

POSPEŠEVANJE KROŽNEGA JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA

Pilotne izkušnje in rešitve krožnega
gospodarstva za operaterje javnega
potniškega prometa



Kolofon

Projekt

CE0100250 CE4CE - Infrastruktura javnega prevoza v Srednji Evropi - spodbujanje prehoda v krožno gospodarstvo

Kontakt

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ Leipzig Public Transport Company,
Naslov: Georgiring 3, 04103 Leipzig, Nemčija
Spletni naslov: <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/>
E-pošta: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Financira

Program Interreg Srednja Evropa
Splet: <https://www.interreg-central.eu/>

Avtorji

Danijel Hojski, Marjan Lep, Vlasta Rodošek (Univerza v Mariboru, Slovenija)

Sodelavci

Stefan Röhl, Conrad Jentzsch (Leipziško podjetje za javni prevoz, Nemčija), Jan Röhl (Kruch Railways, Avstrija), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Italija), Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale srl, Italija), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Poljska), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (Univerza v Gdansk, Poljska), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Madžarska), Mitja Klemenčič (Mestna občina Maribor), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (združenje trolley:motion, Avstrija), Laura López, Ana-Maria Baston (Rupprecht Consult, Nemčija), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Madžarska)

Postavitev in oblikovanje

Danaja Dvornik (@_studio_kai_)

Datum objave

april 2026

Avtorske pravice

Ta publikacija je avtorsko delo konzorcija projekta CE4CE, ki ga vodi Leipziško podjetje za javni prevoz. Vse slike in besedilni elementi v tej publikaciji, pri katerih je naveden vir, so last organizacij ali posameznikov, ki so navedeni kot avtorji.

O projektu CE4CE

Projekt CE4CE spodbuja sistemsko razmišljanje o krožnem gospodarstvu pri akterjih javnega prevoza iz srednjeevropskih držav, da bi zmanjšali odpadke ter ustvarili vrednost v novih življenjskih ciklih infrastrukture in voznega parka. CE4CE v ta namen skupaj razvija rešitve, ki povečujejo znanje in zmogljivosti sektorja, pomagajo zmanjševati ovire in stroške ter spodbujajo razvoj novih storitev in usposobljenih delovnih mest, pa tudi strategij in akcijskih načrtov, ki izboljšujejo oblikovanje politik, učenje in izmenjavo na regionalni in transnacionalni ravni.

Namen projekta CE4CE je prenesti načela krožnega gospodarstva v sektor javnega prevoza ter s tem zmanjšati količino odpadkov, povečati učinkovitost sektorja in izboljšati okoljski odtis javnega prevoza.



Slika 1: Partnerji CE4CE med skupno razpravo o rešitvah in akcijskih načrtih v letu 2025. Vir: Konzorcij CE4CE.

Kazalo

1. Uvod	6
2. Struktura pilotnih projektov in rešitev CE4CE	6
2.1. Povezovanje aktivnosti CE4CE z okvirom življenjskega cikla AETE	7
3. Pilotni projekti in rešitve CE4CE	10
3.1. Aktivnost A.1: Razvoj Kompassa krožnosti CE4CE in Platforme znanja za javni prevoz	11
3.1.1. Pilotni projekt P.1: Kompas krožnosti za javni prevoz	11
3.1.2. Rešitev S.1: Platforma znanja za krožni javni prevoz	13
3.1.3. Rešitev S.2: Spletni trg rabljenih sredstev in platforma za povezovanje	15
3.2. Aktivnost A.2: Razvoj skupnih digitalnih rešitev za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu	16
3.2.1. Pilotni projekt P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem (Leipzig, Nemčija)	16
3.2.2. Pilotni projekt P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem (Bergamo, Italija)	18
3.2.3. Rešitev S.3: Moduli za napovedno vzdrževanje infrastrukture in voznega parka	20
3.2.4. Pilotni projekt P.4: Simulacija elektrificiranih koridorjev javnega prevoza in energetskih tokov (Gdynia, Poljska).....	22
3.2.5. Rešitev S.4: Orodje za krožno poslovno načrtovanje elektrificiranih voznih parkov in infrastrukture javnega prevoza	24
3.3. Aktivnost A.3: Razvoj rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza	25
3.3.1. Pilotni projekt P.5: Ponovna uporaba trolejbusnih kretnic (Szeged, Madžarska)	25
3.3.2. Rešitev S.5: Opredelitev meril za uvedbo ponovne uporabe trolejbusnih kretnic	27
3.3.3. Pilotni projekt P.6: Uporaba pogonskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika energije za hitro polnjenje z obnovljivo energijo (Maribor, Slovenija)	27
3.3.4. Rešitev S.6: Prenosljivi poslovni modeli za uporabo pogonskih baterij v drugi življenjski dobi	29
3.4. Aktivnost A.4: Spodbujanje uvedbe rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku	30
3.4.1. Pilotni projekt P.7: Ponovna izdelava in preoblikovanje krmilnih enot tramvaja za omogočanje ponovne uporabe komponent (Szeged, Madžarska)	30
4. Pridobljene izkušnje	33
5. Kontrolni seznam za izvedbo in ključni vidiki	35
5.1. Ključni vidiki za uspešno izvedbo	35
5.2. Kontrolni seznam za izvedbo	35
5.3. Pogosta tveganja in ukrepi za njihovo zmanjšanje	37
5.4. Sklepi in pogled naprej	37
6. Viri	38

Seznam kratic

Kratika	Opredelitev
AETE	Avoid (prepreči), Extend (podaljšaj), Transform (preoblikuj), Enable (omogoči)
BESS	Baterijski hranilnik energije
CAN-BUS	Komunikacijsko vodilo Controller Area Network
CE4CE	Krožno gospodarstvo za Srednjo Evropo
DC	Enosmerni tok
EFS	Simulacija energetskega tokov
GNSS	Globalni navigacijski satelitski sistem
IMC	Polnjenje med vožnjo
KPI	Ključni kazalnik uspešnosti
PV	Fotovoltaika
RES	Obnovljivi viri energije

Seznam kratic partnerjev

Kratika	Opredelitev
LVB	Leipziger Verkehrsbetriebe, Nemčija
KRUCH	KRUCH Railway Innovations, Avstrija
TM	trolley:motion, Avstrija
ATB	Azienda Trasporti Bergamo, Italija
REDMINT	Redmint Impresa Sociale, Italija
SZKT	Transportno podjetje Szeged, Madžarska
MOBILISSIMUS	Mobilissimus, Madžarska
PKA	Avtobusni operater javnega prevoza v Gdynii, Poljska
MOM	Mestna občina Maribor, Slovenija
UG	Univerza v Gdansku, Poljska
UM	Univerza v Mariboru, Slovenija
RUPPRECHT	Rupprecht Consult (svetovalec za LVB), Nemčija

Povzetek

Projekt CE4CE podpira prehod na prakse krožnega gospodarstva v sistemih javnega prevoza v Srednji Evropi s prenosom načel krožnega gospodarstva v praktične pilotne aktivnosti in prenosljive rešitve, ki obravnavajo življenjske cikle infrastrukture in voznega parka. Z eksperimentiranjem v realnem okolju in razvojem rešitev CE4CE prispeva k zmanjševanju odpadkov, ohranjanju vrednosti in ustvarjanju novih krožnih vrednostnih verig v javnem prevozu.

V okviru projekta so organi javnega prevoza, operaterji in drugi deležniki skupaj razvili in preizkusili pilotne aktivnosti in rešitve, ki povečujejo sektorsko znanje in zmogljivosti, pomagajo zmanjševati izvedbene ovire in stroške ter omogočajo razvoj novih storitev, znanj in krožnih poslovnih modelov. Z osredotočanjem na konkretne uporabe v realnih obratovalnih pogojih CE4CE podpira izboljšano učinkovito rabo virov, manjše vplive na okolje in dolgoročno trajnost sistemov javnega prevoza.

Pilotni projekti in rešitve, predstavljeni v tem priročniku, temeljijo na soustvarjanju, pilotnem preizkušanju in strokovnih medsebojnih pregledih. Prikazujejo krožne prakse, kot so podaljšanje življenjske dobe, ponovna uporaba, sprememba namembnosti in ponovna izdelava sredstev, ter omogočitvene mehanizme, vključno z digitalnimi orodji, platformami in poslovnimi modeli, ki podpirajo uvedbo v sektorju javnega prevoza.

CE4CE je izvajalo transnacionalno partnerstvo, ki odraža celovito perspektivo vrednostne verige in sistema ter vključuje organe in operaterje javnega prevoza, občine, industrijo in raziskovalne organizacije iz šestih srednjeevropskih držav. Vključevanje pridruženih partnerjev in mednarodnih mrež je

dodatno podprlo komuniciranje, izmenjavo znanja in širši prenos projektних rezultatov.

Ta priročnik dokumentira in razširja ključne pilotne aktivnosti in rešitve, razvite v okviru projekta CE4CE, ter zagotavlja praktična spoznanja in usmeritve za deležnike, ki želijo načela krožnega gospodarstva uporabiti v kontekstu javnega prevoza.

Priročnik je strukturiran na naslednji način:

Poglavje 2

predstavlja konceptualni in metodološki okvir pristopa CE4CE, vključno z modelom AETE in njegovim pomenom za uvajanje krožnega gospodarstva v javnem prevozu.

Poglavje 3

predstavlja pilotne aktivnosti CE4CE skupaj z ustreznimi rešitvami ter poudarja, kako so bile praktične izkušnje prenesene v prenosljive rezultate, usmerjene v uvedbo.

Poglavje 4

povzema ključne pridobljene izkušnje pri vseh pilotnih projektih in rešitvah ter opredeljuje skupne dejavnike uspeha, izzive in posledice za ponovitev.

Poglavje 5

podaja izvedbene smernice, vključno s praktičnimi koraki, ključnimi vidiki in dejavniki tveganja pri uvajanju rešitev CE4CE, ter se zaključi s pogledom na prihodnje uporabe in razširljivost



Slika 2: Konzorcij CE4CE na zaključnem projektne srečanju v Mariboru, marec 2026. Avtorske pravice: Univerza v Mariboru

1. Uvod

Glavni cilj projekta CE4CE

Glavni cilj projekta CE4CE je omogočiti organom in operaterjem javnega prevoza prehod z linearnih pristopov upravljanja sredstev na krožne modele, usmerjene v življenjski cikel. Z obravnavo tehničnih, organizacijskih in tržno povezanih ovir CE4CE podpira ohranjanje vrednosti, zmanjšanje odpadkov in učinkovitejšo rabo virov pri infrastrukturi, vozilih in povezanih sredstvih javnega prevoza.

Za doseg tega cilja CE4CE združuje izvedbo pilotnih projektov z razvojem rešitev, usmerjenih v uvedbo, ki jih je mogoče prenesti in prilagoditi tudi zunaj projektne partnerstva.

Projektno partnerstvo

CE4CE izvaja transnacionalno partnerstvo, ki združuje organe in operaterje javnega prevoza, občine, raziskovalne ustanove in ponudnike rešitev iz več srednjeevropskih držav. Ta raznolikost omogoča

preizkušanje in razvoj pristopov krožnega gospodarstva v različnih operativnih, organizacijskih in regulativnih okoljih ter hkrati spodbuja vzajemno učenje in izmenjavo med regijami.

Obseg tega priročnika

Cilj tega priročnika je dokumentirati, strukturirati in predstaviti pilotne aktivnosti in rešitve, razvite v okviru projekta CE4CE. Osredotoča se na to, kako so bila načela krožnega gospodarstva preizkušena v praksi in kako lahko nastale rešitve podprejo njihovo uvedbo v organizacijah javnega prevoza.

Priročnik je namenjen kot praktični referenčni dokument za organe javnega prevoza, operaterje, oblikovalce politik in druge deležnike, ki jih zanima uvajanje pristopov krožnega gospodarstva. Zagotavlja strukturirane opise pilotnih projektov in rešitev, poudarja pridobljene izkušnje ter podpira prenosljivost in ponovitev v drugih okoljih.

2. Struktura pilotnih projektov in rešitev CE4CE

V okviru CE4CE so pilotne aktivnosti in rešitve organizirane ter predstavljene glede na **tri tematske sklope aktivnosti**, opredeljene v projektu. Ti sklopi odražajo različna problemska področja krožnega gospodarstva v javnem prevozu in zagotavljajo skupni okvir, znotraj katerega so bili razviti projektne rezultati.

Vsak sklop aktivnosti vključuje **pilotne aktivnosti in ustrezne rešitve**. Pilotne aktivnosti se izvajajo kot praktični posegi v realnih obratovalnih pogojih ter služijo preizkušanju pristopov, pridobivanju empiričnih dokazov in prepoznavanju tehničnih, organizacijskih in tržnih izzivov. Na podlagi izkušenj, rezultatov in spoznanj, pridobljenih z izvedbo pilotnih projektov in skupnimi razvojnimi procesi, je vsak pilotni projekt neposredno povezan z ustrežno rešitvijo, ki združuje ugotovitve projekta v prenosljiv rezultat, usmerjen v uvedbo.

Štiri tematska področja, obravnavana v tem priročniku, so:

- **A.1: Razvoj Kompassa krožnosti CE4CE in Platforme znanja za javni prevoz**, vključno s strukturiranim okvirom za ocenjevanje krožnosti, spletno platformo znanja ter spletnim trgom rabljenih sredstev in platformo za povezovanje, ki podpirata sodelovanje in izmenjavo informacij med akterji življenjskega cikla javnega prevoza.

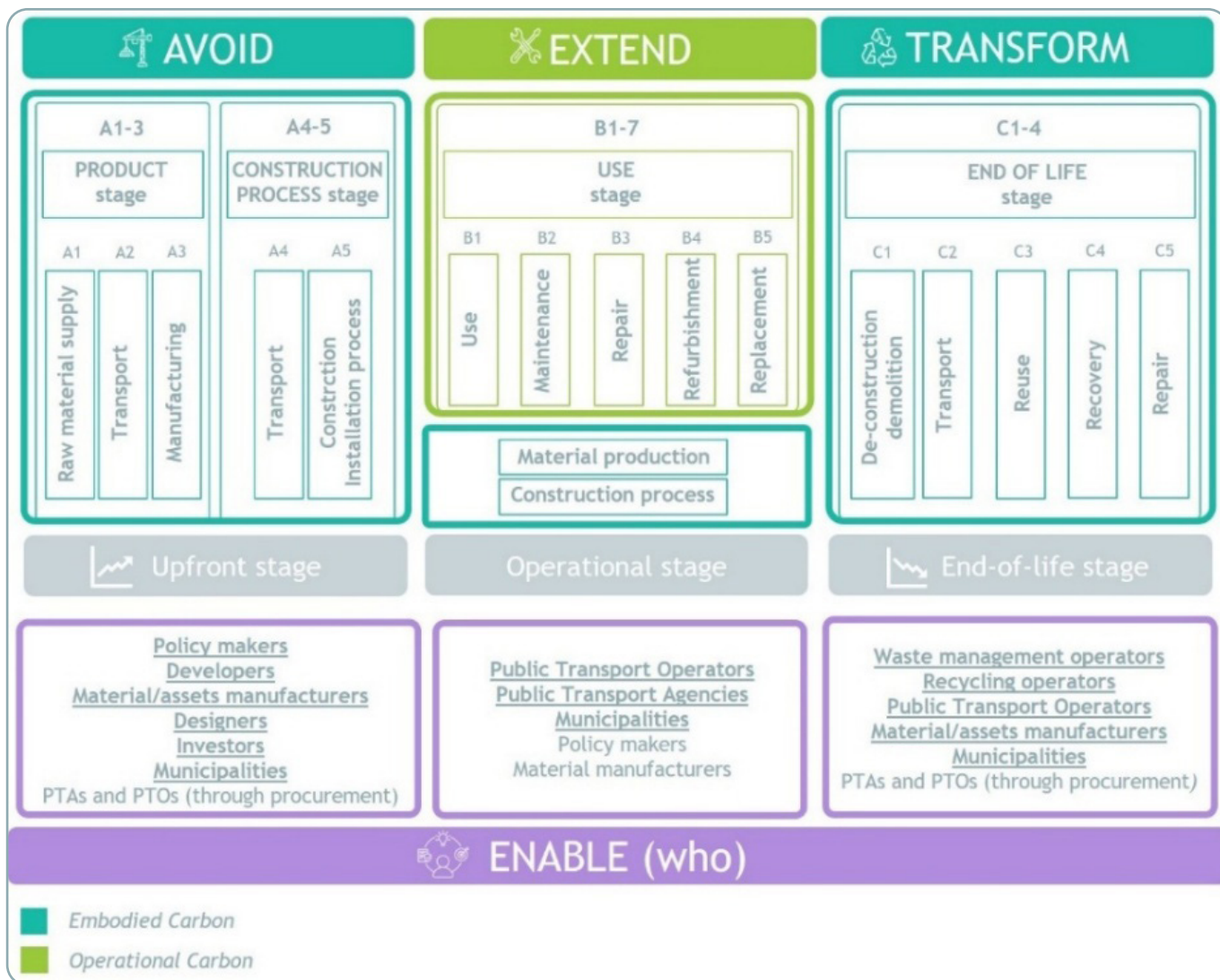
- **A.2: Razvoj skupnih digitalnih rešitev za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu**, vključno s skupnim analitičnim okvirom ter pilotnimi projekti na področju napovednega vzdrževanja in simulacije e-koridorja.
- **A.3: Razvoj rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza**, ki obravnavajo ponovno uporabo infrastrukturnih komponent in uporabo energetskih sredstev v drugi življenjski dobi.
- **A.4: Spodbujanje uvedbe rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku**, s poudarkom na ponovni izdelavi, ponovni uporabi in tržno usmerjenih mehanizmih.

Struktura, ki temelji na aktivnostih, bralcem omogoča enostavno navigacijo med pilotnimi aktivnostmi in rešitvami znotraj istega tematskega področja ter podpira jasno razumevanje, kako rezultati CE4CE prispevajo k uvajanju načel krožnega gospodarstva v različnih segmentih sistemov javnega prevoza.

2.1. Povezovanje aktivnosti CE4CE z okvirom življenjskega cikla AETE

Aktivnosti CE4CE ter z njimi povezane pilotne aktivnosti in rešitve so usklajene z okvirom življenjskega cikla AVOID, EXTEND, TRANSFORM, ENABLE (AETE) za uvajanje krožnega gospodarstva v javnem prevozu. Ta okvir podpira sistematično prepoznavanje, kje in kako je mogoče krožno vrednost ustvarjati ali ohranjati v različnih fazah življenjskega cikla sredstev javnega prevoza.

Vsaka aktivnost CE4CE primarno obravnava določena akcijska področja AETE, hkrati pa prispeva k omogočitenim pogojem v celotnem sistemu. Pilotni projekti, izvedeni v okviru posamezne aktivnosti, zato operacionalizirajo načela krožnega gospodarstva z usmerjanjem na konkretne faze življenjskega cikla, kot so uporaba, vzdrževanje, ponovna uporaba, obnova ali sprememba namembnosti.



Slika 3: Prilagojena različica življenjskega cikla PTI na podlagi EN15978.

A.1: Razvoj Kompassa krožnosti CE4CE in Platforme znanja za javni prevoz

Ta aktivnost primarno obravnava dimenzijo ENABLE okvira AETE. Z razvojem in preizkušanjem Kompassa krožnosti CE4CE ter povezane Platforme znanja vzpostavlja sistemske in organizacijske predpogoje, potrebne za uvajanje krožnega gospodarstva v javnem prevozu.

Pilotni projekt Kompas krožnosti podpira dimenzijo ENABLE z zagotavljanjem strukturirane metodologije ocenjevanja za prepoznavanje vrzeli v krožnosti in oblikovanje novih vrednostnih verig življenjskega cikla. Omogoča strateški razmislek, vključevanje deležnikov in informirano odločanje.

Platforma znanja ter spletni trg rabljenih sredstev in platforma za povezovanje dodatno krepi pogoje ENABLE s spodbujanjem izmenjave znanja, deljenja informacij in sodelovanja med akterji življenjskega cikla. Platforma za povezovanje hkrati posredno podpira EXTEND - ponovno uporabo in ponovno izdelavo, saj omogoča tržne mehanizme za komponente v drugi življenjski dobi in obnovljena sredstva.

Ta aktivnost zato zagotavlja horizontalno osnovo, na kateri temeljijo bolj tehnično usmerjene pilotne aktivnosti in rešitve.

A.2: Digitalne rešitve za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu

Ta aktivnost primarno obravnava dimenzijo ENABLE v okviru AETE. Z digitalnimi orodji za napovedno vzdrževanje, simulacijo in poslovno načrtovanje ustvarja pogoje, potrebne za podporo ukrepom AVOID in EXTEND v življenjskih ciklih infrastrukture in voznega parka. Pilotni projekti napovednega vzdrževanja posebej prispevajo k fazama EXTEND - vzdrževanje in popravila, saj omogočajo zgodnje ukrepanje, zmanjšujejo okvare in podaljšujejo življenjsko dobo sredstev. Simulacija e-koridorjev in energetskih tokov podpira AVOID z informiranjem boljših načrtovalskih odločitev in preprečevanjem predimenzioniranja sredstev.

A.3: Rešitve za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza

Ta aktivnost je umeščena predvsem v dimenziji EXTEND in TRANSFORM v okviru AETE. Pilotni projekti, osredotočeni na ponovno uporabo trolejbusnih kretnic, neposredno obravnavajo EXTEND - ponovno uporabo, saj z ohranjanjem infrastrukturnih komponent v uporabi tudi po prvi fazi uporabe ohranjajo vgrajen material in energijo. Pilotni projekt, izveden v Mariboru, ki analizira uporabo rabljenih baterij za napajanje hitrih polnilnic, obravnava EXTEND - spremembo namembnosti, saj se baterije iz prvotne pogonske funkcije prerazporedijo v novo uporabo kot stacionarni hranilnik energije. Hkrati ta aktivnost prispeva k dimenziji TRANSFORM, saj pripravlja podlago za nove vrednostne verige življenjskega cikla in strategije upravljanja po koncu prve življenjske dobe.

A.4: Spodbujanje uvedbe rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku

Ta aktivnost primarno obravnava EXTEND - obnova in ponovna uporaba - ter ENABLE. Pilotni projekt ponovne izdelave krmilnih enot tramvaja se osredotoča na podaljšanje funkcionalne življenjske dobe komponent vozil s preoblikovanjem in obnovo. Povezana rešitev, spletni trg rabljenih sredstev in platforma za povezovanje, krepita pogoje ENABLE s podporo izmenjavi informacij, ustvarjanju trga in sodelovanju med akterji življenjskega cikla, kar so predpogoji za razširljive prakse ponovne uporabe in ponovne izdelave.

Aktivnosti CE4CE kot celota prikazujejo, kako se različna akcijska področja AETE dopolnjuječe obravnavajo v sistemih javnega prevoza. Posamezni pilotni projekti so lahko osredotočeni na specifične faze, kot so vzdrževanje, ponovna uporaba ali sprememba namembnosti, njihov skupni učinek pa prispeva k sistemskemu prehodu z linearnega upravljanja sredstev na krožne sisteme javnega prevoza, usmerjene v življenjski cikel.

Pregled tematskih sklopov aktivnosti in ustreznih parov pilotni projekt-rešitev je prikazan v Tabeli 1, ki povzema razmerja med pilotnimi aktivnostmi, rešitvami in vključenimi partnerji.

Aktivnost	Pilotni projekt	Rešitev	Vrsta rešitve	Primarni ukrep AETE
A.1 Razvoj Kompassa krožnosti CE4CE in Platforme znanja za javni prevoz	P.1 Kompas krožnosti za javni prevoz - ocena vrzeli v krožnosti in oblikovanje novih vrednostnih verig za povečanje učinkovite rabe virov	S.1 CE4CE Platforma znanja za krožni javni prevoz	Digitalna platforma - središče znanja	ENABLE - sistemsko znanje in sodelovanje
		S.2 Spletni trg rabljenih delov in izdelkov ter platforma za povezovanje in izmenjavo informacij	Digitalna tržnica - orodje za povezovanje	EXTEND - omogočanje ponovne uporabe/ponovne izdelave
A.2 Razvoj skupnih digitalnih rešitev za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu	P.2 in P.3 Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem	S.3 Moduli za napovedno vzdrževanje infrastrukture in voznega parka	Sistem spremljanja - digitalna rešitev	EXTEND - vzdrževanje/popravilo
	P.4 Simulacija e-koridorja in energetskih tokov za simulacijo krožnih scenarijev širitve elektrifikacije (avtobusni pas, električno napajanje in polnjenje med vožnjo)	S.4 Orodje za krožno poslovno načrtovanje elektrificiranih voznih parkov in infrastrukture javnega prevoza	Orodje za načrtovanje - orodje za podporo odločanju	AVOID - vnaprejšnje načrtovanje/optimizacija sistema
A.3 Razvoj rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza	P.5 Prikaz izvedljivosti ponovne uporabe trolejbusnih kretnic	S.5 Opredelitev meril za uvedbo ponovne uporabe trolejbusnih kretnic	Metodologija - okvir za odločanje	EXTEND - ponovna uporaba
	P.6 Analiza uporabe rabljenih baterij za shranjevanje obnovljive energije za napajanje hitre polnilnice kot primer strateške usmeritve h krožnosti	S.6 Prenosljivi poslovni modeli za uporabo pogonskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika	Poslovni model - izvedbeni okvir	EXTEND - sprememba namembnosti
A.4 Spodbujanje uvedbe rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku	P.7 Zasnova krmilnih enot tramvaja v okviru ponovne izdelave tramvajev	Promocija in širjenje s podporo S.2 Spletnega trga rabljenih sredstev in platforme za povezovanje		EXTEND - obnova/ponovna izdelava

Tabela 1: Pregled pilotnih projektov CE4CE in ustreznih rešitev po aktivnostih.

3. Pilotni projekti in rešitve CE4CE

Pilotne aktivnosti so osrednji izvedbeni element projekta CE4CE. Koncepte, metode in orodja krožnega gospodarstva prenašajo v konkretne uporabe v realnih obratovalnih pogojih, kar organom in operaterjem javnega prevoza ter drugim deležnikom omogoča preizkušanje pristopov, oceno izvedljivosti in pridobivanje praktičnih izkušenj.

Pilotni projekti, izvedeni v okviru CE4CE, imajo več namenov. Zagotavljajo empirične dokaze o tehničnih, organizacijskih in ekonomskih posledicah praks krožnega gospodarstva, podpirajo učenje med partnerji in zmanjšujejo negotovosti, povezane z izvedbo in uvedbo. Hkrati pilotne aktivnosti delujejo kot most med strateškimi cilji in razvojem rešitev, saj ustvarjajo spoznanja in podatke, potrebne za združevanje pilotnih izkušenj v prenosljive in razširljive rešitve.

V okviru CE4CE se pilotne aktivnosti osredotočajo na niz opredeljenih pilotnih tem, ki odražajo glavne vzroke krožnega gospodarstva, obravnavane v projektu v življenjskih ciklih infrastrukture javnega prevoza in voznega parka:

- Ocenjevanje krožnosti in oblikovanje novih vrednostnih verig življenjskega cikla
- Napovedno vzdrževanje infrastrukture javnega prevoza in voznega parka
- Digitalna simulacija elektrificiranih koridorjev javnega prevoza in energetskih tokov
- Ponovna uporaba infrastrukturnih komponent javnega prevoza
- Uporaba pogonskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika energije
- Ponovna izdelava in ponovna uporaba komponent voznega parka

Te teme so obravnavane skozi sedem pilotnih aktivnosti, ki so jih izvedli organi in operaterji javnega prevoza v različnih srednjeevropskih mestih:

- Pilotni projekt Kompassa krožnosti za javni prevoz, ki ga je koordiniralo združenje trolley:motion (s podporo Rupprecht Consult), je razvil in preizkusil strukturirano ocenjevalno orodje za prepoznavanje vrzeli v krožnosti in oblikovanje novih vrednostnih verig za povečanje učinkovite rabe virov. Pilotni projekt je vključeval razvoj spletnega vmesnika in praktično uporabo v projektne partnerstvu
- V **Leipzigu** v Nemčiji je lokalni operater javnega prevoza LVB izvedel pilotni projekt **napovednega vzdrževanja**, pri katerem je digitalno spremljanje stanja uporabil na izbranih infrastrukturnih

sredstvih in sredstvih voznega parka za preizkus podatkovno podprtih pristopov vzdrževanja in podporo podaljšanju življenjske dobe.

- V **Bergamu** v Italiji je ATB izvedel podoben **pilotni projekt napovednega vzdrževanja** v drugačnem obratovalnem okolju, kar je omogočilo primerjavo metodologij, podatkovnih zahtev in organizacijskih pogojev med omrežji.
- V **Gdynii** na Poljskem je operater javnega prevoza PKA izvedel pilotni **projekt simulacije elektrificiranih koridorjev javnega prevoza** za analizo energetskih tokov in oceno krožnih scenarijev elektrifikacije, vključno s polnjenjem med vožnjo in elektrifikacijo avtobusnega pasu.
- V **Szegedu** na Madžarskem je operater javnega prevoza SZKT izvedel pilotni projekt, ki prikazuje **ponovno uporabo trolejbusnih kretnic**, s poudarkom na podaljšanju življenjske dobe intenzivno uporabljenih infrastrukturnih komponent in zmanjšanju materialnih odpadkov.
- V **Mariboru** v Sloveniji je Mestna občina Maribor - MOM analizirala **uporabo pogonskih baterij v drugi življenjski dobi** kot stacionarnega hranilnika energije za podporo hitri polnilni infrastrukturi, napajani z obnovljivo energijo, ter preučila tehnično izvedljivost in integracijske vidike.
- V **Szegedu** je SZKT izvedel tudi dodatni pilotni projekt, ki je obravnaval ponovno izdelavo in preoblikovanje **krmilnih enot tramvaja** s ciljem podaljšanja življenjske dobe komponent in omogočanja ponovne uporabe s prilagojeno zasnovo ter izmenjavo informacij.

Medtem ko se pilotne aktivnosti osredotočajo na preizkušanje in validacijo pristopov v realnih operativnih okoljih, rešitve predstavljajo združene rezultate, usmerjene v uvedbo, razvite na podlagi izvedbe pilotnih projektov in skupnega analitičnega dela.

Rešitve prenašajo pilotne izkušnje v **strukturirana orodja, metodologije, merila in poslovne modele**, ki jih je mogoče prenesti, ponoviti in razširiti v drugih kontekstih javnega prevoza. Vsaka rešitev je povezana z eno ali več pilotnimi aktivnostmi znotraj istega tematskega področja in temelji na empiričnih dokazih, povratnih informacijah deležnikov ter iterativnih procesih izboljševanja.

Za vsako področje aktivnosti so pilotne aktivnosti opisane skupaj z ustreznimi rešitvami, pri čemer je poudarjena pot od preizkušanja in validacije do združevanja in prenosa.

3.1. Aktivnost A.1: Razvoj Kompassa krožnosti CE4CE in Platforme znanja za javni prevoz

Čeprav ta aktivnost formalno ne spada v delovni paket »Prikaz, kako lahko javni prevoz postane krožen«, je bil Kompas krožnosti izveden in potrjen s postopkom pilotnega testiranja. Orodje je bilo razvito in nato preizkušeno z deležniki javnega prevoza na delavnicah, z anketami in potrjevalnimi vajami, v katerih so sodelovali operaterji, organi, raziskovalci in predstavniki industrije. Te aktivnosti so omogočile praktično preverjanje metodologije in izboljšanje

orodja na podlagi dejanskih povratnih informacij iz obratovanja. Kompas krožnosti zato predstavlja tehnični pilotni projekt in rešitev, ki podpira prehod na krožne sisteme javnega prevoza, čeprav je organizacijsko umeščen v metodološki delovni paket projekta in ne v demonstracijski delovni paket.

3.1.1. Pilotni projekt P.1: Kompas krožnosti za javni prevoz

Kratek opis pilotnega projekta

Pilotni projekt Kompassa krožnosti je bil razvit kot odgovor na ključni izziv pri prehodu na krožne sisteme javnega prevoza: pomanjkanje praktičnih orodij, ki organizacijam pomagajo razumeti, kje in kako je mogoče načela krožnega gospodarstva vključiti v vsakodnevno delovanje in strateško načrtovanje.

Čeprav se o konceptih krožnega gospodarstva v prometnem sektorju vse pogosteje razpravlja, organi in operaterji javnega prevoza pogosto nimajo strukturiranih pristopov za prenos teh načel v konkretne ukrepe. Kompas krožnosti zato želi zagotoviti praktično orientacijsko orodje, ki organizacijam pomaga oceniti njihove trenutne krožne prakse in prepoznati priložnosti za izboljšave v celotnem sistemu javnega prevoza.

Cilj pilotnega projekta je bil razviti in validirati metodologijo, ki deležnikom javnega prevoza omogoča vrednotenje praks krožnega gospodarstva skozi življenjski cikel infrastrukture, vozil in energetskih sistemov. Za razliko od infrastrukturnih ali tehnoloških pilotnih projektov, izvedenih v okviru CE4CE, Kompas krožnosti predstavlja na znanju temelječo rešitev, namenjeno omogočanju krožnega prehoda z boljšim razumevanjem sistema in odločanjem.

Rešitev Kompas krožnosti

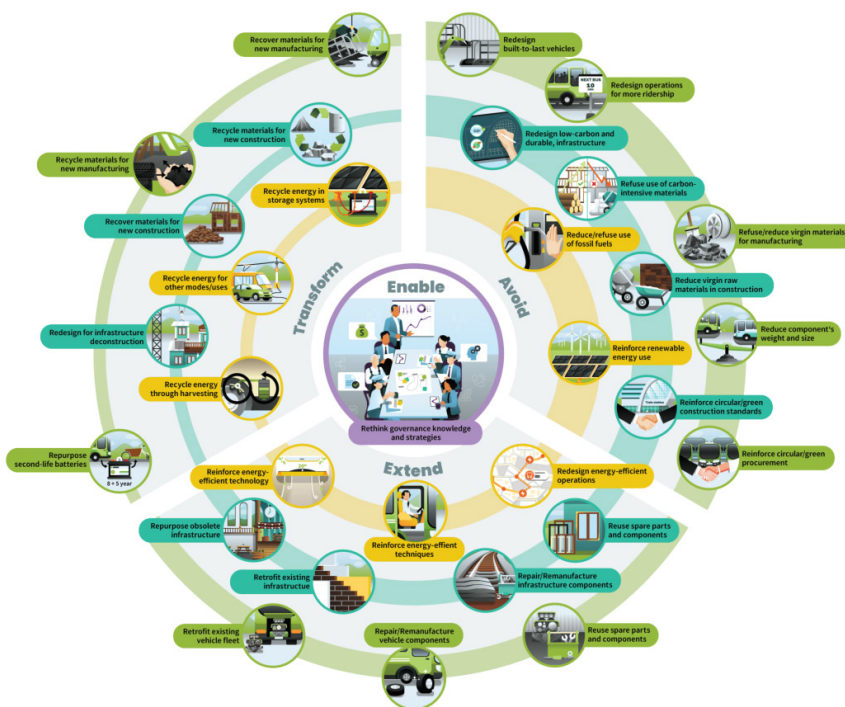
[Kompas krožnosti](#) je spletno [samoocenjevalno orodje](#), dostopno prek platforme znanja CE4CE. Zagotavlja strukturiran okvir, ki organizacijam javnega prevoza omogoča vrednotenje praks krožnega gospodarstva v različnih komponentah njihovih sistemov.

Ocena zajema štiri ključna področja sistemov javnega prevoza: vozne parke, vključno z vozili in baterijami; infrastrukturo; energetske sisteme; ter upravljanje, katero vključuje organizacijske in omogočitvene pogoje. Z obravnavo teh področij skupaj orodje odraža sistemsko naravo krožnosti v javnem prevozu.

Okvir sledi logiki krožnega življenjskega cikla Avoid, Extend, Transform, Enable (AETE). V praksi to pomeni, da so organizacije vodene k razmisleku o tem, kako lahko z boljšim načrtovanjem in naročanjem zmanjšajo porabo virov, podaljšajo življenjsko dobo sredstev z vzdrževanjem in obnovo, preoblikujejo sredstva s ponovno uporabo ali spremembo namembnosti ter vzpostavijo organizacijske pogoje, potrebne za podporo krožnemu izvajanju.

Jedro orodja je strukturirana samoocenjevalna anketa, ki zajema ključne faze življenjskega cikla, od proizvodnje in naročanja do obratovanja, vzdrževanja in upravljanja po koncu življenjske dobe. Rezultati zagotavljajo jasen pregled trenutnih krožnih praks in izpostavijo področja, kjer lahko organizacije nadalje razvijajo krožne strategije in rešitve.

10 R-principles for circular public transport systems



Slika 4: Prilagoditev načel krožnega gospodarstva 10R za sisteme javnega prevoza

Potrebni viri

Izvedba Kompassa krožnosti predvsem zahteva organizacijske in analitične vire. Temelji na vključevanju deležnikov, strokovni facilitaciji in dostopu do operativnega znanja znotraj organizacij javnega prevoza.

Faza preizkušanja je bila izvedena z delavnicami, strokovnimi posvetovanji in samoocenjevalnimi anketami, v katere so bili vključeni operaterji javnega prevoza, organi in raziskovalci. Ta sodelovalni proces je zagotovil, da orodje odraža realne obratovalne pogoje in je uporabno v različnih organizacijskih okoljih.

Pričakovani rezultati/koristi

Kompass krožnosti organizacijam javnega prevoza omogoča prepoznavanje vrzeli v krožnosti, oceno pripravljenosti za uvajanje krožnega gospodarstva in raziskovanje možnih področij izboljšav skozi življenjski cikel javnega prevoza.

S strukturiranjem kompleksnih informacij v jasen ocenjevalni okvir orodje podpira ozaveščanje in strateško načrtovanje. Organizacijam pomaga bolje razumeti, kako je mogoče načela krožnega gospodarstva uporabiti v praksi, zlasti na področjih upravljanja infrastrukture, delovanja voznega parka in energetskih sistemov.

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: Vmesnik spletnega samoocenjevalnega orodja CE4CE Kompass krožnosti.

Možnosti širjenja in prihodnjega razvoja

Kompas krožnosti zagotavlja razširljiv okvir, ki podpira prehod na prakse krožnega gospodarstva v sektorju javnega prevoza. Kot orodje za ozaveščanje in samoocenjevanje organizacijam pomaga prepoznati vrzeli v krožnosti in določiti prednostne ukrepe, povezane z infrastrukturo, voznimi parki in energetske sistemi.

Rezultati ocene lahko služijo kot izhodišče za podrobnejše analize, kot so ocene življenjskega cikla,

strategije krožnega javnega naročanja ali načrtovanje učinkovite rabe virov. Hkrati sta nadaljnji razvoj in praktična relevantnost orodja močno odvisna od aktivnega vključevanja deležnikov ter stalnega prispevka sektorskega znanja in izkušenj.

Ob stalnem prispevku deležnikov se lahko Kompas krožnosti razvije v širšo platformo znanja in primerjalnega vrednotenja, ki podpira krožni prehod v sistemih javnega prevoza.

3.1.2. Rešitev S.1: Platforma znanja za krožni javni prevoz

Kratek opis rešitve

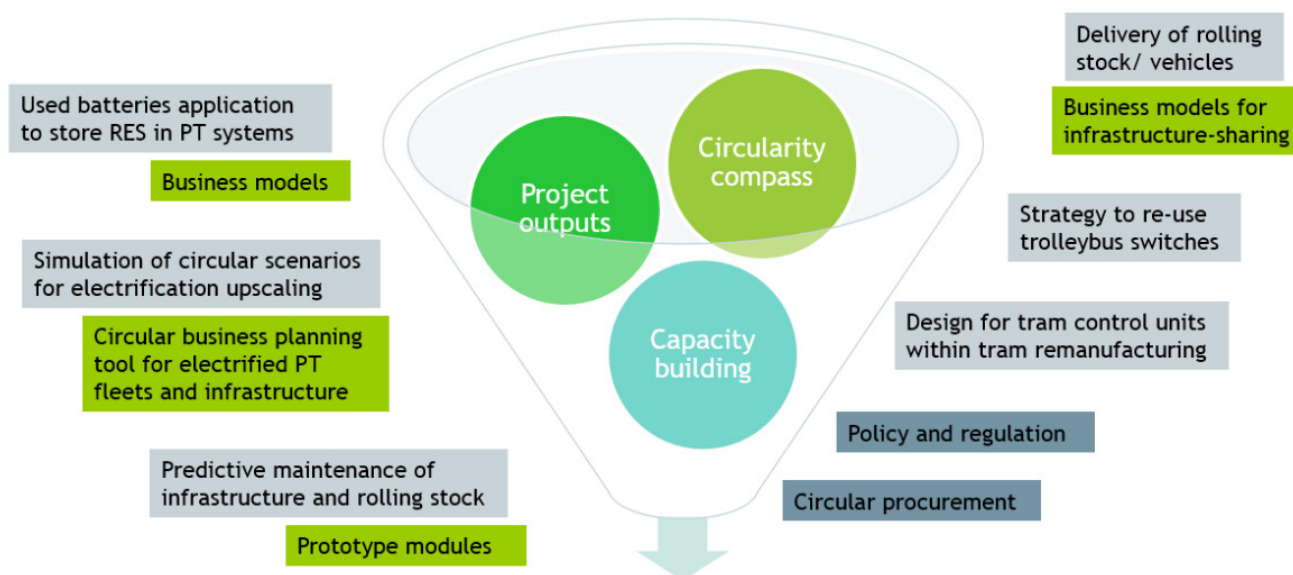
Platforma znanja CE4CE je spletno središče znanja, zasnovano za podporo prehodu na prakse krožnega gospodarstva v sektorju javnega prevoza. Zagotavlja strukturirano digitalno okolje, kjer lahko deležniki javnega prevoza dostopajo do orodij, dobrih praks, metodologij in učnih gradiv, povezanih s krožnostjo v prometnih sistemih.

Platforma obravnava ključni izziv, prepoznani med projektom: znanje o krožnih rešitvah v javnem prevozu je pogosto razdrobljeno in težko dostopno strokovnjakom iz prakse. S centralizacijo relevantnih virov in njihovim povezovanjem s praktičnimi projektnimi rezultati platforma podpira krepitev zmogljivosti, izmenjavo znanja in širšo uvedbo krožnih rešitev.

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

Cilji rešitve

Glavni cilj Platforme znanja CE4CE je okrepiti zmogljivosti deležnikov javnega prevoza za uvajanje načel krožnega gospodarstva. V praksi platforma deluje kot centralizirana vstopna točka, kjer lahko uporabniki dostopajo do orodij in virov krožnega gospodarstva, raziskujejo praktične primere in preizkušene rešitve ter bolje razumejo, kako obravnavati prepoznane vrzeli v krožnosti. Podpira prenos znanja v sektorju in hkrati organizacijam pomaga pri usmerjanju med razpoložljivimi pristopi in potmi izvedbe.



CE4CE knowledge platform matches new skills with knowledge

Slika 6: Konceptualna struktura Platforme znanja CE4CE, ki povezuje krožne rešitve, orodja in krepitev zmogljivosti

Osnovni koncept rešitve

Platforma znanja CE4CE je bila razvita vzporedno s Kompasom krožnosti, ki deluje kot samoocenjevalno orodje za vrednotenje praks krožnega gospodarstva v organizacijah javnega prevoza.

Rešitvi sta konceptualno povezani:

- **Kompas krožnosti** organizacijam omogoča oceno njihove krožne uspešnosti in prepoznavanje področij za izboljšave
- **Platforma znanja** zagotavlja vire, orodja in primere, ki pomagajo odpraviti prepoznane vrzeli

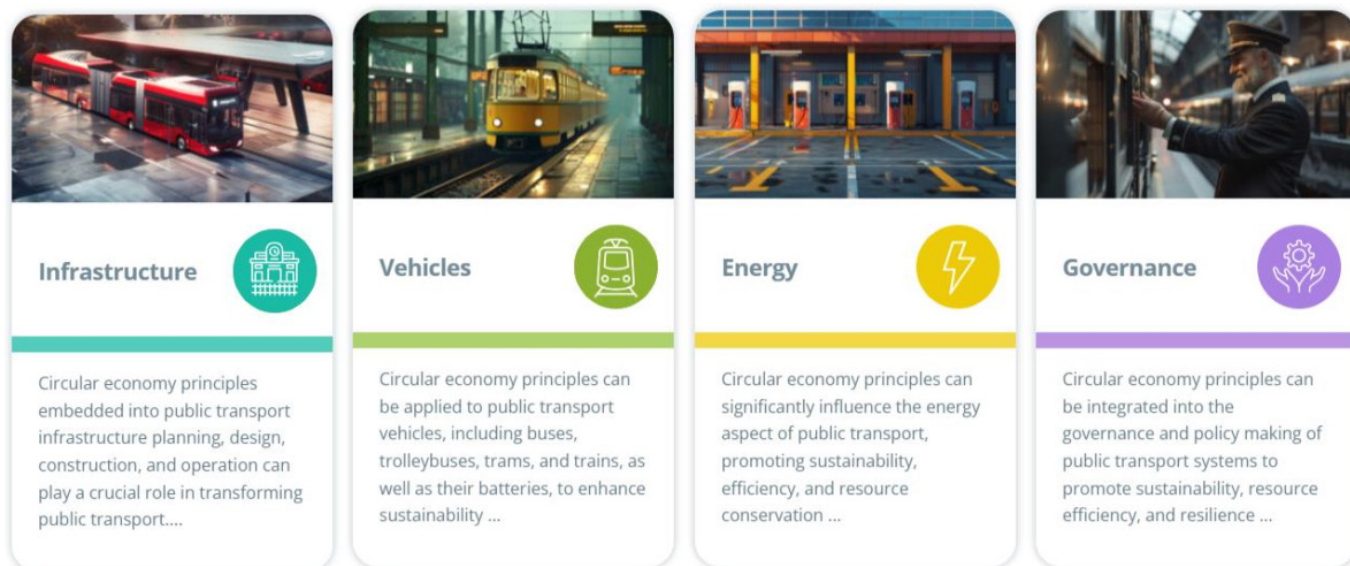
Na ta način platforma povezuje rezultate ocenjevanja s praktično podporo izvedbi.

Koncept platforme temelji na načelih krožnega gospodarstva 10R, prilagojenih kontekstu javnega prevoza. Ta načela usmerjajo organizacijo virov znanja po ključnih komponentah sistema javnega prevoza, kot so infrastruktura, vozila, energetski sistemi in upravljanje.

Platforma znanja je strukturirana v pet glavnih komponent:

1. **Zemljevid kompetenc** - opredeljuje ključne spretnosti in znanja, potrebna za uvajanje načel krožnega gospodarstva v javnem prevozu.
2. **Kompas krožnosti** - spletna samoocenjevalna anketa, ki organizacijam omogoča vrednotenje njihovega stanja krožnosti.
3. **Dobre prakse** - zbirka študij primerov, ki prikazujejo krožne rešitve v sektorju.
4. **Središče znanja** - repozitorij orodij, smernic, poročil in metodologij, ki podpirajo krožno načrtovanje, delovanje in vzdrževanje.
5. **Forum za povezovanje** - načrtovana digitalna tržnica, ki omogoča izmenjavo rezervnih delov in opreme med organizacijami javnega prevoza.

S to strukturo platforma povezuje ocenjevanje krožnosti, vire znanja in praktične rešitve ter ustvarja celovito podporno okolje za organizacije, ki uvajajo krožne sisteme javnega prevoza.



Slika 7: Glavna kompetenčna področja Platforme znanja CE4CE: infrastruktura, vozila, energija in upravljanje.

Zaključek rešitve

Platforma znanja CE4CE zagotavlja strukturirano in razširljivo okolje, ki podpira prehod na krožne sisteme javnega prevoza. S povezovanjem ocenjevanja (Kompas krožnosti), virov znanja in praktičnih rešitev deležnikom omogoča prehod od ozaveščanja k izvedbi. Njena dolgoročna vrednost je odvisna od stalnega razvoja vsebin, vključevanja deležnikov in povezovanja s sektorskimi pobudami, kar ji omogoča razvoj v osrednjo referenčno točko za prakse krožnega gospodarstva v javnem prevozu.

3.1.3. Rešitev S.2: Spletni trg rabljenih sredstev in platforma za povezovanje

Kratek opis rešitve

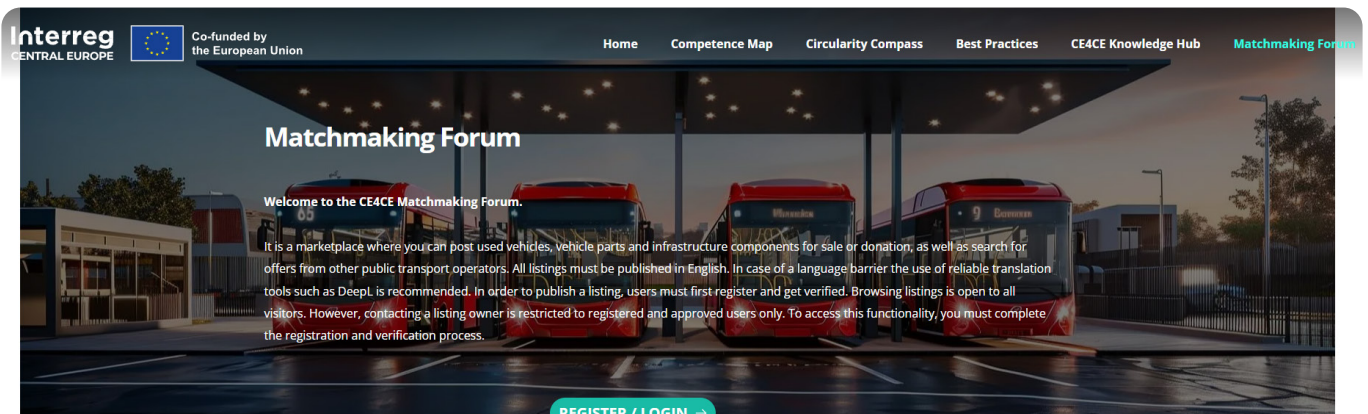
Rešitev uvaja digitalno platformo za povezovanje, ki deležnikom javnega prevoza omogoča izmenjavo informacij o rabljenih vozilih, rezervnih delih in infrastrukturnih komponentah ter podpira njihovo ponovno uporabo in ponovno izdelavo.

Rešitev, razvita kot funkcionalni modul Platforme znanja CE4CE, dopolnjuje njeno vlogo pri znanju in krepitvi zmogljivosti z zagotavljanjem praktičnega

orodja za prepoznavanje in uresničevanje krožnih primerov uporabe. Obravnava pomanjkanje strukturiranih mehanizmov izmenjave v sektorju, kjer so priložnosti za ponovno uporabo pogosto spregledane zaradi omejene vidnosti in razdrobljene komunikacije.

Forum za povezovanje je javno dostopen na:

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



Slika 8: Uporabniški vmesnik Foruma za povezovanje CE4CE - pristajalna stran.

Cilji rešitve

Glavni cilj rešitve je omogočiti strukturirano izmenjavo rabljenih sredstev v sektorju javnega prevoza in povečati vidnost komponent, primernih za ponovno uporabo.

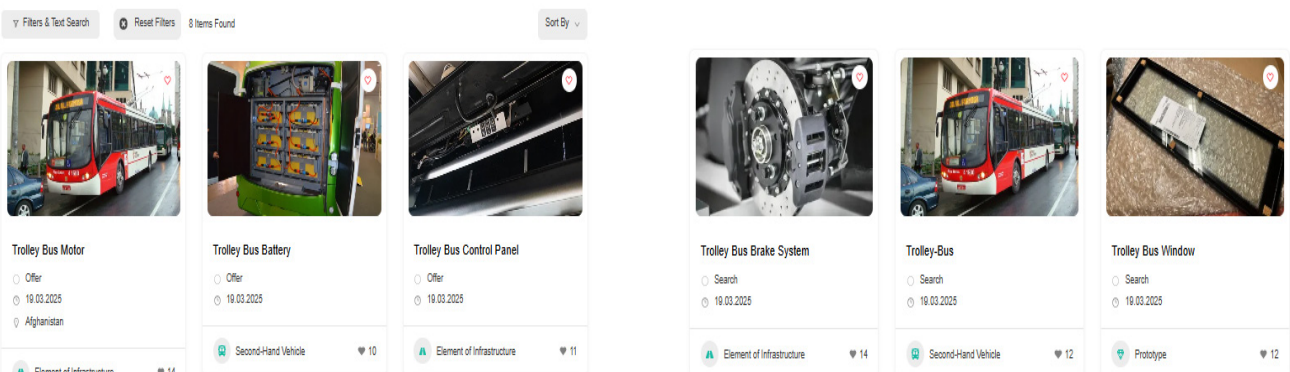
Z izboljšanjem pretoka informacij in podporo povezavam med operaterji, organi in dobavitelji platforma prispeva k praksam ponovne uporabe in ponovne izdelave, zmanjšuje prezgodnje odstranjevanje sredstev in krepi sodelovanje v sektorju.

Osnovni koncept rešitve

Rešitev temelji na digitalnem forumu za povezovanje, ki povezuje ponudbo in povpraševanje po rabljenih sredstvih javnega prevoza. Njegovo delovanje sledi preprostemu procesu:

1. Organizacije objavijo ponudbe ali povpraševanja po vozilih, komponentah ali infrastrukturnih elementih.
2. Uporabniki iščejo in filtrirajo objave na podlagi relevantnih meril.
3. Zainteresirane strani vzpostavijo stik prek platforme.

Platforma deluje kot orodje za izmenjavo informacij in povezovanje, ne kot transakcijski sistem. Z zmanjševanjem informacijskih vrzeli in povečevanjem preglednosti ustvarja pogoje za širitev praks ponovne uporabe in ponovne izdelave v sektorju.



Slika 9: Primer objav v Forumu za povezovanje CE4CE za rabljena vozila, komponente in infrastrukturne elemente

Zaključek rešitve

Forum za povezovanje predstavlja praktično omogočitveno orodje, ki podpira uvajanje krožnega gospodarstva z olajšanjem ponovne uporabe in podaljšanjem življenjskega cikla sredstev javnega prevoza. Njegova učinkovitost se povečuje s širšim

sodelovanjem, saj večje število uporabnikov izboljša vidnost in možnosti ujemanja.

Z nadaljnjim vključevanjem deležnikov in dodatnim razvojem funkcionalnosti ima platforma potencial, da postane pomemben mehanizem za podporo krožnim vrednostnim verigam v javnem prevozu.

3.2. Aktivnost A.2: Razvoj skupnih digitalnih rešitev za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu

Ta aktivnost se osredotoča na uporabo digitalnih orodij za podporo krožnemu in z viri učinkovitemu upravljanju infrastrukture javnega prevoza in voznega parka. Preučuje, kako lahko podatkovno podprto spremljanje in simulacija izboljšata vzdrževalne prakse, načrtovanje infrastrukture in operativno učinkovitost v celotnem življenjskem ciklu sistema.

V okviru te aktivnosti so bili izvedeni trije pilotni projekti v Leipzigu, Bergamu in Gdynii. Pilotna projekta v Leipzigu in Bergamu preizkušata napovedno

vzdrževanje z digitalnim spremljanjem stanja, medtem ko pilotni projekt v Gdynii uporablja modeliranje digitalnega dvojčka in simulacijo energetskega tokov za podporo načrtovanju elektrificiranih koridorjev javnega prevoza.

Rezultati in izkušnje teh pilotnih projektov so osnova za razvoj skupne rešitve, ki zagotavlja modularna digitalna orodja za napovedno vzdrževanje in krožno načrtovanje sistemov javnega prevoza, predstavljene v naslednjem razdelku.

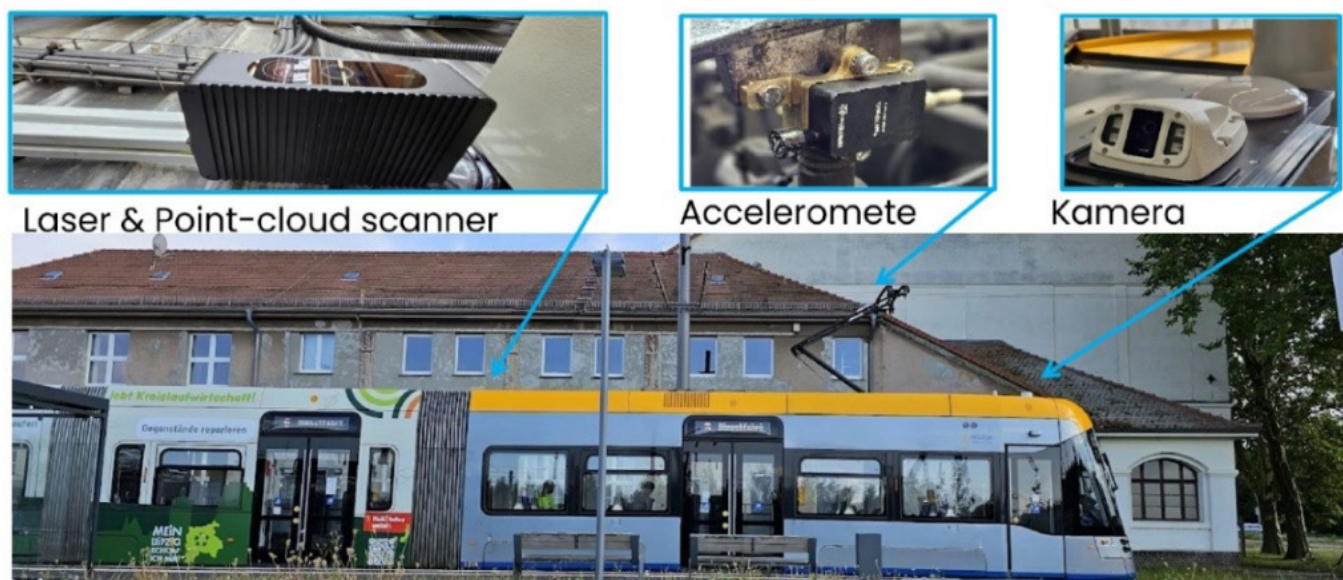
3.2.1. Pilotni projekt P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem (Leipzig, Nemčija)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt se osredotoča na uvajanje pristopov napovednega vzdrževanja za infrastrukturo javnega prevoza in vozni park z uporabo digitalnega spremljanja stanja. Pilotni projekt, ki ga je v Leipzigu izvedel Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB), želi premakniti vzdrževanje od reaktivnega in časovno načrtovanega k podatkovno podprtemu, napovednemu vzdrževanju, da bi podaljšali življenjsko dobo sredstev, zmanjšali

nenapravne okvare in omejili posege z veliko porabo virov.

Tri tramvajska vozila so bila opremljena s senzorji, kamerami in laserskimi sistemi za spremljanje tirov in voznega voda na 14 km dolgi liniji 1 med rednim obratovanjem. Zbrani podatki se analizirajo za odkrivanje zgodnjih znakov obrabe in omogočanje ciljnih usmerjenih vzdrževalnih ukrepov, preučeno pa je bilo tudi spremljanje porabe energije.

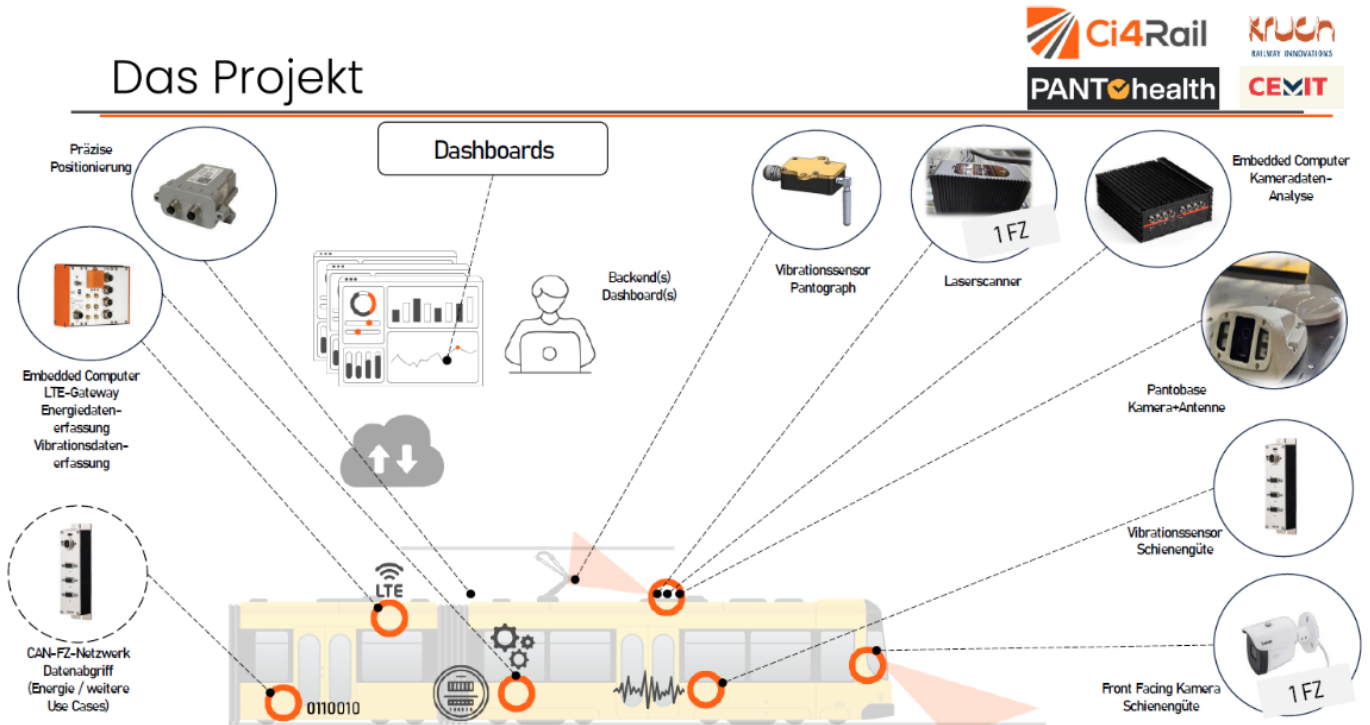


Slika 10: Del nameščenega sistema za spremljanje vibracij na tramvajih (PantoHealth).

Potrebni viri

Izvedba je zahtevala senzorske sisteme, infrastrukturo za obdelavo podatkov in analitično programsko opremo, skupaj s koordinacijo med operaterjem, ponudniki tehnologije in projektnimi partnerji.

Dodatna prizadevanja so vključevala usposabljanje osebja, vključevanje v delovne tokove ter skladnost z železniškimi standardi in postopki certificiranja za uporabo v realnih obratovalnih pogojih.



Slika 11: Pregled zasnove spremljanja napovednega vzdrževanja, izvedene v pilotnem projektu Leipzig.

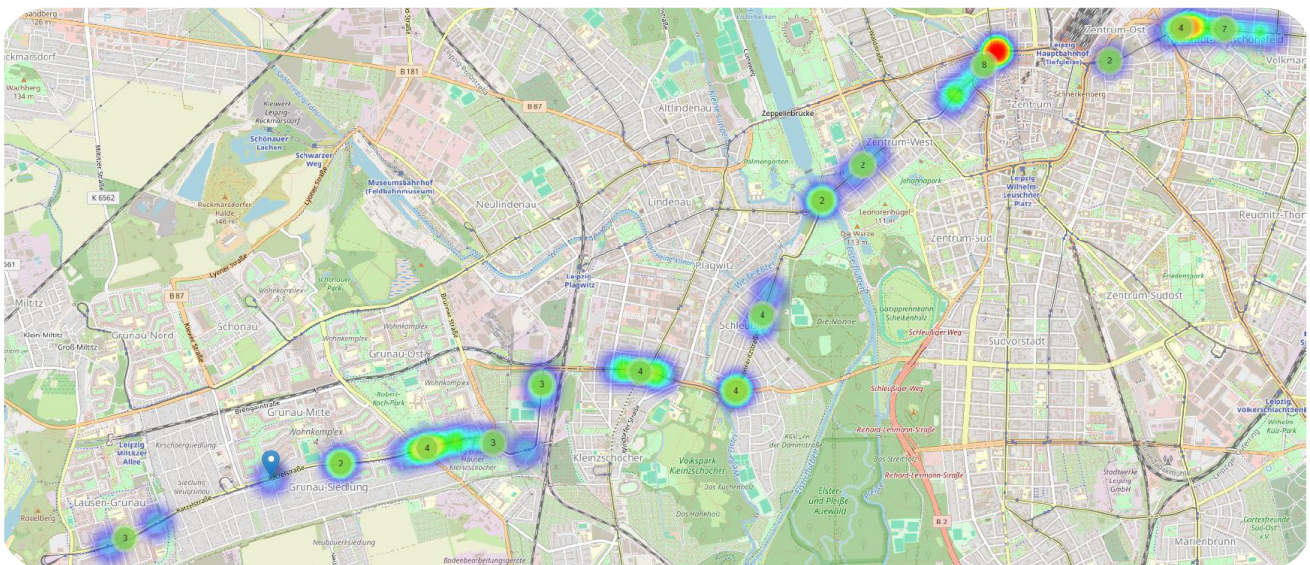
Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je potrdil, da je neprekinjeno spremljanje na osnovi vozil izvedljivo in učinkovito v realnih obratovalnih pogojih (junij 2024-februar 2025), saj omogoča zgodnje odkrivanje napak na infrastrukturi.

Prepoznanih je bilo osem kritičnih točk voznega voda, vključno z dvema prilagojenima sekcijskima

izolatorjema, ter osem območij napak na tirih, vključno s tremi prej neodkritimi zlomljenimi tirnicami; pregledanih je bilo deset lokacij in izvedeni so bili korektivni ukrepi.

Rezultati so privedli do posodobitev vzdrževalnih načrtov na odsekih s pospešenim poslabšanjem stanja ter do izboljšane zanesljivosti podatkov z integracijo neposrednega vmesnika CAN-bus za spremljanje energije.



Slika 12: Toplotni zemljevid območij napak na tirih.

Zaznani izzivi

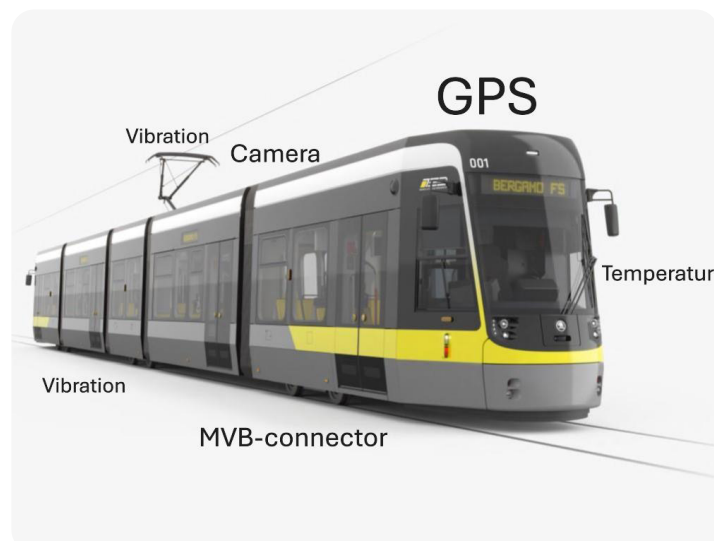
Med izvedbo se je pojavilo več izzivov. Ti so vključevali integracijo novih senzorskih sistemov v obstoječa vozila, zagotavljanje kakovosti in zanesljivosti podatkov ter obravnavo omejitev obstoječih sistemov merjenja energije. Zlasti netočni podatki starejših energetskih merilnikov so zahtevali prepoznavanje alternativnih virov podatkov in integracijo dodatnih vmesnikov za neposreden dostop do podatkov o energiji vozila.

Operativni izzivi, povezani z namestitvijo med tekočim obratovanjem, koordinacijo med več ponudniki storitev in potrebo po izpolnjevanju strogih železniških certifikacijskih zahtev, so bili rešeni s postopno izvedbo, tesno koordinacijo in iterativnim preizkušanjem.

3.2.2. Pilotni projekt P.2: Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem (Bergamo, Italija)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt se osredotoča na napovedno vzdrževanje tramvajске infrastrukture in voznega parka z digitalnim spremljanjem stanja in simulacijskimi orodji. Pilotni projekt, ki ga je Azienda Trasporti Bergamo (ATB) izvedla v sodelovanju s KRUCH Railway Innovations, želi izboljšati zanesljivost infrastrukture in optimizirati rabo energije v omrežju.



Slika 13: Senzorski sistem spremljanja in digitalno simulacijsko orodje, uporabljeno v bergamskem pilotnem projektu napovednega vzdrževanja

Potrebni viri

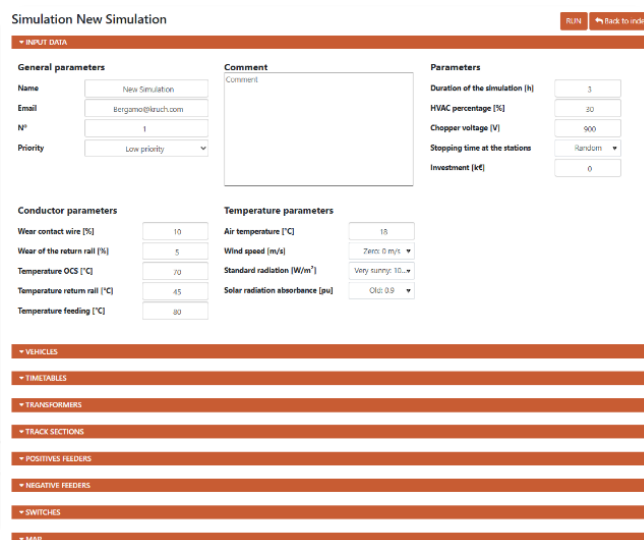
Izvedba je zahtevala modularne senzorske sisteme, računalniške enote na vozilu, komunikacijsko infrastrukturo in orodja za analizo podatkov. Poleg tega je bilo razvito simulacijsko okolje na osnovi MATLAB in SIMULINK/SimPowerSystems za

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt izkazuje velik prenosni potencial zaradi modularnega pristopa in uporabe vozil kot platform za spremljanje, kar omogoča razširljivo uvajanje brez namenske pregledovalne opreme.

Ključne izkušnje vključujejo pomen kakovosti podatkov, postopnega uvajanja in integracije analitike v vzdrževalne procese. Pristop podpira načela krožnega gospodarstva z omogočanjem zgodnjega ukrepanja, podaljševanjem življenjske dobe sredstev in izboljševanjem učinkovite rabe virov.

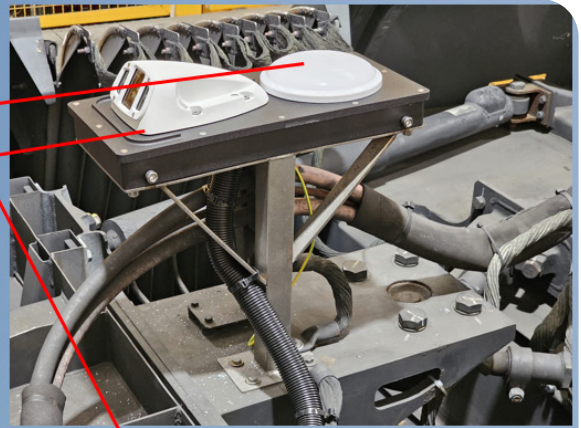
Tramvajsko vozilo v vsakodnevnem obratovanju je bilo opremljeno z modularnim senzorskim sistemom, vključno z moduli GNSS, pospeškomerji, kamerami, vmesniki CAN-bus in robnimi računalniškimi napravami na vozilu. Sistem omogoča neprekinjeno spremljanje interakcije med odjemnikom toka in voznim vodom ter zbiranje podatkov v realnem času. Vzporedno je bil razvit digitalni dvojček napajalnega omrežja tramvaja za simulacijo energetskih tokov in analizo različnih obratovalnih scenarijev.



modeliranje tramvajskega omrežja in njegovega elektroenergetskega napajalnega sistema. Pilotni projekt je zahteval tudi koordinacijo med ATB, KRUCH in drugimi deležniki, vključno s kalibracijo sistema, usposabljanjem osebja in integracijo v procese vzdrževanja in upravljanja sredstev.

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

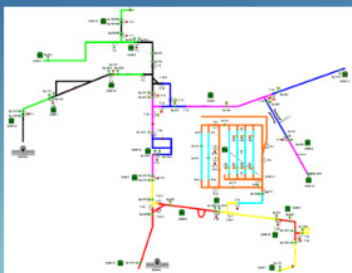


Slika 14: Senzorski sistem, nameščen na odjemniku toka tramvaja za spremljanje interakcije med vozilom in kontaktnim vodom

DEVELOPING A DIGITAL TWIN: Energy Flow Simulation

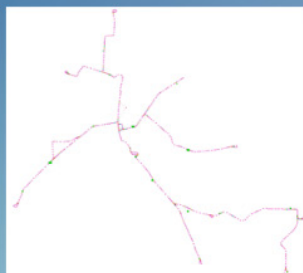
1

transport network



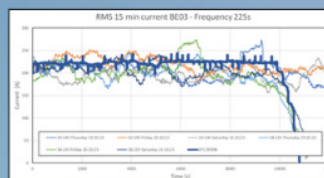
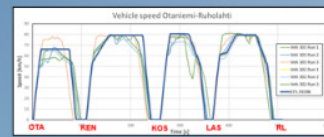
2

digital model



3

validation



4

dashboard



Slika 15: Modeliranje digitalnega dvojčka in simulacija energetskega toka za analizo obratovalnih in energetskega scenarijev v bergamskem tramvajskem omrežju

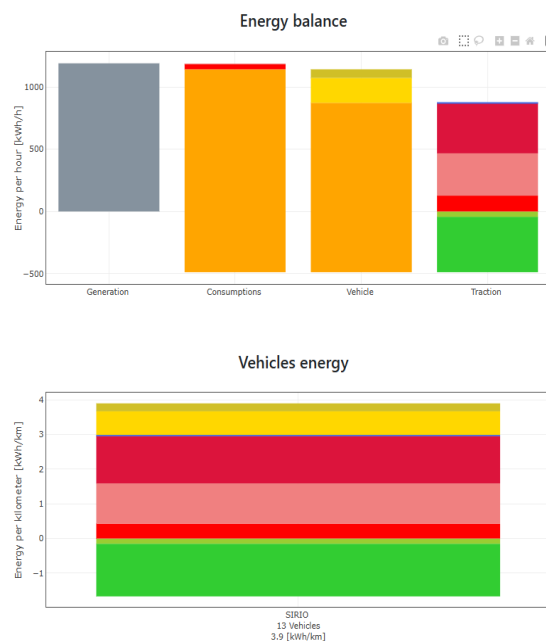
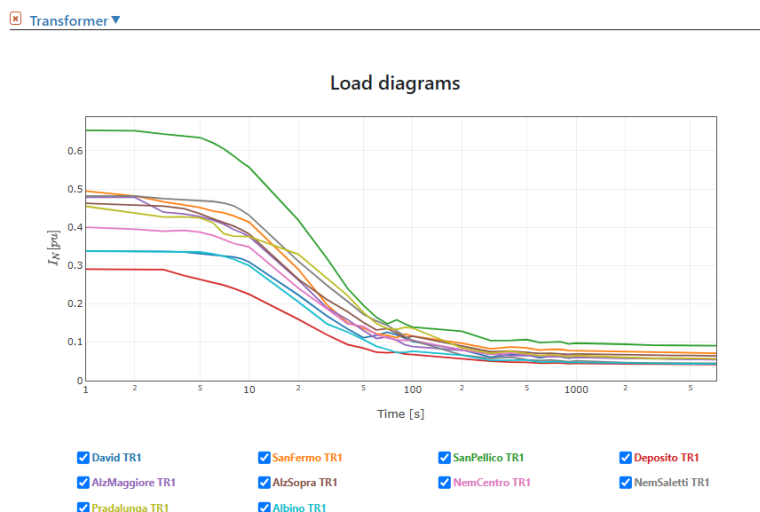
Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je potrdil, da kombinacija spremljanja v realnem času in simulacije podpira napovedno vzdrževanje in optimizacijo energije. Sistem spremljanja je bil nameščen na tramvajsko vozilo št. 004, ki obratuje na liniji T1, ter omogoča neprekinjeno zbiranje podatkov vsakih 1-3 sekunde, vključno s parametri položaja, hitrosti in porabe energije.

Sistem je zaznal nepravilne interakcije med odjemnikom toka in voznim vodom ter prepoznal

lokacije s povečanim tveganjem obrabe. Vzporedno je bil razvit digitalni dvojček tramvajskega omrežja, uporabljen za simulacijo več operativnih scenarijev, analizo porabe energije, potenciala rekuperacije in delovanja sistema.

Pilotni projekt je na splošno pokazal, da integracija podatkov spremljanja s simulacijskimi orodji izboljšuje odločanje ter podpira učinkovitejše upravljanje infrastrukture in energije.



Slika 16: Rezultati simulacije energetskih tokov za analizo obremenitev transformatorjev in optimizacijo porabe energije v bergamskem tramvajskem sistemu

Zaznani izzivi

Izzivi so vključevali integracijo senzorskih sistemov v obstoječa vozila in zagotavljanje zanesljivega prenosa podatkov v urbanih okoljih. Za izboljšanje natančnosti senzorjev in stabilnosti komunikacije so bile potrebne prilagoditve kalibracije in konfiguracije.

Dodatno kompleksnost je povzročila integracija podatkov spremljanja iz realnega okolja s simulacijskimi modeli, kar je zahtevalo stalno validacijo in koordinacijo med projektnimi partnerji.

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt izkazuje velik prenosni potencial, zlasti za male in srednje velike tramvajske sisteme. Modularna zasnova spremljanja ter ločitev zbiranja, analize in simulacije podatkov omogočata prilagodljivo uporabo v različnih omrežjih.

Ključne izkušnje vključujejo pomen predhodnega preizkušanja modularnih sistemov, kombiniranja spremljanja s simulacijo ter zagotavljanja tesnega sodelovanja med operaterji in ponudniki tehnologije. Pristop podpira načela krožnega gospodarstva s podaljševanjem življenjske dobe sredstev in izboljšanjem učinkovite rabe virov na ravni sistema.

3.2.3. Rešitev S.3: Moduli za napovedno vzdrževanje infrastrukture in voznega parka

Kratek opis rešitve

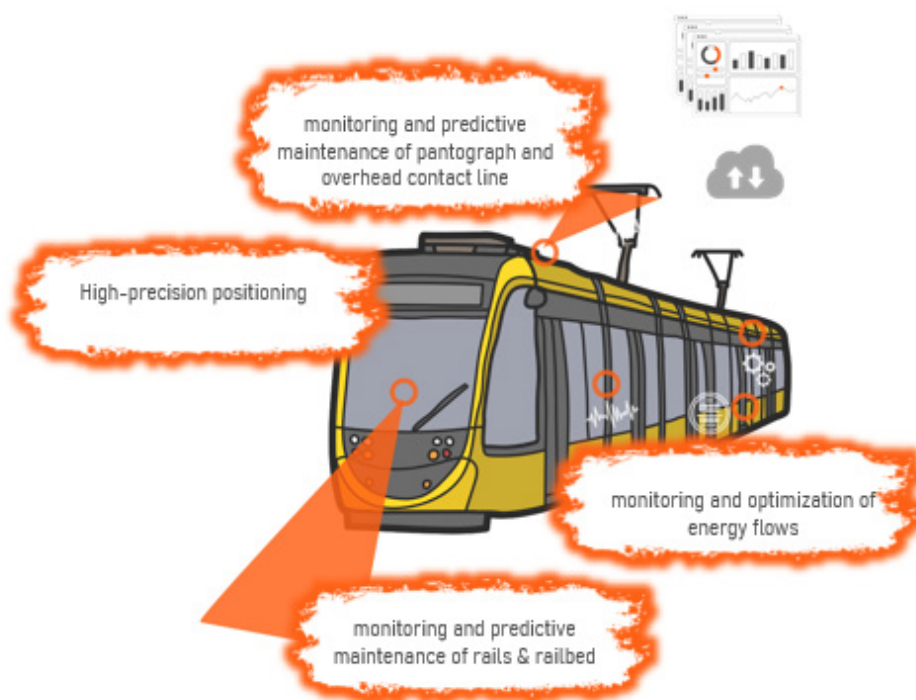
Ta rešitev zagotavlja modularni okvir za napovedno vzdrževanje infrastrukture javnega prevoza in voznega parka na podlagi neprekinjenega spremljanja stanja z vozili. Temelji na pilotnih izvedbah v Leipzigu in Bergamu ter združuje spremljanje infrastrukture, analizo energetskih podatkov in simulacijo v prenosljiv pristop.

Rešitev podpira prehod z reaktivnega in časovno načrtovanega vzdrževanja na podatkovno podprto upravljanje sredstev, kar omogoča zgodnejše odkrivanje napak, bolj ciljno usmerjene posege in večjo obratovalno zanesljivost.

Cilji rešitve

Cilj rešitve je omogočiti neprekinjeno spremljanje stanja infrastrukture in vozil, odkrivati napake v zgodnji fazi ter podpirati pravočasne vzdrževalne posege.

Z izboljšanjem razpoložljivosti podatkov in odločanja prispeva k podaljšanju življenjske dobe sredstev, zmanjšanju materialno intenzivnih popravil in povečanju splošne učinkovite rabe virov.

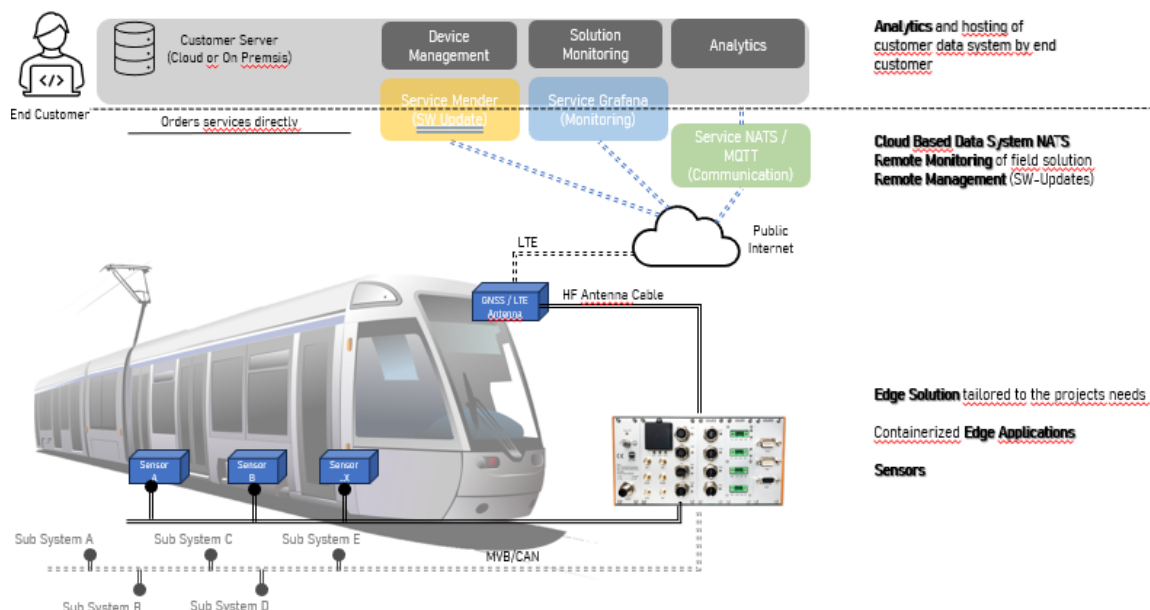


Slika 17: Obseg uporabe napovednega vzdrževanja v sistemih javnega prevoza.

Osnovni koncept rešitve

Rešitev temelji na modularni verigi spremljanja, ki v obstoječe vzdrževalne delovne tokove vključuje zbiranje podatkov, obdelavo in podporo odločanju. Senzorji in sistemi spremljanja, nameščeni na vozilih, med rednim obratovanjem zbirajo podatke, ki se obdelujejo in analizirajo za odkrivanje anomalij ter prepoznavanje vzorcev degradacije.

Rezultati se z georeferenciranjem vključijo v sisteme upravljanja sredstev in vizualizirajo prek nadzornih plošč, kar podpira prednostno razvrščanje vzdrževalnih ukrepov. Sistem deluje kot neprekinjena zanka, ki povezuje odkrivanje, validacijo in posege ter omogoča napovedno vzdrževanje na podlagi stanja.



Slika 18: Celovita arhitektura sistema napovednega vzdrževanja od zajema podatkov do analitike in spremljanja.

Spoznanja iz izvedbe

Izvedba je pokazala, da so kakovost podatkov, stabilni podatkovni tokovi in integracija sistemov ključni za uporabne rezultate. Samodejno zaznavanje zahteva validacijo s terenskimi pregledi, modularna arhitektura pa omogoča prilagodljivo uvajanje v različnih sistemih.

Pomembna je tudi organizacijska pripravljenost, saj napovedno vzdrževanje uvaja nove delovne tokove in vloge, njegova vrednost pa se poveča, ko je integrirano v obstoječe procese upravljanja sredstev in načrtovanja.

Prenosni potencial

Rešitev izkazuje velik prenosni potencial za

3.2.4. Pilotni projekt P.4: Simulacija elektrificiranih koridorjev javnega prevoza in energetskih tokov (Gdynia, Poljska)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt se osredotoča na uporabo digitalnih modelirnih in simulacijskih orodij za podporo krožnemu in z viri učinkovitemu načrtovanju elektrifikacije v sistemih javnega prevoza. V Gdynii ga je izvedel operater javnega prevoza PKA Gdynia v sodelovanju z Univerzo v Gdansk (UG) in tehnološkim partnerjem Kruch Railway Innovations, njegov cilj pa je omogočiti podatkovno podprto odločanje o infrastrukturnih naložbah, tehnologijah vozil in operativnih strategijah.

operaterje, ki upravljajo tirno infrastrukturo in vozni park. Modularni pristop omogoča postopno izvedbo in prilagoditev različnim omrežjem, tipom vozil in organizacijskim okoljem.

Z omogočanjem zgodnjega ukrepanja in upravljanja sredstev, usmerjenega v življenjski cikel, rešitev podpira načela krožnega gospodarstva, zlasti podaljševanje življenjske dobe sredstev in izboljšanje učinkovite rabe virov.

Rešitev primarno prispeva k fazi **EXTEND** - vzdrževanje in popravila, saj omogoča zgodnje ukrepanje in podaljšuje življenjsko dobo sredstev.

Z orodjem Simulacija energetskih tokov (EFS) je bil razvit digitalni dvojček Zahodnega koridorja. Model vključuje operativne podatke, kot so značilnosti voznega parka, frekvence storitev in poraba energije, kar omogoča simulacijo različnih scenarijev elektrifikacije, vključno z baterijskimi električnimi avtobusi, trolejbusi s polnjenjem med vožnjo (IMC) in hibridnimi konfiguracijami.



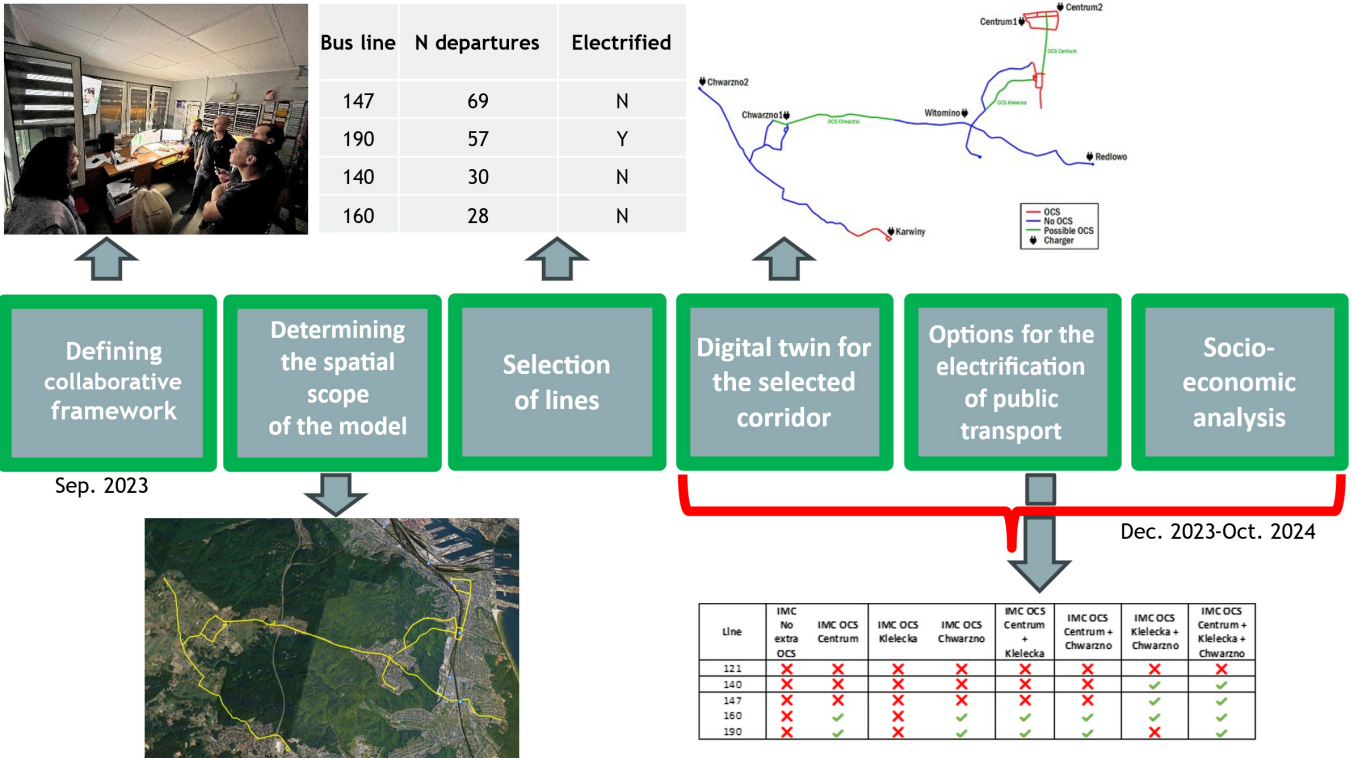
Slika 19: Prostorska zasnova Zahodnega koridorja v Gdynii.

Potrebni viri

Pilotni projekt je zahteval modelirna orodja, operativne podatke in tesno sodelovanje med prevoznimi operaterji, raziskovalci in ponudniki tehnologije. Ključni viri so vključevali simulacijsko okolje EFS in podrobne vhodne podatke, kot so vozni

redi vozil, parametri porabe energije in prometne razmere.

Institucionalna koordinacija je bila bistvena za zagotovitev realističnih modelnih predpostavk in validacijo rezultatov, vključno z vključevanjem operaterja, občinskih organov in infrastrukturnih deležnikov.



Slika 20: Proces razvoja modela Simulacija energetskih tokov (EFS) za digitalni dvojček Gdynie.

Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je pokazal, da lahko digitalna simulacija učinkovito podpira načrtovanje elektrifikacije in optimizacijo infrastrukture. Digitalni dvojček koridorja je bil uspešno razvit in validiran z uporabo dejanskih operativnih podatkov avtobusne linije 190.

Simuliranih je bilo več kot 110 scenarijev elektrifikacije s primerjavo baterijskih električnih

avtobusov, trolejbusov IMC in hibridnih pristopov. Analiza je pokazala, da obratovanje IMC zahteva ciljne razširitve infrastrukture, medtem ko lahko določene linije, kot je linija 190, obratujejo brez dodatne nadzemne infrastrukture.

Rezultati so tudi pokazali, da lahko obratovanje baterijskih električnih avtobusov zahteva večje število vozil v primerjavi z rešitvami IMC, ter potrdili, da prometne razmere pomembno vplivajo na porabo energije, potrebe po vozilih in stroške sistema.

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: Primer rezultatov simulacije, ki primerjajo različne scenarije elektrifikacije in prikazujejo energetsko bilanco vozila ter izvedljivost stanja napolnjenosti po 10 urah obratovanja.

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: Primerjava scenarijev elektrifikacije, ki prikazuje operativno izvedljivost različnih tehnologij vozil in konfiguracij infrastrukture.

Zaznani izzivi

Izzivi so bili povezani predvsem z integracijo podatkov in modeliranjem. Operativne podatke iz različnih virov (promet, obratovanje in energija) je bilo treba uskladiti, kar je sprva upočasnilo proces modeliranja.

Dodatna kompleksnost se je pojavila pri modeliranju degradacije baterij in zmožljivosti v življenjskem ciklu ter pri natančnem prikazu prometnih razmer, kar je zahtevalo iterativno kalibracijo modela in vključitev elementov, kot so prometna signalizacija.

Ti izzivi so bili rešeni z iterativnim izboljševanjem modela in validacijo z uporabo podatkov iz realnega okolja.

3.2.5. Rešitev S.4: Orodje za krožno poslovno načrtovanje elektrificiranih vozniških parkov in infrastrukture javnega prevoza

Kratek opis rešitve

Ta rešitev zagotavlja strukturirano načrtovalsko orodje, ki podpira operaterje in organe javnega prevoza pri oblikovanju in primerjavi scenarijev elektrifikacije z uporabo načel krožnega gospodarstva. Temelji na pilotnem projektu Gdynia, kjer sta bila modeliranje digitalnega dvojčka in simulacije energetskega toka uporabljena za oceno različnih strategij elektrifikacije. Rešitev te izkušnje prenaša v prenosljiv okvir, temelječ na KPI, ki povezuje krožne cilje s praktičnim načrtovanjem in investicijskimi odločitvami.

Cilji rešitve

Cilj rešitve je podpreti z dokazi podprto načrtovanje elektrificiranih sistemov javnega prevoza in izboljšati doslednost pri vrednotenju scenarijev. S prevajanjem ciljev krožnega gospodarstva v merljive kazalnike omogoča primerjavo možnosti elektrifikacije, izboljšuje preglednost predpostavk in podpira integracijo načrtovanja voznega parka, infrastrukture in energije.

Osnovni koncept rešitve

Rešitev temelji na načrtovalskem delovnem toku, vodenem s KPI, ki ga podpira strukturiran proces izbire in konfiguracije. Uporabnikom omogoča opredelitev relevantnih kazalnikov, določitev ciljev in primerjavo različnih scenarijev elektrifikacije z uporabo doslednega okvira.

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt izkazuje velik prenosni potencial za mesta, ki načrtujejo elektrifikacijo sistemov javnega prevoza. Pristop digitalnega dvojčka omogoča primerjavo več scenarijev pred sprejemom infrastrukturnih naložbenih odločitev ter podpira učinkovitejše in bolj informirano odločanje.

Modularna struktura pristopa omogoča prilagoditev različnim urbanim kontekstom, če so na voljo zadostni operativni podatki. Pristop podpira krožno načrtovanje z optimizacijo rabe virov, zmanjšanjem nepotrebnih naložb in izboljšanjem učinkovitosti sistema.

Pristop obravnava vozni park, infrastrukturo in energetske sisteme kot integrirano področje načrtovanja ter povezuje tehnično zmožljivost, rabo energije in rezultate krožnosti za podporo informiranemu odločanju.

Pri delovanju orodje podpira strukturiran delovni tok:

izbira → konfiguracija → analiza scenarijev → primerjava → podpora odločanju

Rešitev obravnava vozni park, infrastrukturo in energetske sisteme kot enotno področje načrtovanja, kjer energija deluje kot sistemska hrbtnica, ki vpliva na zmožljivost, stroške in rezultate krožnosti.

Spoznanja iz izvedbe

Izvedba je pokazala, da sta razpoložljivost in kakovost podatkov ključni ter pogosto zahtevata kombiniranje več virov. Za dosledno uporabo so bistvene standardizirane opredelitve KPI in jasno upravljanje, vključno z lastništvom in postopki posodabljanja.

Priporočen je postopni pristop, ki se začne z osnovnim naborom KPI in se sčasoma širi, ob hkratnem zagotavljanju usklajenosti z obstoječimi procesi načrtovanja in poročanja.

Prenosni potencial

Rešitev izkazuje velik prenosni potencial za operaterje javnega prevoza, ki načrtujejo elektrifikacijo voznega parka. Uporabiti jo je mogoče v različnih tipih sistemov in prilagoditi lokalnim pogojem, vključno z

energijsko mešanico, infrastrukturnimi omejitvami in operativnimi zahtevami.

S podporo dosledni primerjavi scenarijev in načrtovanju, usmerjenemu v življenjski cikel, rešitev prispeva k učinkovitejši rabi virov in informiranim

investicijskim odločitvam.

Rešitev primarno prispeva k fazi **AVOID** - vnaprejšnje načrtovanje in optimizacija sistema, saj omogoča bolj informirano in dosledno odločanje.

3.3. Aktivnost A.3: Razvoj rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza

Ta aktivnost se osredotoča na podaljševanje življenjskega cikla infrastrukturnih komponent javnega prevoza in energetskih sredstev s pristopi ponovne uporabe in spremembe namembnosti. Obravnava načela krožnega gospodarstva na ravni infrastrukture z raziskovanjem, kako lahko obstoječe komponente in materiali ostanejo v uporabi tudi po svojem prvotnem operativnem kontekstu.

V okviru te aktivnosti sta bili izvedeni dve pilotni aktivnosti. V Szegedu je pilotni projekt proučil izvedljivost ponovne uporabe trolejbusnih kretnic za podaljšanje življenjske dobe kritičnih infrastrukturnih

komponent in zmanjšanje materialnih odpadkov. V Mariboru je pilotni projekt analiziral spremembo namembnosti pogonskih baterij v drugi življenjski dobi v stacionarni hranilnik energije za podporo infrastrukturi polnjenja električnih avtobusov.

Skupaj ti pilotni projekti prikazujejo praktične pristope k ohranjanju vrednosti, vgrajene v infrastrukturo javnega prevoza in povezana sredstva, ob hkratnem zmanjšanju porabe virov in podpori bolj krožnim praksam upravljanja sredstev. Izkušnje, pridobljene s temi pilotnimi projekti, so osnova za razvoj prenosljivih rešitev, predstavljenih v naslednjih razdelkih.

3.3.1. Pilotni projekt P.5: Ponovna uporaba trolejbusnih kretnic (Szeged, Madžarska)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt se osredotoča na praktično uporabo načel krožnega gospodarstva s ponovno uporabo komponent trolejbusne infrastrukture. Pilotni projekt, ki ga je izvedel SZKT (Transportno podjetje Szeged), prikazuje, kako je mogoče komponente, ki niso več optimalne za intenzivno obratovanje, ponovno uporabiti v delih sistema z manjšo operativno obremenitvijo.

V okviru pilotnega projekta so bile štiri hitre nadzemne kretnice iz operativnega omrežja, prvotno nameščene med letoma 2005 in 2014, zamenjane z novo opremo in nato ponovno uporabljene v depoju. Ta pristop je podaljšal življenjsko dobo obstoječih komponent ter izboljšal zanesljivost v omrežni in depojski infrastrukturi.



Slika 23: Trolejbusna nadzemna kretnica, uporabljena v omrežju Szeged.

Potrebni viri

Pilotni projekt je zahteval razmeroma omejene tehnične vire, saj je delo v glavnem obsegalo zamenjavo in premestitev obstoječih infrastrukturnih komponent znotraj trolejbusnega sistema. Izvedba je temeljila na notranjih zmogljivostih SZKT, vključno z ekipami za

vzdrževanje infrastrukture, prometno operativo in logističnimi enotami. Potrebna je bila koordinacija za upravljanje namestitvenih del in začasnih prilagoditev obratovanja ter sodelovanje z lokalnimi organi pri kratkih cestnih posegih.



Slika 24: Namestitev trolejbusne kretnice s strani vzdrževalne ekipe SZKT.

Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je uspešno pokazal, da lahko ponovna uporaba infrastrukturnih komponent izboljša zanesljivost in hkrati zmanjša potrebe po naložbah. V glavnem omrežju so bile nameščene štiri nove kretnice, štiri ponovno uporabljene kretnice pa so bile nameščene v depoju, kar je izboljšalo delovanje infrastrukture na osmih lokacijah.

Zamenjava je zmanjšala okvare na visokofrekvenčnih odsekih in odpravila težave z zastarelimi depojskimi kretnicami, hkrati pa preprečila nepotrebno naročanje dodatne opreme in zmanjšala materialne odpadke.

Pilotni projekt je uspešno pokazal, da lahko krožna ponovna uporaba infrastrukturnih komponent izboljša operativno zanesljivost in hkrati zmanjša potrebe po naložbah. Ključni rezultati, doseženi med izvedbo, vključujejo:

Zaznani izzivi

Izzivi so bili povezani predvsem s koordinacijo in integracijo v obstoječi infrastrukturni sistem. Razlike v podpornih elementih, kot so stebri in temelji, so zahtevale prilagoditve med namestitvijo. Dodatna prizadevanja so bila potrebna za organizacijo začasnih prometnih ureditev in zagotavljanje varne integracije ponovno uporabljenih komponent v sistem.

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt prikazuje preprost in prenosljiv krožni pristop, uporaben v številnih sistemih javnega prevoza. Infrastrukturne komponente, odstranjene z odsekov omrežja z visoko intenzivnostjo, je pogosto mogoče ponovno uporabiti v okoljih z nižjo obremenitvijo, kot so depoji.

S sistematičnim prepoznavanjem takšnih priložnosti lahko operaterji podaljšajo življenjsko dobo sredstev, zmanjšajo investicijske stroške in omejijo materialne odpadke, kar podpira učinkovitejše in krožno upravljanje infrastrukture.

3.3.2. Rešitev S.5: Opredelitev meril za uvedbo ponovne uporabe trolejbusnih kretnic

Kratek opis rešitve

Ta rešitev zagotavlja prenosljiv okvir za krožno ponovno uporabo trolejbusnih nadzemnih kretnic v sistemih javnega prevoza. Temelji na izkušnji pilotnega projekta v Szegedu in prenaša praktični pristop v nabor meril za uvedbo, ki jih lahko uporabljajo drugi operaterji.

Rešitev uvaja kaskadni model ponovne uporabe, pri katerem se infrastrukturne komponente, odstranjene z odsekov omrežja z visoko intenzivnostjo, ponovno uporabijo na lokacijah z nižjo operativno obremenitvijo, kot so depoji. Ta pristop podaljšuje življenjsko dobo sredstev, zmanjšuje odpadke in izboljšuje stroškovno učinkovitost obnove infrastrukture.

Cilji rešitve

Cilj rešitve je podpreti operaterje javnega prevoza pri uvajanju praks krožnega upravljanja infrastrukture.

Osredotoča se na podaljšanje operativne življenjske dobe infrastrukturnih komponent, zmanjšanje porabe materialov, izboljšanje investicijske učinkovitosti ter ohranjanje zanesljivosti in varnosti s strukturiranimi pristopi ponovne uporabe.

Osnovni koncept rešitve

Rešitev temelji na usklajevanju infrastrukturnih komponent z različnimi ravni operativne intenzivnosti v omrežju. Komponente, odstranjene z visokofrekvenčnih omrežnih odsekov, morda ne izpolnjujejo več strogih zahtev glede zanesljivosti, vendar lahko še vedno učinkovito delujejo v okoljih z

nižjo obremenitvijo, kot so depoji. To vodi v dvostopenjski infrastrukturni pristop, ki razlikuje med območji intenzivnega obratovanja in manj intenzivnimi servisnimi okolji. Z usklajevanjem stanja komponent z operativnimi zahtevami lahko operaterji podaljšajo življenjsko dobo sredstev ob ohranjanju učinkovitosti sistema.

Spoznanja iz izvedbe

Izvedba kaže, da je uspešna ponovna uporaba odvisna od ustrezne ocene stanja in združljivosti z obstoječimi infrastrukturnimi elementi, kot so stebri, ožičenje in temelji. Med namestitvijo je potrebna učinkovita koordinacija med vzdrževanjem in obratovanjem, za širjenje pristopa pa sta ključna sistematično prepoznavanje in spremljanje ponovno uporabljivih komponent.

Prenosni potencial

Rešitev izkazuje velik prenosni potencial za operaterje, ki upravljajo trolejbusno ali tramvajsko infrastrukturo. Podobni pogoji obstajajo v številnih sistemih, kjer infrastruktura v omrežjih in depojih deluje pri različnih ravneh intenzivnosti.

Z vključitvijo operativne intenzivnosti v upravljanje sredstev lahko operaterji sistematično prepoznajo priložnosti za ponovno uporabo, zmanjšajo stroške in podaljšajo življenjske cikle infrastrukture, s čimer podpirajo načela krožnega gospodarstva.

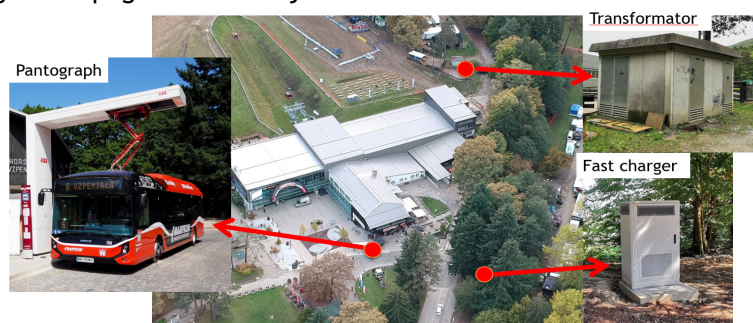
Rešitev zato prispeva k fazi **EXTEND** - **ponovna uporaba** v okviru krožnega gospodarstva pri upravljanju infrastrukture javnega prevoza.

3.3.3. Pilotni projekt P.6: Uporaba pogonskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika energije za hitro polnjenje z obnovljivo energijo (Maribor, Slovenija)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt preučuje uporabo litij-ionskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika energije za podporo infrastrukturi polnjenja električnih avtobusov. Izvedla ga je Mestna občina Maribor s podporo Univerze v Mariboru, osredotoča pa se na izboljšanje energetske učinkovitosti ob hkratnem podaljšanju življenjskega cikla pogonskih baterij.

Na končni postaji Vzpenjača 150 kW hitra polnilnica podpira električno avtobusno linijo G6, ki obratuje na 7,7 km dolgi trasi s pogostimi kratkimi polnjenji. Za optimizacijo rabe energije je bil v polnilno infrastrukturo vključen baterijski hranilnik energije (BESS), ki temelji na baterijah z drugo življenjsko dobo in deluje kot vmesni hranilnik med omrežjem, obnovljivimi viri in polnilno potrebo.



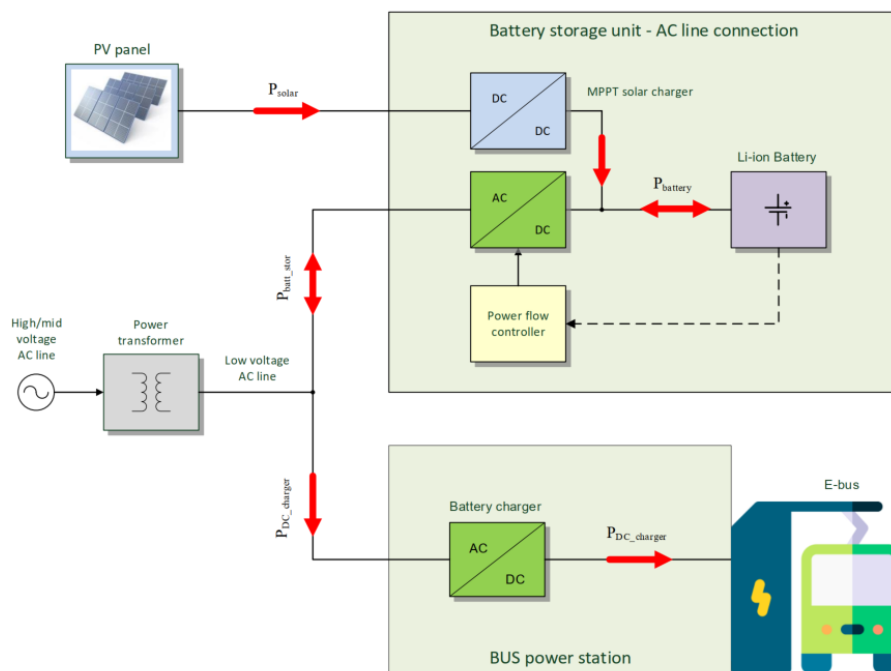
Slika 25: Obstoječa polnilna infrastruktura na postaji Vzpenjača.

Potrebni viri

Pilotni projekt je zahteval integracijo baterijskega hranilnika v drugi življenjski dobi s kapaciteto 136 kWh, skupaj z 80 kW hibridnim pretvornikom in povezavo z obstoječo 150 kW enosmerno hitro polnilnico. Sistem je vključeval tudi nadzorne in krmilne komponente ter manjšo fotovoltaično napravo.

BESS je povezan v vzporedni hibridni konfiguraciji, ki med polnjenjem avtobusa omogoča hkratno napajanje iz omrežja in hranilnika.

Izvedba je zahtevala koordinacijo med občinskimi organi, raziskovalnimi partnerji in tehničnimi ponudniki ter skladnost z varnostnimi in regulativnimi zahtevami za baterijske sisteme.



Slika 26: Tehnična shema vzporedne konfiguracije integracije BESS. Vir: Univerza v Mariboru.

Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je potrdil tehnično izvedljivost integracije baterij v drugi življenjski dobi v polnilno infrastrukturo. Sistem podpira letno potrebo po polnjenju približno 145.000 kWh, z dnevno porabo okoli 400 kWh in konicami do 650 kWh, posamezna polnjenja pa trajajo približno 5 minut z 8-14 kWh prenesene energije.

BESS je omogočil zmanjšanje konične obremenitve za približno 25 kW in prikazal hibridno delovanje med omrežjem in hranilnikom. Integracija fotovoltaične proizvodnje je dodatno podprla energetska prožnost in zmanjšala odvisnost od omrežja.

Pilotni projekt je na splošno pokazal, da lahko baterijski hranilnik v drugi življenjski dobi izboljša upravljanje energije in podaljša življenjske cikle baterij v sistemih javnega prevoza.



- 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 sistema BESS: PV-paneli, pretvornik in baterijski sklop v drugi življenjski dobi.

Zaznani izzivi

Izzivi so vključevali omejeno standardizacijo integracije baterij v drugi življenjski dobi, združljivost med baterijskimi moduli in pretvorniškimi sistemi ter zagotavljanje toplotne stabilnosti in požarne varnosti.

Dodatna vprašanja, povezana z zagotavljanjem ustreznih baterij, regulativnimi zahtevami in omejenimi tržnimi izkušnjami, so bila obravnavana s skrbno zasnovano sistema in sodelovanjem s specializiranimi strokovnjaki.

3.3.4. Rešitev S.6: Prenosljivi poslovni modeli za uporabo pogonskih baterij v drugi življenjski dobi

Kratek opis rešitve

Ta rešitev zagotavlja prenosljiv okvir za uporabo pogonskih baterij v drugi življenjski dobi kot stacionarnega hranilnika energije v polnilni infrastrukturi javnega prevoza. Temelji na pilotnem projektu Maribor in njegove tehnične ter operativne izkušnje prenaša v poslovne modele in izvedbene pogoje, ki jih je mogoče uporabiti v drugih okoljih.

Rešitev podpira načela krožnega gospodarstva s podaljšanjem življenjskih ciklov baterij pred recikliranjem, hkrati pa izboljšuje upravljanje energije, zmanjšuje konično potrebo po električni energiji in podpira integracijo obnovljivih virov energije.

Cilji rešitve

Cilj rešitve je pomagati operaterjem in organom javnega prevoza pri uvajanju baterijskih hranilnikov v drugi življenjski dobi kot dela elektrificirane prometne infrastrukture.

Osredotoča se na podaljševanje življenjskih ciklov baterij, izboljšanje prožnosti polnjenja, zmanjšanje konične obremenitve, podporo integraciji obnovljivih

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt izkazuje velik prenosni potencial za mesta, ki širijo infrastrukturo električnih avtobusov. Baterijski hranilniki v drugi življenjski dobi lahko podpirajo upravljanje koničnih obremenitev, izboljšajo energetske prožnost in omogočijo boljšo integracijo obnovljivih virov energije.

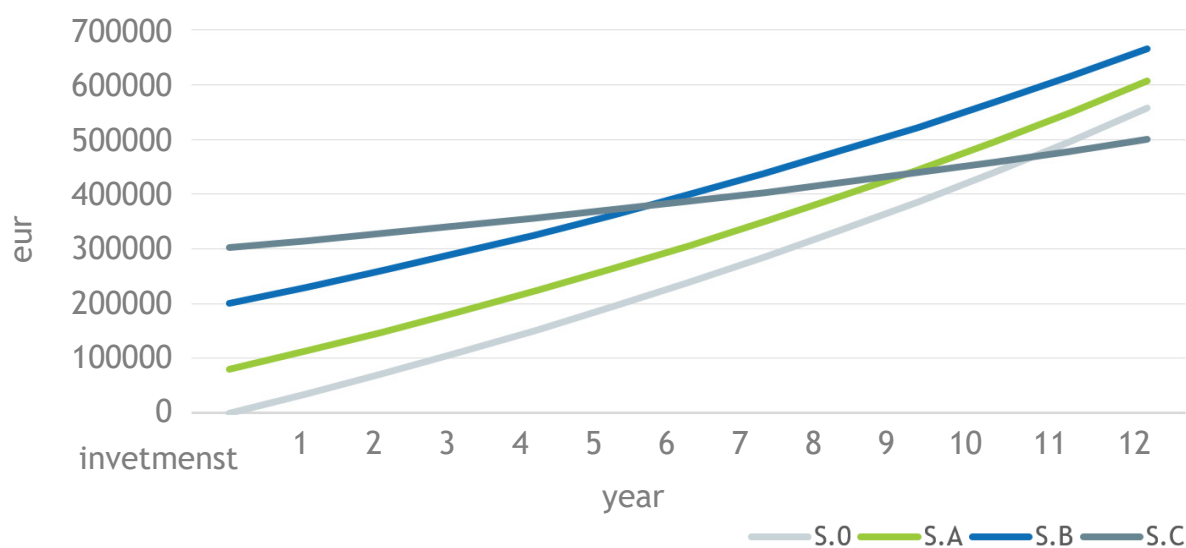
Modularna narava rešitev BESS omogoča prilagoditev različnim kontekstom in podpira načela krožnega gospodarstva s podaljševanjem življenjskih ciklov baterij ter izboljšanjem učinkovite rabe virov.

virov energije in ustvarjanje ekonomsko izvedljivih pristopov za uporabo baterij v drugi življenjski dobi.

Osnovni koncept rešitve

Rešitev temelji na integraciji baterijskih hranilnikov energije v drugi življenjski dobi med električno omrežje, obnovljive vire energije in polnilno potrebo. V tej vlogi baterijski sistem deluje kot prožen energetski vmesnik, ki podpira zmanjševanje konic, časovni zamik porabe in rabo obnovljive energije.

Njena praktična uporaba je odvisna od usklajenosti treh razsežnosti: tehnične integracije, strategije upravljanja energije ter ekonomskih in regulativnih pogojev. Namesto enega fiksnega modela rešitev zagotavlja prilagodljiv okvir, ki ga je mogoče prilagoditi lokalni infrastrukturi, profilom obremenitve in tržnim pogojem. Zmanjševanje konic samo po sebi zagotavlja omejene koristi, medtem ko kombinacija hranilnika s tarifno optimizacijo in integracijo obnovljive energije bistveno izboljša celotno učinkovitost.



Slika 28: Primerjava kumulativnih stroškov električne energije v različnih scenarijih upravljanja energije.

- S.0: Izhodišče (brez hranilnika): popolna odvisnost od električne energije iz omrežja
- S.1: Zmanjševanje konic: zmanjšanje kratkotrajnih konic moči z omejenim ekonomskim donosom
- S.2: Tarifna optimizacija: premik rabe energije v obdobja z nižjimi stroški, kar izboljša stroškovno učinkovitost
- S.3: Integracija obnovljivih virov: kombiniranje hranilnika z OVE za zmanjšanje odvisnosti od omrežja in povečanje dolgoročne vrednosti

Spoznanja iz izvedbe

Izvedba je pokazala, da je združljivost med baterijskimi moduli, pretvorniškimi sistemi in polnilno infrastrukturo ključni pogoj za uspeh, varnostne zahteve in arhitekturo sistema pa je treba upoštevati že od začetka.

Poslovna upravičenost je močno odvisna od velikosti sistema, profila obremenitve, tarif električne energije in omejitev omrežja. Zmanjševanje konic samo po sebi

pri majhnem obsegu ponuja omejen donos, medtem ko kombinacija hranilnika z integracijo obnovljive energije bistveno izboljša dolgoročno vrednost.

Prenosni potencial

Rešitev izkazuje velik prenosni potencial za sisteme javnega prevoza v procesu elektrifikacije. Številna mesta se soočajo s podobnimi izzivi, povezanimi s potrebami po polnjenju, omejitvami omrežja in prihodnjim upravljanjem baterij.

Baterijski hranilnik v drugi življenjski dobi ponuja praktičen način za sočasno obravnavo teh vprašanj in se lahko uporablja na postajah za priložnostno polnjenje, v depojih ali mobilnostnih vozliščih. Na ta način rešitev podpira tako cilje krožnega gospodarstva kot prožnejše upravljanje energije v sistemih javnega prevoza.

Rešitev primarno prispeva k fazi **EXTEND** - sprememba namembnosti v hierarhiji krožnega gospodarstva, saj omogoča kaskadno uporabo pogonskih baterij pred njihovim končnim recikliranjem.

3.4. Aktivnost A.4: Spodbujanje uvedbe rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku

Ta aktivnost se osredotoča na podaljšanje življenjske dobe komponent voznega parka z obnovo, ponovno izdelavo in izboljšano izmenjavo informacij v sektorju javnega prevoza.

Pilotni projekt, izveden v Szegedu, prikazuje preoblikovanje in ponovno izdelavo zastarele krmilne enote tramvajskih vrat, kar omogoča nadaljnje obratovanje starajočih se tramvajev Tatra. Z zamenjavo kritične elektronske komponente, ki ni več na voljo na trgu, pilotni projekt ponazarja, kako

lahko ciljno preoblikovanje komponente ohrani operativno vrednost obstoječega voznega parka.

Izkušnje, pridobljene s pilotnim projektom, so povezane z razvojem digitalne platforme za rabljena sredstva in povezovanje, ki podpira izmenjavo informacij in sodelovanje med akterji javnega prevoza za lažjo ponovno uporabo in ponovno izdelavo komponent vozil.

3.4.1. Pilotni projekt P.7: Ponovna izdelava in preoblikovanje krmilnih enot tramvaja za omogočanje ponovne uporabe komponent (Szeged, Madžarska)

Kratek opis pilotnega projekta

Ta pilotni projekt se osredotoča na podaljšanje operativne življenjske dobe tramvajskih vozil s preoblikovanjem in ponovno izdelavo kritične elektronske komponente. Pilotni projekt, ki ga je izvedel SZKT (Transportno podjetje Szeged), obravnava problem zastarelih krmilnih enot vrat, ki se uporabljajo v tramvajskih vozniških parkih Tatra T6A2 in KT4D-ME ter niso več na voljo na trgu rezervnih delov.

Za zmanjšanje tega tveganja je bila z uporabo sodobnih komponent razvita nova, parametrizirljiva in diagnostično podprta krmilna enota. Enota je bila zasnovana kot združljiva z obema tipoma tramvaja in za integracijo z obstoječimi vratnimi sistemi, kar omogoča nadaljnje obratovanje starajočih se vozil brez potrebe po prezgodnji zamenjavi.



Slika 29: Tramvajska vozila Tatra (tipa KT4D in T6A2) v obratovanju v Szegedu.

Potrebni viri

Izvedba je zahtevala tehnično analizo obstoječih sistemov, razvoj nove strojne opreme in diagnostične programske opreme ter vzpostavitev nadzorovanega testnega okolja.

Dodatna prizadevanja so vključevala certificiranje pri akreditiranem organu, regulativno odobritev za obratovanje in proizvodnjo začetne serije nadomestnih enot, ob tesnem sodelovanju med internimi ekipami in zunanjimi partnerji.



Slika 30: Nadzorovano testno okolje za funkcionalno preizkušanje novo razvite krmilne enote vrat.

Dokazi o uspehu

Pilotni projekt je uspešno razvil in uvedel nadomestno krmilno enoto, združljivo z dvema tipoma tramvaja. Skupno je bilo v 28 vozilih prepoznanih 99 originalnih enot kot kritičnih komponent, začetna serija 40 novih enot pa je bila izdelana in nameščena.

Rešitev je odpravila zastarelost rezervnih delov za ključno komponento, zagotovila nadaljnje obratovanje voznega parka in uvedla diagnostično funkcionalnost, ki podpira izboljšano vzdrževanje in odkrivanje napak.



Slika 31: Novo izdelana krmilna enota vrat, nameščena v tramvajsko vozilo.

Zaznani izzivi

Glavni izziv je bil postopek odobritve za novo razvito varnostno kritično elektronsko komponento, saj regulativni postopki niso bili jasno opredeljeni in so zahtevali obsežno koordinacijo s certifikacijskimi organi. Dodatna kompleksnost je vključevala zagotavljanje združljivosti z različnimi tramvajskimi sistemi in opredelitev tehničnih specifikacij, primernih za dolgoročno obratovanje.

Možnosti za učenje in prenos

Pilotni projekt prikazuje prenosljiv pristop k reševanju zastarelosti rezervnih delov v starajočem se voznem parku. Številna mesta upravljajo podobne tramvajске vozne parke in se soočajo s primerljivimi izzivi.

Metodologijo - prepoznavanje kritičnih komponent, preoblikovanje nadomestnih delov in pridobitev certifikacije - lahko ponovijo tudi drugi operaterji, s čimer podprejo krožne vzdrževalne strategije in podaljšajo življenjsko dobo vozil.

Pristop primarno prispeva k dimenziji EXTEND v okviru AETE, zlasti z obnovo in ponovno izdelavo komponent voznega parka.

4. Pridobljene izkušnje

V pilotnih projektih CE4CE se je pojavilo več ključnih tem, ki odražajo, kako krožne rešitve delujejo v praksi v različnih obratovalnih pogojih.

Integracija podatkov in sistemov

Pilotni projekti napovednega vzdrževanja so pokazali, da je učinkovitost digitalnih rešitev močno odvisna od kakovosti podatkov in integracije sistemov. V Leipzigu je neprekinjeno spremljanje na osnovi vozil omogočilo zgodnje odkrivanje infrastrukturnih napak, hkrati pa razkrilo potrebo po stabilnih podatkovnih tokovih in validaciji s terenskimi pregledi. Podobno so simulacijski pristopi pokazali, da je harmonizacija podatkov iz različnih virov predpogoj za zanesljivo modeliranje in podporo odločanju.

Podaljševanje življenjske dobe sredstev s ponovno uporabo in ponovno izdelavo

Pilotni projekti, osredotočeni na ponovno uporabo infrastrukture in komponent, so izpostavili potencial podaljševanja življenjske dobe sredstev. V Szegedu je ponovna uporaba trolejbusnih kretnic pokazala, da je mogoče komponente, odstranjene z odsekov omrežja z visoko intenzivnostjo, učinkovito ponovno uporabiti v okoljih z manjšo obremenitvijo. Podobno načelo je bilo uporabljeno pri ponovni izdelavi krmilnih enot tramvaja, kjer je preoblikovanje omogočilo nadaljnje obratovanje starajočih se vozil kljub zastarelosti rezervnih delov.

Sistemska integracija in ustvarjanje vrednosti pri energetskih uporabah

Energetsko povezani pilotni projekti so pokazali, da se vrednost krožnih rešitev povečuje s sistemsko integracijo. V Mariboru je baterijski hranilnik v drugi življenjski dobi pokazal omejene koristi, kadar se uporablja samo za zmanjševanje konic, vendar bistveno večjo vrednost, kadar je kombiniran z integracijo obnovljive energije in prožnim upravljanjem energije. To poudarja pomen obravnave krožnih rešitev kot dela širše optimizacije sistema in ne kot samostojnih posegov.

Organizacijska pripravljenost in izvedbeni procesi

Pri vseh pilotnih projektih je bila uspešna izvedba odvisna od koordinacije med več deležniki in integracije v obstoječe operative strukture. Postopni izvedbeni pristopi, ki se začnejo s pilotnim preizkušanjem in nadaljujejo s postopnim širjenjem, so se izkazali kot učinkoviti pri obvladovanju tehnične in organizacijske kompleksnosti.

Ta spoznanja so povzeta v spodnji tabeli.

Področje	Ključne izkušnje
Tehnika in podatki	<ul style="list-style-type: none"> • Uspešne rešitve so odvisne od združljivosti z obstoječo infrastrukturo in sistemi, zlasti v okoljih s starejšimi sistemi. • Zanesljiva izvedba zahteva kakovostne in usklajene podatke, podprte s stabilnimi podatkovnimi tokovi. • Modularna zasnova sistema omogoča razširljivo uvajanje in prilagodljivo integracijo.
Operativno	<ul style="list-style-type: none"> • Izvedba zahteva koordinacijo med organizacijskimi funkcijami in integracijo v obstoječe delovne tokove. • Zgodnje vključevanje deležnikov pomembno zmanjšuje tveganja in olajša izvedbo. • Postopni pristopi omogočajo preizkušanje, validacijo in postopno širjenje.
Ekonomsko	<ul style="list-style-type: none"> • Krožne rešitve običajno zahtevajo začetno naložbo, vendar ustvarjajo vrednost v daljšem časovnem obdobju. • Ekonomska uspešnost je odvisna od obsega sistema, ravni integracije in operativnega konteksta. • Pomemben delež vrednosti nastane s posrednimi koristmi, kot sta zanesljivost in učinkovitost.
Spoznanja o krožnem gospodarstvu	<ul style="list-style-type: none"> • Največji potencial je v podaljševanju življenjske dobe sredstev, ponovni uporabi komponent in spremembi namembnosti energetskih sredstev. • Krožne strategije pogosto sledijo kaskadni logiki v različnih kontekstih uporabe. • Perspektiva življenjskega cikla je bistvena za zajem celotne vrednosti.
Prenosljivost	<ul style="list-style-type: none"> • Rešitve, ki temeljijo na modularnih in prilagodljivih pristopih, imajo največji prenosni potencial. • Prenos je odvisen od lokalnih organizacijskih, tehničnih in regulativnih pogojev. • Izmenjava znanja in jasna dokumentacija podpirata ponovitev.

Tabela 7: Pregled medsektorskih pridobljenih izkušenj.

5. Kontrolni seznam za izvedbo in ključni vidiki

Na podlagi pridobljenih izkušenj, predstavljenih v poglavju 4, to poglavje ponuja praktične usmeritve za izvedbo rešitev CE4CE v različnih lokalnih okoljih. Prepoznana spoznanja pretvarja v izvedljive korake, ključne dejavnike uspeha in vidike tveganj, ki podpirajo deležnike pri uvajanju pristopov krožnega gospodarstva v sisteme javnega prevoza.

Usmeritve so namenjene operaterjem javnega prevoza, organom in drugim deležnikom, ki želijo prilagoditi in uvesti rešitve CE4CE ob upoštevanju lokalnih tehničnih, organizacijskih in ekonomskih pogojev.

5.1. Ključni vidiki za uspešno izvedbo

Izvajanje rešitev CE4CE zahteva obravnavo niza ključnih vidikov, ki določajo izvedljivost, učinkovitost in razširljivost. Ti vidiki odražajo praktične zahteve, prepoznane v pilotnih aktivnostih in procesih razvoja rešitev.

Uspešna izvedba je odvisna od zagotavljanja združljivosti z obstoječo infrastrukturo in sistemi, zlasti v okoljih s starejšimi sistemi, ter od razpoložljivosti zanesljivih in dobro strukturiranih podatkov. Hkrati ima ključno vlogo organizacijska pripravljenost, vključno s koordinacijo med oddelki,

vključevanjem deležnikov in sposobnostjo vključitve novih pristopov v obstoječe delovne tokove.

Ekonomsko izvedljivost je treba obravnavati z vidika življenjskega cikla, ob upoštevanju neposrednih in posrednih koristi, medtem ko lahko regulativne zahteve in postopki odobritve vplivajo na časovnice izvedbe in zasnovo rešitev. Poleg tega morajo biti rešitve zasnovane z mislijo na razširljivost in prenosljivost, kar omogoča prilagoditev različnim operativnim in institucionalnim okoljem.

5.2. Kontrolni seznam za izvedbo

Tabela 9 ponuja strukturiran postopni pristop za podporo uvajanju rešitev krožnega gospodarstva v sisteme javnega prevoza, od začetne ocene do širjenja in integracije v standardno delovanje.

Korak	Poudarek
Korak 1: Začetna ocena	<ul style="list-style-type: none"> • Prepoznajte priložnosti krožnega gospodarstva v infrastrukturi, vozilih in energetskih sistemih • Analizirajte obstoječe prakse upravljanja življenjskega cikla sredstev • Opredelite prednostna področja ukrepanja
Korak 2: Analiza izvedljivosti	<ul style="list-style-type: none"> • Ocenite tehnično izvedljivost izbranih rešitev • Ocenite razpoložljivost podatkov in sistemske zahteve • Analizirajte ekonomsko izvedljivost in možne koristi • Prepoznajte regulativne omejitve
Korak 3: Zasnova rešitve	<ul style="list-style-type: none"> • Opredelite tehnični koncept in arhitekturo sistema • Izberite ustrezne tehnologije in partnerje • Pripravite izvedbeni načrt in časovnico • Opredelite kazalnike uspešnosti
Korak 4: Izvedba	<ul style="list-style-type: none"> • Uvedite rešitev v nadzorovanem pilotnem okolju • Spremljajte uspešnost in zbirajte podatke • Vključite operativno osebje in deležnike • Prilagodite sistem na podlagi povratnih informacij
Korak 5: Vrednotenje in optimizacija	<ul style="list-style-type: none"> • Analizirajte rezultate pilotnega projekta in podatke o uspešnosti • Prepoznajte izboljšave in potencial za optimizacijo • Potrdite ekonomske in operativne koristi
Korak 6: Širjenje in prenos	<ul style="list-style-type: none"> • Razvijte strategijo širjenja znotraj organizacije • Prilagodite rešitev drugim kontekstom ali lokacijam • Delite znanje in pridobljene izkušnje • Vključite rešitev v standardno delovanje

Tabela 9: Postopni kontrolni seznam za izvedbo.

5.3. Pogosta tveganja in ukrepi za njihovo zmanjšanje

Uvajanje rešitev krožnega gospodarstva v sisteme javnega potniškega prometa prinaša vrsto pogostih tveganj, povezanih s podatki, tehnologijo, organizacijskimi zmogljivostmi in regulativnimi pogoji.

Eden ključnih izzivov je razpoložljivost in kakovost podatkov, saj lahko nepopolni ali nedosledni podatki omejijo učinkovitost digitalnih orodij ter odločanja na podlagi dokazov. Zato je potrebna zgodnja ocena razpoložljivosti podatkov, skupaj s postopki validacije in vzpostavitvijo zanesljivih procesov upravljanja podatkov.

Na izvedbo lahko vplivajo tudi tehnične nezdržljivosti z obstoječo infrastrukturo in podedovanimi sistemi. Te izzive je mogoče obvladati z modularnimi in prilagodljivimi zasnovami sistemov, ki omogočajo postopno vključevanje v obstoječa okolja brez obsežnih sistemskih sprememb.

Regulativne zahteve in postopki odobritve lahko vplivajo na časovnico izvedbe, zlasti pri inovativnih ali varnostno kritičnih rešitvah. Zato je zgodnje vključevanje regulatornih organov pomembno za razjasnitev zahtev in zmanjšanje tveganja zamud.

Na izvedbo lahko dodatno vplivajo tudi omejene

organizacijske zmogljivosti, vključno z omejenim strokovnim znanjem ali viri. Ta tveganja je mogoče zmanjšati s krepitvijo zmogljivosti, ciljno usmerjenim usposabljanjem in zagotavljanjem ustreznih virov za podporo izvedbi in obratovanju.

Nenazadnje ima pri uspešni izvedbi ključno vlogo tudi vključevanje deležnikov. Omejeno vključevanje ali neusklajenost med deležniki lahko zavira napredek, medtem ko stalna komunikacija in zgodnje vključevanje podpirata usklajevanje, sprejetost in učinkovito izvedbo.

Tveganja	Ukrepi za zmanjšanje tveganj
Pomanjkanje podatkov ali slaba kakovost podatkov	Zgodnja ocena in validacija podatkov
Tehnična nezdržljivost	Modularna zasnova sistema
Regulativne zamude	Zgodnje vključevanje regulatorjev
Omejene organizacijske zmogljivosti	Krepitev zmogljivosti in usposabljanje
Nizka vključenost deležnikov	Stalna komunikacija z deležniki

5.4. Sklepi in pogled naprej

Priročnik CE4CE prikazuje, kako je mogoče načela krožnega gospodarstva prenesti v praktične uporabe v sistemih javnega prevoza. S pilotnimi aktivnostmi, izvedenimi v različnih obratovalnih okoljih, je projekt ustvaril dragocene izkušnje o tem, kako ohranjati vrednost, zmanjševati odpadke in izboljšati učinkovito rabo virov pri infrastrukturi, vozilih in energetskih sistemih.

Rešitve, predstavljene v tem priročniku, temeljijo na teh izkušnjah in zagotavljajo strukturirane, prenosljive pristope, ki lahko podprejo organe in operaterje javnega prevoza pri uvajanju krožnih praks. Skupaj z

medsektorskimi pridobljenimi izkušnjami ponujajo strateško usmeritev in praktične smernice za prehod z linearne na krožno upravljanje sredstev.

Kontrolni seznam, predstavljen v tem poglavju, ponuja strukturiran pristop, ki ga je mogoče prilagoditi različnim kontekstom javnega prevoza in krožnim rešitvam. Nadaljnja izmenjava znanja, sodelovanje deležnikov in dodatni razvoj krožnih poslovnih modelov bodo ključni za širjenje teh pristopov in podporo prehodu na trajnostne in krožne sisteme javnega prevoza.

6. Viri

Rezultati projekta CE4CE:

- D.1.1.3 Kompas krožnosti javnega prevoza - povzetek rezultatov z usmeritvami za uvedbo.
- D.1.2.2 Poročilo o izvedbi, preizkušanju, vrednotenju in strokovnem medsebojnem pregledu platforme CE4CE za krožnost javnega prevoza.
- D.3.1.1 Poročilo o skupnih zahtevah, pripravi, izvedbi in vrednotenju pilotnih projektov: napovedno vzdrževanje v Leipzigu in Bergamu ter simulacija e-koridorja v Gdynii.
- D.3.1.2 Poročilo o razvoju skupnih digitalnih rešitev za omogočanje in pospeševanje krožnosti v javnem prevozu.
- D.3.2.1 Poročilo o skupnih zahtevah in načrtu za pripravo, izvedbo in vrednotenje pilotnih projektov: ponovna uporaba trolejbusnih kretnic v Szegedu in ponovna uporaba rabljenih baterij v Mariboru.
- D.3.2.2 Poročilo o razvoju rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri infrastrukturi javnega prevoza.
- D.3.3.1 Poročilo o skupnih zahtevah in načrtu za pripravo, izvedbo in vrednotenje pilotnih projektov.
- D.3.3.2 Poročilo za spodbujanje uvajanja rešitev za ohranjanje vrednosti in zmanjšanje odpadkov pri vozilih in voznem parku.

Informativni listi o rezultatih projekta CE4CE:

- O1.1 CE4CE Kompas krožnosti javnega prevoza.
- O1.2 CE4CE Platforma znanja za krožnost javnega prevoza.
- O3.1 Digitalna optimizacija infrastrukture in vozil z napovednim vzdrževanjem.
- O3.2 Moduli za napovedno vzdrževanje infrastrukture in voznega parka.
- O3.3 Simulacija e-koridorja in energetskih tokov za simulacijo krožnih scenarijev širitve elektrifikacije.
- O3.4 Orodje za krožno poslovno načrtovanje elektrificiranih voznih parkov in infrastrukture javnega prevoza.
- O3.5 Prikaz izvedljivosti ponovne uporabe trolejbusnih kretnic.
- O3.6 Opredelitev meril za uvedbo ponovne uporabe trolejbusnih kretnic.
- O3.7 Analiza uporabe rabljenih baterij za shranjevanje obnovljive energije za napajanje hitre polnilnice kot primer strateške usmeritve h krožnosti.
- O3.8 Razvoj prenosljivih poslovnih modelov za ponovno uporabo baterij za shranjevanje obnovljive energije v sistemih javnega prevoza.
- O3.9 Zasnova krmilnih enot tramvaja v okviru ponovne izdelave tramvajev.
- O3.10 Spletni trg rabljenih delov in izdelkov ter platforma za povezovanje in izmenjavo informacij.



Scan me for the project website

Copyright: Szeged Transport Company

Projekt CE4CE (Infrastruktura javnega potniškega prometa v Srednji Evropi - spodbujanje prehoda v krožno gospodarstvo) krepi sistemsko razmišljanje o krožnem gospodarstvu med deležniki javnega potniškega prometa v Srednji Evropi, da bi zmanjšali odpadke in ustvarjali vrednost v novih življenjskih ciklih infrastrukture in voznih sredstev.

KONTAKTIRAJTE NAS

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ podjetje za javni potniški promet v Leipzigu

Koordinator projekta: g. Stefan Röhl

E-pošta: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Projektna spletna stran: <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/>

