir koji podupire prijelaz na prakse kružnog gospodarstva u sektoru javnog prijevoza. Kao alat za podizanje svijesti i samoprocjenu organizacijama pomaže prepoznati praznine u kružnosti i odrediti prioritetne mjere povezane s infrastrukturom, voznim parkovima i energetske sustavima.

Rezultati procjene mogu poslužiti kao polazište za detaljnije analize, kao što su procjene životnog

ciklusa, strategije kružne javne nabave ili planiranje učinkovitosti uporabe resursa. Istodobno daljnji razvoj i praktična relevantnost alata snažno ovise o aktivnom uključivanju dionika te stalnom doprinosu sektorskog znanja i iskustva.

Uz kontinuirani doprinos dionika Kompas kružnosti može se razviti u širu platformu znanja i usporednog vrednovanja koja podupire prijelaz na kružno poslovanje u sustavima javnog prijevoza.

3.1.2. Rješenje S.1: Platforma znanja za kružni javni prijevoz

Kratak opis rješenja

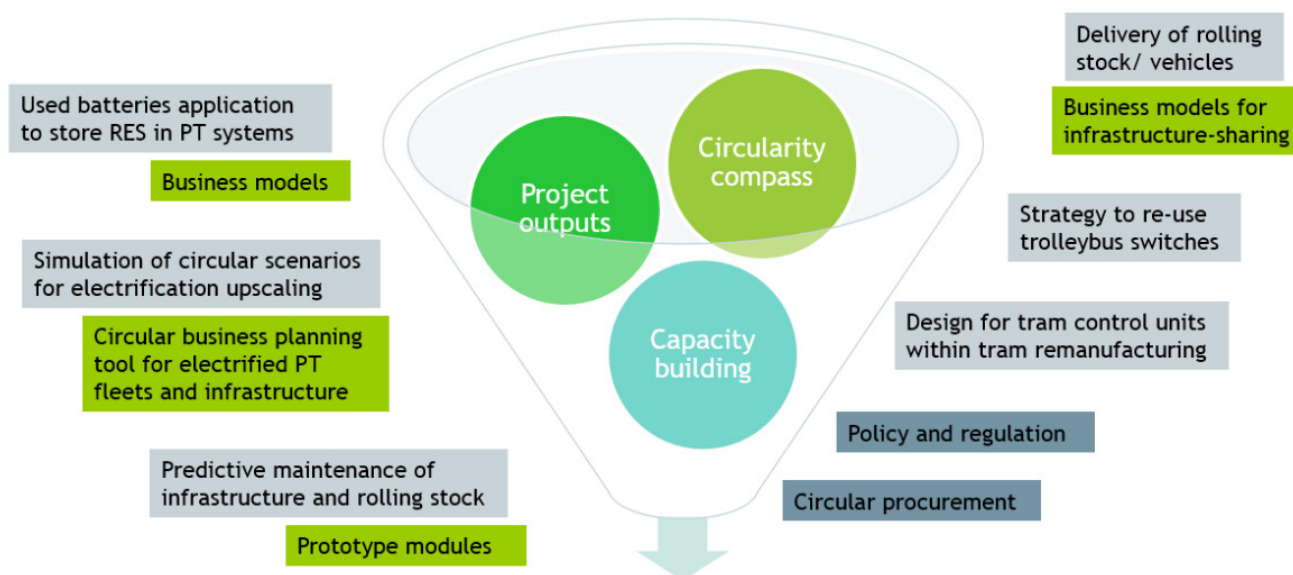
Platforma znanja CE4CE internetsko je središte znanja osmišljeno za potporu prijelazu na prakse kružnog gospodarstva u sektoru javnog prijevoza. Pruža strukturirano digitalno okruženje u kojem dionici javnog prijevoza mogu pristupiti alatima, dobrim praksama, metodologijama i obrazovnim materijalima povezanim s kružnošću u prometnim sustavima.

Platforma se bavi ključnim izazovom prepoznatim tijekom projekta: znanje o kružnim rješenjima u javnom prijevozu često je fragmentirano i teško dostupno stručnjacima iz prakse. Centralizacijom relevantnih resursa i njihovim povezivanjem s praktičnim projektnim rezultatima platforma podupire jačanje kapaciteta, razmjenu znanja i šire uvođenje kružnih rješenja.

Platforma je javno dostupna na <https://circularity4publictransport.eu/>

Ciljevi rješenja

Glavni cilj Platforme znanja CE4CE jest ojačati kapacitete dionika javnog prijevoza za uvođenje načela kružnog gospodarstva. U praksi platforma djeluje kao centralizirana ulazna točka na kojoj korisnici mogu pristupiti alatima i resursima kružnog gospodarstva, istraživati praktične primjere i testirana rješenja te bolje razumjeti kako odgovoriti na uočene nedostatke u kružnosti. Podupire prijenos znanja u sektoru, a organizacijama istodobno pomaže u snalaženju među dostupnim pristupima i provedbenim putovima.



CE4CE knowledge platform matches new skills with knowledge

Slika 6: Konceptualna struktura Platforme znanja CE4CE koja povezuje kružna rješenja, alate i jačanje kapaciteta.

Osnovni koncept rješenja

Platforma znanja CE4CE razvijena je usporedno s **Kompasom kružnosti**, koji djeluje kao alat za samoprocjenu za vrednovanje praksi kružnog gospodarstva u organizacijama javnog prijevoza.

Dva su rješenja konceptualno povezana:

- **Kompas kružnosti** organizacijama omogućuje procjenu njihove kružne uspješnosti i prepoznavanje područja za poboljšanje
- **Platforma znanja** pruža resurse, alate i primjere koji pomažu u otklanjanju prepoznatih praznina

Na taj način platforma povezuje **rezultate procjene s praktičnom potporom provedbi**.

Koncept platforme temelji se na **načelima kružnog gospodarstva 10R**, prilagođenima kontekstu javnog prijevoza. Ta načela usmjeravaju organizaciju resursa znanja prema ključnim komponentama sustava javnog prijevoza, kao što su infrastruktura, vozila, energetski sustavi i upravljanje.

Platforma znanja strukturirana je u pet glavnih komponenti:

1. **Mapa kompetencija** - definira ključne vještine i znanja potrebna za uvođenje načela kružnog gospodarstva u javnom prijevozu.
2. **Kompas kružnosti** - internetska anketa za samoprocjenu koja organizacijama omogućuje vrednovanje njihova stanja kružnosti.
3. **Dobre prakse** - zbirka studija slučaja koje prikazuju kružna rješenja u sektoru.
4. **Središte znanja** - repozitorij alata, smjernica, izvješća i metodologija koji podupiru kružno planiranje, rad i održavanje.
5. **Forum za povezivanje** - planirano digitalno tržište koje omogućuje razmjenu rezervnih dijelova i opreme među organizacijama javnog prijevoza

Ovom strukturom platforma povezuje **procjenu kružnosti, resurse znanja i praktična rješenja** te stvara sveobuhvatno potporno okruženje za organizacije koje uvode kružne sustave javnog prijevoza.



Slika 7: Glavna kompetencijska područja Platforme znanja CE4CE: infrastruktura, vozila, energija i upravljanje.

Zaključak rješenja

Platforma znanja CE4CE pruža strukturirano i skalabilno okruženje koje podupire prijelaz na kružne sustave javnog prijevoza. Povezivanjem procjene (Kompas kružnosti), resursa znanja i praktičnih rješenja dionicima omogućuje prijelaz od osvješćivanja prema provedbi. Njezina dugoročna vrijednost ovisi o stalnom razvoju sadržaja, uključivanju dionika i povezivanju sa sektorskim inicijativama, što joj omogućuje razvoj u središnju referentnu točku za prakse kružnog gospodarstva u javnom prijevozu.

3.1.3. Rješenje S.2: Internetsko tržište rabljene imovine i platforma za povezivanje

Kratak opis rješenja

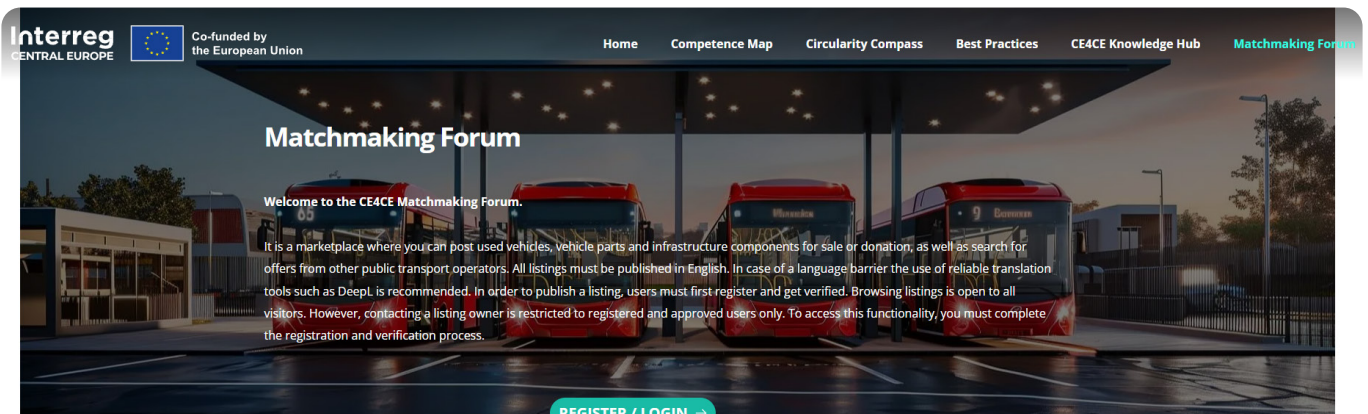
Rješenje uvodi digitalnu platformu za povezivanje koja dionicima javnog prijevoza omogućuje razmjenu informacija o rabljenim vozilima, rezervnim dijelovima i infrastrukturnim komponentama te podupire njihovu ponovnu uporabu i ponovnu proizvodnju.

Razvijeno kao funkcionalni modul Platforme znanja CE4CE, rješenje dopunjuje njezinu ulogu u razmjeni znanja i jačanju kapaciteta pružanjem praktičnog

alata za prepoznavanje i ostvarivanje scenarija kružne primjene. Obraduje nedostatak strukturiranih mehanizama razmjene u sektoru, gdje se mogućnosti ponovne uporabe često propuštaju zbog ograničene vidljivosti i fragmentirane komunikacije.

Forum za povezivanje javno je dostupan na:

<https://circularity4publictransport.eu/matchmaking-forum/>



Slika 8: Korisničko sučelje Foruma za povezivanje CE4CE - odredišna stranica.

Ciljevi rješenja

Glavni cilj rješenja jest omogućiti strukturiranu razmjenu rabljene imovine u sektoru javnog prijevoza i povećati vidljivost komponenti prikladnih za ponovnu uporabu.

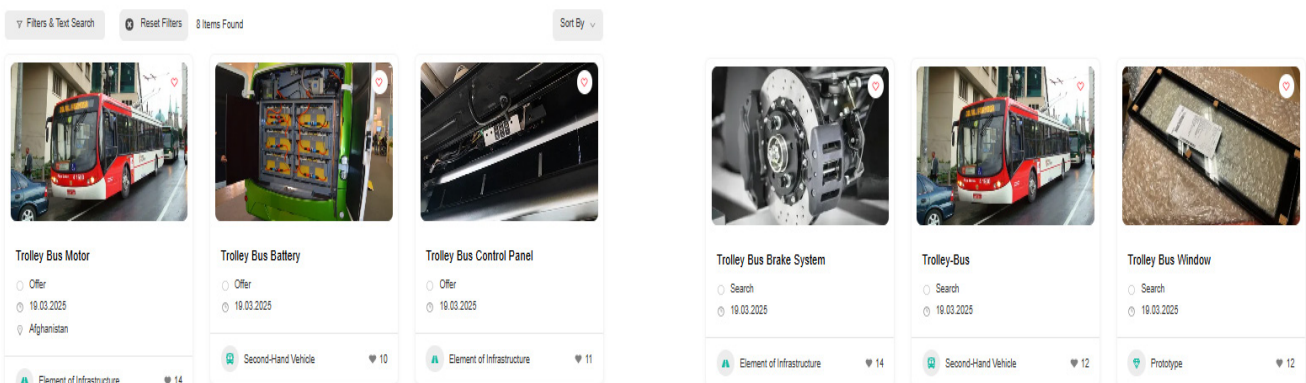
Poboljšanjem protoka informacija i podupiranjem povezivanja između operatera, tijela i dobavljača platforma pridonosi praksama ponovne uporabe i ponovne proizvodnje, smanjuje prerano zbrinjavanje imovine i jača suradnju u sektoru.

Osnovni koncept rješenja

Rješenje se temelji na **digitalnom forumu za povezivanje** koji povezuje ponudu i potražnju za rabljenom imovinom javnog prijevoza. Njegovo funkcioniranje slijedi jednostavan proces:

1. organizacije objavljuju ponude ili potražnje za vozilima, komponentama ili infrastrukturnim elementima
2. korisnici pretražuju i filtriraju objave na temelju relevantnih kriterija
3. zainteresirane strane uspostavljaju kontakt putem platforme

Platforma djeluje kao **alat za razmjenu informacija i povezivanje**, a ne kao transakcijski sustav. Smanjivanjem informacijskih praznina i povećanjem transparentnosti stvara uvjete za širenje praksi ponovne uporabe i ponovne proizvodnje u sektoru.



Slika 9: Primjeri objava u Forumu za povezivanje CE4CE za rabljena vozila, komponente i infrastrukturne elemente.

Zaključak rješenja

Forum za povezivanje predstavlja praktičan potporni alat koji podupire uvođenje kružnog gospodarstva olakšavanjem ponovne uporabe i produljenjem životnog ciklusa imovine javnog prijevoza. Njegova se učinkovitost povećava širim sudjelovanjem, jer veći

broj korisnika poboljšava vidljivost i mogućnosti povezivanja.

Uz kontinuirano uključivanje dionika i daljnji razvoj funkcionalnosti platforma ima potencijal postati važan mehanizam za potporu kružnim lancima vrijednosti u javnom prijevozu.

3.2. Aktivnost A.2: Razvoj zajedničkih digitalnih rješenja za omogućavanje i ubrzavanje kružnosti u javnom prijevozu

Ova aktivnost usredotočuje se na primjenu digitalnih alata za potporu kružnom i resursno učinkovitom upravljanju infrastrukturom javnog prijevoza i voznim parkom. Istražuje kako podatkovno utemeljeno praćenje i simulacija mogu poboljšati prakse održavanja, planiranje infrastrukture i operativnu učinkovitost kroz cijeli životni ciklus sustava.

U okviru ove aktivnosti provedena su tri pilota u Leipzigu, Bergamu i Gdyniji. Piloti u Leipzigu i Bergamu testiraju prediktivno održavanje digitalnim

praćenjem stanja, dok pilot u Gdyniji primjenjuje modeliranje digitalnog blizanca i simulaciju energetske tokove za potporu planiranju elektrificiranih koridora javnog prijevoza.

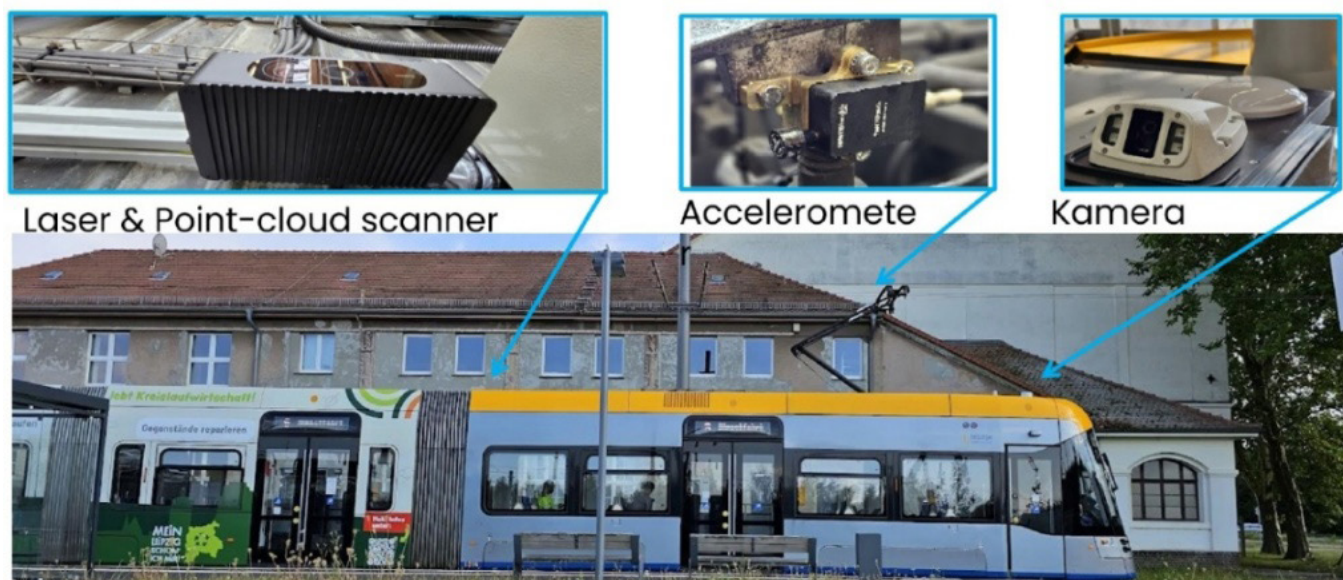
Rezultati i iskustva tih pilota osnova su za razvoj zajedničkog rješenja koje pruža modularne digitalne alate za prediktivno održavanje i kružno planiranje sustava javnog prijevoza, predstavljenog u sljedećem odjeljku.

3.2.1. 3.2.1. Pilot P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem (Leipzig, Njemačka)

Kratak opis pilota

Ovaj se pilot usredotočuje na uvođenje pristupa prediktivnog održavanja za infrastrukturu javnog prijevoza i vozni park primjenom digitalnog praćenja stanja. Pilot, koji je u Leipzigu proveo Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB), nastoji pomaknuti održavanje s reaktivnog i vremenski planiranog prema podatkovno utemeljenom, prediktivnom održavanju kako bi se produljio životni vijek imovine, smanjili neplanirani kvarovi i ograničile intervencije s velikom potrošnjom resursa.

Tri tramvajska vozila opremljena su sensorima, kamerama i laserskim sustavima za praćenje kolosijeka i kontaktne mreže na 14 km dugoj liniji 1 tijekom redovitog rada. Prikupljeni podaci analiziraju se radi otkrivanja ranih znakova trošenja i omogućavanja ciljano usmjerenih mjera održavanja, a istraženo je i praćenje potrošnje energije.

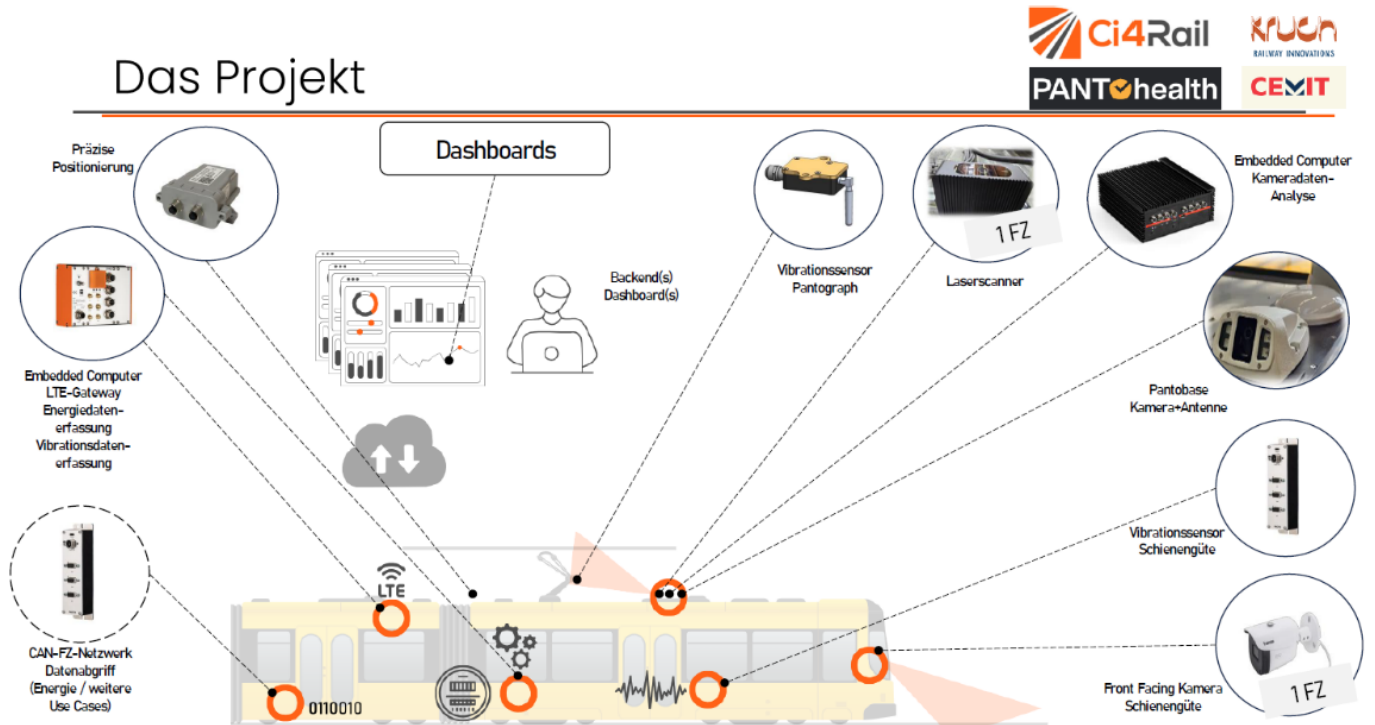


Slika 10: Dio ugrađenog sustava za praćenje vibracija na tramvajima (PantoHealth).

Potrebni resursi

Provedba je zahtijevala senzorske sustave, infrastrukturu za obradu podataka i analitički softver, zajedno s koordinacijom između operatera, pružatelja tehnologije i projektnih partnera. Dodatni napori

uključivali su osposobljavanje osoblja, integraciju u radne tokove te usklađenost sa željezničkim standardima i certifikacijskim postupcima za primjenu u stvarnim operativnim uvjetima.



Slika 11: Pregled postava praćenja prediktivnog održavanja provedenog u pilotu u Leipzigu.

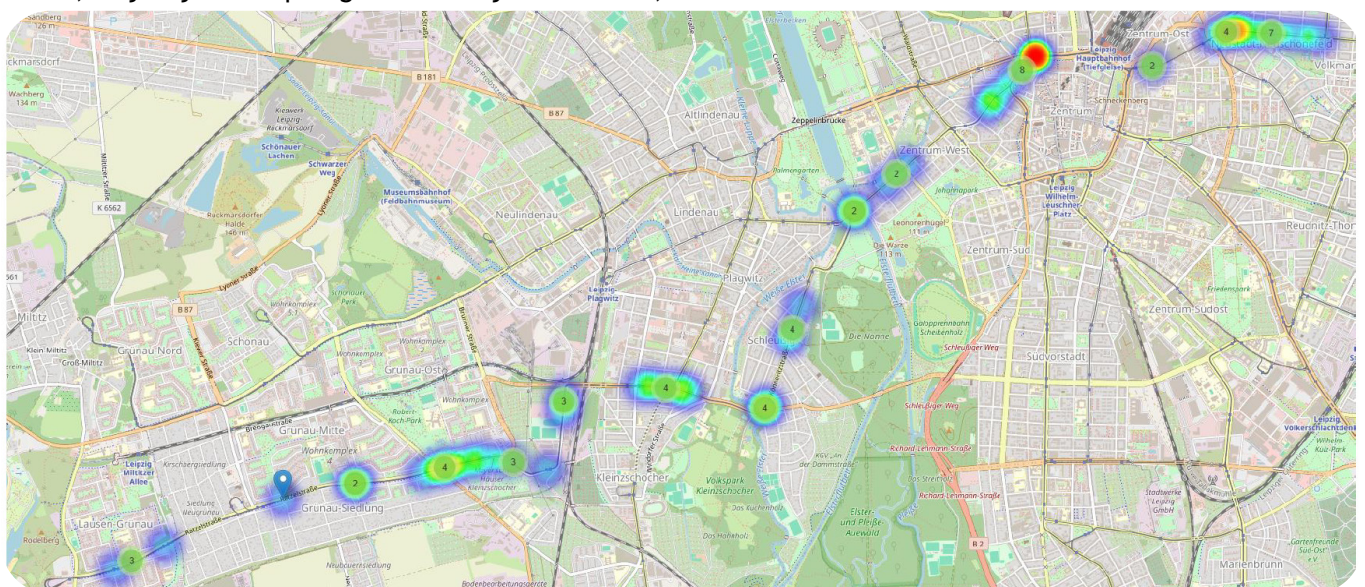
Dokazi o uspjehu

Pilot je potvrdio da je kontinuirano praćenje temeljeno na vozilima izvedivo i učinkovito u stvarnim operativnim uvjetima (lipanj 2024. - veljača 2025.), jer omogućuje rano otkrivanje infrastrukturnih nedostataka.

Identificirano je osam kritičnih točaka kontaktne mreže, uključujući dva prilagođena sekcijiska izolatora,

te osam područja kvarova na kolosijeku, uključujući tri prethodno neotkrivene slomljene tračnice; pregledano je deset lokacija i provedene su korektivne mjere.

Rezultati su doveli do ažuriranja planova održavanja na dionicama s ubrzanim pogoršanjem stanja te do poboljšane pouzdanosti podataka integracijom izravnog CAN-BUS sučelja za praćenje energije.



Slika 12: Toplinska karta područja kvarova na kolosijeku.

Uočeni izazovi

Tijekom provedbe pojavilo se nekoliko izazova. Oni su uključivali integraciju novih senzorskih sustava u postojeća vozila, osiguravanje kvalitete i pouzdanosti podataka te rješavanje ograničenja postojećih sustava mjerenja energije. Osobito su netočni podaci starijih energetskih mjernih sustava zahtijevali prepoznavanje alternativnih izvora podataka i integraciju dodatnih sučelja za izravan pristup podacima o energiji vozila.

Operativni izazovi povezani s ugradnjom tijekom tekućeg rada, koordinacijom između više pružatelja usluga i potrebom za ispunjavanjem strogih željezničkih certifikacijskih zahtjeva riješeni su postupnom provedbom, bliskom koordinacijom i iterativnim testiranjem.

3.2.2. Pilot P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem (Bergamo, Italija)

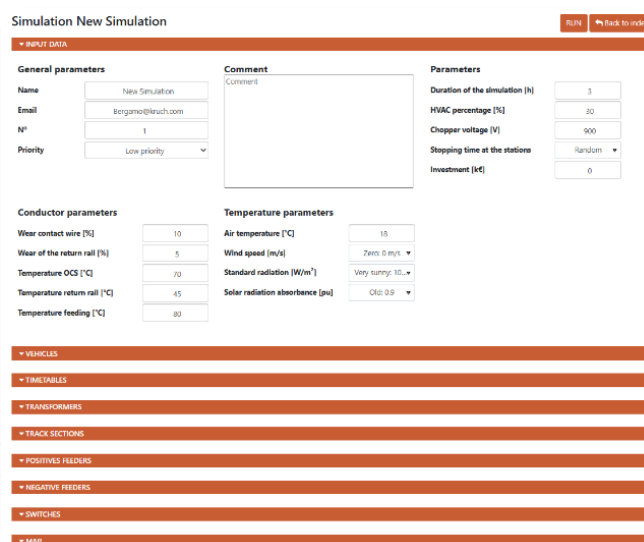
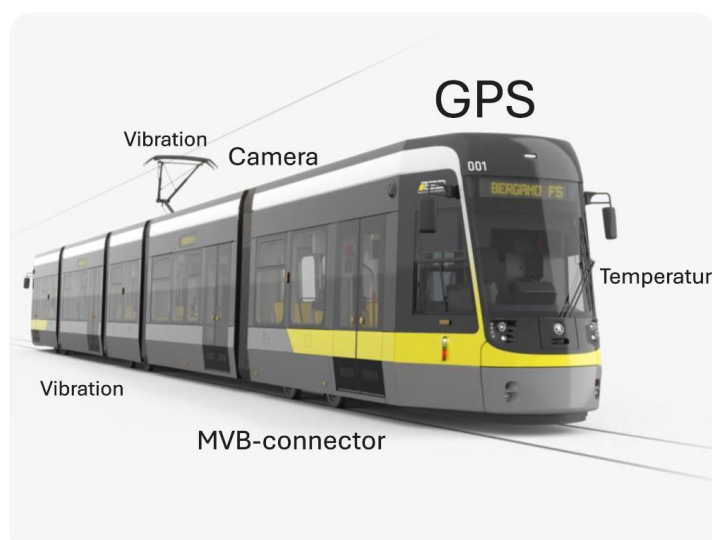
Kratak opis pilota

Ovaj se pilot usredotočuje na prediktivno održavanje tramvajske infrastrukture i voznog parka digitalnim praćenjem stanja i simulacijskim alatima. Pilot koji je provela Azienda Trasporti Bergamo (ATB) u suradnji s KRUCH Railway Innovations nastoji poboljšati pouzdanost infrastrukture i optimizirati uporabu energije u mreži.

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot pokazuje velik prijenosni potencijal zbog modularnog pristupa i uporabe vozila kao platformi za praćenje, što omogućuje skalabilno uvođenje bez namjenske opreme za pregled.

Ključna iskustva uključuju važnost kvalitete podataka, postupnog uvođenja i integracije analitike u procese održavanja. Pristup podupire načela kružnog gospodarstva omogućavanjem ranog djelovanja, produljenjem životnog vijeka imovine i poboljšanjem učinkovitosti uporabe resursa.



Slika 13: Senzorski sustav praćenja i digitalni simulacijski alat korišten u bergamskom pilotu prediktivnog održavanja.

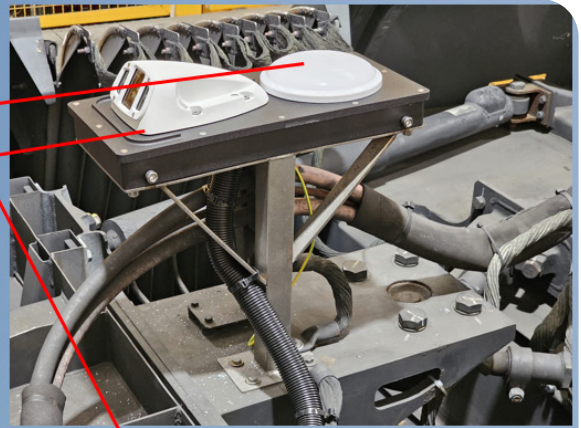
Potrebni resursi

Provedba je zahtijevala modularne senzorske sustave, računalne jedinice u vozilu, komunikacijsku infrastrukturu i alate za analizu podataka. Osim toga, razvijeno je simulacijsko okruženje na temelju MATLAB-a i SIMULINK/SimPowerSystems za

modeliranje tramvajske mreže i njezina elektroenergetskog napojnog sustava. Pilot je zahtijevao i koordinaciju između ATB-a, KRUCH-a i drugih dionika, uključujući kalibraciju sustava, osposobljavanje osoblja i integraciju u procese održavanja i upravljanja imovinom.

KRUCH «On November 5, we installed the sensors and on-board computer on the tram and its pantograph:

- High precision GPS
- Camera
- Accelerometers
- Rail certified edge-computer and communication

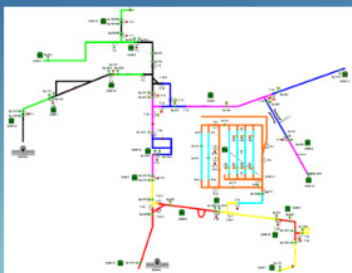


Slika 14: Senzorski sustav ugrađen na pantograf tramvaja za praćenje interakcije između vozila i kontaktne mreže.

DEVELOPING A DIGITAL TWIN: Energy Flow Simulation

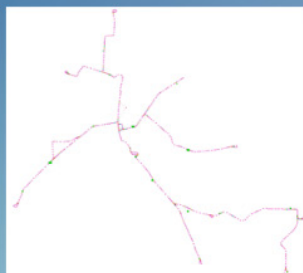
1

transport network



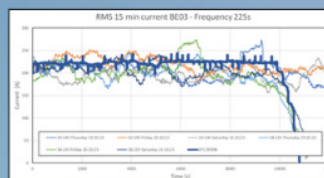
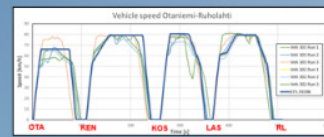
2

digital model



3

validation



4

dashboard



Slika 15: Modeliranje digitalnog blizanca i simulacija energetskega toka za analizu operativnih i energetskega scenarija u bergamskoj tramvajskoj mreži.

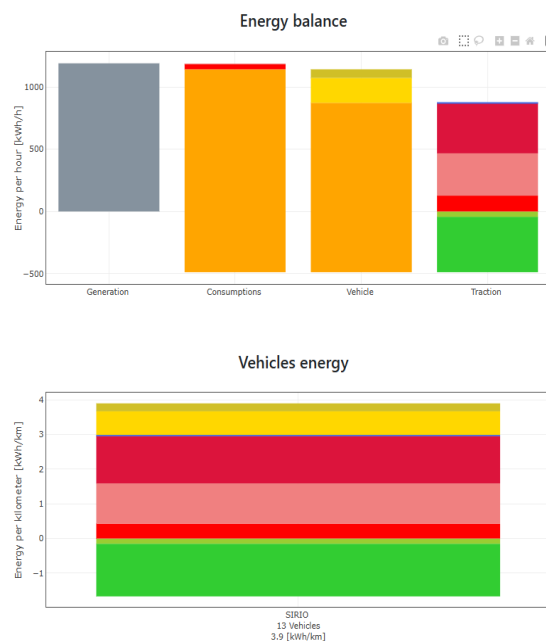
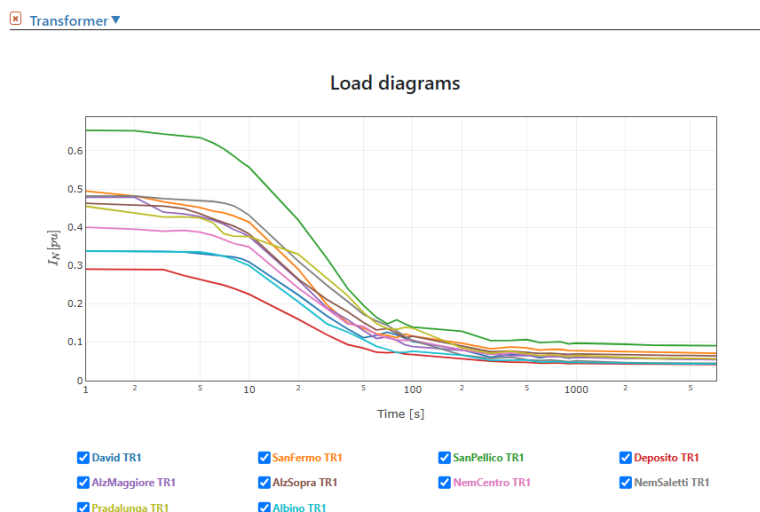
Dokazi o uspjehu

Pilot je potvrdio da kombinacija praćenja u stvarnom vremenu i simulacije podupire prediktivno održavanje i energetska optimizaciju. Sustav praćenja ugrađen je na tramvajsko vozilo br. 004 koje prometuje na liniji T1 te omogućuje kontinuirano prikupljanje podataka svakih 1-3 sekunde, uključujući parametre položaja, brzine i potrošnje energije.

Sustav je otkrio nepravilne interakcije između pantografa i kontaktne mreže te identificirao lokacije

s povećanim rizikom trošenja. Paralelno je razvijen digitalni bliznac tramvajske mreže, korišten za simulaciju više operativnih scenarija, analizu potrošnje energije, potencijala rekuperacije i performansi sustava.

Sveukupno, pilot je pokazao da integracija podataka praćenja sa simulacijskim alatima poboljšava odlučivanje te podupire učinkovitije upravljanje infrastrukturom i energijom.



Slika 16: Rezultati simulacije energetske tokove korišteni za analizu opterećenja transformatora i optimizaciju potrošnje energije u bergamskom tramvajskom sustavu.

Uočeni izazovi

Izazovi su uključivali integraciju senzorskih sustava u postojeća vozila i osiguravanje pouzdanog prijenosa podataka u urbanim okruženjima. Za poboljšanje točnosti senzora i stabilnosti komunikacije bile su potrebne prilagodbe kalibracije i konfiguracije.

Dodatnu složenost uzrokovala je integracija podataka praćenja iz stvarnog okruženja sa simulacijskim modelima, što je zahtijevalo stalnu validaciju i koordinaciju među projektnim partnerima.

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot pokazuje velik prijenosni potencijal, osobito za male i srednje velike tramvajske sustave. Modularni postav praćenja te razdvajanje prikupljanja, analize i simulacije podataka omogućuju fleksibilnu prilagodbu različitim mrežama.

Ključna iskustva uključuju važnost prethodnog testiranja modularnih sustava, kombiniranja praćenja sa simulacijom i osiguravanja bliske suradnje između operatera i pružatelja tehnologije. Pristup podupire načela kružnog gospodarstva produljenjem životnog vijeka imovine i poboljšanjem učinkovitosti uporabe resursa na razini sustava.

3.2.3. Rješenje S.3: Moduli za prediktivno održavanje infrastrukture i voznog parka

Kratak opis rješenja

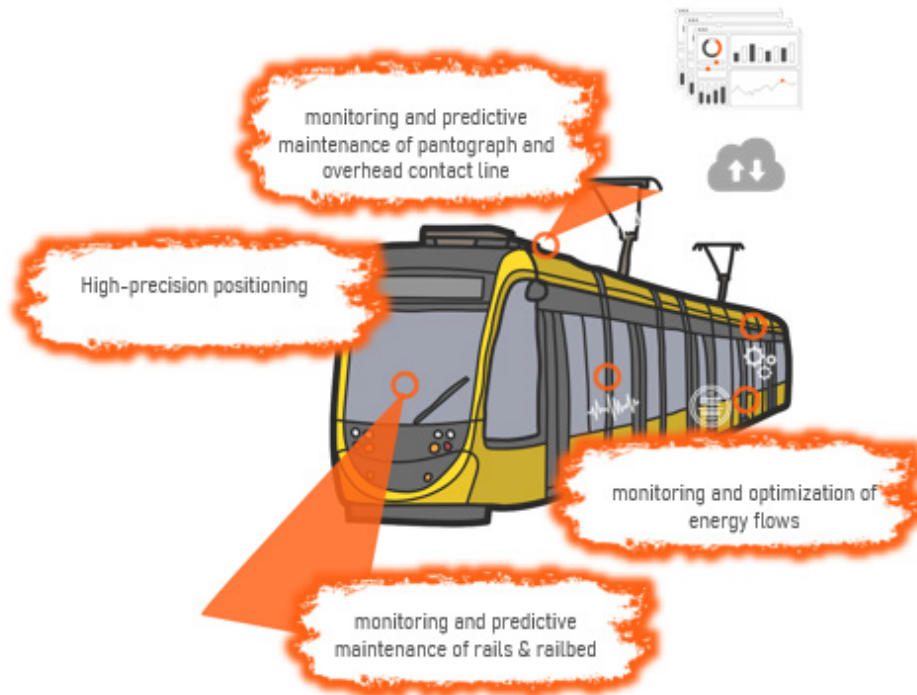
Ovo rješenje pruža modularni okvir za prediktivno održavanje infrastrukture javnog prijevoza i voznog parka na temelju kontinuiranog praćenja stanja putem vozila. Temelji se na pilot-provedbama u Leipzigu i Bergamu te objedinjuje praćenje infrastrukture, analizu energetske podataka i simulaciju u prenosiv pristup.

Rješenje podupire prijelaz s reaktivnog i vremenski planiranog održavanja na podatkovno utemeljeno upravljanje imovinom, omogućujući ranije otkrivanje kvarova, ciljane intervencije i veću operativnu pouzdanost.

Ciljevi rješenja

Cilj rješenja jest omogućiti kontinuirano praćenje stanja infrastrukture i vozila, otkrivati kvarove u ranoj fazi te podupirati pravodobne intervencije održavanja.

Poboljšanjem dostupnosti podataka i odlučivanja pridonosi produljenju životnog vijeka imovine, smanjenju materijalno intenzivnih popravaka i povećanju ukupne učinkovitosti uporabe resursa.

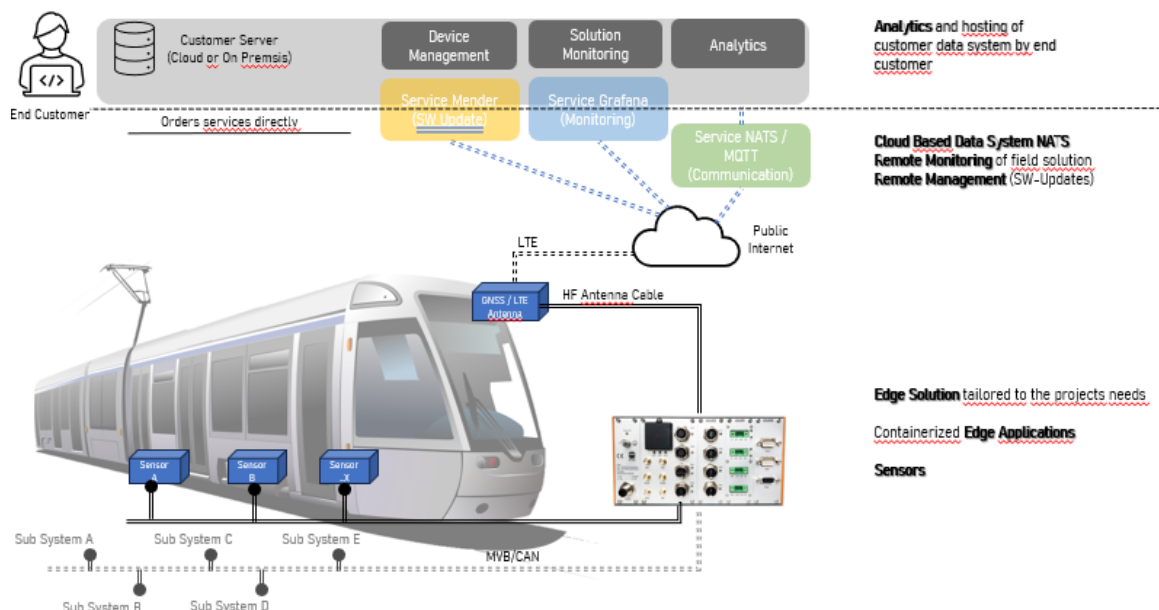


Slika 17: Opseg primjene prediktivnog održavanja u sustavima javnog prijevoza.

Osnovni koncept rješenja

Rješenje se temelji na modularnom lancu praćenja koji u postojeće radne tokove održavanja integrira prikupljanje podataka, obradu i potporu odlučivanju. Senzori i sustavi praćenja ugrađeni na vozila prikupljaju podatke tijekom redovitog rada, koji se obrađuju i analiziraju radi otkrivanja anomalija i prepoznavanja obrazaca degradacije.

Rezultati se georeferenciranjem integriraju u sustave upravljanja imovinom i vizualiziraju putem nadzornih ploča, čime se podupire prioritizacija mjera održavanja. Sustav djeluje kao kontinuirana petlja koja povezuje otkrivanje, validaciju i intervenciju te omogućuje prediktivno održavanje temeljeno na stanju.



Slika 18: Cjelovita arhitektura sustava prediktivnog održavanja od prikupljanja podataka do analitike i praćenja.

Spoznanje iz provedbe

Provedba je pokazala da su kvaliteta podataka, stabilni podatkovni tokovi i integracija sustava ključni za uporabljive rezultate. Automatska detekcija zahtijeva validaciju terenskim pregledima, dok modularna arhitektura omogućuje fleksibilno uvođenje u različitim sustavima.

Važna je i organizacijska spremnost jer prediktivno održavanje uvodi nove radne tokove i uloge, a njegova se vrijednost povećava kada je integrirano u postojeće procese upravljanja imovinom i planiranja.

Prijenosni potencijal

Rješenje pokazuje velik prijenosni potencijal za

3.2.4. Pilot P.4: Simulacija elektrificiranih koridora javnog prijevoza i energetske tokova (Gdynia, Poljska)

Kratak opis pilota

Ovaj se pilot usredotočuje na uporabu digitalnih alata za modeliranje i simulaciju radi potpore kružnom i resursno učinkovitom planiranju elektrifikacije u sustavima javnog prijevoza. U Gdyniji ga je proveo operater javnog prijevoza PKA Gdynia u suradnji sa Sveučilištem u Gdanjsku (UG) i tehnološkim partnerom Kruch Railway Innovations, a cilj mu je omogućiti podatkovno utemeljeno odlučivanje o infrastrukturnim

operatore koji upravljaju tračničkom infrastrukturom i voznim parkom. Modularni pristup omogućuje postupnu provedbu i prilagodbu različitim mrežama, tipovima vozila i organizacijskim okruženjima.

Omogućavanjem ranog djelovanja i upravljanja imovinom usmjerenog na životni ciklus, rješenje podupire načela kružnog gospodarstva, osobito produljenje životnog vijeka imovine i poboljšanje učinkovitosti uporabe resursa.

Rješenje primarno pridonosi fazi **EXTEND - održavanje i popravak**, jer omogućuje rano djelovanje i produljuje životni vijek imovine.

ulaganjima, tehnologijama vozila i operativnim strategijama.

Digitalni bliznac Zapadnog koridora razvijen je pomoću alata za simulaciju energetske tokova (EFS). Model integrira operativne podatke kao što su značajke voznog parka, učestalost usluga i potrošnja energije, što omogućuje simulaciju različitih scenarija elektrifikacije, uključujući baterijske električne autobuse, trolejbusove s punjenjem tijekom vožnje (IMC) i hibridne konfiguracije.

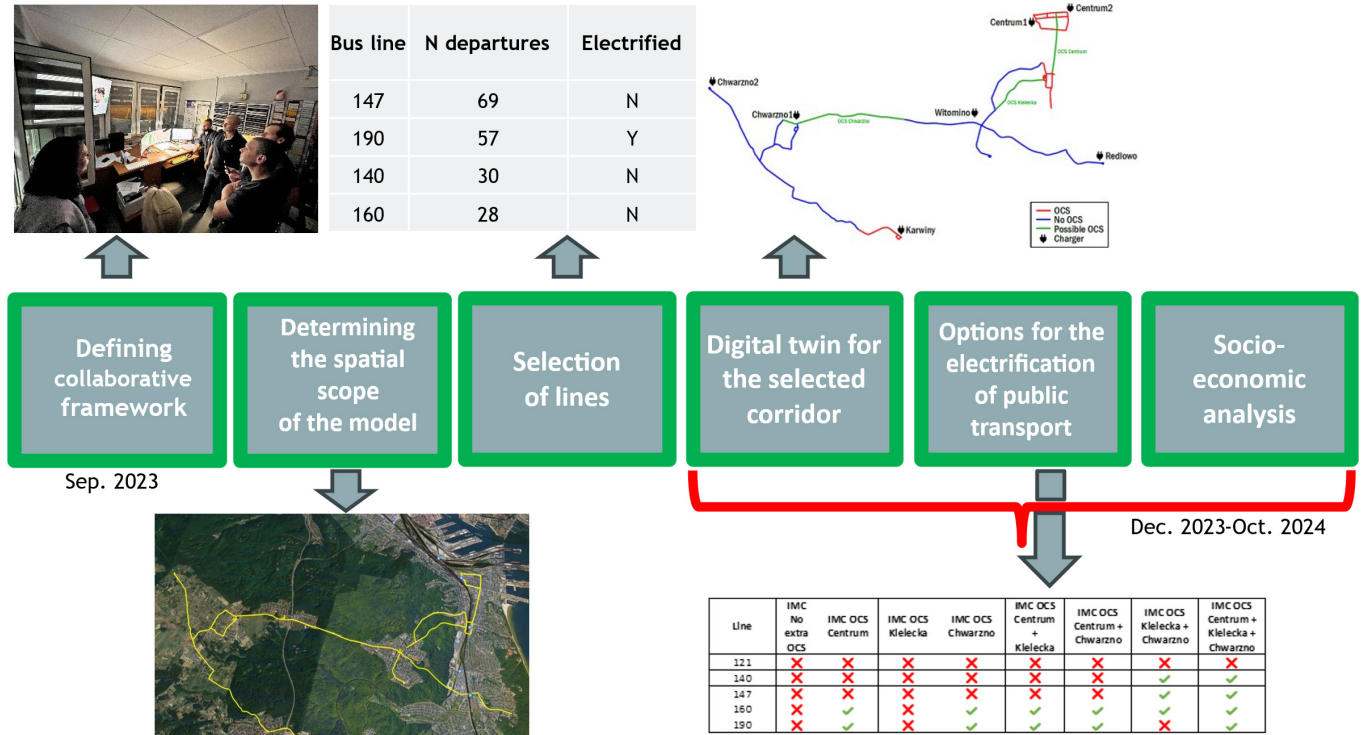


Slika 19: Prostorni raspored Zapadnog koridora u Gdyniji.

Potrebni resursi

Pilot je zahtijevao alate za modeliranje, operative podatke i blisku suradnju između prijevoznih operatera, istraživača i pružatelja tehnologije. Ključni resursi uključivali su simulacijsko okruženje EFS i detaljne ulazne podatke kao što su vozni redovi vozila, parametri potrošnje energije i prometni uvjeti.

Institucionalna koordinacija bila je ključna za osiguravanje realističnih modelnih pretpostavki i validaciju rezultata, uključujući sudjelovanje operatera, gradskih tijela i infrastrukturnih dionika.



Slika 20: Proces razvoja modela simulacije energetske potrošnje (EFS) za digitalnog blizanca Gdynije.

Dokazi o uspjehu

Pilot je pokazao da digitalna simulacija može učinkovito podržati planiranje elektrifikacije i optimizaciju infrastrukture. Digitalni bliznac koridora uspješno je razvijen i validiran uporabom stvarnih operativnih podataka autobusne linije 190.

Simulirano je više od 110 scenarija elektrifikacije uz usporedbu baterijskih električnih autobusa, IMC trolejbusa i hibridnih pristupa. Analiza je

pokazala da rad IMC-a zahtijeva ciljane nadogradnje infrastrukture, dok određene linije, poput linije 190, mogu prometovati bez dodatne nadzemne infrastrukture.

Rezultati su također pokazali da rad baterijskih električnih autobusa može zahtijevati veći broj vozila u usporedbi s IMC rješenjima te su potvrdili da prometni uvjeti značajno utječu na potrošnju energije, potrebe za vozilima i troškove sustava.

Line	E-bus base	E-bus extra	IMC No extra OCS	IMC OCS Centrum	IMC OCS Kielecka	IMC OCS Chwarzno	IMC OCS Centrum + Kielecka	IMC OCS Centrum + Chwarzno	IMC OCS Kielecka + Chwarzno	IMC OCS Centrum + Kielecka + Chwarzno
121	✓		X			✓		✓	✓	✓
140	X	✓+2	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
147	X	✓+3	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
160	X	✓+2	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
190 Loop	X	✓+3	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Total vehicles	26	36	26	26	26	26	26	26	26	26
Total chargers	7	7								
Extra Substations				1	1	2	2	3	3	4
Extra OCS km				1,51	1,54	3,12	3,05	4,63	4,66	6,17

Slika 21: Primjer rezultata simulacije koji uspoređuju različite scenarije elektrifikacije i prikazuju energetske bilance vozila te izvedivost stanja napunjenosti nakon 10 sati rada.

Line	Vehicles	IMC without OCS		IMC with extra OCS in Centrum		IMC with extra OCS in Chwarzno		IMC with extra OCS in Kielecka		IMC with extra OCS in Centrum and Chwarzno		IMC with extra OCS in Centrum and Kielecka		IMC with extra OCS in Chwarzno and Kielecka	
		SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]	SOC [%]	Battery [h]
121	3	20	1,4	20	1,4	49	>10	20	1,4	48,9	>10	20	1,4	49,1	>10
140	7	20	1	20	1	59,4	>10	20	2,7	59,8	>10	24,2	>10	64,2	>10
147	7	20	4	31,6	>10	66,4	>10	40,9	>10	68,8	>10	41,5	>10	71,1	>10
160	3	20	2	41	>10	67	>10	52	>10	68,8	>10	51,9	>10	78,8	>10
190Loop	6	54	>10	60,1	>10	54,7	>10	55,1	>10	60,3	>10	60,3	>10	56,1	>10

Slika 22: Usporedba scenarija elektrifikacije koja prikazuje operativnu izvedivost različitih tehnologija vozila i infrastrukturnih konfiguracija.

Uočeni izazovi

Izazovi su se ponajprije odnosili na integraciju podataka i modeliranje. Operativne podatke iz različitih izvora (promet, rad i energija) trebalo je uskladiti, što je u početku usporilo proces modeliranja.

Dodatna složenost pojavila se pri modeliranju degradacije baterija i performansi kroz životni ciklus, kao i pri točnom prikazu prometnih uvjeta, što je zahtijevalo iterativnu kalibraciju modela i uključivanje elemenata poput prometne signalizacije.

Ti su izazovi riješeni iterativnim unaprjeđenjem modela i validacijom uporabom podataka iz stvarnog okruženja.

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot pokazuje velik prijenosni potencijal za gradove koji planiraju elektrifikaciju sustava javnog prijevoza. Pristup digitalnog blizanca omogućuje usporedbu više scenarija prije donošenja odluka o infrastrukturnim ulaganjima te podupire učinkovitije i informiranije odlučivanje.

Modularna struktura pristupa omogućuje prilagodbu različitim urbanim kontekstima, pod uvjetom da su dostupni dovoljni operativni podaci. Pristup podupire kružno planiranje optimizacijom uporabe resursa, smanjenjem nepotrebnih ulaganja i poboljšanjem učinkovitosti sustava.

3.2.5. Rješenje S.4: Alat za kružno poslovno planiranje elektrificiranih voznih parkova i infrastrukture javnog prijevoza

Kratak opis rješenja

Ovo rješenje pruža strukturirani alat za planiranje koji podupire operatere i tijela javnog prijevoza u oblikovanju i usporedbi scenarija elektrifikacije uz primjenu načela kružnog gospodarstva. Temelji se na pilotu u Gdyniji, gdje su modeliranje digitalnog blizanca i simulacije energetske tokove korišteni za procjenu različitih strategija elektrifikacije. Rješenje ta iskustva prenosi u prenosiv okvir utemeljen na KPI-jevima, koji povezuje kružne ciljeve s praktičnim planiranjem i investicijskim odlukama.

Ciljevi rješenja

Cilj rješenja jest podržati planiranje elektrificiranih sustava javnog prijevoza utemeljeno na dokazima i poboljšati dosljednost pri vrednovanju scenarija. Prevođenjem ciljeva kružnog gospodarstva u mjerljive pokazatelje omogućuje usporedbu mogućnosti elektrifikacije, poboljšava transparentnost pretpostavki i podupire integraciju planiranja voznog parka, infrastrukture i energije.

Osnovni koncept rješenja

Rješenje se temelji na planskom radnom toku vođenom KPI-jevima, koji podupire strukturirani proces odabira i konfiguracije. Korisnicima omogućuje definiranje relevantnih pokazatelja, postavljanje ciljeva i usporedbu različitih scenarija elektrifikacije primjenom dosljednog okvira.

Pristup tretira vozni park, infrastrukturu i energetske sustave kao integrirano područje planiranja te povezuje tehničke performanse, uporabu energije i kružne ishode radi potpore informiranom odlučivanju.

U radu alat podupire strukturirani radni tok:

odabir → konfiguracija → analiza scenarija → usporedba → potpora odlučivanju

Rješenje tretira vozni park, infrastrukturu i energetske sustave kao jedinstveno područje planiranja, pri čemu energija djeluje kao sistemska okosnica koja utječe na performanse, troškove i kružne ishode.

Spoznaje iz provedbe

Provedba je pokazala da su dostupnost i kvaliteta podataka ključni te često zahtijevaju kombiniranje više izvora. Za dosljednu uporabu bitne su standardizirane definicije KPI-jeva i jasno upravljanje, uključujući vlasništvo i postupke ažuriranja.

Preporučuje se postupni pristup koji započinje osnovnim skupom KPI-jeva i s vremenom se širi, uz istodobno osiguravanje usklađenosti s postojećim procesima planiranja i izvješćivanja.

Prijenosni potencijal

Rješenje pokazuje velik prijenosni potencijal za operatere javnog prijevoza koji planiraju elektrifikaciju voznog parka. Može se primijeniti u različitim tipovima sustava i prilagoditi lokalnim

uvjetima, uključujući energetske miks, infrastrukturna ograničenja i operativne zahtjeve.

Podupiranjem dosljedne usporedbe scenarija i planiranja usmjerenog na životni ciklus, rješenje pridonosi učinkovitijoj uporabi resursa i informiranim

investicijskim odlukama.

Rješenje primarno pridonosi fazi **AVOID - prethodno planiranje i optimizacija sustava**, jer omogućuje informiranije i dosljednije odlučivanje.

3.3. Aktivnost A.3: Razvoj rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza

Ova se aktivnost usredotočuje na produljenje životnog ciklusa infrastrukturnih komponenti javnog prijevoza i energetskih sredstava pristupima ponovne uporabe i prenamjene. Obraduje načela kružnog gospodarstva na razini infrastrukture istraživanjem kako postojeće komponente i materijali mogu ostati u uporabi i izvan svojega prvotnog operativnog konteksta.

U okviru ove aktivnosti provedene su dvije pilot-aktivnosti. U Szegedu je pilot ispitao izvedivost ponovne uporabe trolejbusnih skretnica radi produljenja životnog vijeka kritičnih infrastrukturnih komponenti i smanjenja materijalnog otpada. U

Mariboru je pilot analizirao prenamjenu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu u stacionarni spremnik energije za potporu infrastrukturi punjenja električnih autobusa.

Zajedno ti piloti prikazuju praktične pristupe očuvanju vrijednosti ugrađene u infrastrukturu javnog prijevoza i povezanu imovinu, uz istodobno smanjenje potrošnje resursa i potporu kružnijim praksama upravljanja imovinom. Iskustva stečena kroz te pilote osnova su za razvoj prenosivih rješenja predstavljenih u sljedećim odjeljcima.

3.3.1. Pilot P.5: Ponovna uporaba trolejbusnih skretnica (Szeged, Mađarska)

Kratak opis pilota

Ovaj se pilot usredotočuje na praktičnu primjenu načela kružnog gospodarstva ponovnom uporabom komponenti trolejbusne infrastrukture. Pilot koji je proveo SZKT (Prometno poduzeće Szeged) prikazuje kako se komponente koje više nisu optimalne za rad visokog intenziteta mogu ponovno uporabiti u dijelovima sustava s manjim operativnim opterećenjem.

U okviru pilota četiri brze nadzemne skretnice iz operativne mreže, prvotno ugrađene između 2005. i 2014., zamijenjene su novom opremom te su zatim ponovno uporabljene u spremištu. Taj je pristup produljio životni vijek postojećih komponenti i poboljšao pouzdanost u mrežnoj i depotnoj infrastrukturi.



Slika 23: Trolejbusna nadzemna skretnica korištena u mreži Szegeda.

Potrebni resursi

Pilot je zahtijevao relativno ograničene tehničke resurse, jer je rad uglavnom obuhvaćao zamjenu i premještanje postojećih infrastrukturnih komponenti unutar trolejbusnog sustava. Provedba se temeljila na unutarnjim kapacitetima SZKT-a, uključujući timove za

održavanje infrastrukture, prometnu operativu i logističke jedinice. Bila je potrebna koordinacija za upravljanje radovima ugradnje i privremenim prilagodbama rada, kao i suradnja s lokalnim tijelima pri kratkim zahvatima na cestama.



Slika 24: Ugradnja trolejbusne skretnice od strane održavateljskog tima SZKT-a.

Dokazi o uspjehu

Pilot je uspješno pokazao da ponovna uporaba infrastrukturnih komponenti može poboljšati pouzdanost uz istodobno smanjenje potreba za ulaganjima. U glavnoj mreži ugrađene su četiri nove skretnice, dok su četiri ponovno uporabljene skretnice postavljene u spremištu, čime je poboljšana učinkovitost infrastrukture na osam lokacija.

Zamjena je smanjila kvarove na dionicama visoke frekvencije i uklonila probleme sa zastarjelim depotnim skretnicama, istodobno izbjegavajući nepotrebnu nabavu dodatne opreme i smanjujući materijalni otpad.

Pilot je uspješno pokazao da kružna ponovna uporaba infrastrukturnih komponenti može poboljšati operativnu pouzdanost uz istodobno smanjenje potreba za ulaganjima. Ključni rezultati postignuti tijekom provedbe uključuju:

Uočeni izazovi

Izazovi su se ponajprije odnosili na koordinaciju i integraciju u postojeći infrastrukturni sustav. Razlike u potpornim elementima, kao što su stupovi i temelji, zahtijevale su prilagodbe tijekom ugradnje. Dodatni naponi bili su potrebni za organizaciju privremenih prometnih rješenja i osiguravanje sigurne integracije ponovno uporabljenih komponenti u sustav.

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot prikazuje jednostavan i prenosiv kružni pristup primjenjiv u mnogim sustavima javnog prijevoza. Infrastrukturne komponente uklonjene s dionica mreže visokog intenziteta često se mogu ponovno uporabiti u okruženjima s manjim opterećenjem, kao što su spremišta.

Sustavnim prepoznavanjem takvih mogućnosti operateri mogu produljiti životni vijek imovine, smanjiti investicijske troškove i ograničiti materijalni otpad, čime se podupire učinkovitije i kružno upravljanje infrastrukturom.

3.3.2. Rješenje S.5: Definiranje kriterija za uvođenje ponovne uporabe trolejbusnih skretnica

Kratak opis rješenja

Ovo rješenje pruža prenosiv okvir za kružnu ponovnu uporabu trolejbusnih nadzemnih skretnica u sustavima javnog prijevoza. Temelji se na iskustvu pilota u Szegedu i praktični pristup prenosi u skup kriterija za uvođenje koji mogu primijeniti drugi operateri.

Rješenje uvodi kaskadni model ponovne uporabe, pri kojem se infrastrukturne komponente uklonjene s dionica mreže visokog intenziteta ponovno raspoređuju na lokacije s manjim operativnim opterećenjem, kao što su spremišta. Taj pristup produljuje životni vijek imovine, smanjuje otpad i poboljšava troškovnu učinkovitost obnove infrastrukture.

Ciljevi rješenja

Cilj rješenja jest podržati operatere javnog prijevoza u uvođenju praksi kružnog upravljanja infrastrukturom.

Usredotočuje se na produljenje operativnog životnog vijeka infrastrukturnih komponenti, smanjenje potrošnje materijala, poboljšanje investicijske učinkovitosti te održavanje pouzdanosti i sigurnosti strukturiranim pristupima ponovne uporabe.

Osnovni koncept rješenja

Rješenje se temelji na usklađivanju infrastrukturnih komponenti s različitim razinama operativnog intenziteta u mreži. Komponente uklonjene s mrežnih dionica visoke frekvencije možda više ne ispunjavaju stroge zahtjeve pouzdanosti, ali i dalje mogu učinkovito funkcionirati u okruženjima s manjim

opterećenjem, kao što su spremišta. To vodi dvostupanjskom infrastrukturnom pristupu koji razlikuje područja intenzivnog rada od manje intenzivnih servisnih okruženja. Usklađivanjem stanja komponenti s operativnim zahtjevima operateri mogu produljiti životni vijek imovine uz očuvanje učinkovitosti sustava.

Spoznaje iz provedbe

Provedba pokazuje da uspješna ponovna uporaba ovisi o odgovarajućoj procjeni stanja i kompatibilnosti s postojećim infrastrukturnim elementima, kao što su stupovi, ožičenje i temelji. Tijekom ugradnje potrebna je učinkovita koordinacija između održavanja i operacija, dok su za širenje pristupa ključni sustavno prepoznavanje i praćenje ponovno uporabljivih komponenti.

Prijenosni potencijal

Rješenje pokazuje velik prijenosni potencijal za operatere koji upravljaju trolejbusnom ili tramvajskom infrastrukturom. Slični uvjeti postoje u mnogim sustavima, gdje infrastruktura u mrežama i spremištima radi pri različitim razinama intenziteta.

Uključivanjem operativnog intenziteta u upravljanje imovinom operateri mogu sustavno prepoznati mogućnosti ponovne uporabe, smanjiti troškove i produljiti životne cikluse infrastrukture, čime podupiru načela kružnog gospodarstva.

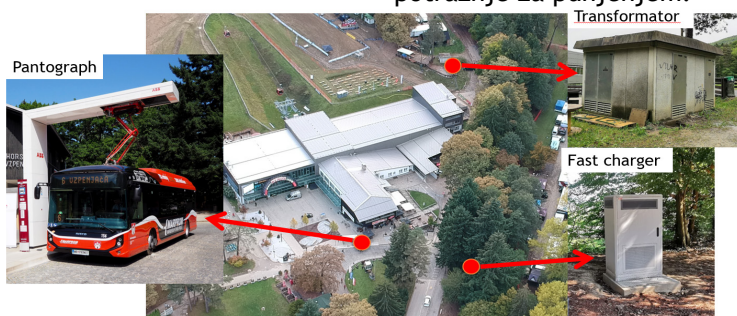
Rješenje stoga pridonosi fazi **EXTEND** - **ponovna uporaba** u okviru kružnog gospodarstva pri upravljanju infrastrukturom javnog prijevoza.

3.3.3. Pilot P.6: Uporaba pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika energije za brzo punjenje obnovljivom energijom (Maribor, Slovenija)

Kratak opis pilota

Ovaj pilot istražuje uporabu litij-ionskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika energije za potporu infrastrukturi punjenja električnih autobusa. Proveo ga je Grad Maribor uz potporu Sveučilišta u Mariboru, a usredotočuje se na poboljšanje energetske učinkovitosti uz istodobno produljenje životnog ciklusa pogonskih baterija.

Na terminalnoj stanici Vzpenjača brza punionica od 150 kW podržava električnu autobusnu liniju G6, koja prometuje na ruti dugoj 7,7 km s čestim kratkim punjenjima. Radi optimizacije uporabe energije u infrastrukturu za punjenje integriran je baterijski sustav za pohranu energije (BESS) temeljen na baterijama u drugom životnom ciklusu, koji djeluje kao međuspremnik između mreže, obnovljivih izvora i potražnje za punjenjem.



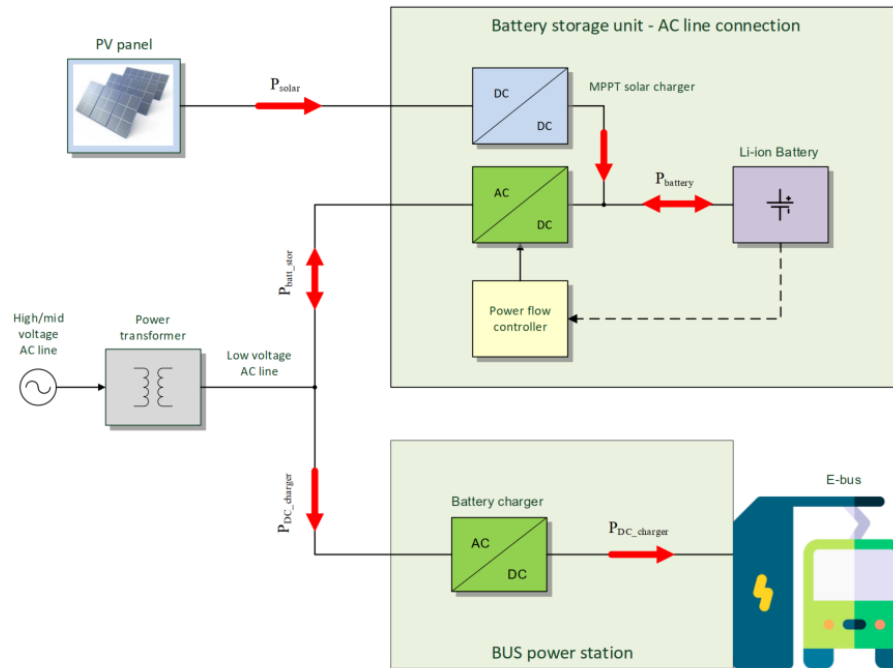
Slika 25: Postojeća infrastruktura za punjenje na stanici Vzpenjača.

Potrebni resursi

Pilot je zahtijevao integraciju baterijskog spremnika u drugom životnom ciklusu kapaciteta 136 kWh, zajedno s hibridnim pretvaračem od 80 kW i povezivanjem s postojećom brzom DC punionicom od 150 kW. Sustav je uključivao i nadzorne i upravljačke komponente te manju fotonaponsku instalaciju. BESS je povezan u

paralelnoj hibridnoj konfiguraciji koja tijekom punjenja autobusa omogućuje istodobno napajanje iz mreže i spremnika.

Provedba je zahtijevala koordinaciju između gradskih tijela, istraživačkih partnera i pružatelja tehničkih usluga te usklađenost sa sigurnosnim i regulatornim zahtjevima za baterijske sustave.



Slika 26: Tehnička shema paralelne konfiguracije integracije BESS-a. Izvor: Sveučilište u Mariboru.

Dokazi o uspjehu

Pilot je potvrdio tehničku izvedivost integracije baterija u drugom životnom ciklusu u infrastrukturu za punjenje. Sustav podržava godišnju potražnju za punjenjem od približno 145.000 kWh, s dnevnom potrošnjom oko 400 kWh i vršnim vrijednostima do 650 kWh, dok pojedinačna punjenja traju približno 5 minuta uz 8-14 kWh prenesene energije.

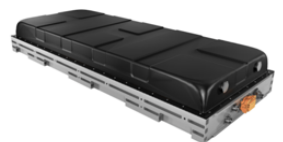
BESS je omogućio smanjenje vršnog opterećenja za približno 25 kW i prikazao hibridni rad između mreže i spremnika. Integracija fotonaponske proizvodnje dodatno je podržala energetska fleksibilnost i smanjila ovisnost o mreži.

Sveukupno, pilot je pokazao da baterijski spremnik u drugom životnom ciklusu može poboljšati upravljanje energijom i produljiti životne cikluse baterija u sustavima javnog prijevoza.



- Solar Panel (10 pcs. Array)**
350W Monocrystalline
- Vmp: 36.11V
 - Imp: 9.69A
 - Voc: 44.05V
 - Isc: 10.37A
 - Cell Size: 156mm
 - Cells Quantity: 72 PCS
 - Cells Array: 6'12 PCS
 - Panel Size: 1950*992*40mm
 - Weight: 19.5 KG

- Energy Storage Battery Pack**
- FPT - Model eBS 69
 - Application: Bus
 - Nominal capacity: 107 Ah
 - Nominal energy: 69,3 kWh
 - Nominal voltage: 647,5 V
 - Voltage range: 525 - 735 V
 - C-rate: 1 C
 - Weight: 389 kg
 - Cathode technology: NMC
 - Cell configuration: 175S-2P
 - Cooling system: Glycol/Water



- Three Phase Hybrid Inverter DEYE SUN-80K**
- Max. charging/discharging current of 160A
 - Support storing energy from diesel generator
 - Max. 10 pcs parallel for on-grid and off-grid operation
 - Support multiple batteries parallel
 - AC couple to retrofit existing solar system
 - 6 time periods for battery charging/discharging
 - High voltage battery, higher efficiency
 - 100% unbalanced output

Slika 27: Ključne komponente sustava BESS: PV paneli, pretvarač i baterijski paket u drugom životnom ciklusu.

Uočeni izazovi

Izazovi su uključivali ograničenu standardizaciju integracije baterija u drugom životnom ciklusu, kompatibilnost između baterijskih modula i pretvaračkih sustava te osiguravanje toplinske stabilnosti i požarne sigurnosti.

Dodatna pitanja povezana s osiguravanjem prikladnih baterija, regulatornim zahtjevima i ograničenim tržišnim iskustvom obrađena su pažljivim dizajnom sustava i suradnjom sa specijaliziranim stručnjacima.

3.3.4. Rješenje S.6: Prenosivi poslovni modeli za uporabu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu

Kratak opis rješenja

Ovo rješenje pruža prenosiv okvir za uporabu pogonskih baterija u drugom životnom ciklusu kao stacionarnog spremnika energije u infrastrukturi za punjenje javnog prijevoza. Temelji se na pilotu u Mariboru i njegova tehnička te operativna iskustva prenosi u poslovne modele i provedbene uvjete koji se mogu primijeniti u drugim okruženjima.

Rješenje podupire načela kružnog gospodarstva produljenjem životnih ciklusa baterija prije recikliranja, a istodobno poboljšava upravljanje energijom, smanjuje vršnu potražnju za električnom energijom i podupire integraciju obnovljivih izvora energije.

Ciljevi rješenja

Cilj rješenja jest pomoći operaterima i tijelima javnog prijevoza pri uvođenju baterijskih spremnika u drugom životnom ciklusu u sklopu elektrificirane prometne infrastrukture.

Usredotočuje se na produljenje životnih ciklusa baterija, poboljšanje fleksibilnosti punjenja, smanjenje vršnog

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot pokazuje velik prijenosni potencijal za gradove koji šire infrastrukturu električnih autobusa. Baterijski spremnici u drugom životnom ciklusu mogu poduprijeti upravljanje vršnim opterećenjima, poboljšati energetske fleksibilnost i omogućiti bolju integraciju obnovljivih izvora energije.

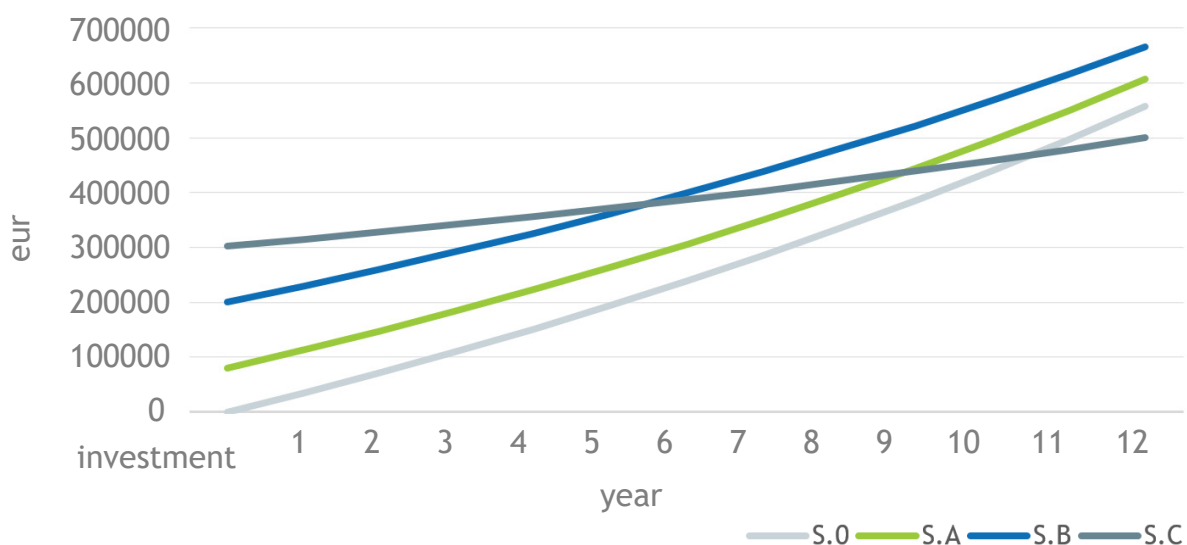
Modularna priroda BESS rješenja omogućuje prilagodbu različitim kontekstima i podupire načela kružnog gospodarstva produljenjem životnih ciklusa baterija te poboljšanjem učinkovitosti uporabe resursa.

opterećenja, potporu integraciji obnovljivih izvora energije i stvaranje ekonomski izvedivih pristupa za uporabu baterija u drugom životnom ciklusu.

Osnovni koncept rješenja

Rješenje se temelji na integraciji baterijskih sustava za pohranu energije u drugom životnom ciklusu između električne mreže, obnovljivih izvora energije i potražnje za punjenjem. U toj ulozi baterijski sustav djeluje kao fleksibilni energetske međuspremnik koji podupire smanjenje vršnih opterećenja, pomicanje opterećenja i uporabu obnovljive energije.

Njegova praktična primjena ovisi o usklađenosti triju dimenzija: tehničke integracije, strategije upravljanja energijom te ekonomskih i regulatornih uvjeta. Umjesto jednog fiksnog modela, rješenje pruža fleksibilan okvir koji se može prilagoditi lokalnoj infrastrukturi, profilima opterećenja i tržišnim uvjetima. Samo smanjenje vršnih opterećenja donosi ograničene koristi, dok kombiniranje spremnika s tarifnom optimizacijom i integracijom obnovljive energije znatno poboljšava ukupnu učinkovitost.



Slika 28: Usporedba kumulativnih troškova električne energije u različitim scenarijima upravljanja energijom.

- S.0: Polazište (bez spremnika): potpuna ovisnost o električnoj energiji iz mreže
- S.1: Smanjenje vršnih opterećenja: smanjenje kratkotrajnih vršnih opterećenja snage uz ograničen ekonomski povrat
- S.2: Tarifna optimizacija: pomicanje uporabe energije u razdoblja nižih troškova, čime se poboljšava troškovna učinkovitost
- S.3: Integracija obnovljivih izvora: kombiniranje spremnika s RES radi smanjenja ovisnosti o mreži i povećanja dugoročne vrijednosti

Spoznaje iz provedbe

Provedba je pokazala da je kompatibilnost između baterijskih modula, pretvaračkih sustava i infrastrukture za punjenje ključan uvjet za uspjeh, dok se sigurnosni zahtjevi i arhitektura sustava moraju uzeti u obzir od samog početka.

Poslovna opravdanost snažno ovisi o veličini sustava, profilu opterećenja, tarifama električne energije i ograničenjima mreže. Smanjenje vršnih opterećenja samo po sebi u malom opsegu nudi ograničen povrat,

dok kombiniranje spremnika s integracijom obnovljive energije znatno poboljšava dugoročnu vrijednost.

Prijenosni potencijal

Rješenje pokazuje velik prienosni potencijal za sustave javnog prijevoza koji prolaze kroz elektrifikaciju. Mnogi se gradovi suočavaju sa sličnim izazovima povezanim s potražnjom za punjenjem, ograničenjima mreže i budućim upravljanjem baterijama.

Baterijski spremnik u drugom životnom ciklusu nudi praktičan način za istodobno rješavanje tih pitanja i može se primijeniti na stanicama za prigodno punjenje, u spremištima ili mobilnim čvorištima. Na taj način rješenje podupire i ciljeve kružnog gospodarstva i fleksibilnije upravljanje energijom u sustavima javnog prijevoza.

Rješenje primarno pridonosi fazi **EXTEND - prenamjena** u hijerarhiji kružnog gospodarstva jer omogućuje kaskadnu uporabu pogonskih baterija prije njihova konačnog recikliranja.

3.4. Aktivnost A.4: Poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka

Ova se aktivnost usredotočuje na produljenje životnog vijeka komponenti voznog parka obnovom, ponovnom proizvodnjom i poboljšanom razmjenom informacija u sektoru javnog prijevoza.

Pilot proveden u Szegedu prikazuje redizajn i ponovnu proizvodnju zastarjele upravljačke jedinice tramvajskih vrata, čime se omogućuje daljnji rad starijih tramvaja Tatra. Zamjenom kritične elektroničke komponente koja više nije dostupna na tržištu pilot pokazuje kako ciljani redizajn komponente

može očuvati operativnu vrijednost postojećeg voznog parka.

Iskustva stečena pilotom povezana su s razvojem digitalne platforme za rabljenu imovinu i povezivanje, koja podupire razmjenu informacija i suradnju među akterima javnog prijevoza radi lakše ponovne uporabe i ponovne proizvodnje komponenti vozila.

3.4.1. Pilot P.7: Ponovna proizvodnja i redizajn upravljačkih jedinica tramvaja radi omogućavanja ponovne uporabe komponenti (Szeged, Mađarska)

Kratak opis pilota

Ovaj se pilot usredotočuje na produljenje operativnog životnog vijeka tramvajskih vozila redizajnom i ponovnom proizvodnjom kritične elektroničke komponente. Pilot koji je proveo SZKT (Prometno poduzeće Szeged) obrađuje problem zastarjelih upravljačkih jedinica vrata koje se koriste u voznim parkovima tramvaja Tatra T6A2 i KT4D-ME te više nisu dostupne na tržištu rezervnih dijelova.

Radi smanjenja tog rizika, uporabom suvremenih komponenti razvijena je nova, parametrizabilna upravljačka jedinica s dijagnostičkom podrškom. Jedinica je projektirana tako da bude kompatibilna s oba tipa tramvaja i da se integrira s postojećim sustavima vrata, što omogućuje daljnji rad starijih vozila bez potrebe za prijevremenom zamjenom.



Slika 29: Tramvajska vozila Tatra (tipovi KT4D i T6A2) u prometu u Szegedu.

Potrebni resursi

Provedba je zahtijevala tehničku analizu postojećih sustava, razvoj nove hardverske i dijagnostičke softverske opreme te uspostavu kontroliranog testnog okruženja.

Dodatni napori uključivali su certificiranje kod akreditiranog tijela, regulatorno odobrenje za rad i proizvodnju početne serije zamjenskih jedinica, uz blisku suradnju između internih timova i vanjskih partnera.



Slika 30: Kontrolirano testno okruženje za funkcionalno testiranje novo razvijene upravljačke jedinice vrata.

Dokazi o uspjehu

Pilot je uspješno razvio i uveo zamjensku upravljačku jedinicu kompatibilnu s dva tipa tramvaja. Ukupno je u 28 vozila prepoznato 99 originalnih jedinica kao kritičnih komponenti, a početna serija od 40 novih jedinica proizvedena je i ugrađena.

Rješenje je uklonilo zastarjelost rezervnih dijelova za ključnu komponentu, osiguralo daljnji rad voznog parka i uvelo dijagnostičku funkcionalnost koja podupire poboljšano održavanje i otkrivanje kvarova.



Slika 31: Novo proizvedena upravljačka jedinica vrata ugrađena u tramvajsko vozilo.

Uočeni izazovi

Glavni izazov bio je postupak odobrenja za novo razvijenu sigurnosno kritičnu elektroničku komponentu, budući da regulatorni postupci nisu bili jasno definirani i zahtijevali su opsežnu koordinaciju s certifikacijskim tijelima. Dodatna složenost uključivala je osiguravanje kompatibilnosti s različitim tramvajskim sustavima i definiranje tehničkih specifikacija prikladnih za dugoročan rad.

Potencijal za učenje i prijenos

Pilot prikazuje prenosiv pristup rješavanju zastarjelosti rezervnih dijelova u starijem voznom parku. Mnogi gradovi upravljaju sličnim tramvajskim voznom parkovima i suočavaju se s usporedivim izazovima.

Metodologiju - prepoznavanje kritičnih komponenti, redizajn zamjenskih dijelova i ishođenje certifikacije - mogu ponoviti i drugi operateri, čime podupiru kružne strategije održavanja i produljuju životni vijek vozila.

Pristup primarno pridonosi dimenziji **EXTEND** okvira AETE, osobito kroz obnovu i ponovnu proizvodnju komponenti voznog parka.

4. Stečena iskustva

U pilotima CE4CE pojavilo se nekoliko ključnih tema koje odražavaju kako kružna rješenja funkcioniraju u praksi u različitim operativnim uvjetima.

Integracija podataka i sustava

Piloti prediktivnog održavanja pokazali su da učinkovitost digitalnih rješenja snažno ovisi o kvaliteti podataka i integraciji sustava. U Leipzigu je kontinuirano praćenje temeljeno na vozilima omogućilo rano otkrivanje infrastrukturnih nedostataka, ali je istodobno otkrilo potrebu za stabilnim podatkovnim tokovima i validacijom terenskim pregledima. Slično tome, simulacijski pristupi pokazali su da je harmonizacija podataka iz različitih izvora preduvjet za pouzdano modeliranje i potporu odlučivanju.

Produljenje životnog vijeka imovine ponovnom uporabom i ponovnom proizvodnjom

Piloti usmjereni na ponovnu uporabu infrastrukture i komponenti istaknuli su potencijal produljenja životnog vijeka imovine. U Szegedu je ponovna uporaba trolejbusnih skretnica pokazala da se komponente uklonjene s dionica mreže visokog intenziteta mogu učinkovito ponovno uporabiti u okruženjima s manjim opterećenjem. Slično je načelo primijenjeno pri ponovnoj proizvodnji upravljačkih jedinica tramvaja, gdje je redizajn omogućio daljnji rad starijih vozila unatoč zastarjelosti rezervnih dijelova.

Sistemska integracija i stvaranje vrijednosti u energetske primjenama

Energetski povezani piloti pokazali su da se vrijednost kružnih rješenja povećava sa sistemskom integracijom. U Mariboru je baterijski spremnik u drugom životnom ciklusu pokazao ograničene koristi kada se koristi samo za smanjenje vršnih opterećenja, ali znatno veću vrijednost kada se kombinira s integracijom obnovljive energije i fleksibilnim upravljanjem energijom. To naglašava važnost promatranja kružnih rješenja u sklopu šire optimizacije sustava, a ne kao samostalnih intervencija.

Organizacijska spremnost i provedbeni procesi

Kod svih pilota uspješna provedba ovisila je o koordinaciji između više dionika i integraciji u postojeće operativne strukture. Postupni provedbeni pristupi, koji započinju pilot-testiranjem i nastavljaju se postupnim širenjem, pokazali su se učinkovitima u upravljanju tehničkom i organizacijskom složenosti.

Te su spoznaje sažete u donjoj tablici.

Područje	Ključna iskustva
Tehnika i podaci	<ul style="list-style-type: none"> • Uspješna rješenja ovise o kompatibilnosti s postojećom infrastrukturom i sustavima, osobito u okruženjima sa starijim sustavima. • Pouzdana provedba zahtijeva kvalitetne i usklađene podatke, poduprte stabilnim podatkovnim tokovima. • Modularni dizajn sustava omogućuje skalabilno uvođenje i fleksibilnu integraciju.
Operativno	<ul style="list-style-type: none"> • Provedba zahtijeva koordinaciju između organizacijskih funkcija i integraciju u postojeće radne tokove. • Rano uključivanje dionika značajno smanjuje rizike i olakšava provedbu. • Postupni pristupi omogućuju testiranje, validaciju i postupno širenje.
Ekonomski	<ul style="list-style-type: none"> • Kružna rješenja obično zahtijevaju početno ulaganje, ali stvaraju vrijednost tijekom duljeg vremenskog razdoblja. • Ekonomska uspješnost ovisi o opsegu sustava, razini integracije i operativnom kontekstu. • Značajan dio vrijednosti nastaje kroz neizravne koristi, kao što su pouzdanost i učinkovitost.
Spoznaje o kružnom gospodarstvu	<ul style="list-style-type: none"> • Najveći potencijal leži u produljenju životnog vijeka imovine, ponovnoj uporabi komponenti i prenamjeni energetske sredstva. • Kružne strategije često slijede kaskadnu logiku u različitim kontekstima uporabe. • Perspektiva životnog ciklusa ključna je za obuhvat cjelokupne vrijednosti.
Prenosivost	<ul style="list-style-type: none"> • Rješenja koja se temelje na modularnim i prilagodljivim pristupima imaju najveći prijenosni potencijal. • Prijenos ovisi o lokalnim organizacijskim, tehničkim i regulatornim uvjetima. • Razmjena znanja i jasna dokumentacija podupiru ponavljanje.

Tablica 7: Pregled međusektorskih stečenih iskustava.

5. Kontrolni popis za provedbu i ključni aspekti

Na temelju stečenih iskustava predstavljenih u Poglavlju 4, ovo poglavlje pruža praktične smjernice za provedbu rješenja CE4CE u različitim lokalnim kontekstima. Prepoznate spoznaje pretvara u provedive korake, ključne čimbenike uspjeha i aspekte rizika koji podupiru dionike pri uvođenju pristupa kružnog gospodarstva u sustave javnog prijevoza.

Smjernice su namijenjene operaterima javnog prijevoza, tijelima i drugim dionicima koji žele prilagoditi i uvesti rješenja CE4CE uzimajući u obzir lokalne tehničke, organizacijske i ekonomske uvjete.

5.1. Ključni aspekti za uspješnu provedbu

Provedba rješenja CE4CE zahtijeva obradu niza ključnih aspekata koji određuju izvedivost, učinkovitost i mogućnost širenja. Ti aspekti odraavaju praktične zahtjeve prepoznate kroz pilot-aktivnosti i procese razvoja rješenja.

Uspješna provedba ovisi o osiguravanju kompatibilnosti s postojećom infrastrukturom i sustavima, osobito u okruženjima sa starijim sustavima, kao i o dostupnosti pouzdanih i dobro strukturiranih podataka. Istodobno ključnu ulogu ima organizacijska spremnost, uključujući koordinaciju među odjelima, uključivanje

dionika i sposobnost integracije novih pristupa u postojeće radne tokove.

Ekonomsku izvedivost treba promatrati iz perspektive životnog ciklusa, uzimajući u obzir izravne i neizravne koristi, dok regulatorni zahtjevi i postupci odobrenja mogu utjecati na rokove provedbe i dizajn rješenja. Osim toga, rješenja trebaju biti oblikovana s obzirom na skalabilnost i prenosivost, čime se omogućuje prilagodba različitim operativnim i institucionalnim kontekstima.

5.2. Kontrolni popis za provedbu

Tablica 9 pruža strukturirani postupni pristup za potporu uvođenju rješenja kružnog gospodarstva u sustave javnog prijevoza, od početne procjene do širenja i integracije u standardno poslovanje.

Korak	Fokus
Korak 1: Početna procjena	<ul style="list-style-type: none"> • Prepoznajte mogućnosti kružnog gospodarstva u infrastrukturi, vozilima i energetske sustavima • Analizirajte postojeće prakse upravljanja životnim ciklusom imovine • Definirajte prioriteta područja intervencije
Korak 2: Analiza izvedivosti	<ul style="list-style-type: none"> • Procijenite tehničku izvedivost odabranih rješenja • Procijenite dostupnost podataka i sistemske zahtjeve • Analizirajte ekonomsku izvedivost i potencijalne koristi • Prepoznajte regulatorna ograničenja
Korak 3: Dizajn rješenja	<ul style="list-style-type: none"> • Definirajte tehnički koncept i arhitekturu sustava • Odaberite odgovarajuće tehnologije i partnere • Izradite provedbeni plan i vremenski okvir • Definirajte pokazatelje uspješnosti
Korak 4: Provedba	<ul style="list-style-type: none"> • Uvedite rješenje u kontroliranom pilot-okruženju • Pratite učinkovitost i prikupljajte podatke • Uključite operativno osoblje i dionike • Prilagodite sustav na temelju povratnih informacija
Korak 5: Vrednovanje i optimizacija	<ul style="list-style-type: none"> • Analizirajte rezultate pilota i podatke o učinkovitosti • Prepoznajte poboljšanja i potencijal za optimizaciju • Potvrdite ekonomske i operativne koristi
Korak 6: Širenje i prijenos	<ul style="list-style-type: none"> • Razvijte strategiju širenja unutar organizacije • Prilagodite rješenje drugim kontekstima ili lokacijama • Podijelite znanje i stečena iskustva • Integrirajte rješenje u standardno poslovanje

Tablica 9: Postupni kontrolni popis za provedbu.

5.3. Uobičajeni rizici i mjere za njihovo ublažavanje

Uvođenje rješenja kružnog gospodarstva u sustave javnog prijevoza uključuje niz uobičajenih rizika povezanih s podacima, tehnologijom, organizacijskim kapacitetima i regulatornim uvjetima.

Jedan od ključnih izazova odnosi se na dostupnost i kvalitetu podataka, jer nepotpuni ili nedosljedni podaci mogu ograničiti učinkovitost digitalnih alata i donošenja odluka utemeljenog na dokazima. To zahtijeva ranu procjenu dostupnosti podataka, uz postupke validacije i uspostavu pouzdanih procesa upravljanja podacima.

Na provedbu mogu utjecati i tehničke nekompatibilnosti s postojećom infrastrukturom i naslijeđenim sustavima. Ti se izazovi mogu riješiti modularnim i fleksibilnim dizajnom sustava, koji omogućuje postupnu integraciju u postojeća okruženja bez potrebe za opsežnim zahvatima u sustav.

Regulatorni zahtjevi i postupci odobravanja mogu utjecati na rokove provedbe, osobito kod inovativnih ili sigurnosno kritičnih rješenja. Stoga je rano uključivanje regulatornih tijela važno kako bi se razjasnili zahtjevi i smanjio rizik od kašnjenja. Na provedbu mogu dodatno utjecati i ograničeni

organizacijski kapaciteti, uključujući ograničena stručna znanja ili resurse. Ti se rizici mogu ublažiti jačanjem kapaciteta, ciljanim osposobljavanjem i osiguravanjem odgovarajućih resursa za provedbu i operativno funkcioniranje.

Naposljetku, uključivanje dionika ima ključnu ulogu u uspješnoj provedbi. Ograničeno uključivanje ili neusklađenost među dionicima mogu usporiti napredak, dok kontinuirana komunikacija i rano uključivanje podupiru koordinaciju, prihvaćenost i učinkovitu provedbu.

Rizici	Mjere za ublažavanje rizika
Nedostatak podataka ili loša kvaliteta podataka	Rana procjena i validacija podataka
Tehnička nekompatibilnost	Modularni dizajn sustava
Regulatorna kašnjenja	Rano uključivanje regulatora
Ograničeni organizacijski kapaciteti	Jačanje kapaciteta i osposobljavanje
Niska uključenost dionika	Kontinuirana komunikacija s dionicima

5.4. Zaključci i pogled unaprijed

Priručnik CE4CE pokazuje kako se načela kružnog gospodarstva mogu prenijeti u praktične primjene u sustavima javnog prijevoza. Pilot-aktivnostima provedenima u različitim operativnim okruženjima projekt je stvorio vrijedna iskustva o tome kako očuvati vrijednost, smanjiti otpad i poboljšati učinkovitost uporabe resursa u infrastrukturi, vozilima i energetske sustavima.

Rješenja predstavljena u ovom priručniku temelje se na tim iskustvima i pružaju strukturirane, prenosive pristupe koji mogu podržati tijela i operatere javnog

prijevoza pri uvođenju kružnih praksi. Zajedno s međusektorskim stečenim iskustvima nude strateško usmjerenje i praktične smjernice za prijelaz s linearnog na kružno upravljanje imovinom.

Kontrolni popis predstavljen u ovom poglavlju pruža strukturirani pristup koji se može prilagoditi različitim kontekstima javnog prijevoza i kružnim rješenjima. Daljnja razmjena znanja, suradnja dionika i dodatni razvoj kružnih poslovnih modela bit će ključni za širenje tih pristupa i potporu prijelazu na održive i kružne sustave javnog prijevoza.

6. Izvori

Rezultati projekta CE4CE:

- D.1.1.3 Kompas kružnosti javnog prijevoza - sažetak rezultata s uputama za uvođenje.
- D.1.2.2 Izvješće o provedbi, testiranju, vrednovanju i stručnom međusobnom pregledu platforme CE4CE za kružnost javnog prijevoza.
- D.3.1.1 Izvješće o zajedničkim zahtjevima, pripremi, provedbi i vrednovanju pilota: prediktivno održavanje u Leipzigu i Bergamu te simulacija e-koridora u Gdyniji.
- D.3.1.2 Izvješće o razvoju zajedničkih digitalnih rješenja za omogućavanje i ubrzavanje kružnosti u javnom prijevozu.
- D.3.2.1 Izvješće o zajedničkim zahtjevima i planu za pripremu, provedbu i vrednovanje pilota: ponovna uporaba trolejbusnih skretnica u Szegedu i ponovna uporaba rabljenih baterija u Mariboru.
- D.3.2.2 Izvješće o razvoju rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada u infrastrukturi javnog prijevoza.
- D.3.3.1 Izvješće o zajedničkim zahtjevima i planu za pripremu, provedbu i vrednovanje pilota.
- D.3.3.2 Izvješće za poticanje uvođenja rješenja za očuvanje vrijednosti i smanjenje otpada kod vozila i voznog parka.

Informativni listovi o rezultatima projekta CE4CE:

- O1.1 CE4CE Kompas kružnosti javnog prijevoza.
- O1.2 CE4CE Platforma znanja za kružnost javnog prijevoza.
- O3.1 Digitalna optimizacija infrastrukture i vozila prediktivnim održavanjem.
- O3.2 Moduli za prediktivno održavanje infrastrukture i voznog parka.
- O3.3 Simulacija e-koridora i energetskih tokova za simulaciju kružnih scenarija širenja elektrifikacije.
- O3.4 Alat za kružno poslovno planiranje elektrificiranih voznih parkova i infrastrukture javnog prijevoza.
- O3.5 Prikaz izvedivosti ponovne uporabe trolejbusnih skretnica.
- O3.6 Definiranje kriterija za uvođenje ponovne uporabe trolejbusnih skretnica.
- O3.7 Analiza uporabe rabljenih baterija za pohranu obnovljive energije za napajanje brze punionice kao primjer strateškog usmjerenja prema kružnosti.
- O3.8 Razvoj prenosivih poslovnih modela za ponovnu uporabu baterija za pohranu obnovljive energije u sustavima javnog prijevoza.
- O3.9 Dizajn upravljačkih jedinica tramvaja u okviru ponovne proizvodnje tramvaja.
- O3.10 Internetsko tržište rabljenih dijelova i proizvoda te platforma za povezivanje i razmjenu informacija.



Scan me for the project website

Copyright: Szeged Transport Company

Projekt CE4CE (Infrastruktura javnog prijevoza u srednjoj Europi - poticanje prijelaza na kružno gospodarstvo) jača sustavno promišljanje o kružnom gospodarstvu među dionicima javnog prijevoza u srednjoj Europi kako bi se smanjio otpad i stvarala vrijednost kroz nove životne cikluse infrastrukture i voznih sredstava.

KONTAKTIRAJTE NAS

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ tvrtka javnog prijevoza u Leipzigu
 Koordinator projekta: g. Stefan Röhl
 E-pošta: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de
 Mrežna stranica projekta: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>
 LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/interreg-ce4ce/> YouTube:
<https://www.youtube.com/@InterregCE4CE>
 Projektna platforma znanja: <https://circularity4publictransport.eu/>

