

ROZVOJ CIRKULÁRNEJ VEREJNEJ DOPRAVY

Pilotné skúsenosti a riešenia v oblasti
obehového hospodárstva pre
prevádzkovateľov verejnej dopravy



Interreg
CENTRAL EUROPE



Co-funded by
the European Union

CE4CE

Impressum

Projekt

CE0100250 CE4CE - Infraštruktúra verejnej dopravy v strednej Európe - uľahčenie prechodu na obehové hospodárstvo

Kontakt

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB GmbH/ Leipzig Public Transport Company),

Adresa: Georgiring 3, 04103 Lipsko, Nemecko

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

E-mail: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Financované z

Program Interreg Central Europe

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

Autori

Danijel Hojski, Marjan Lep, Vlasta Rodošek (University of Maribor, Slovinsko)

Prispievatelia

Stefan Röhl, Conrad Jentzsch (Leipzig Public Transport Company, Nemecko), Jan Röhl (Kruch Railways, Rakúsko), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Taliansko), Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale srl, Taliansko), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Poľsko), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (University of Gdańsk, Poľsko), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Maďarsko), Mitja Klemencic (mesto Maribor), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (združenie trolley:motion, Rakúsko), Laura López, Ana-Maria Baston (Rupprecht Consult, Nemecko), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Maďarsko)

Grafická úprava a dizajn

Danaja Dvornik (@_studio_kai)

Dátum vydania

apríl 2026

Autorské práva

Táto publikácia je chránená autorskými právami projektového konzorcia CE4CE, ktoré vedie spoločnosť Leipzig Public Transport Company. Všetky obrázky a textové prvky v tejto publikácii, pri ktorých je uvedený zdroj, sú majetkom uvedených organizácií alebo osôb.

O projekte CE4CE

Projekt CE4CE podporuje systémové myslenie v oblasti obehového hospodárstva u aktérov verejnej dopravy v krajinách strednej Európy s cieľom znížiť množstvo odpadu a vytvárať hodnotu v rámci nových životných cyklov infraštruktúry a vozového parku. Za týmto účelom CE4CE spoločne vyvíja riešenia, ktoré zvyšujú poznatky a kapacity v tomto sektore, pomáhajú znížiť prekážky a náklady a iniciujú rozvoj nových služieb a kvalifikovaných pracovných miest, ako aj stratégií a akčných plánov, ktoré zlepšujú tvorbu politík, vzdelávanie a výmenu skúseností na regionálnej a nadnárodnej úrovni.

Cieľom projektu CE4CE je zaviesť princípy obehového hospodárstva do sektora verejnej dopravy, a tým znížiť množstvo odpadu, zvýšiť efektívnosť v tomto sektore a znížiť ekologickú stopu verejnej dopravy.



Obrázok 1: Partneri projektu CE4CE počas spoločnej diskusie o riešeníach a akčných plánoch v roku 2025. Zdroj: Konzorcium CE4CE.

Obsah

1. Úvod	6
2. Štruktúra pilotných aktivít a riešení CE4CE	6
2.1. Prepojenie aktivít CE4CE s rámcom životného cyklu AETE	7
3. Pilotné aktivity a riešenia CE4CE	10
3.1. Aktivita A.1: Vývoj nástroja CE4CE Circularity Compass a znalostnej platformy pre verejnú dopravu	11
3.1.1. Pilotná aktivita P.1: Circularity Compass pre verejnú dopravu	11
3.1.2. Riešenie S.1: Znalostná platforma pre cirkulárnu verejnú dopravu	13
3.1.3. Riešenie S.2: Online trh s použitými komponentmi a nástroj na prepájanie ponuky a dopytu	15
3.2. Aktivita A.2: Vývoj spoločných digitálnych riešení na umožnenie a urýchlenie cirkularity vo verejnej doprave	16
3.2.1. Pilotná aktivita P.2: Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby (Lipsko, Nemecko) ...	16
3.2.2. Pilotná aktivita P.3: Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby (Bergamo, Taliansko) ..	18
3.2.3. Riešenie S.3: Moduly pre prediktívnu údržbu infraštruktúry a vozidlového parku	20
3.2.4. Pilotná aktivita P.4: Simulácia elektrifikovaných koridorov verejnej dopavy a tokov energie (Gdyňa, Poľsko)	22
3.2.5. Riešenie S.4: Nástroj na cirkulárne obchodné plánovanie pre elektrifikované flotily a infraštruktúru verejnej dopavy	24
3.3. Aktivita A.3: Vývoj riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopavy	25
3.3.1. Pilotná aktivita P.5: Opätovné použitie trolejbusových výhybiek (Segedín, Maďarsko)	25
3.3.2. Riešenie S.5: Vymedzenie kritérií pre opätovné použitie trolejbusových výhybiek	27
3.3.3. Pilotná aktivita P.6: Využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie pre rýchlonabíjanie napájané obnoviteľnou energiou (Maribor, Slovinsko)	27
3.3.4. Riešenie S.6: Aplikovateľné obchodné modely pre využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle	29
3.4. Aktivita A.4: Uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku	30
Pilotná aktivita P.7: Repasovanie a redizajn riadiacich jednotiek električiek na umožnenie opätovného použitia komponentov (Segedín, Maďarsko)	30
4. Získané poznatky	33
5. Implementačný kontrolný zoznam a kľúčové aspekty	35
5.1. Kľúčové aspekty úspešnej implementácie	35
5.2. Implementačný kontrolný zoznam	35
5.3. Spoločné riziká a opatrenia na ich zmiernenie	37
5.4. Závery a perspektívy	37
6. Referencie	38

Zoznam skratiek

Skratka	Definícia
AETE	Avoid - Extend - Transform - Enable / vyhnúť sa - predĺžiť - transformovať - umožniť
BESS	systemy na skladovanie energie v batériách
CAN-BUS	zbernica CAN
CE4CE	obehové hospodárstvo pre strednú Európu
DC	jednosmerný prúd
EFS	simulácia toku energie
GNSS	globálny navigačný satelitný systém
IMC	nabíjanie počas jazdy
KPI	klúčový ukazovateľ výkonnosti
PV	fotovoltaika
RES	obnoviteľné zdroje energie

Zoznam skratiek partnerov

Skratka	Definícia
LVB	Leipziger Verkehrsbetriebe, Nemecko
KRUCH	KRUCH Railway Innovations, Rakúsko
TM	trolley:motion, Rakúsko
ATB	Azienda Trasporti Bergamo, Taliansko
REDMINT	Redmint Impresa Sociale, Taliansko
SZKT	Szeged Transport Company, Maďarsko
MOBILISSIMUS	Mobilissimus, Maďarsko
PKA	Public Transport Bus Operator in Gdynia, Poľsko
MOM	Municipality of Maribor, Slovinsko
UG	University of Gdańsk, Poľsko
UM	University of Maribor, Slovinsko
RUPPRECHT	Rupprecht Consult (konzultant spoločnosti LVB), Nemecko

Zhrnutie

Projekt CE4CE podporuje prechod na postupy obehového hospodárstva v systémoch verejnej dopravy v strednej Európe tým, že premieňa princípy obehového hospodárstva na praktické pilotné aktivity a aplikovateľné riešenia zamerané na životné cykly infraštruktúry a vozového parku. Prostredníctvom experimentovania v reálnych podmienkach a vývoja riešení CE4CE prispieva k zníženiu množstva odpadu, zachovávaní hodnoty a vytváraniu nových obehových hodnotových reťazcov vo verejnej doprave.

V rámci projektu orgány verejnej dopravy, prevádzkovatelia a ďalší zainteresovaní aktéri, spoločne vyvíjali a testovali pilotné aktivity a riešenia, ktoré zvyšujú odborné znalosti a kapacity v sektore, pomáhajú znižovať prekážky a náklady pri implementácii a umožňujú rozvoj nových služieb, zručností a obehových obchodných modelov. CE4CE sa zameriava na konkrétne aplikácie v reálnych prevádzkových podmienkach a tým podporuje vyššiu efektívnosť využívania zdrojov, znižovanie environmentálnych vplyvov a dlhodobú udržateľnosť systémov verejnej dopravy.

Pilotné projekty a riešenia predstavené v tejto príručke vychádzajú z procesov spolupráce, pilotného testovania a partnerského hodnotenia. Predstavujú obehové postupy, ako sú predĺžovanie životnosti, opätovné použitie, zmena účelu využitia a repasovanie aktív, ako aj podporné mechanizmy vrátane digitálnych nástrojov, platforiem a obchodných modelov, ktoré podporujú ich zavádzanie naprieč sektorom verejnej dopravy.

Projekt CE4CE realizovalo nadnárodné partnerstvo, ktoré odráža perspektívu celého hodnotového reťazca a systémový prístup. Zahŕňalo orgány a prevádzkovateľov verejnej dopravy, samosprávy, priemyselné a výskumné organizácie zo šiestich krajín strednej Európy. Účast' pridružených partnerov a medzinárodných sietí ďalej podporila komunikáciu, výmenu poznatkov a všeobecnejšie presadzovanie výsledkov projektu.

Táto príručka dokumentuje a šíri kľúčové pilotné aktivity a riešenia vyvinuté v rámci projektu CE4CE a poskytuje praktické poznatky a usmernenia pre zainteresovaných aktérov, ktorí sa usilujú uplatňovať princípy obehového hospodárstva v kontexte verejnej dopravy.

Príručka má nasledujúcu štruktúru:

Kapitola 2

predstavuje koncepčný a metodický rámec prístupu CE4CE vrátane modelu AETE a jeho významu pre implementáciu obehového hospodárstva v sektore verejnej dopravy.

Kapitola 3

predstavuje pilotné aktivity CE4CE spolu s príslušnými riešeniami a poukazuje na to, ako boli praktické skúsenosti pretavené do aplikovateľných výstupov zameraných na ich zavádzanie.

Kapitola 4

sumarizuje kľúčové poznatky získané zo všetkých pilotných aktivít a riešení, pričom identifikuje spoločné faktory úspechu, výzvy a dôsledky pre replikáciu.

Kapitola 5

poskytuje usmernenia k implementácii vrátane praktických krokov, kľúčových aspektov a rizikových faktorov pri zavádzaní riešení CE4CE a na záver prináša výhľad na ich budúce využitie a škálovateľnosť.



Obrázok 2: Konzorcium CE4CE na záverečnom stretnutí projektového tímu v Maribore, marec 2026. Autorské práva: University of Maribor.

1. Úvod

Hlavný cieľ projektu CE4CE

Hlavným cieľom projektu CE4CE je umožniť orgánom a prevádzkovateľom verejnej dopravy prejsť od lineárnych prístupov k správe aktív k obehovým modelom orientovaným na životný cyklus. Riešením technických, organizačných a trhových prekážok CE4CE podporuje zachovávanie hodnoty, znižovanie množstva odpadu a efektívnejšie využívanie zdrojov v oblasti infraštruktúry verejnej dopravy, vozidiel a súvisiacich aktív.

Na dosiahnutie tohto cieľa CE4CE kombinuje pilotnú implementáciu s vývojom riešení zameraných na ich zavádzanie, ktoré možno prenášať a prispôbovať aj mimo projektového partnerstva.

Projektové partnerstvo

Projekt CE4CE realizuje nadnárodné partnerstvo, ktoré spája orgány a prevádzkovateľov verejnej dopravy, samosprávy, výskumné inštitúcie a poskytovateľov riešení z viacerých krajín strednej Európy. Táto

rozmanitosť umožňuje testovanie a vývoj prístupov obehového hospodárstva v rôznych prevádzkových, organizačných a regulačných kontextoch a zároveň podporuje vzájomné učenie sa a výmenu skúseností medzi regiónmi.

Rozsah tejto príručky

Cieľom tejto príručky je zdokumentovať, štruktúrovať a predstaviť pilotné aktivity a riešenia vyvinuté v rámci projektu CE4CE. Zameriava sa na to, ako boli princípy obehového hospodárstva testované v praxi a ako môžu výsledné riešenia podporiť ich zavádzanie v organizáciách verejnej dopravy.

Príručka je určená ako praktický referenčný dokument pre orgány verejnej dopravy, prevádzkovateľov, tvorcov politik a ďalších zainteresovaných aktérov, ktorí majú záujem o implementáciu prístupov obehového hospodárstva. Poskytuje štruktúrované opisy pilotných aktivít a riešení, poukazuje na získané poznatky a podporuje aplikovateľnosť a replikáciu v iných kontextoch.

2. Štruktúra pilotných aktivít a riešení CE4CE

V rámci projektu CE4CE sú pilotné aktivity a riešenia organizované a prezentované v **troch tematických skupinách aktivít** definovaných v projekte. Tieto skupiny aktivít odrážajú špecifické oblasti výziev obehového hospodárstva vo verejnej doprave a poskytujú spoločný rámec, v ktorom boli projektové výstupy vyvíjané.

Každá skupina aktivít zahŕňa **pilotné aktivity aj im zodpovedajúce riešenia**. Pilotné aktivity sú realizované ako praktické opatrenia v reálnych prevádzkových podmienkach a slúžia na testovanie prístupov, získavanie empirických dôkazov a identifikáciu technických, organizačných a trhových výziev. Na základe skúseností, výsledkov a poznatkov získaných prostredníctvom pilotnej implementácie a spoločných vývojových procesov je **každá pilotná aktivita priamo prepojená s jedným zodpovedajúcim riešením**, ktoré združuje zistenia z pilotnej fázy do prenositeľného a na uplatnenie zameraného výstupu.

Štyri tematické oblasti tejto príručky sú:

- **A.1: Vývoj nástroja CE4CE Circularity Compass a znalostnej platformy pre verejnú dopravu**, vrátane štruktúrovaného rámca na posudzovanie cirkulárnosti, webovej znalostnej platformy a online trhu s použitými komponentami a sprostredkovateľského trhu, ktoré podporujú spoluprácu a zdieľanie informácií medzi aktérmi v rámci celého životného cyklu verejnej dopravy.

- **A.2: Vývoj spoločných digitálnych riešení na umožnenie a urýchlenie cirkulárnosti vo verejnej doprave** a pilotných aktivít zameraných na prediktívnu údržbu a simuláciu e-koridoru.

- **A.3: Vývoj riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopravy**, ktoré sa zameriavajú na opätovné použitie komponentov infraštruktúry a aplikácie druhého životného cyklu energetických aktív.

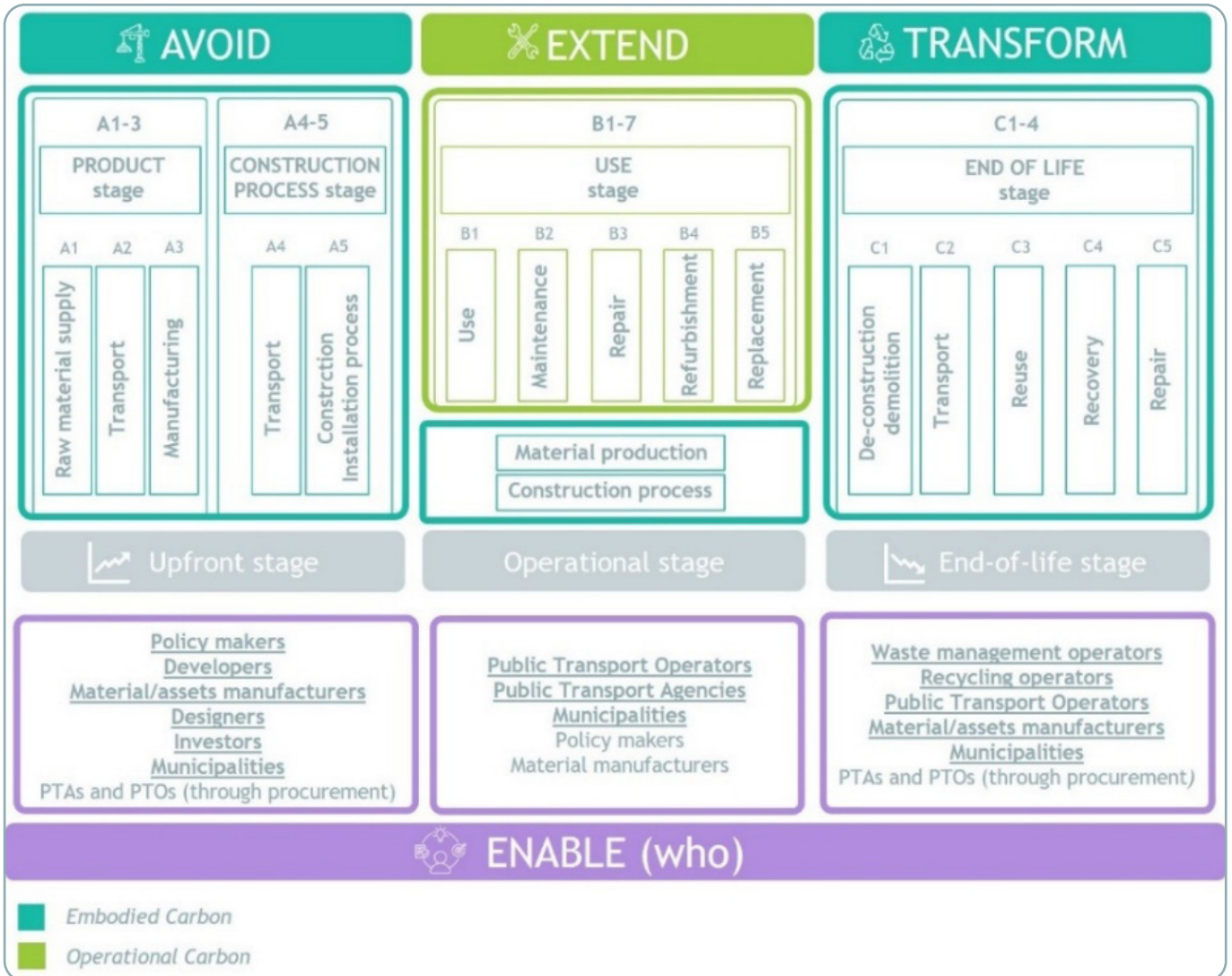
- **A.4: Uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku** so zameraním na repasovanie, opätovné použitie a trhovo orientované mechanizmy

Štruktúra založená na aktivitách umožňuje čitateľom jednoducho sa orientovať medzi pilotnými aktivitami a riešeniami v rámci tej istej tematickej oblasti a podporuje jasné pochopenie toho, ako výstupy CE4CE prispievajú k implementácii princípov obehového hospodárstva v rôznych segmentoch systémov verejnej dopravy.

2.1. Prepojenie aktivít CE4CE s rámcom životného cyklu AETE

Aktivity CE4CE a s nimi spojené pilotné aktivity a riešenia sú zosúladené s rámcom životného cyklu **AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE)** na zavádzanie obehového hospodárstva vo verejnej doprave. Tento rámec podporuje systematickú identifikáciu toho, kde a ako možno vytvárať alebo zachovávať obehovú hodnotu v rôznych fázach životného cyklu aktivít verejnej dopravy.

Každá aktivita CE4CE sa primárne zameriava na konkrétne akčné oblasti AETE a zároveň prispieva k vytváraniu podporných podmienok v rámci celého systému. Pilotné aktivity realizované v rámci jednotlivých aktivít preto uvádzajú princípy obehového hospodárstva do praxe tým, že sa zameriavajú na konkrétne fázy životného cyklu, ako sú používanie, údržba, opätovné použitie, renovácia alebo zmena účelu využitia.



Obrázok 3: Upravený životný cyklus infraštruktúry verejnej dopravy vychádzajúci z normy EN 15978.

A.1: Vývoj nástroja CE4CE Circularity Compass a znalostnej platformy pre verejnú dopravu

Táto aktivita sa primárne zameriava na dimenziu **ENABLE** rámca AETE. Vývojom a testovaním nástroja CE4CE Circularity Compass a súvisiacej znalostnej platformy vytvára systémové a organizačné predpoklady potrebné na zavádzanie obehového hospodárstva vo verejnej doprave.

Pilotná aktivita Circularity Compass podporuje dimenziu **ENABLE** tým, že poskytuje štruktúrovanú **metodiku hodnotenia** na identifikáciu nedostatkov v oblasti cirkularity a navrhovanie nových hodnotových reťazcov orientovaných na životný cyklus. Uľahčuje strategickú reflexiu, zapojenie zainteresovaných aktérov a informované rozhodovanie.

Znalostná platforma a online trh s použitými komponentmi a na prepájanie ponuky a dopytu ďalej posilňujú podmienky dimenzie **ENABLE** tým, že podporujú výmenu poznatkov, zdieľanie informácií a spoluprácu medzi aktérmi životného cyklu. Platforma na prepájanie ponuky a dopytu zároveň nepriamo podporuje dimenziu **EXTEND, opätovné použitie a repasovanie** tým, že umožňuje trhové mechanizmy pre komponenty s druhým životným cyklom a renovované aktíva.

Táto aktivita preto poskytuje horizontálny základ, na ktorom sú postavené technickejšie orientované pilotné aktivity a riešenia.

A.2: Digitálne riešenia na umožnenie a urýchlenie cirkulárnosti vo verejnej doprave

Táto aktivita sa primárne zameriava na dimenziu **ENABLE** rámca AETE. Prostredníctvom digitálnych nástrojov pre prediktívnu údržbu, simuláciu a obchodné plánovanie vytvára podmienky potrebné na podporu aktivít **AVOID** a **EXTEND** v rámci životných cyklov infraštruktúry a vozidlového parku. Pilotné aktivity zamerané na prediktívnu údržbu prispievajú najmä k dimenzii **EXTEND - fázam údržby a opráv** tým, že umožňujú včasný zásah, znižujú poruchovosť a predlžujú životnosť aktív. Simulácia e-koridorov a tokov energie podporuje dimenziu **AVOID** tým, že poskytuje podklady pre lepšie plánovacie rozhodnutia a pomáha predchádzať nadmernému dimenzovaniu aktív.

A.3: Riešenia na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopravy

Táto aktivita je umiestnená najmä v rámci dimenzií **EXTEND** a **TRANSFORM** rámca AETE. Pilotné aktivity zamerané na opätovné použitie trolejbusových výhybiek priamo riešia dimenziu **EXTEND - opätovné použitie**, pričom zachovávajú vložené materiály a energiu tým, že infraštruktúrne komponenty zostávajú v prevádzke aj po skončení ich prvej fázy používania. Pilotná aktivita realizovaná v Maribore, ktorá analyzuje využitie použitých batérií na napájanie rýchlonabíjacích staníc, rieši dimenziu **EXTEND - zmena účelu využitia**, keďže batérie sú presunuté zo svojej pôvodnej trakčnej funkcie na nové využitie ako stacionárne úložisko energie. Táto aktivita zároveň prispieva k dimenzii **TRANSFORM**, keďže pripravuje pôdu pre nové hodnotové reťazce životného cyklu a stratégie riadenia aktív po skončení ich prvého životného cyklu.

A.4: Uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku

Táto aktivita sa primárne zameriava na dimenziu **EXTEND - renovácia a opätovné použitie**, ako aj na dimenziu **ENABLE**. Pilotná aktivita zameraná na repasovanie riadiacej jednotky električky sa sústreďuje na predĺženie funkčnej životnosti komponentov vozidiel prostredníctvom redizajnu a renovácie. Súvisiace riešenie, online platforma s použitými komponentmi a na prepájanie ponuky a dopytu, posilňuje podmienky dimenzie **ENABLE** tým, že podporuje zdieľanie informácií, vytváranie trhu a spoluprácu medzi aktérmi životného cyklu, čo predstavuje predpoklady pre škálovateľné postupy opätovného použitia a repasovania.

Celkovo aktivity CE4CE ukazujú, ako sa rôzne akčné oblasti **AETE** riešia **komplementárnym spôsobom** naprieč systémami verejnej dopravy. Hoci sa jednotlivé pilotné aktivity môžu zameriavať na konkrétne fázy, ako sú údržba, opätovné použitie alebo zmena účelu využitia, ich spoločný účinok prispieva k systémovému prechodu od lineárnej správy aktív k obehovým systémom verejnej dopravy orientovaným na životný cyklus.

Prehľad tematických skupín aktivít a zodpovedajúcich dvojíc pilotná aktivita - riešenie je uvedený v tabuľke 1, ktorá sumarizuje vzťahy medzi pilotnými aktivitami, riešeniami a zapojenými partnermi.

Aktivita	Pilotná aktivita	Riešenie	Typ riešenia	Primárna akčná oblasť AETE
A.1 Vývoj nástroja CE4CE Circularity Compass a znalostnej platformy pre verejnú dopravu	P.1 Circularity Compass pre verejnú dopravu -hodnotenie nedostatkov v oblasti cirkularity a navrhovanie nových hodnotových reťazcov na zvýšenie efektívnosti využívania zdrojov	S.1 Znalostná platforma CE4CE pre cirkulárnu verejnú dopravu	Digitálna platforma / znalostné centrum	ENABLE - systémové znalosti a spolupráca
		S.2 Online trh s použitými dielmi a produktmi a nástroj na prepájanie ponuky a dopytu a zdieľanie informácií	Digitálny trh / nástroj na prepájanie ponuky a dopytu	EXTEND - podpora opätovného použitia / repasovania
A.2 Vývoj spoločných digitálnych riešení na umožnenie a urýchlenie cirkularity vo verejnej doprave	P.2 & P.3 Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby	S.3 Moduly pre prediktívnu údržbu infraštruktúry a vozidlového parku	Monitorovací systém / digitálne riešenie	EXTEND - údržba / oprava
	P.4 Simulácia e-koridoru a tokov energie na simulovanie cirkulárnych scenárov rozširovania elektrifikácie, vrátane autobusového pruhu, elektrického napájania a nabíjania počas jazdy	S.4 Nástroj na cirkulárne obchodné plánovanie pre elektrifikované flotily a infraštruktúru verejnej dopravy	Plánovací nástroj / nástroj na podporu rozhodovania	AVOID - počiatočné plánovanie / optimalizácia systému
A.3 Vývoj riešení na zachovanie hodnoty a znížovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopravy	P.5 Preukázanie uskutočniteľnosti opätovného použitia trolejbusových výhybiek	S.5 Definovanie kritérií zavádzania pre opätovné použitie trolejbusových výhybiek	Metodika / rozhodovací rámec	EXTEND - opätovné použitie
	P.6 Analýza využitia použitých batérií na ukládanie energie z OZE na napájanie rýchlonabíjacej stanice ako príklad strategickej orientácie na cirkularitu	S.6 Prenositelné obchodné modely pre druhý životný cyklus trakčných batérií ako stacionárneho úložiska energie	Obchodný model / implementačný rámec	EXTEND - zmena účelu využitia
A.4 Uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znížovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku	P.7 Návrh riadiacich jednotiek električiek v rámci repasovania električiek	Podpora propagácie a škálovania prostredníctvom S.2 Online trhu s použitými dielmi a produktmi a nástroja na prepájanie ponuky a dopytu		EXTEND - renovácia / repasovanie

Tabuľka 1: Prehľad pilotných aktivít CE4CE a príslušných riešení podľa aktivít.

3. Pilotné aktivity a riešenia CE4CE

Pilotné aktivity predstavujú kľúčový implementačný prvok projektu CE4CE. Premietajú koncepty, metódy a nástroje obehového hospodárstva do konkrétnych aplikácií v reálnych prevádzkových podmienkach a umožňujú orgánom verejnej dopravy, prevádzkovateľom a ďalším zainteresovaným aktérom testovať prístupy, posudzovať uskutočniteľnosť a získavať praktické skúsenosti.

Pilotné aktivity realizované v rámci CE4CE plnia viaceré účely. Poskytujú empirické dôkazy o technických, organizačných a ekonomických dôsledkoch postupov obehového hospodárstva, podporujú vzájomné učenie sa medzi partnermi a znižujú neistoty súvisiace s implementáciou a zavádzaním. Pilotné aktivity zároveň fungujú ako prepojenie medzi strategickými cieľmi a vývojom riešení, keďže prinášajú poznatky a údaje potrebné na pretavenie pilotných skúseností do prenositeľných a škálovateľných riešení.

V rámci CE4CE sa **pilotné aktivity zameriavajú na súbor definovaných tematických oblastí**, ktoré odrážajú hlavné pákové body obehového hospodárstva riešené projektom naprieč životnými cyklami infraštruktúry verejnej dopravy a vozidlového parku:

- hodnotenie cirkulárnosti a návrh nových hodnotových reťazcov orientovaných na životný cyklus
- prediktívna údržba infraštruktúry verejnej dopravy a vozidlového parku
- digitálna simulácia elektrifikovaných koridorov verejnej dopravy a tokov energie
- opätovné použitie komponentov infraštruktúry verejnej dopravy
- využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie
- repasovanie a opätovné použitie komponentov vozidlového parku

Tieto tematické oblasti sa riešia prostredníctvom **siedmich pilotných aktivít**, ktoré realizujú orgány a prevádzkovatelia verejnej dopravy v rôznych mestách strednej Európy:

- Pilotná aktivita zameraná na **Circularity Compass pre verejnú dopravu**, koordinovaná združením trolley:motion s podporou spoločnosti Rupprecht Consult, vyvinula a otestovala štruktúrovaný hodnotiaci nástroj na identifikáciu nedostatkov v oblasti cirkularity a návrh nových hodnotových reťazcov s cieľom zvýšiť efektívnosť využívania zdrojov. Pilotná aktivita zahŕňala vývoj webového rozhrania a praktické uplatnenie v rámci projektového partnerstva.
- V **Lipsku** v Nemecku realizoval miestny

prevádzkovateľ verejnej dopravy LVB pilotnú aktivitu zameranú na **prediktívnu údržbu**, pri ktorej sa digitálne monitorovanie technického stavu aplikovalo na vybrané aktíva infraštruktúry a vozidlového parku s cieľom otestovať prístupy údržby založené na údajoch a podporiť predĺženie životnosti.

- V **Bergame** v Taliansku realizovala spoločnosť ATB podobnú **pilotnú aktivitu zameranú na prediktívnu údržbu** v odlišnom prevádzkovom kontexte, čo umožnilo porovnanie metódik, požiadaviek na údaje a organizačných podmienok medzi rôznymi sieťami.
- V **Gdyni** v Poľsku realizoval prevádzkovateľ verejnej dopravy PKA pilotnú aktivitu zameranú na **simuláciu elektrifikovaných koridorov verejnej dopravy** s cieľom analyzovať toky energie a posúdiť cirkulárne scenáre elektrifikácie vrátane nabíjania počas jazdy a elektrifikácie autobusových pruhov.
- V **Segedíne** v Maďarsku realizoval prevádzkovateľ verejnej dopravy SZKT pilotnú aktivitu, ktorá preukázala možnosti **opätovného použitia trolejbusových výhybiiek**, pričom sa zamerala na predĺženie životnosti intenzívne využívaných komponentov infraštruktúry a zníženie materiálového odpadu.
- V **Maribore** v Slovinsku mesto Maribor - MOM analyzovalo **využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle** ako stacionárneho úložiska energie na podporu infraštruktúry rýchlonabíjania napájanej obnoviteľnou energiou, pričom skúmalo technickú uskutočniteľnosť a aspekty integrácie.
- V **Segedíne** realizoval SZKT aj ďalšiu pilotnú aktivitu zameranú na **repasovanie a redizajn riadiacich jednotiek električiek** s cieľom predĺžiť životnosť komponentov a umožniť ich opätovné použitie prostredníctvom prispôbeného dizajnu a zdieľania informácií

Zatiaľ čo pilotné aktivity sa zameriavajú na testovanie a overovanie prístupov v reálnych prevádzkových prostrediach, riešenia predstavujú konsolidované výstupy zamerané na zavádzanie do praxe, ktoré boli vyvinuté na základe pilotnej implementácie a spoločnej analytickej práce.

Riešenia premieňajú pilotné skúsenosti na **štruktúrované nástroje, metodiky, kritériá a obchodné modely**, ktoré možno prenášať, replikovať a škálovať v iných kontextoch verejnej dopravy. Každé riešenie je prepojené s jednou alebo viacerými pilotnými aktivitami v rámci rovnakej tematickej oblasti a vychádza z empirických dôkazov, spätnej väzby zainteresovaných aktérov a procesov iteratívneho spresňovania.

Pri každej tematickej oblasti sú pilotné aktivity opísané spolu s príslušnými riešeniami, pričom sa zdôrazňuje cesta od testovania a overovania cez konsolidáciu až po prenos do praxe.

3.1. Aktivita A.1: Vývoj nástroja CE4CE Circularity Compass a znalostnej platformy pre verejnú dopravu

Hoci táto aktivita formálne nepatrí do pracovného balíka „Preukázanie toho, ako sa verejná doprava môže stať cirkulárnou“, nástroj Circularity Compass bol implementovaný a validovaný prostredníctvom testovacieho procesu podobného pilotnej aktivite. Nástroj bol vyvinutý a následne testovaný so zainteresovanými aktérmi verejnej dopravy prostredníctvom workshopov, prieskumov a validačných cvičení, do ktorých boli zapojení

prevádzkovatelia, orgány verejnej dopravy, výskumníci a zástupcovia priemyslu. Tieto aktivity umožnili praktické overenie metodiky a spresnenie nástroja na základe reálnej spätnej väzby z prevádzky. Circularity Compass preto predstavuje technický pilotný projekt a riešenie podporujúce prechod na cirkulárne systémy verejnej dopravy, aj keď je z organizačného hľadiska zaradený do metodického pracovného balíka projektu, a nie do demonštračného pracovného balíka.

3.1.1. Pilotná aktivita P.1: Circularity Compass pre verejnú dopravu

Stručný opis pilotnej aktivity

Pilotná aktivita Circularity Compass bola vyvinutá s cieľom riešiť kľúčovú výzvu pri prechode na cirkulárne systémy verejnej dopravy: nedostatok praktických nástrojov, ktoré organizáciám pomáhajú pochopiť, kde a ako možno princípy obehového hospodárstva začleniť do každodennej prevádzky a strategického plánovania.

Hoci sa o konceptoch obehového hospodárstva v sektore dopravy diskutuje čoraz častejšie, orgánom a prevádzkovateľom verejnej dopravy často chýbajú štruktúrované prístupy na premietnutie týchto princípov do konkrétnych opatrení. Circularity Compass preto poskytuje praktický orientačný nástroj, ktorý organizáciám pomáha posúdiť ich súčasné postupy v oblasti cirkularity a identifikovať príležitosti na zlepšenie naprieč systémom verejnej dopravy.

Cieľom pilotnej aktivity bolo vyvinúť a validovať metodiku, ktorá zainteresovaným aktérom verejnej dopravy umožňuje hodnotiť postupy obehového hospodárstva naprieč životným cyklom infraštruktúry, vozidiel a energetických systémov. Na rozdiel od infraštruktúrnych alebo technologických pilotných aktivít realizovaných v rámci CE4CE predstavuje Circularity Compass riešenie založené na poznatkoch, ktoré má umožniť cirkulárnu transformáciu prostredníctvom lepšieho pochopenia systému a rozhodovania.

Riešenie Circularity Compass

[Circularity Compass](#) je online [samohodnotiaci nástroj](#) dostupný prostredníctvom znalostnej platformy CE4CE. Poskytuje štruktúrovaný rámec, ktorý organizáciám verejnej dopravy umožňuje hodnotiť postupy obehového hospodárstva v rôznych komponentoch ich systémov.

Hodnotenie pokrýva štyri kľúčové oblasti systémov verejnej dopravy: flotily vrátane vozidiel a batérií, infraštruktúru, energetické systémy a riadenie, ktoré zahŕňa organizačné a podporné podmienky. Tým, že nástroj rieši tieto oblasti spoločne, odráža systémovú povahu cirkularity vo verejnej doprave.

Rámec vychádza z logiky cirkulárneho životného cyklu Avoid - Extend - Transform - Enable (AETE). V praxi to znamená, že organizácie sú vedené k tomu, aby premýšľali o tom, ako môžu znižovať spotrebu zdrojov prostredníctvom lepšieho plánovania a obstarávania, predlžovať životnosť aktív prostredníctvom údržby a renovácie, transformovať aktíva prostredníctvom opätovného použitia alebo zmeny účelu využitia a vytvárať organizačné podmienky potrebné na podporu cirkulárnej implementácie.

Jadrom nástroja je štruktúrovaný samohodnotiaci prieskum, ktorý pokrýva kľúčové fázy životného cyklu od výroby a obstarávania až po prevádzku, údržbu a riadenie na konci životnosti. Výsledky poskytujú jasný prehľad o súčasných postupoch v oblasti cirkularity a poukazujú na oblasti, v ktorých môžu organizácie ďalej rozvíjať cirkulárne stratégie a riešenia.

10 R-principles for circular public transport systems



Obrázok 4: Prispôsobenie princípov obehového hospodárstva 10R pre systémy verejnej dopravy.

Potrebné zdroje

Implementácia nástroja Circularity Compass si vyžaduje predovšetkým organizačné a analytické zdroje. Opiera sa o zapojenie zainteresovaných aktérov, odbornú facilitáciu a prístup k prevádzkovým poznatkom v rámci organizácií verejnej dopravy.

Testovacia fáza sa realizovala prostredníctvom workshopov, odborných konzultácií a samohodnotiacich prieskumov so zapojením prevádzkovateľov verejnej dopravy, orgánov verejnej dopravy a výskumníkov. Tento kolaboratívny proces zabezpečil, že nástroj odráža reálne prevádzkové podmienky a je použiteľný v rôznych organizačných kontextoch.

Očakávané výsledky/prínosy

Circularity Compass umožňuje organizáciám verejnej dopravy identifikovať nedostatky v oblasti cirkularity, posúdiť ich pripravenosť na zavádzanie obehového hospodárstva a preskúmať potenciálne oblasti zlepšenia naprieč životným cyklom verejnej dopravy.

Tým, že nástroj štruktúruje komplexné informácie do jasného hodnotiaceho rámca, podporuje zvyšovanie povedomia a strategické plánovanie. Pomáha organizáciám lepšie pochopiť, ako možno princípy obehového hospodárstva uplatňovať v praxi, najmä v oblastiach, ako sú riadenie infraštruktúry, prevádzka flotil a energetické systémy.

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

Obrázok 5: Rozhranie online samohodnotiaceho nástroja CE4CE Circularity Compass.

Škálovateľnosť a potenciál budúceho rozvoja

Circularity Compass poskytuje škálovateľný rámec podporujúci prechod na postupy obehového hospodárstva v sektore verejnej dopravy. Ako nástroj na zvyšovanie povedomia a samohodnotenie pomáha organizáciám identifikovať nedostatky v oblasti cirkularity a stanovovať priority opatrení týkajúcich sa infraštruktúry, flotil a energetických systémov.

Výsledky hodnotenia môžu slúžiť ako východiskový bod pre podrobnejšie analýzy, ako sú hodnotenia životného

cyklu, stratégie cirkulárneho obstarávania alebo plánovanie efektívnosti využívania zdrojov. Ďalší rozvoj a praktická relevantnosť nástroja zároveň vo veľkej miere závisia od aktívneho zapojenia zainteresovaných aktérov a priebežného prispievania sektorovými poznatkami a skúsenosťami.

Pri trvalom zapojení zainteresovaných aktérov sa Circularity Compass môže rozvinúť do širšej znalostnej a benchmarkingovej platformy podporujúcej cirkulárnu transformáciu systémov verejnej dopravy.

3.1.2. Riešenie S.1: Znalostná platforma pre cirkulárnu verejnú dopravu

Stručný opis riešenia

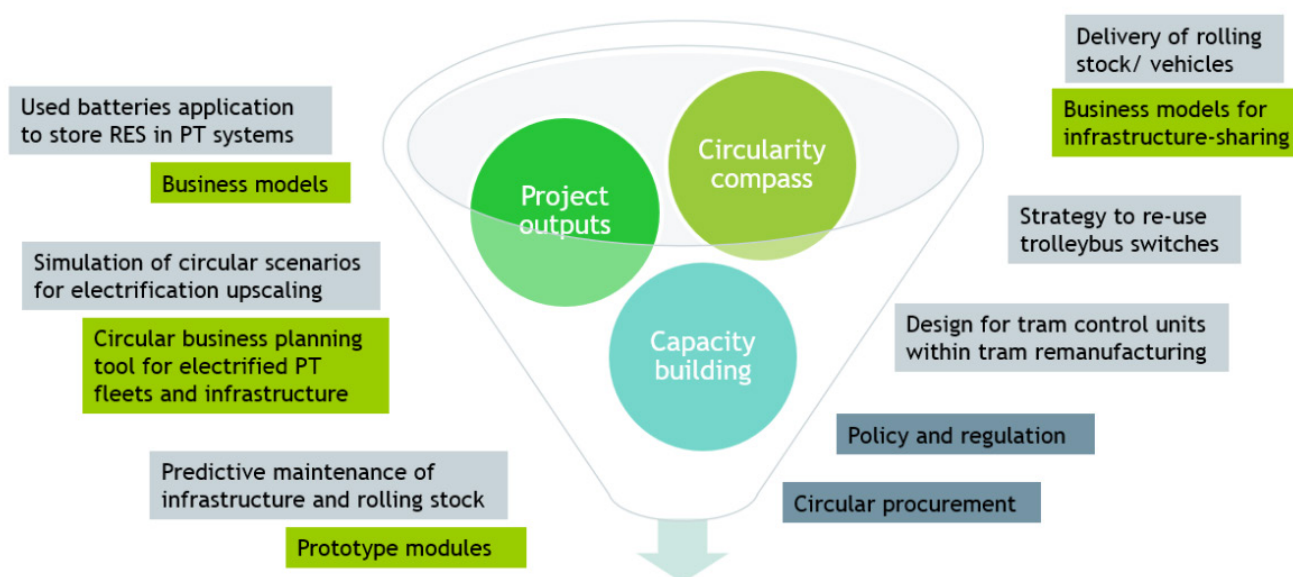
Znalostná platforma CE4CE predstavuje online znalostné centrum navrhnuté na podporu prechodu na postupy obehového hospodárstva v sektore verejnej dopravy. Poskytuje štruktúrované digitálne prostredie, v ktorom môžu zainteresovaní aktéri verejnej dopravy získať prístup k nástrojom, osvedčeným postupom, metodikám a vzdelávacím materiálom súvisiacim s cirkularitou v dopravných systémoch.

Platforma rieši kľúčovú výzvu identifikovanú počas projektu: poznatky týkajúce sa riešení pre cirkulárnu verejnú dopravu sú často roztrieštené a pre odborníkov z praxe ťažko dostupné. Centralizáciou relevantných zdrojov a ich prepojením s praktickými výsledkami projektu platforma podporuje budovanie kapacít, výmenu poznatkov a širšie zavádzanie cirkulárnych riešení.

Platforma je verejne dostupná na: <https://circularity4publictransport.eu/>

Ciele riešenia

Hlavným cieľom znalostnej platformy CE4CE je posilniť kapacity zainteresovaných aktérov verejnej dopravy pri implementácii princípov obehového hospodárstva. V praxi platforma funguje ako centralizovaný vstupný bod, prostredníctvom ktorého môžu používatelia získať prístup k nástrojom a zdrojom v oblasti obehového hospodárstva, preskúmať praktické príklady a otestované riešenia a lepšie pochopiť, ako riešiť identifikované nedostatky v oblasti cirkularity. Podporuje prenos poznatkov v rámci sektora a zároveň pomáha organizáciám orientovať sa v dostupných prístupoch a implementačných postupoch.



CE4CE knowledge platform matches new skills with knowledge

Obrázok 6: Konceptná štruktúra znalostnej platformy CE4CE prepájajúca cirkulárne riešenia, nástroje a budovanie kapacít.

Základný koncept riešenia

Znalostná platforma CE4CE bola vyvinutá súběžne s nástrojom **Circularity Compass**, ktorý slúži ako samohodnotiaci nástroj na hodnotenie postupov obehového hospodárstva v organizáciách verejnej dopravy.

Tieto dve riešenia sú koncepcne prepojené:

- **Circularity Compass** umožňuje organizáciám posúdiť ich výkonnosť v oblasti cirkularity a identifikovať oblasti na zlepšenie
- **znalostná platforma** poskytuje zdroje, nástroje a príklady, ktoré pomáhajú riešiť identifikované nedostatky

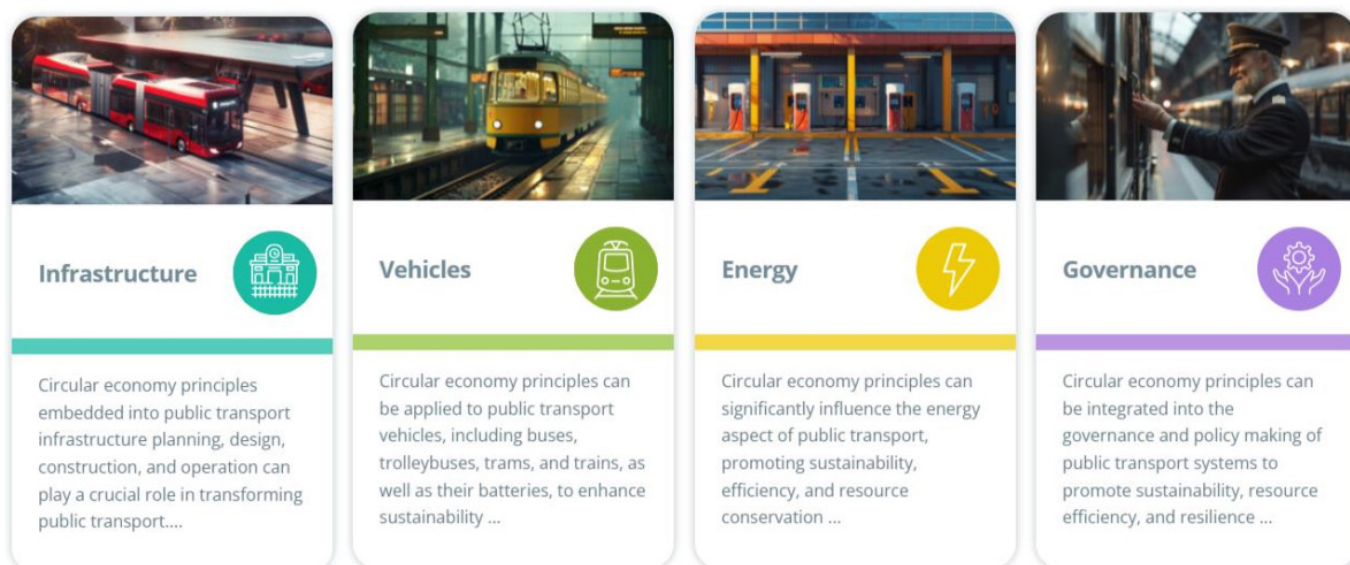
Týmto spôsobom platforma prepája **výsledky hodnotenia s praktickou podporou implementácie**.

Koncept platformy vychádza z **princípov obehového hospodárstva 10R**, ktoré sú prispôbené kontextu verejnej dopravy. Tieto princípy usmerňujú organizáciu znalostných zdrojov naprieč kľúčovými komponentmi systému verejnej dopravy, ako sú infraštruktúra, vozidlá, energetické systémy a riadenie

Znalostná platforma je štruktúrovaná do piatich hlavných komponentov:

1. **Mapa kompetencií** - identifikuje kľúčové zručnosti a znalosti potrebné na implementáciu princípov obehového hospodárstva vo verejnej doprave.
2. **Circularity Compass** - online samohodnotiaci prieskum, ktorý organizáciám umožňuje posúdiť ich stav v oblasti cirkularity.
3. **Osvedčené postupy** - súbor prípadových štúdií predstavujúcich cirkulárne riešenia v sektore.
4. **Znalostné centrum** - úložisko nástrojov, usmernení, správ a metodík podporujúcich cirkulárne plánovanie, prevádzku a údržbu.
5. **Matchmakingové fórum** - plánovaný digitálny trh umožňujúci výmenu náhradných dielov a vybavenia medzi organizáciami verejnej dopravy.

Prostredníctvom tejto štruktúry platforma prepája **hodnotenie cirkulárnosti, znalostné zdroje a praktické riešenia**, čím vytvára komplexné podporné prostredie pre organizácie implementujúce cirkulárne systémy verejnej dopravy.



Obrázok 7: Hlavné oblasti kompetencií znalostnej platformy CE4CE: infraštruktúra, vozidlá, energetika a riadenie.

Záver riešenia

Znalostná platforma CE4CE poskytuje štruktúrované a škálovateľné prostredie podporujúce prechod na cirkulárne systémy verejnej dopravy. Prepojením hodnotenia prostredníctvom nástroja **Circularity Compass**, znalostných zdrojov a praktických riešení umožňuje zainteresovaným aktérom prejsť od zvyšovania povedomia k implementácii. Jej dlhodobá hodnota závisí od priebežného rozvoja obsahu, zapojenia zainteresovaných aktérov a integrácie so sektorovými iniciatívami, čo jej umožní rozvinúť sa do centrálného referenčného bodu pre postupy obehového hospodárstva vo verejnej doprave.

3.1.3. Riešenie S.2: Online trh s použitými komponentmi a nástroj na prepájanie ponuky a dopytu

Stručný opis riešenia

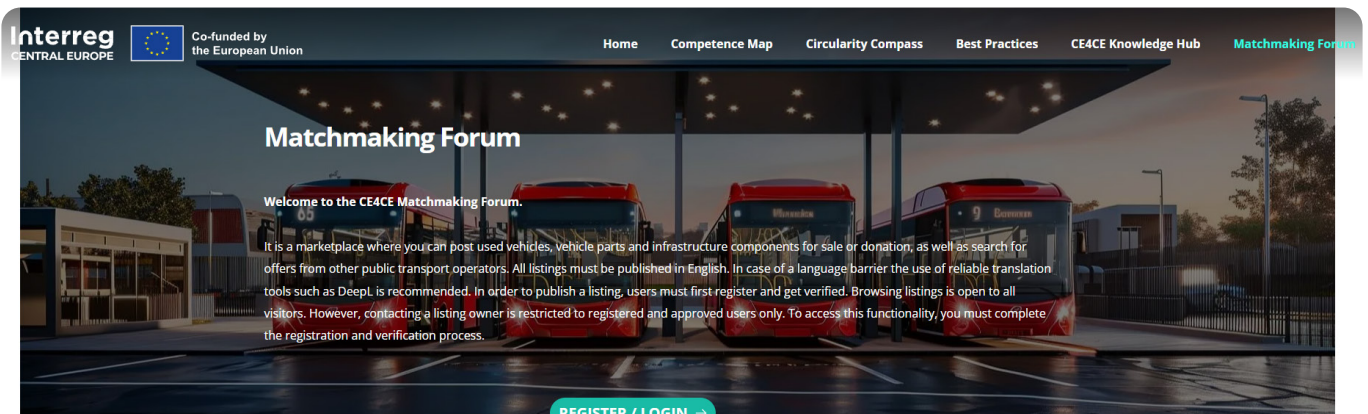
Riešenie zavádza digitálnu platformu na prepájanie ponuky a dopytu, ktorá zainteresovaným aktérom verejnej dopravy umožňuje vymieňať si informácie o použitých vozidlách, náhradných dieloch a komponentoch infraštruktúry a podporuje ich opätovné použitie a repasovanie.

Riešenie bolo vyvinuté ako funkčný modul znalostnej platformy CE4CE a dopĺňa jej úlohu v oblasti poznatkov

a budovania kapacít tým, že poskytuje praktický nástroj na identifikáciu a realizáciu cirkulárnych prípadov využitia. Rieši nedostatok štruktúrovaných mechanizmov výmeny v sektore, kde príležitosti na opätovné použitie často zostávajú nevyužitú z dôvodu obmedzenej viditeľnosti a roztrieštenej komunikácie.

Matchmakingové fórum je verejne dostupné na:

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



Obrázok 8: Používateľské rozhranie matchmakingového fóra CE4CE - vstupná stránka.

Ciele riešenia

Hlavným cieľom riešenia je umožniť štruktúrovanú výmenu použitých aktív naprieč sektorom verejnej dopravy a zvýšiť viditeľnosť opätovne použiteľných komponentov.

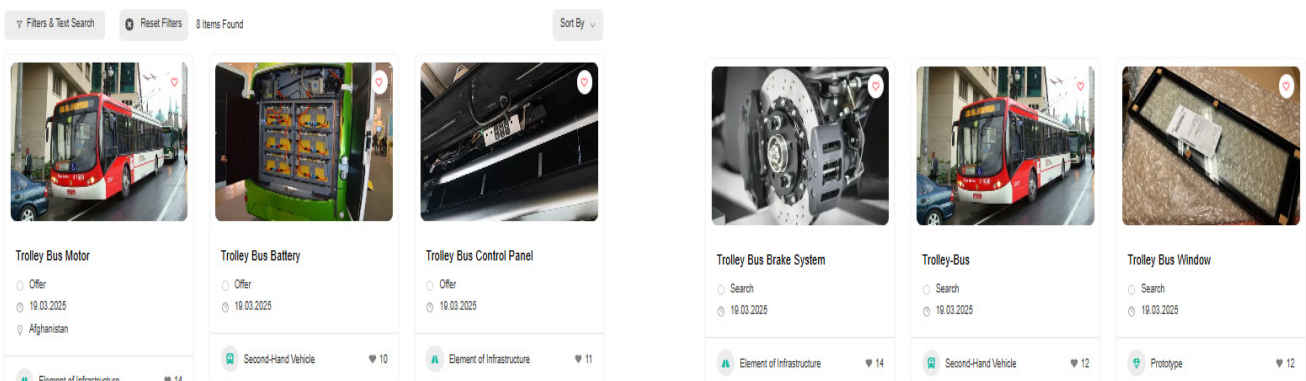
Zlepšením toku informácií a podporou prepojení medzi prevádzkovateľmi, orgánmi verejnej dopravy a dodávateľmi platforma prispieva k postupom opätovného použitia a repasovania, znižuje predčasné vyradovanie aktív a posilňuje spoluprácu v rámci sektora.

Základný koncept riešenia

Riešenie je založené na digitálnom matchmakingovom fóre, ktoré prepája ponuku a dopyt po použitých aktívach verejnej dopravy. Jeho fungovanie prebieha podľa jednoduchého procesu:

1. organizácie zverejňujú ponuky alebo dopyty týkajúce sa vozidiel, komponentov alebo prvkov infraštruktúry,
2. používatelia vyhľadávajú a filtrujú záznamy na základe relevantných kritérií,
3. zainteresované strany nadväzujú kontakt prostredníctvom platformy.

Platforma funguje ako nástroj na zdieľanie informácií a prepájanie ponuky a dopytu, nie ako transakčný systém. Tým, že znižuje informačné medzery a zvyšuje transparentnosť, vytvára podmienky na škálovanie postupov opätovného použitia a repasovania v rámci sektora.



Obrázok 9: Príklady záznamov v matchmakingovom fóre CE4CE pre použité vozidlá, komponenty a prvky infraštruktúry.

Záver riešenia

Matchmakingové fórum predstavuje praktický podporný nástroj, ktorý podporuje implementáciu obehového hospodárstva tým, že uľahčuje opätovné použitie a predlžuje životný cyklus aktív verejnej dopravy. Jeho účinnosť sa zvyšuje so širšou účasťou, keďže vyšší počet používateľov zlepšuje viditeľnosť a

možnosti prepájania ponuky a dopytu.

Pri pokračujúcom zapojení zainteresovaných aktérov a ďalšom rozvoji funkcionalít má platforma potenciál stať sa dôležitým mechanizmom na podporu cirkulárnych hodnotových reťazcov vo verejnej doprave.

3.2. Aktivita A.2: Vývoj spoločných digitálnych riešení na umožnenie a urýchlenie cirkularity vo verejnej doprave

Táto aktivita sa zameriava na využitie digitálnych nástrojov na podporu cirkulárneho riadenia infraštruktúry verejnej dopravy a vozidlového parku s ohľadom na efektívne využívanie zdrojov. Skúma, ako môžu monitorovanie a simulácia založené na údajoch zlepšiť postupy údržby, plánovanie infraštruktúry a prevádzkovú efektívnosť naprieč životným cyklom systému.

V rámci tejto aktivity boli realizované tri pilotné aktivity v Lipsku, Bergame a Gdyni. Pilotné aktivity v Lipsku a Bergame testujú prediktívnu údržbu

prostredníctvom digitálneho monitorovania technického stavu, zatiaľ čo pilotná aktivita v Gdyni využíva modelovanie digitálneho dvojčata a simuláciu tokov energie na podporu plánovania elektrifikovaných koridorov verejnej dopravy.

Výsledky a skúsenosti z týchto pilotných aktivít tvoria základ pre vývoj spoločného riešenia, ktoré poskytuje modulárne digitálne nástroje pre prediktívnu údržbu a cirkulárne plánovanie systémov verejnej dopravy a je predstavené v nasledujúcej časti.

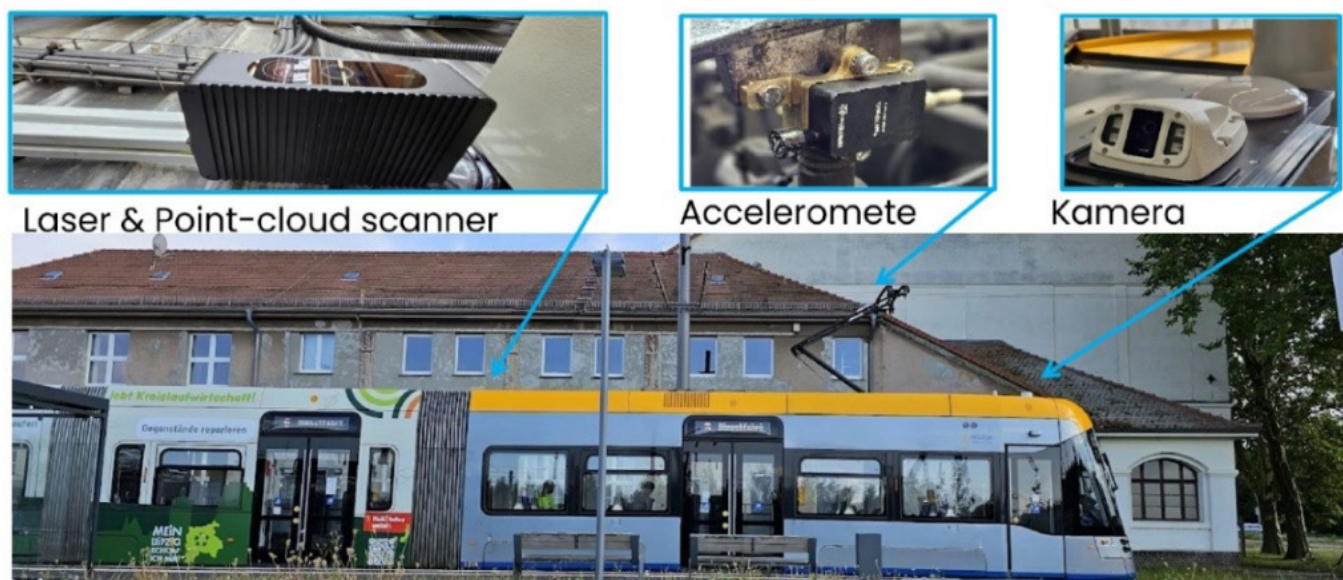
3.2.1. Pilotná aktivita P.2: Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby (Lipisko, Nemecko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita sa zameriava na implementáciu prístupov prediktívnej údržby pre infraštruktúru verejnej dopravy a vozidlový park prostredníctvom digitálneho monitorovania technického stavu. Pilotnú aktivitu realizuje spoločnosť Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) v Lipsku a jej cieľom je prejsť od reaktívnej a časovo plánovanej údržby k prediktívnej údržbe založenej na údajoch s cieľom predĺžiť životnosť aktív, znížiť počet neplánovaných

porúch a minimalizovať zásahy, ktoré sú náročné na zdroje.

Tri električkové vozidlá boli vybavené senzormi, kamerami a laserovými systémami na monitorovanie koľají a trolejového vedenia na 14 km dlhom úseku linky 1 počas bežnej prevádzky. Zhromaždené údaje sa analyzujú s cieľom odhaliť skoré známky opotrebovania a umožniť ciele údržbové zásahy, pričom sa skúmalo aj monitorovanie spotreby energie.

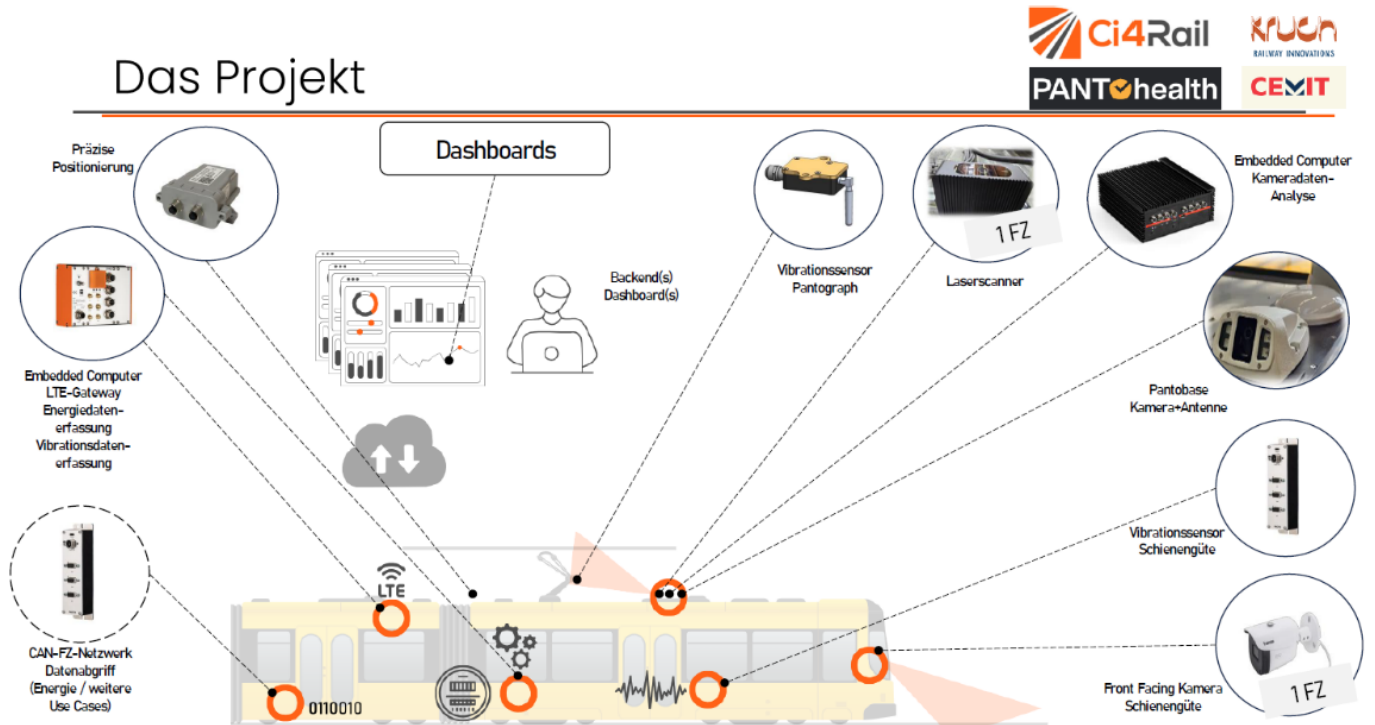


Obrázok 10: Časť nainštalovaného systému na monitorovanie vibrácií v električkách (PantoHealth).

Potrebné zdroje

Implementácia si vyžadovala senzorové systémy, infraštruktúru na spracovanie údajov a analytický softvér v kombinácii s koordináciou medzi prevádzkovateľom, poskytovateľmi technológií a

projektovými partnermi. Ďalej zahŕňala školenie zamestnancov, integráciu pracovných postupov a zabezpečenie súladu so železničnými normami a certifikačnými postupmi na nasadenie v reálnych prevádzkových podmienkach.



Obrázok 11: Prehľad konfigurácie monitorovania prediktívnej údržby implementovanej v rámci pilotného projektu v Lipsku

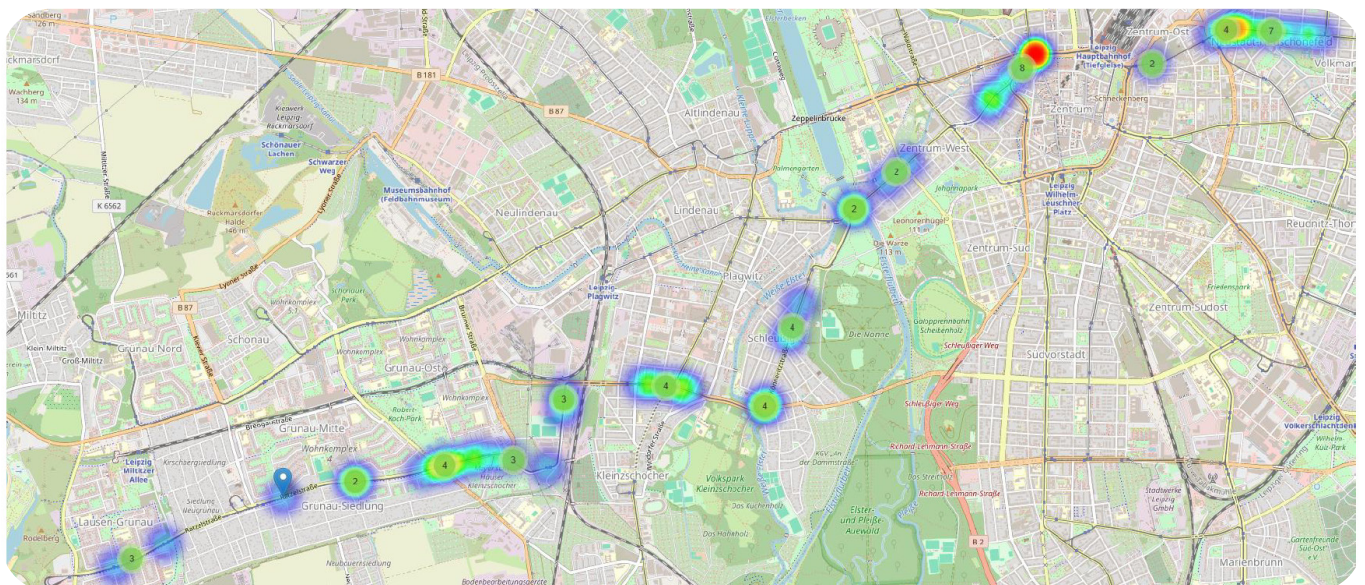
Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita potvrdila, že kontinuálne monitorovanie prostredníctvom vozidiel je v reálnych prevádzkových podmienkach uskutočniteľné a účinné (jún 2024 - február 2025), pričom umožňuje včasné odhaľovanie porúch infraštruktúry.

Identifikovaných bolo osem kritických bodov trolejového vedenia vrátane dvoch upravených sekčných izolátorov,

zatiaľ čo v oblasti koľajovej trate bolo zistených osem poruchových miest vrátane troch predtým nezistených zlomených koľajnic; desať lokalít bolo skontrolovaných a boli prijaté nápravné opatrenia.

Výsledky viedli k aktualizácii plánov údržby v úsekoch so zrýchleným zhoršovaním technického stavu a k zlepšeniu spoľahlivosti údajov prostredníctvom integrácie priameho rozhrania CAN-BUS na monitorovanie energie.



Obrázok 12: Tepelná mapa s poruchovými oblasťami koľajovej trate.

Zistené výzvy

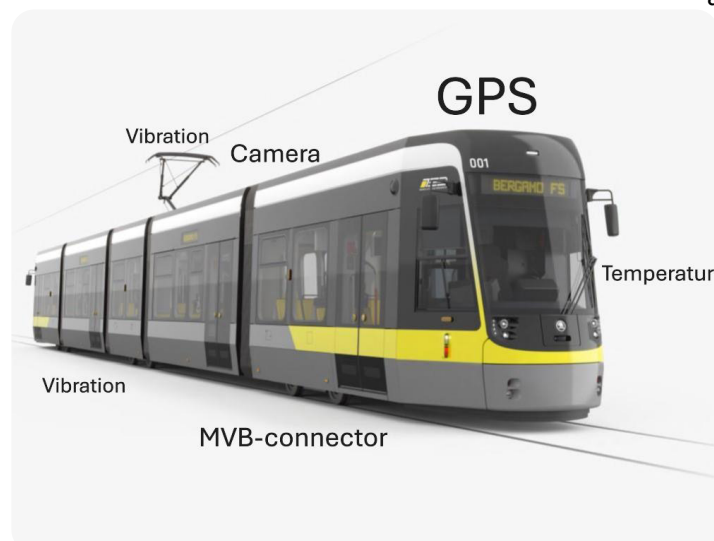
Počas implementácie sa vyskytlo niekoľko výziev. Patrili medzi ne integrácia nových senzorových systémov do existujúcich vozidiel, zabezpečenie kvality a spoľahlivosti údajov a riešenie obmedzení existujúcich systémov merania energie. Najmä nepresné historické údaje o energii si vyžiadali identifikáciu alternatívnych zdrojov údajov a integráciu dodatočných rozhraní na priamy prístup k údajom o energii vozidiel.

Prevádzkové výzvy súvisiace s inštaláciou počas prebiehajúcej prevádzky, koordináciou medzi viacerými poskytovateľmi služieb a potrebou splniť prísne železničné certifikačné požiadavky boli riešené prostredníctvom postupnej implementácie, úzkej koordinácie a iteratívneho testovania.

3.2.2. Pilotná aktivita P.3: Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby (Bergamo, Taliansko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita sa zameriava na prediktívnu údržbu električkovej infraštruktúry a vozidlového parku prostredníctvom digitálneho monitorovania technického stavu a simulačných nástrojov. Realizuje ju spoločnosť Azienda Trasporti Bergamo (ATB) v spolupráci so spoločnosťou KRUCH Railway Innovations a jej cieľom je zlepšiť spoľahlivosť infraštruktúry a optimalizovať využívanie energie v rámci siete.



Obrázok 13: Senzorový monitorovací systém a digitálny simulačný nástroj použitý v pilotnej aktivite prediktívnej údržby v Bergame.

Potrebné zdroje

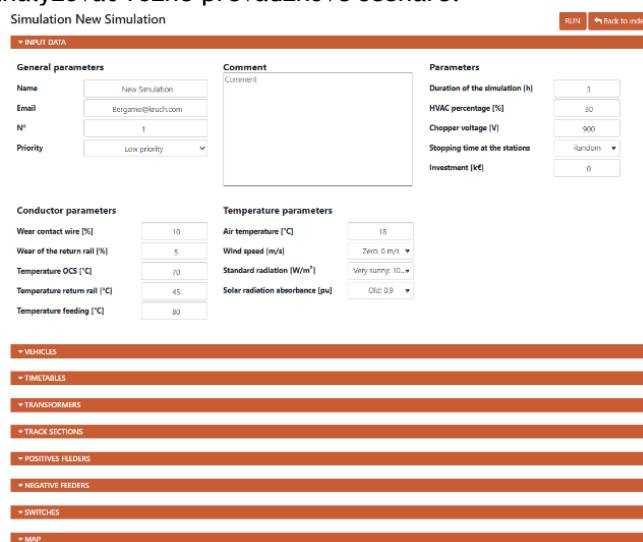
Implementácia si vyžadovala modulárne senzorové systémy, palubné výpočtové jednotky, komunikačnú infraštruktúru a nástroje na analýzu údajov. Okrem toho bolo vyvinuté simulačné prostredie založené na nástrojoch MATLAB a SIMULINK/SimPowerSystems na modelovanie električkovej siete a jej systému

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Pilotná aktivita preukazuje vysoký potenciál uplatniteľnosti vďaka svojmu modulárnemu prístupu a využívaniu vozidiel ako monitorovacích platforiem, čo umožňuje škálovateľné nasadenie bez potreby špecializovaného kontrolného vybavenia.

Medzi kľúčové poznatky patrí význam kvality údajov, postupného nasadzovania a integrácie analytických nástrojov do procesov údržby. Tento prístup podporuje princípy obehového hospodárstva tým, že umožňuje včasný zásah, predlžuje životnosť aktív a zlepšuje efektívnosť využívania zdrojov.

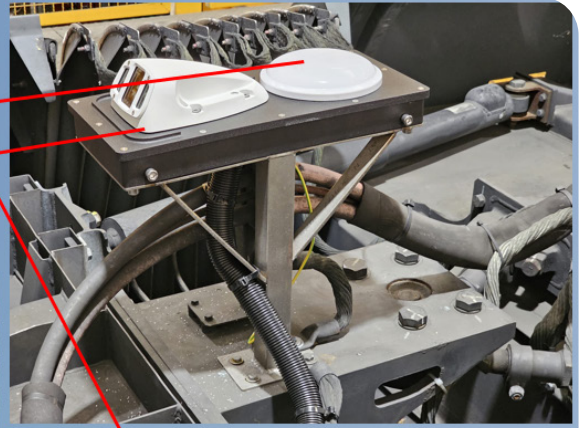
Električkové vozidlo v každodennej prevádzke bolo vybavené modulárnym senzorovým systémom vrátane modulov GNSS, akceleračných senzorov, kamier, rozhraní CAN-BUS a palubných zariadení na edge computing. Systém umožňuje kontinuálne monitorovanie interakcie medzi pantografom a trolejovým vedením a zber údajov v reálnom čase. Súbežne bolo vyvinuté digitálne dvojča siete napájania električiek s cieľom simulovať toky energie a analyzovať rôzne prevádzkové scenáre.



elektrického napájania. Pilotná aktivita si zároveň vyžadovala koordináciu medzi spoločnosťou ATB, spoločnosťou KRUCH a ďalšími zainteresovanými aktérmi vrátane kalibrácie systému, školenia zamestnancov a integrácie do procesov údržby a správy aktív.

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

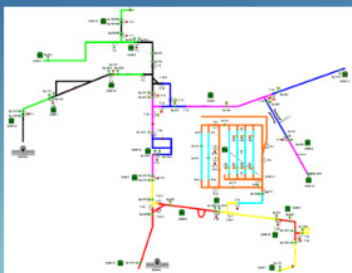


Obrázok 14: Senzorový systém nainštalovaný na pantografe električky na monitorovanie interakcie medzi vozidlom a trolejovým vedením.

DEVELOPING A DIGITAL TWIN: Energy Flow Simulation

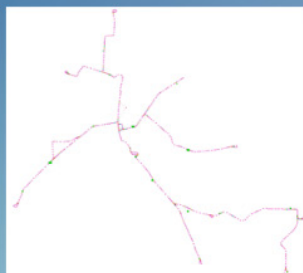
1

transport network



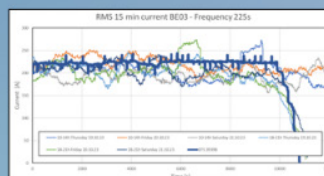
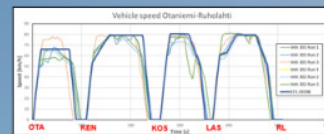
2

digital model



3

validation



4

dashboard



Obrázok 15: Modelovanie digitálneho dvojčata a simulácia tokov energie, ktoré boli použité na analýzu prevádzkových a energetických scenárov v električkovej sieti v Bergame.

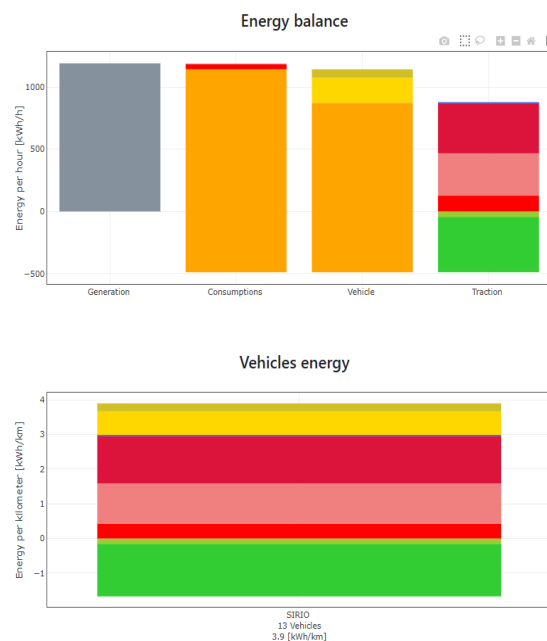
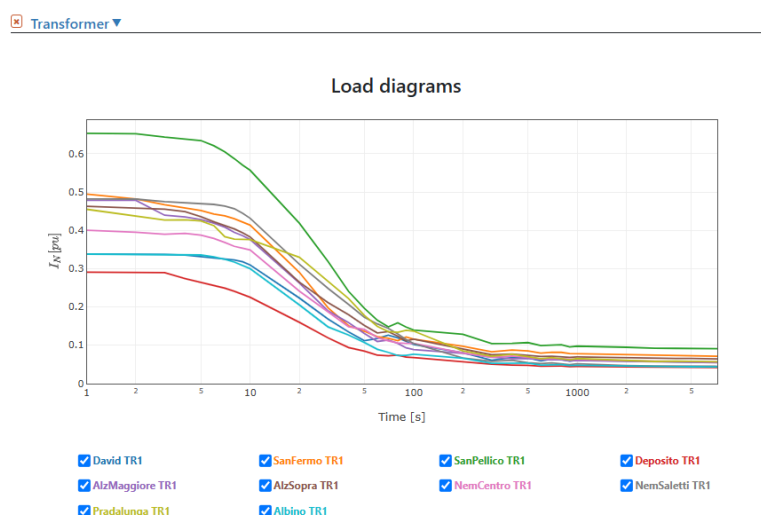
Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita potvrdila, že kombinácia monitorovania v reálnom čase so simuláciou podporuje prediktívnu údržbu a optimalizáciu energie. Monitorovací systém bol nainštalovaný na električkové vozidlo č. 004 premávajúce na linke T1, čo umožnilo kontinuálny zber údajov každé 1 - 3 sekundy vrátane parametrov polohy, rýchlosti a spotreby energie.

Systém zistil nepravidelné interakcie medzi

pantografom a trolejovým vedením a identifikoval miesta so zvýšeným rizikom opotrebovania. Súbežne bolo vyvinuté digitálne dvojča električkovej siete, ktoré sa použilo na simuláciu viacerých prevádzkových scenárov, pričom sa analyzovala spotreba energie, potenciál rekuperácie a výkonnosť systému.

Celkovo pilotná aktivita preukázala, že integrácia monitorovacích údajov so simulačnými nástrojmi zlepšuje rozhodovanie a podporuje efektívnejšie riadenie infraštruktúry a energie.



Obrázok 16: Výsledky simulácie tokov energie použité na analýzu zaťaženia transformátorov a optimalizáciu spotreby energie v električkovom systéme v Bergame.

Zistené výzvy

Medzi výzvy patrila integrácia sensorových systémov do existujúcich vozidiel a zabezpečenie spoľahlivého prenosu údajov v mestskom prostredí. Na zlepšenie presnosti senzorov a stability komunikácie bola potrebná kalibrácia a úpravy konfigurácie.

Ďalšia komplexnosť vyplynula z integrácie reálnych monitorovacích údajov so simulačnými modelmi, čo si vyžadovalo priebežnú validáciu a koordináciu medzi projektovými partnermi.

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Pilotná aktivita preukazuje vysoký potenciál prenosu, najmä pre malé a stredne veľké električkové systémy. Jej modulárne monitorovacie usporiadanie a oddelenie zberu údajov, analýzy a simulácie umožňujú flexibilné prispôbenie rôznym sieťam.

Medzi kľúčové poznatky patrí význam predbežného testovania modulárnych systémov, kombinovania monitorovania so simuláciou a zabezpečenia úzkej spolupráce medzi prevádzkovateľmi a poskytovateľmi technológií. Tento prístup podporuje princípy obehového hospodárstva tým, že predlžuje životnosť aktív a zlepšuje efektívnosť využívania zdrojov na systémovej úrovni.

3.2.3. Riešenie S.3: Moduly pre prediktívnu údržbu infraštruktúry a vozidlového parku

Stručný opis riešenia

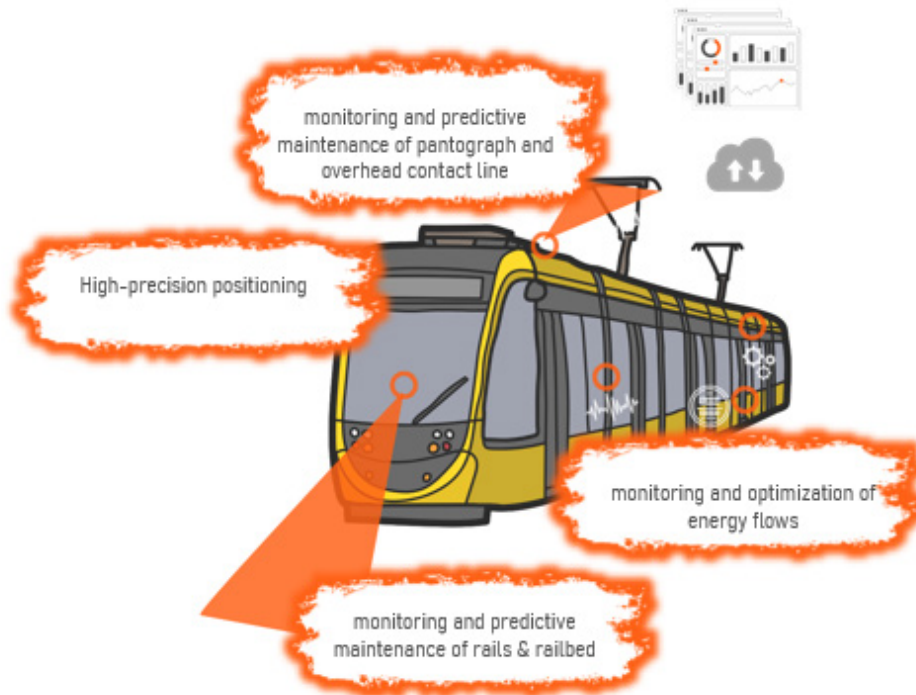
Toto riešenie poskytuje modulárny rámec pre prediktívnu údržbu infraštruktúry verejnej dopravy a vozidlového parku založený na kontinuálnom monitorovaní technického stavu prostredníctvom vozidiel. Vychádza z pilotných implementácií v Lipsku a Bergame a spája monitorovanie infraštruktúry, analýzu energetických údajov a simuláciu do prenositeľného prístupu.

Riešenie podporuje prechod od reaktívnej a časovo plánovanej údržby k správe aktív založenej na údajoch, čo umožňuje skoršie odhaľovanie porúch, cielenejšie zásahy a vyššiu prevádzkovú spoľahlivosť.

Ciele riešenia

Cielom riešenia je umožniť kontinuálne monitorovanie stavu infraštruktúry a vozidiel, odhaľovať poruchy v počiatočnom štádiu a podporovať včasné údržbové zásahy.

Zlepšením dostupnosti údajov a rozhodovania prispieva k predĺžovaniu životnosti aktív, znižovaniu potreby materiálovo náročných opráv a zvyšovaniu celkovej efektívnosti využívania zdrojov.

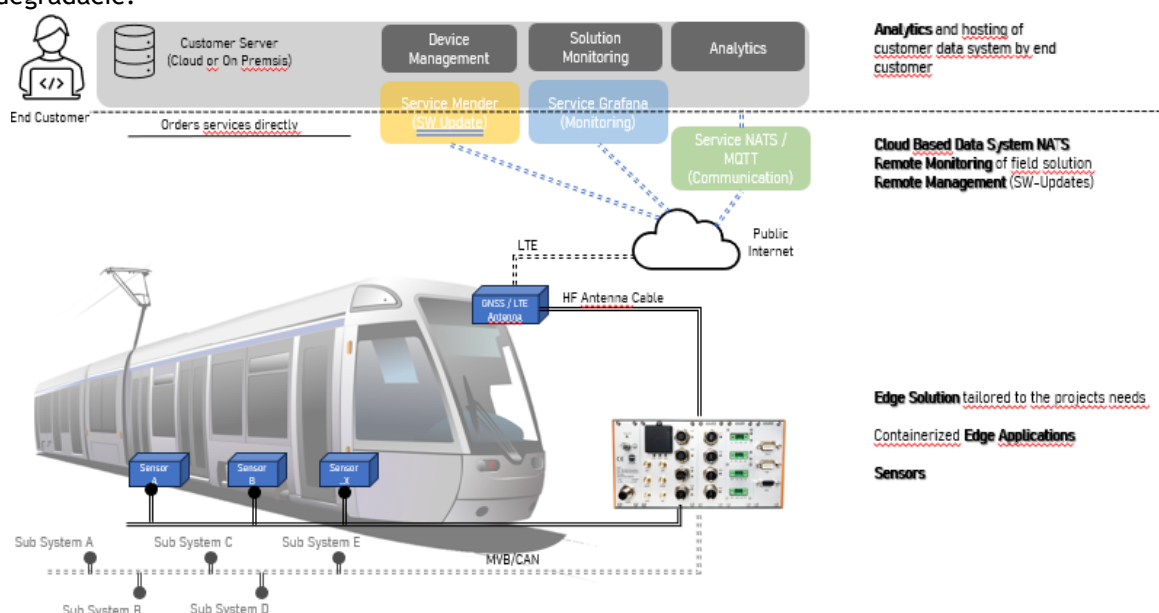


Obrázok 17: Rozsah využitia prediktívnej údržby v systémoch verejnej dopravy.

Základný koncept riešenia

Riešenie je založené na modulárnom monitorovacom reťazci, ktorý integruje zber údajov, ich spracovanie a podporu rozhodovania do existujúcich pracovných postupov údržby. Sensory a monitorovacie systémy nainštalované na vozidlách zbierajú údaje počas bežnej prevádzky, ktoré sa následne spracúvajú a analyzujú s cieľom odhaliť anomálie a identifikovať vzorce degradácie.

Výsledky sa integrujú do systémov správy aktív prostredníctvom georeferencovania a vizualizujú sa pomocou prehľadových panelov, čím podporujú stanovovanie priorit údržbových zásahov. Systém funguje ako kontinuálna slučka prepájajúca detekciu, validáciu a zásah, čo umožňuje prediktívnu údržbu založenú na technickom stave.



Obrázok 18: Komplexná architektúra systému prediktívnej údržby od zberu údajov až po analytiku a monitorovanie.

Implementačné poznatky

Implementácia ukázala, že kvalita údajov, stabilné dátové toky a integrácia systému sú rozhodujúce pre získanie použiteľných výsledkov. Automatizované detekcie si vyžadujú validáciu prostredníctvom terénnych kontrol, zatiaľ čo modulárna architektúra umožňuje flexibilné nasadenie v rôznych systémoch.

Nevyhnutná je aj organizačná pripravenosť, keďže prediktívna údržba zavádza nové pracovné postupy a úlohy a jej hodnota rastie vtedy, keď je integrovaná do existujúcich procesov správy aktív a plánovania.

Potenciál pre uplatnenie

Riešenie preukazuje vysoký potenciál pre uplatnenie

pre prevádzkovateľov, ktorí spravujú koľajovú infraštruktúru a vozidlový park. Jeho modulárny prístup umožňuje postupnú implementáciu a prispôbenie rôznym sieťam, typom vozidiel a organizačným kontextom.

Tým, že riešenie umožňuje včasný zásah a správu aktív orientovanú na životný cyklus, podporuje princípy obehového hospodárstva, najmä v oblasti predlžovania životnosti aktív a zvyšovania efektívnosti využívania zdrojov.

Riešenie primárne prispieva k dimenzii **EXTEND - fáze údržby a opráv** tým, že umožňuje včasný zásah a predlžuje životnosť aktív.

3.2.4. Pilotná aktivita P.4: Simulácia elektrifikovaných koridorov verejnej dopravy a tokov energie (Gdynia, Poľsko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita sa zameriava na využitie digitálnych modelovacích a simulačných nástrojov na podporu cirkulárneho a zdrojovo efektívneho plánovania elektrifikácie v systémoch verejnej dopravy. Realizuje ju v Gdysni prevádzkovateľ verejnej dopravy PKA Gdynia v spolupráci s Univerzitou v Gdanskú (UG) a technologickým partnerom KRUCH Railway Innovations a jej cieľom je umožniť rozhodovanie založené na údajoch v oblasti investícií do infraštruktúry, technológií vozidiel a prevádzkových stratégií.

Digitálne dvojča Západného koridoru bolo vyvinuté pomocou nástroja Energy Flow Simulation (EFS). Model integruje prevádzkové údaje, ako sú charakteristiky flotily, intervaly spojov a spotreba energie, čo umožňuje simuláciu rôznych scenárov elektrifikácie vrátane batériových elektrobusev, trolejbusov s nabíjaním počas jazdy (IMC) a hybridných konfigurácií.



Obrázok 19: Priestorové usporiadanie Západného koridoru v Gdysni.

Potrebné zdroje

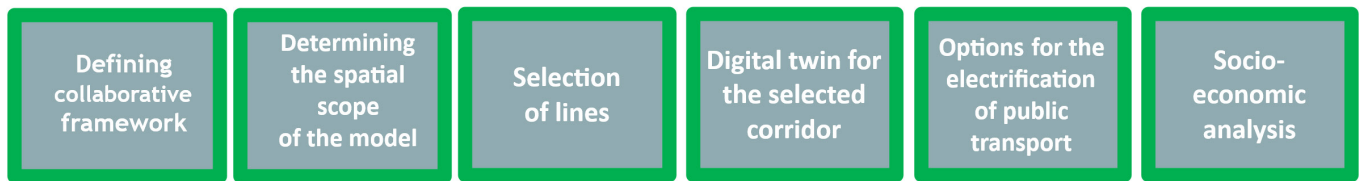
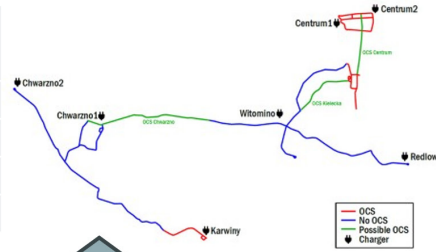
Pilotná aktivita si vyžadovala modelovacie nástroje, prevádzkové údaje a úzku spoluprácu medzi prevádzkovateľmi dopravy, výskumníkmi a poskytovateľmi technológií. Medzi kľúčové zdroje patrilo simulačné prostredie EFS a podrobné vstupné údaje, ako sú cestovné poriadky vozidiel, parametre

spotreby energie a dopravné podmienky.

Inštitucionálna koordinácia bola nevyhnutná na zabezpečenie realistických modelovacích predpokladov a validácie výsledkov vrátane zapojenia prevádzkovateľa, mestských orgánov a zainteresovaných aktérov v oblasti infraštruktúry.



Bus line	N departures	Electrified
147	69	N
190	57	Y
140	30	N
160	28	N



Sep. 2023

Dec. 2023-Oct. 2024



Line	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	X	X	X	X	X	X	X
140	X	X	X	X	X	X	✓	✓
147	X	X	X	X	X	X	✓	✓
160	X	X	X	X	X	X	✓	✓
190	X	✓	X	✓	✓	✓	X	✓

Obrázok 20: Proces vývoja modelu Energy Flow Simulation (EFS) pre digitálne dvojča Gdynie.

Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita preukázala, že digitálna simulácia môže účinne podporovať plánovanie elektrifikácie a optimalizáciu infraštruktúry. Digitálne dvojča koridoru bolo úspešne vyvinuté a validované pomocou reálnych prevádzkových údajov z autobusovej linky 190.

Bolo simulovaných viac ako 110 scenárov elektrifikácie, v ktorých sa porovnávali batériové elekrobuses, trolejbusy s nabíjaním počas jazdy (IMC) a hybridné

prístupy. Analýza ukázala, že prevádzka IMC si vyžaduje cieľené rozšírenie infraštruktúry, zatiaľ čo niektoré linky, napríklad linka 190, môžu fungovať bez dodatočnej trolejovej infraštruktúry.

Výsledky zároveň poukázali na to, že prevádzka batériových elekrobuses si môže vyžadovať vyšší počet vozidiel v porovnaní s riešeniami IMC, a potvrdili, že dopravné podmienky výrazne ovplyvňujú spotrebu energie, požiadavky na vozidlo a systémové náklady.

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

Obrázok 21: Príklad výsledkov simulácie porovnávajúcej rôzne scenáre elektrifikácie, znázorňujúci energetickú bilanciu vozidla a realizovateľnosť stavu nabitia po 10 hodinách prevádzky.

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

Obrázok 22: Porovnanie scenárov elektrifikácie zobrazujúce prevádzkovú uskutočniteľnosť rôznych technológií vozidiel a konfigurácii infraštruktúry a uskutočniteľnosť z hľadiska stavu nabitia po 10 hodinách prevádzky.

Zistené výzvy

Výzvy sa týkali najmä integrácie údajov a modelovania. Prevádzkové údaje z rôznych zdrojov, ako sú doprava, prevádzka a energia, si vyžadovali harmonizáciu, čo spočiatku spomalilo proces modelovania.

Ďalšia komplexnosť vznikla pri modelovaní degradácie batérií a výkonnosti počas životného cyklu, ako aj pri presnom znázornení dopravných podmienok, čo si vyžadovalo iteratívnu kalibráciu modelu a zahrnutie prvkov, ako sú svetelné signalizačné zariadenia.

Tieto výzvy boli riešené prostredníctvom iteratívneho spresňovania modelu a validácie s využitím údajov z reálnej prevádzky.

3.2.5. Riešenie S.4: Nástroj na cirkulárne obchodné plánovanie pre elektrifikované flotily a infraštruktúru verejnej dopravy

Stručný opis riešenia

Toto riešenie poskytuje štruktúrovaný plánovací nástroj, ktorý podporuje prevádzkovateľov a orgány verejnej dopravy pri navrhovaní a porovnávaní scenárov elektrifikácie s využitím princípov obehového hospodárstva. Vychádza z pilotnej aktivity v Gdyni, kde sa modelovanie digitálneho dvojčata a simulácie tokov energie použili na posúdenie rôznych stratégií elektrifikácie. Riešenie premieňa tieto skúsenosti na prenositeľný rámec založený na KPI, ktorý prepája cirkulárne ciele s praktickým plánovaním a investičnými rozhodnutiami.

Ciele riešenia

Cieľom riešenia je podporiť plánovanie elektrifikovaných systémov verejnej dopravy založené na dôkazoch a zlepšiť konzistentnosť pri hodnotení scenárov. Premietnutím cieľov obehového hospodárstva do merateľných ukazovateľov umožňuje porovnanie možností elektrifikácie, zvyšuje transparentnosť predpokladov a podporuje integráciu plánovania flotily, infraštruktúry a energie.

Základný koncept riešenia

Riešenie je založené na plánovacom pracovnom postupe riadenom KPI, ktorý je podporený štruktúrovaným procesom výberu a konfigurácie. Používateľom umožňuje definovať relevantné ukazovatele, stanovovať ciele a porovnávať rôzne scenáre elektrifikácie pomocou jednotného rámca.

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Pilotná aktivita preukazuje vysoký potenciál uplatniteľnosti pre mestá plánujúce elektrifikáciu systémov verejnej dopravy. Prístup založený na digitálnom dvojčati umožňuje porovnať viacero scenárov ešte pred prijatím záväzkov týkajúcich sa investícií do infraštruktúry, čím podporuje efektívnejšie a informovanejšie rozhodovanie.

Jeho modulárna štruktúra umožňuje prispôbenie rôznym mestským kontextom za predpokladu, že sú k dispozícii dostatočné prevádzkové údaje. Tento prístup podporuje cirkulárne plánovanie tým, že optimalizuje využívanie zdrojov, znižuje zbytočné investície a zlepšuje efektívnosť na úrovni celého systému.

Tento prístup považuje flotilu, infraštruktúru a energetické systémy za integrovanú plánovaciu oblasť, pričom prepája technickú výkonnosť, využívanie energie a výsledky v oblasti cirkularity s cieľom podporiť informované rozhodovanie.

Pri používaní nástroj podporuje štruktúrovaný pracovný postup:

výber → **konfigurácia** → **analýza scenárov** → **porovnanie** → **podpora rozhodovania**

Riešenie považuje flotilu, infraštruktúru a energetické systémy za jednu plánovaciu oblasť, v ktorej energia pôsobí ako systémová chrbtica ovplyvňujúca výkonnosť, náklady a výsledky v oblasti cirkularnosti.

Implementačné poznatky

Implementácia ukázala, že dostupnosť a kvalita údajov sú rozhodujúce a často si vyžadujú kombinovanie viacerých zdrojov. Štandardizované definície KPI a jasné riadenie vrátane vlastníctva a postupov aktualizácie sú nevyhnutné na konzistentné používanie.

Odporúča sa postupný prístup, ktorý začína základným súborom KPI a postupne sa rozširuje, pričom je potrebné zabezpečiť zosúladenie s existujúcimi procesmi plánovania a reportovania.

Potenciál uplatniteľnosti

Riešenie preukazuje vysoký potenciál prenositeľnosti pre prevádzkovateľov verejnej dopravy plánujúcich elektrifikáciu flotily.

Možno ho uplatniť v rôznych typoch systémov a prispôbiť miestnym podmienkam vrátane energetického mixu, infraštruktúrnych obmedzení a prevádzkových požiadaviek.

Podporou konzistentného porovnávania scenárov a plánovania orientovaného na životný cyklus riešenie

prispieva k efektívnejšiemu využívaniu zdrojov a informovaným investičným rozhodnutiam.

Riešenie primárne prispieva k dimenzii AVOID - fáze počiatočného plánovania a optimalizácie systému tým, že umožňuje informovanejšie a konzistentnejšie rozhodovanie.

3.3. Aktivita A.3: Vývoj riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopravy

Táto aktivita sa zameriava na predĺženie životného cyklu komponentov infraštruktúry verejnej dopravy a energetických aktív prostredníctvom prístupov opätovného použitia a zmeny účelu využitia. Princípy obehového hospodárstva rieši na úrovni infraštruktúry tým, že skúma, ako môžu existujúce komponenty a materiály zostať v prevádzke aj mimo svojho pôvodného prevádzkového kontextu.

V rámci tejto aktivity boli realizované dve pilotné aktivity. V Segedíne pilotná aktivita skúmala uskutočniteľnosť opätovného použitia trolejbusových výhybiiek s cieľom predĺžiť životnosť kritických

komponentov infraštruktúry a znížiť materiálový odpad. V Maribore pilotná aktivita analyzovala zmenu účelu využitia trakčných batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie na podporu infraštruktúry nabíjania elektrobusev.

Tieto pilotné aktivity spoločne ukazujú praktické prístupy k zachovaniu hodnoty vloženéj do infraštruktúry verejnej dopravy a súvisiacich aktív, pričom zároveň znižujú spotrebu zdrojov a podporujú cirkulárnejšie postupy správy aktív. Skúsenosti získané prostredníctvom týchto pilotných aktivít tvoria základ pre vývoj prenositeľných riešení predstavených v nasledujúcich častiach.

3.3.1. Pilotná aktivita P.5: Opätovné použitie trolejbusových výhybiiek (Segedín, Maďarsko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita sa zameriava na praktické uplatnenie princípov obehového hospodárstva prostredníctvom opätovného použitia komponentov trolejbusovej infraštruktúry. Realizuje ju spoločnosť Szeged Transport Company (SZKT) a ukazuje, ako možno komponenty, ktoré už nie sú optimálne pre prevádzku s vysokou intenzitou, opätovne použiť v

častiach systému s nižšími prevádzkovými nárokmi.

V rámci pilotnej aktivity boli štyri vysokorychlostné trolejové výhybky z prevádzkovej siete, pôvodne nainštalované v rokoch 2005 až 2014, nahradené novým vybavením a následne opätovne použité v depe. Tento prístup predĺžil životnosť existujúcich komponentov a zároveň zlepšil spoľahlivosť infraštruktúry v sieti aj v depe.



Obrázok 23: Trolejbusová trolejová výhybka používaná v sieti v Segedíne.

Potrebné zdroje

Pilotná aktivita si vyžadovala relatívne obmedzené technické zdroje, keďže práce zahŕňali predovšetkým výmenu a premiestnenie existujúcich komponentov infraštruktúry v rámci trolejbusového systému. Implementácia sa opierala o interné kapacity SZKT

vrátane tímov údržby infraštruktúry, prevádzky dopravy a logistických jednotiek. Koordinácia bola potrebná na riadenie inštaláčnych prác a dočasných úprav prevádzky, ako aj na spoluprácu s miestnymi orgánmi počas krátkodobých zásahov do cestnej infraštruktúry.



Obrázok 24: Inštalácia trolejbusovej výhybky tímom údržby SZKT.

Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita úspešne preukázala, že opätovné použitie komponentov infraštruktúry môže zlepšiť spoľahlivosť a zároveň znížiť investičné potreby. V hlavnej sieti boli nainštalované štyri nové výhybky, zatiaľ čo štyri opätovne použité výhybky boli nasadené v depe, čím sa zlepšila výkonnosť infraštruktúry na ôsmich miestach.

Výmena znížila počet porúch v úsekoch s vysokou frekvenciou premávky a odstránila problémy so zastaranými výhybkami v depe, pričom sa zabránilo zbytočnému obstarávaniu dodatočného vybavenia a znížil sa materiálový odpad.

Pilotná aktivita úspešne preukázala, že cirkulárne opätovné použitie komponentov infraštruktúry môže zlepšiť prevádzkovú spoľahlivosť a zároveň znížiť investičné potreby. Medzi kľúčové výsledky dosiahnuté počas implementácie patria:

Zistené výzvy

Výzvy súviseli najmä s koordináciou a integráciou do existujúceho systému infraštruktúry. Rozdiely v podporných prvkoch, ako sú stožiare a základy, si počas inštalácie vyžadovali úpravy. Dodatočné úsilie bolo potrebné na zabezpečenie dočasných dopravných opatrení a bezpečnú integráciu opätovne použitých komponentov do systému.

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Pilotná aktivita predstavuje jednoduchý cirkulárny prístup uplatniteľný v mnohých systémoch verejnej dopravy. Komponenty infraštruktúry odstránené z úsekov siete s vysokou intenzitou prevádzky možno často opätovne použiť v prostrediach s nižšími nárokmi, napríklad v depách.

Systematickou identifikáciou takýchto príležitostí môžu prevádzkovatelia predĺžiť životnosť aktív, znížiť investičné náklady a minimalizovať materiálový odpad, čím podporia efektívnejšiu a cirkulárnejšiu správu infraštruktúry.

3.3.2. Riešenie S.5: Vymedzenie kritérií pre opätovné použitie trolejbusových výhybiiek

Stručný opis riešenia

Toto riešenie poskytuje prenositeľný rámec pre cirkulárne opätovné použitie trolejbusových trolejových výhybiiek v systémoch verejnej dopravy. Vychádza zo skúseností z pilotnej aktivity v Segedíne a predieňa praktický prístup na súbor kritérií zavádzania, ktoré môžu uplatniť aj iní prevádzkovatelia.

Riešenie zavádza kaskádový model opätovného použitia, v rámci ktorého sa komponenty infraštruktúry odstránené z úsekov siete s vysokou intenzitou prevádzky opätovne nasadzujú na miestach s nižšími prevádzkovými nárokmi, napríklad v depách. Tento prístup predlžuje životnosť aktív, znižuje množstvo odpadu a zvyšuje nákladovú efektívnosť pri obnove infraštruktúry.

Ciele riešenia

Cieľom riešenia je podporiť prevádzkovateľov verejnej dopravy pri implementácii cirkulárnych postupov správy infraštruktúry.

Zameriava sa na predĺženie prevádzkovej životnosti komponentov infraštruktúry, zníženie spotreby materiálov, zvýšenie efektívnosti investícií a zachovanie spoľahlivosti a bezpečnosti prostredníctvom štruktúrovaných prístupov opätovného použitia.

Základný koncept riešenia

Riešenie je založené na priradovaní komponentov infraštruktúry k rôznym úrovňam prevádzkovej intenzity v rámci siete. Komponenty odstránené z úsekov siete s vysokou frekvenciou prevádzky už nemusia spĺňať prísne požiadavky na spoľahlivosť, ale stále môžu účinne

fungovať v prostrediach s nižšími nárokmi, napríklad v depách. Výsledkom je dvojúrovňový prístup k infraštruktúre, ktorý rozlišuje medzi prevádzkovými oblasťami s vysokou intenzitou a servisnými prostrediami s nižšou intenzitou. Zosúladením stavu komponentov s prevádzkovými požiadavkami môžu prevádzkovatelia predĺžiť životnosť aktív a zároveň zachovať výkonnosť systému.

Implementačné poznatky

Implementácia ukazuje, že úspešné opätovné použitie závisí od riadneho posúdenia technického stavu a kompatibility s existujúcimi prvkami infraštruktúry, ako sú stožiare, vedenie a základy. Počas inštalácie je potrebná účinná koordinácia medzi údržbou a prevádzkou, zatiaľ čo systematická identifikácia a sledovanie opätovne použiteľných komponentov sú kľúčové pre škálovanie tohto prístupu.

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Riešenie preukazuje vysoký potenciál uplatniteľnosti pre prevádzkovateľov spravujúcich trolejbusovú alebo električkovú infraštruktúru. Podobné podmienky existujú v mnohých systémoch, kde infraštruktúra funguje v rôznych úrovniach intenzity v rámci sietí a dep.

Začlenením prevádzkovej intenzity do správy aktív môžu prevádzkovatelia systematicky identifikovať príležitosti na opätovné použitie, znižovať náklady a predlžovať životné cykly infraštruktúry, čím podporujú princípy obehového hospodárstva.

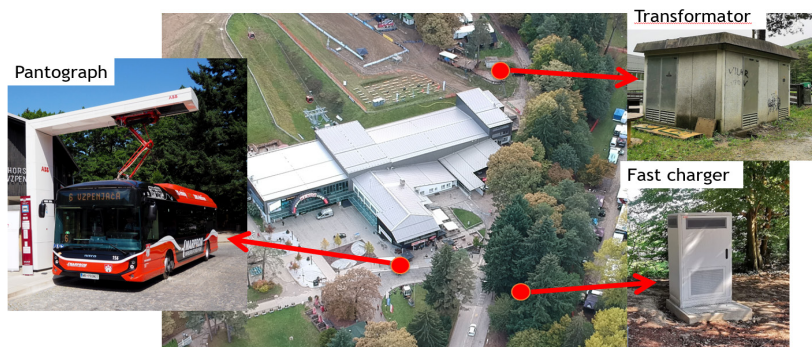
Riešenie preto prispieva k fáze EXTEND - opätovné použitie v rámci obehového hospodárstva pri správe infraštruktúry verejnej dopravy.

3.3.3. Pilotná aktivita P.6: Využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie pre rýchlonabíjanie napájané obnoviteľnou energiou (Maribor, Slovinsko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita skúma využitie lítium-iónových batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie na podporu infraštruktúry nabíjania elektrobusev. Realizuje ju mesto Maribor s podporou Univerzity v Maribore a zameriava sa na zlepšenie energetickej efektívnosti pri súčasnom predĺžení životného cyklu trakčných batérií.

Na konečnej stanici Vzpenjača slúži rýchla nabíjačka s výkonom 150 kW na obsluhu linky elektrického autobusu G6, ktorá premáva na trase dlhšej 7,7 km a vyžaduje si časté krátke nabíjanie. Za účelom optimalizácie spotreby energie bol do nabíjacej infraštruktúry integrovaný systém ukladania energie v batériách (BESS) využívajúci repasované akumulátory, ktorý funguje ako vyrovnávací kapacita medzi distribučnou sieťou, obnoviteľnými zdrojmi elektrickej energie a dopytom po nabíjaní.



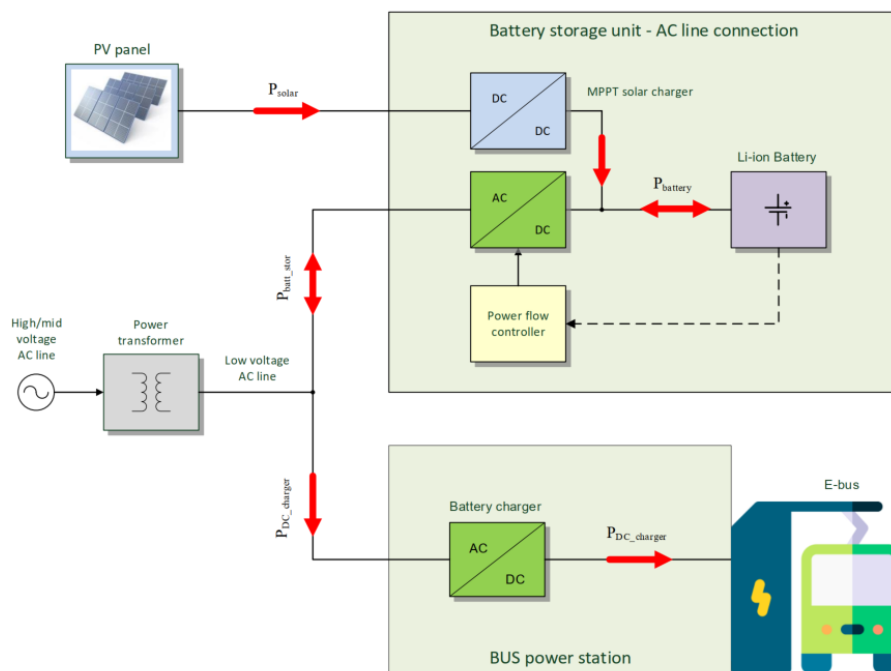
Obrázok 25: Súčasná nabíjacia infraštruktúra na stanici Vzpenjača.

Potrebné zdroje

Pilotná aktivita si vyžadovala integráciu batériového úložiska v druhom životnom cykle s kapacitou 136 kWh v kombinácii s 80 kW hybridným meničom a integráciu s existujúcou 150 kW DC rýchlonabíjacou stanicou. Systém zahŕňal aj monitorovacie a riadiace komponenty, ako aj malú fotovoltaickú inštaláciu. Systém BESS je pripojený v paralelnej hybridnej

konfigurácii, ktorá umožňuje súčasné napájanie zo siete aj z úložiska počas nabíjania autobusov.

Implementácia si vyžadovala koordináciu medzi mestskými orgánmi, výskumnými partnermi a technickými poskytovateľmi, ako aj dodržiavanie bezpečnostných a regulačných požiadaviek na batériové systémy.



Obrázok 26: Technická schéma paralelnej konfigurácie integrácie systému BESS. Zdroj: Univerzita v Maribore.

Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita potvrdila technickú uskutočniteľnosť integrácie batérií v druhom životnom cykle do nabíjacej infraštruktúry. Systém podporuje ročný dopyt po nabíjaní na úrovni približne 145 000 kWh, s dennou spotrebou okolo 400 kWh a špičkami až do 650 kWh, pričom jednotlivé nabíjacie cykly trvajú približne 5 minút a prenesie sa počas nich 8 - 14 kWh.

Systém BESS umožnil zníženie špičkového zaťaženia približne o 25 kW a preukázal hybridnú prevádzku medzi elektrickou sieťou a úložiskom. Integrácia fotovoltaickej výroby ďalej podporila energetickú flexibilitu a znížila závislosť od siete.

Celkovo pilotná aktivita ukázala, že batériové úložisko využívajúce batérie v druhom životnom cykle môže zlepšiť riadenie energie a predĺžiť životné cykly batérií v systémoch verejnej dopravy.



- 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

Obrázok 27: Kľúčové komponenty systému BESS: fotovoltaické panely, menič a batériový modul v druhom životnom cykle.

Zistené výzvy

Medzi výzvy patrila obmedzená štandardizácia integrácie batérií v druhom životnom cykle, kompatibilita medzi batériovými modulmi a systémami meničov, ako aj zabezpečenie tepelnej stability a požiarnej bezpečnosti.

Ďalšie problémy súvisiace so získavaním vhodných batérií, regulačnými požiadavkami a obmedzenými skúsenosťami trhu boli riešené prostredníctvom dôkladného návrhu systému a spolupráce so špecializovanými odborníkmi.

3.3.4. Riešenie S.6: Aplikovateľné obchodné modely pre využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle

Stručný opis riešenia

Toto riešenie poskytuje prenositeľný rámec pre využitie trakčných batérií v druhom životnom cykle ako stacionárneho úložiska energie v nabíjacej infraštruktúre verejnej dopravy. Vychádza z pilotnej aktivity v Maribore a premieňa jej technické a prevádzkové skúsenosti na obchodné modely a implementačné podmienky, ktoré možno uplatniť v iných kontextoch.

Riešenie podporuje princípy obehového hospodárstva tým, že predlžuje životné cykly batérií pred ich recykláciou, pričom zároveň zlepšuje riadenie energie, znižuje špičkový dopyt po elektrine a podporuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie.

Ciele riešenia

Cieľom riešenia je pomôcť prevádzkovateľom a orgánom verejnej dopravy implementovať batériové úložiská v druhom životnom cykle ako súčasť elektrifikovanej dopravnej infraštruktúry. Zameriava sa na predĺženie životných cyklov batérií, zlepšenie flexibility nabíjania, zníženie špičkového dopytu, podporu integrácie obnoviteľných zdrojov energie a

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Pilotná aktivita preukazuje vysoký potenciál uplatniteľnosti pre mestá rozširujúce infraštruktúru elektrobusev. Batériové úložisko využívajúce batérie v druhom životnom cykle môže podporiť riadenie špičkového zaťaženia, zlepšiť energetickú flexibilitu a umožniť lepšiu integráciu obnoviteľných zdrojov energie.

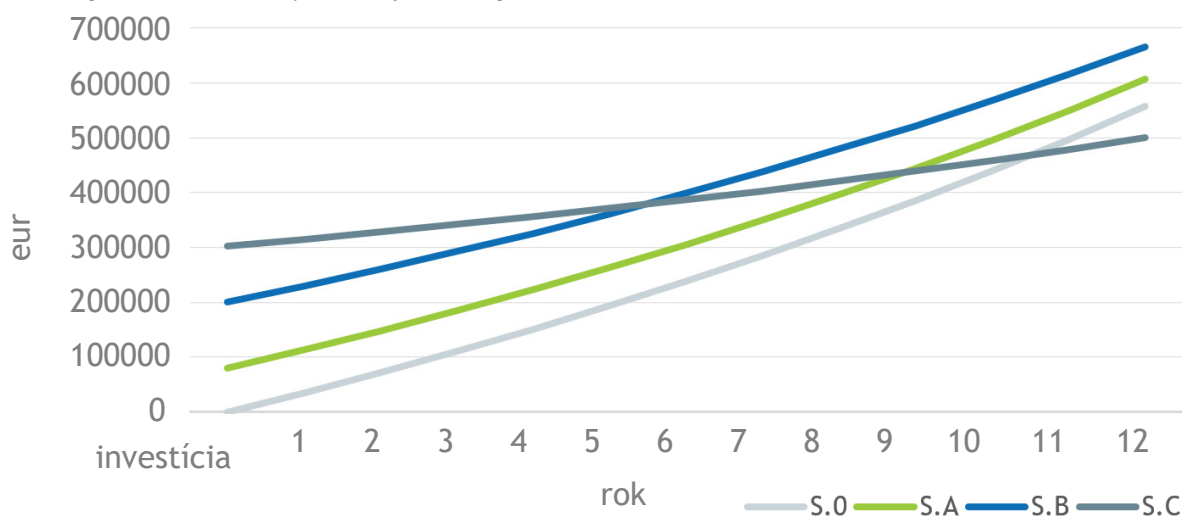
Modulárna povaha riešení BESS umožňuje prispôsobenie rôznym kontextom, pričom podporuje princípy obehového hospodárstva tým, že predlžuje životné cykly batérií a zlepšuje efektívnosť využívania zdrojov.

vytvorenie ekonomicky životaschopných prístupov pre aplikácie batérií v druhom životnom cykle.

Základný koncept riešenia

Riešenie je založené na integrácii batériových systémov na ukladanie energie v druhom životnom cykle medzi elektrickú sieť, obnoviteľné zdroje energie a dopyt po nabíjaní. V tejto úlohe batériový systém funguje ako flexibilný energetický vyrovnávací prvok, ktorý podporuje znižovanie špičkového zaťaženia, presúvanie záťaže a využívanie obnoviteľnej energie.

Jeho praktické uplatnenie závisí od zosúladenia troch dimenzií: technickej integrácie, stratégie riadenia energie a ekonomických a regulačných podmienok. Namiesto ponúkajúceho jedného pevne stanoveného modelu riešenie poskytuje flexibilný rámec, ktorý možno prispôbiť miestnej infraštruktúre, profilom zaťaženia a trhovým podmienkam. Hoci samotné znižovanie špičkového zaťaženia prináša iba obmedzené prínosy, kombinácia úložiska s optimalizáciou taríf a integráciou energie z obnoviteľných zdrojov výrazne zlepšuje celkovú výkonnosť.



Obrázok 28: Porovnanie kumulatívnych nákladov na elektrinu v rôznych scenároch riadenia energie.

- S.0: Východiskový scenár bez úložiska: úplná závislosť od elektriny zo siete
- S.1: Znižovanie špičkového zaťaženia: zníženie krátkodobých výkonových špičiek s obmedzenou ekonomickou návratnosťou
- S.2: Optimalizácia taríf: presun využívania energie do období s nižšími nákladmi, čím sa zlepšuje nákladová efektívnosť
- S.3: Integrácia obnoviteľných zdrojov energie: kombinácia úložiska s obnoviteľnými zdrojmi energie s cieľom znížiť závislosť od siete a maximalizovať dlhodobú hodnotu

Implementačné poznatky

Implementácia ukázala, že kompatibilita medzi batériovými modulmi, systémami meničov a nabíjacou infraštruktúrou je kľúčovou podmienkou úspechu, pričom bezpečnostné požiadavky a architektúru systému je potrebné zohľadniť už od začiatku.

Obchodný prípad výrazne závisí od veľkosti systému, profilu zaťaženia, taríf za elektrinu a obmedzení siete. Samotné znižovanie špičkového zaťaženia ponúka v

malom rozsahu len obmedzenú návratnosť, zatiaľ čo kombinácia úložiska s integráciou obnoviteľných zdrojov energie výrazne zvyšuje dlhodobú hodnotu.

Potenciál pre rozvoj a uplatnenie

Riešenie preukazuje vysoký potenciál uplatniteľnosti pre systémy verejnej dopravy, ktoré prechádzajú elektrifikáciou. Mnohé mestá čelia podobným výzvam súvisiacim s dopytom po nabíjaní, obmedzeniami siete a budúcim riadením batérií.

Batériové úložisko využívajúce batérie v druhom životnom cykle ponúka praktický spôsob, ako tieto problémy riešiť súčasne, a možno ho uplatniť na príležitostných nabíjacích staniciach, v depách alebo v mobilných uzloch. Týmto spôsobom riešenie podporuje ciele obehového hospodárstva aj flexibilnejšie riadenie energie v systémoch verejnej dopravy.

Riešenie primárne prispieva k fáze EXTEND - zmena účelu využitia v rámci hierarchie obehového hospodárstva tým, že umožňuje kaskádové využitie trakčných batérií pred ich konečnou recykláciou.

3.4. Aktivita A.4: Uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku

Táto aktivita sa zameriava na predĺženie životnosti komponentov vozidlového parku prostredníctvom renovácie, repasovania a zlepšeného zdieľania informácií naprieč sektorom verejnej dopravy.

Pilotná aktivita realizovaná v Segedíne demonštruje redizajn a repasovanie zastaranej riadiacej jednotky dverí električky, čím umožňuje pokračovanie prevádzky starnúcich električkových vozidiel Tatra. Nahradením kritického elektronického komponentu, ktorý už nie je dostupný na trhu, pilotná aktivita

ukazuje, ako môže cielený redizajn komponentov zachovať prevádzkovú hodnotu existujúceho vozidlového parku.

Skúsenosti získané prostredníctvom pilotnej aktivity sú prepojené s vývojom digitálnej platformy s použitými komponentmi a na prepájanie ponuky a dopytu, ktorá podporuje výmenu informácií a spoluprácu medzi aktérmi verejnej dopravy s cieľom uľahčiť opätovné použitie a repasovanie komponentov vozidiel.

3.4.1. Pilotná aktivita P.7: Repasovanie a redizajn riadiacich jednotiek električiek na umožnenie opätovného použitia komponentov (Segedín, Maďarsko)

Stručný opis pilotnej aktivity

Táto pilotná aktivita sa zameriava na predĺženie prevádzkovej životnosti električkových vozidiel prostredníctvom redizajnu a repasovania kritického elektronického komponentu. Realizuje ju spoločnosť Szeged Transport Company (SZKT) a rieši problém zastaraných riadiacich jednotiek dverí používaných vo flotilách električiek Tatra T6A2 a KT4D-ME, ktoré už nie sú dostupné na trhu s náhradnými dielmi.

Na zmiernenie tohto rizika bola vyvinutá nová parametrizovateľná a diagnostikovateľná riadiaca jednotka s využitím moderných komponentov. Jednotka bola navrhnutá tak, aby bola kompatibilná s oboma typmi električiek a aby sa dala integrovať do existujúcich dverových systémov, čím umožňuje pokračovanie prevádzky starnúcich vozidiel bez potreby ich predčasnej výmeny.



Obrázok 29: Električkové vozidlá Tatra typu KT4D a T6A2 prevádzkované v Segedine.

Potrebné zdroje

Implementácia si vyžadovala technickú analýzu existujúcich systémov, vývoj nového hardvéru a diagnostického softvéru a vytvorenie kontrolovaného testovacieho prostredia.

Dodatočné úsilie zahŕňalo certifikáciu akreditovaným orgánom, regulačné schválenie na prevádzku a výrobu úvodnej série náhradných jednotiek, podporenú úzkou spoluprácou medzi internými tímami a externými partnermi.



Obrázok 30: Kontrolované testovacie prostredie použité na funkčné testovanie novo vyvinutej riadiacej jednotky dverí.

Dôkazy úspešnosti

Pilotná aktivita úspešne vyvinula a nasadila náhradnú riadiacu jednotku kompatibilnú s dvoma typmi električiek. Celkovo bolo identifikovaných 99 pôvodných jednotiek ako kritických komponentov v 28 vozidlách a bola vyrobená a nainštalovaná úvodná séria 40 nových jednotiek.

Riešenie odstránilo problém zastaranosti náhradných dielov pre kľúčový komponent, zabezpečilo pokračovanie prevádzky flotily a zaviedlo diagnostickú funkčnosť podporujúcu zlepšenú údržbu a odhaľovanie porúch.



Obrázok 31: Novovyrobená riadiaca jednotka dverí nainštalovaná vo vozidle električky.

Zistené výzvy

Hlavnou výzvou bol schvaľovací proces pre novo vyvinutý bezpečnostne kritický elektronický komponent, keďže regulačné postupy neboli jasne definované a vyžadovali si rozsiahlu koordináciu s certifikačnými orgánmi. Ďalšiu komplexnosť predstavovalo zabezpečenie kompatibility s rôznymi električkovými systémami a definovanie technických špecifikácií vhodných na dlhodobú prevádzku.

Potenciál na učenie sa a prenos

Pilotná aktivita predstavuje prenositeľný prístup k riešeniu zastaranosti náhradných dielov v starom vozidlovom parku. Mnohé mestá prevádzkujú podobné električkové flotily a čelia porovnateľným výzvam.

Metodiku - identifikáciu kritických komponentov, redizajn náhradných riešení a získanie certifikácie - môžu replikovať aj iní prevádzkovatelia, čím podporia cirkulárne stratégie údržby a predĺženie životnosti vozidiel.

Tento prístup primárne prispieva k dimenzii EXTEND rámca AETE, najmä prostredníctvom renovácie a repasovania komponentov vozidlového parku.

4. Získané poznatky

Napriec pilotnými aktivitami CE4CE sa objavilo niekoľko kľúčových tém, ktoré ukazujú, ako cirkulárne riešenia fungujú v praxi v rzných prevádzkových podmienkach.

Údaje a systémová integrácia

Pilotné aktivity zamerané na prediktívnu údržbu ukázali, že účinnosť digitálnych riešení vo veľkej miere závisí od kvality údajov a systémovej integrácie. V Lipsku kontinuálne monitorovanie prostredníctvom vozidiel umožnilo včasné odhaľovanie porúch infraštruktúry, no zároveň poukázalo na potrebu stabilných dátových tokov a validácie prostredníctvom terénnych kontrol. Podobne aj prístupy založené na simuláciách ukázali, že harmonizácia údajov z rôznych zdrojov je predpokladom spoľahlivého modelovania a podpory rozhodovania.

Predlžovanie životnosti aktív prostredníctvom opätovného použitia a repasovania

Pilotné aktivity zamerané na opätovné použitie infraštruktúry a komponentov zdôraznili potenciál predlžovania životnosti aktív. V Segedíne opätovné použitie trolejbusových výhybiek ukázalo, že komponenty odstránené z úsekov siete s vysokou intenzitou prevádzky možno efektívne opätovne nasadiť v prostrediach s nižšími prevádzkovými nárokmi. Podobný princíp bol uplatnený pri repasovaní riadiacich jednotiek električiek, kde redizajn umožnil pokračovanie prevádzky starších vozidiel napriek zastaranosti náhradných dielov.

Systémová integrácia a tvorba hodnoty v energetických aplikáciách

Pilotné aktivity súvisiace s energiou ukázali, že hodnota cirkulárnych riešení rastie so systémovou integráciou. V Maribore batérové úložisko využívajúce batérie v druhom životnom cykle prinieslo obmedzené prínosy pri použití výlučne na znižovanie špičkového zaťaženia, no výrazne vyššiu hodnotu v kombinácii s integráciou obnoviteľných zdrojov energie a flexibilným riadením energie. To zdôrazňuje význam posudzovania cirkulárnych riešení ako súčasť širšej optimalizácie systému, a nie ako samostatných zásahov.

Organizačná pripravenosť a implementačné procesy

Vo všetkých pilotných aktivitách závisela úspešná implementácia od koordinácie medzi viacerými zainteresovanými aktérmi a od integrácie do existujúcich prevádzkových štruktúr. Postupné implementačné prístupy, ktoré začínajú pilotným testovaním a následne pokračujú postupným škálovaním, sa ukázali ako účinné pri riadení technickej a organizačnej komplexnosti.

Tieto poznatky sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Oblasť	Kľúčové poznatky
Technické aspekty a údaje	<ul style="list-style-type: none"> • Úspešnosť riešení závisí od kompatibility s existujúcou infraštruktúrou a systémami, najmä v prostrediach so staršími technológiami. • Spoľahlivá implementácia si vyžaduje kvalitné a harmonizované údaje podporené stabilnými dátovými tokmi. • Modulárny návrh systému umožňuje škálovateľné nasadenie a flexibilnú integráciu.
Prevádzkové aspekty	<ul style="list-style-type: none"> • Implementácia si vyžaduje koordináciu medzi organizačnými funkciami a integráciu do existujúcich pracovných postupov. • Včasné zapojenie zainteresovaných aktérov výrazne znižuje riziká a uľahčuje implementáciu. • Postupné prístupy umožňujú testovanie, validáciu a následné postupné škálovanie.
Ekonomické aspekty	<ul style="list-style-type: none"> • Cirkulárne riešenia si spravidla vyžadujú počiatočné investície, no vytvárajú hodnotu v dlhšom časovom horizonte. • Ekonomická výkonnosť závisí od veľkosti systému, úrovne integrácie a prevádzkového kontextu. • Významná časť hodnoty vzniká prostredníctvom nepriamych prínosov, ako sú spoľahlivosť a efektívnosť.
Poznatky z oblasti obehového hospodárstva	<ul style="list-style-type: none"> • Najväčší potenciál spočíva v predĺžovaní životnosti aktív, opätovnom použití komponentov a zmene účelu využitia energetických aktív. • Cirkulárne stratégie často sledujú kaskádovú logiku naprieč rôznymi kontextmi využitia. • Perspektíva životného cyklu je nevyhnutná na zachytenie plnej hodnoty.
Aplikovateľnosť	<ul style="list-style-type: none"> • Riešenia založené na modulárnych a prispôsobiteľných prístupoch vykazujú najvyšší potenciál prenositeľnosti. • Prenos závisí od miestnych organizačných, technických a regulačných podmienok. • Zdieľanie poznatkov a jasná dokumentácia podporujú replikáciu.

Tabuľka 7: Prehľad prierezových nadobudnutých skúseností.

5. Implementačný kontrolný zoznam a kľúčové aspekty

Na základe poznatkov uvedených v kapitole 4 poskytuje táto kapitola praktické usmernenia pre implementáciu riešení CE4CE v rôznych miestnych kontextoch. Identifikované poznatky premieňa na realizovateľné kroky, kľúčové faktory úspechu a rizikové aspekty s cieľom podporiť zainteresovaných aktérov pri zavádzaní prístupov obehového hospodárstva v systémoch verejnej dopravy.

Usmernenia sú určené pre prevádzkovateľov verejnej dopravy, orgány verejnej dopravy a ďalších zainteresovaných aktérov, ktorí chcú prispôbiť a implementovať riešenia CE4CE s prihliadnutím na miestne technické, organizačné a ekonomické podmienky.

5.1. Kľúčové aspekty úspešnej implementácie

Implementácia riešení CE4CE si vyžaduje riešenie súboru kľúčových aspektov, ktoré určujú uskutočniteľnosť, účinnosť a škálovateľnosť. Tieto aspekty odrážajú praktické požiadavky identifikované prostredníctvom pilotných aktivít a procesov vývoja riešení.

Úspešná implementácia závisí od zabezpečenia kompatibility s existujúcou infraštruktúrou a systémami, najmä v prostrediach so staršími technológiami, ako aj od dostupnosti spoľahlivých a dobre štruktúrovaných údajov. Zároveň zohráva kľúčovú úlohu organizačná pripravenosť vrátane

koordinácie medzi oddeleniami, zapojenia zainteresovaných aktérov a schopnosti integrovať nové prístupy do existujúcich pracovných postupov.

Ekonomickú životaschopnosť je potrebné posudzovať z perspektívy životného cyklu, pričom treba zohľadniť priame aj nepriame prínosy. Regulačné požiadavky a schvalovacie postupy môžu zároveň ovplyvniť harmonogram implementácie a návrh riešenia. Okrem toho by riešenia mali byť navrhnuté s ohľadom na škálovateľnosť a prenositeľnosť, aby ich bolo možné prispôbiť rôznym prevádzkovým a inštitucionálnym kontextom.

5.2. Implementačný kontrolný zoznam

Tabuľka 9 poskytuje štruktúrovaný postup krok za krokom na podporu implementácie riešení obehového hospodárstva v systémoch verejnej dopravy, od počiatočného hodnotenia až po škálovanie a integráciu do štandardnej prevádzky.

Krok	Zameranie
Krok 1: Počiatočné hodnotenie	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikovať príležitosti obehového hospodárstva v oblasti infraštruktúry, vozidiel a energetických systémov • Analyzovať súčasné postupy riadenia životného cyklu aktív • Definovať prioritné oblasti zásahu
Krok 2: Analýza uskutočniteľnosti	<ul style="list-style-type: none"> • Posúdiť technickú uskutočniteľnosť vybraných riešení • Vyhodnotiť dostupnosť údajov a systémové požiadavky • Analyzovať ekonomickú životaschopnosť a potenciálne prínosy • Identifikovať regulačné obmedzenia
Krok 3: Návrh riešenia	<ul style="list-style-type: none"> • Definovať technický koncept a systémovú architektúru • Vybrať vhodné technológie a partnerov • Vypracovať implementačný plán a harmonogram • Definovať ukazovatele výkonnosti
Krok 4: Implementácia	<ul style="list-style-type: none"> • Nasadiť riešenie v kontrolovanom pilotnom prostredí • Monitorovať výkonnosť a zbierať údaje • Zapojiť prevádzkových zamestnancov a zainteresovaných aktérov • Upraviť systém na základe spätnej väzby
Krok 5: Hodnotenie a optimalizácia	<ul style="list-style-type: none"> • Analyzovať výsledky pilotnej aktivity a údaje o výkonnosti • Identifikovať zlepšenia a potenciál optimalizácie • Validovať ekonomické a prevádzkové prínosy
Krok 6: Škálovanie a prenos	<ul style="list-style-type: none"> • Vypracovať stratégiu škálovania v rámci organizácie • Prispôbiť riešenie iným kontextom alebo lokalitám • Zdieľať poznatky a získané skúsenosti • Integrovať riešenie do štandardnej prevádzky

Tabuľka 9: Implementačný kontrolný zoznam krok za krokom.

5.3. Spoločné riziká a opatrenia na ich zmiernenie

Implementácia riešení obehového hospodárstva v systémoch verejnej dopravy zahŕňa súbor spoločných rizík súvisiacich s údajmi, technológiami, organizačnými kapacitami a regulačnými podmienkami.

Jedna z kľúčových výziev sa týka dostupnosti a kvality údajov, keďže neúplné alebo nekonzistentné údaje môžu obmedziť účinnosť digitálnych nástrojov a rozhodovania založeného na dôkazoch. Vyžaduje si to včasné posúdenie dostupnosti údajov spolu s validačnými postupmi a zavedením spoľahlivých procesov riadenia údajov.

Implementáciu môžu ovplyvniť aj technické nekompatibility s existujúcou infraštruktúrou a staršími systémami. Tieto výzvy možno riešiť prijatím modulárnych a flexibilných návrhov systému, ktoré umožňujú postupnú integráciu do existujúcich prostredí bez potreby rozsiahlych systémových zmien.

Regulačné požiadavky a schvalovacie postupy môžu ovplyvniť harmonogram implementácie, najmä pri inovatívnych alebo bezpečnostne kritických riešeniach. Preto je dôležité včasné zapojenie regulačných orgánov s cieľom objasniť požiadavky a znížiť riziko oneskorení.

Obmedzenia organizačných kapacít vrátane nedostatočných odborných znalostí alebo zdrojov môžu takisto ovplyvniť implementáciu. Tieto riziká možno zmierniť budovaním kapacít, cieľným školením a pridelením primeraných zdrojov na podporu implementácie a prevádzky.

Napokon, zapojenie zainteresovaných aktérov zohráva kľúčovú úlohu pri úspešnej implementácii. Obmedzené zapojenie alebo nesúlad medzi zainteresovanými aktérmi môžu brzdiť pokrok, zatiaľ čo priebežná komunikácia a včasné zapojenie podporujú koordináciu, prijatie riešenia a účinnú implementáciu..

Riziká	Opatrenia na zmiernenie rizik
Nedostatok údajov alebo nízka kvalita údajov	Včasné posúdenie a validácia údajov
Technická nekompatibilita	Modulárny návrh systému
Regulačné oneskorenia	Včasné zapojenie regulačných orgánov
Obmedzená organizačná kapacita	Budovanie kapacít a školenie
Nízka úroveň zapojenia zainteresovaných aktérov	Priebežná komunikácia so zainteresovanými aktérmi

5.4. Závery a perspektívy

Príručka CE4CE ukazuje, ako možno princípy obehového hospodárstva premietnuť do praktických aplikácií v systémoch verejnej dopravy. Prostredníctvom pilotných aktivít realizovaných v rôznych prevádzkových kontextoch projekt priniesol cenné skúsenosti s tým, ako zachovávať hodnotu, znižovať množstvo odpadu a zlepšovať efektívnosť využívania zdrojov v oblasti infraštruktúry, vozidiel a energetických systémov.

Riešenia predstavené v tejto príručke vychádzajú z týchto skúseností a poskytujú štruktúrované, prenositeľné prístupy, ktoré môžu podporiť orgány a prevádzkovateľov verejnej dopravy pri implementácii cirkulárnych postupov.

Spolu s prierezovými získanými poznatkami ponúkajú strategické smerovanie aj praktické usmernenia pre prechod od lineárnej správy aktív k cirkulárnej správe aktív.

Kontrolný zoznam uvedený v tejto príručke poskytuje štruktúrovaný prístup, ktorý možno prispôbiť rôznym kontextom verejnej dopravy a cirkulárnym riešeniam. Pokračujúca výmena poznatkov, spolupráca zainteresovaných aktérov a ďalší rozvoj cirkulárnych obchodných modelov sú nevyhnutnými predpokladmi na škálovanie týchto prístupov a podporu prechodu na udržateľnejšie a cirkulárnejšie systémy verejnej dopravy.

6. Referencie

Výstupy projektu CE4CE:

- D.1.1.3 The Public Transport Circularity Compass - súhrn výsledkov s odporúčaniami na zavádzanie.
- D.1.2.2 Správa o implementácii, testovaní, hodnotení a partnerskom hodnotení platformy CE4CE Public Transport Circularity Platform.
- D.3.1.1 Správa o spoločných požiadavkách, príprave pilotných aktivít, implementácii a hodnotení: prediktívna údržba v Lipsku a Bergame a simulácia e-koridoru v Gdyni.
- D.3.1.2 Správa o vývoji spoločných digitálnych riešení na umožnenie a urýchlenie cirkularitu vo verejnej doprave.
- D.3.2.1 Správa o spoločných požiadavkách a pláne prípravy, implementácie a hodnotenia pilotných aktivít: opätovné použitie trolejbusových výhybiiek v Segedíne a opätovné použitie použitých batérií v Maribore.
- D.3.2.2 Správa o vývoji riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z infraštruktúry verejnej dopravy.
- D.3.3.1 Správa o spoločných požiadavkách a pláne prípravy, implementácie a hodnotenia pilotných aktivít.
- D.3.3.2 Správa na uľahčenie zavádzania riešení na zachovanie hodnoty a znižovanie množstva odpadu z vozidiel a vozidlového parku.

Informačné listy výstupov projektu CE4CE:

- O1.1 CE4CE Public Transport Circularity Compass
- O1.2 Znalostná platforma CE4CE pre cirkularitu vo verejnej doprave
- O3.1 Optimalizácia digitálnej infraštruktúry a vozidiel prostredníctvom prediktívnej údržby.
- O3.2 Moduly pre prediktívnu údržbu infraštruktúry a vozidlového parku.
- O3.3 Simulácia e-koridoru a tokov energie na simulovanie cirkulárnych scenárov rozširovania elektrifikácie.
- O3.4 Nástroj na cirkulárne obchodné plánovanie pre elektrifikované flotily a infraštruktúru verejnej dopravy.
- O3.5 Preukázanie uskutočniteľnosti opätovného použitia trolejbusových výhybiiek.
- O3.6 Definovanie kritérií zavádzania pre opätovné použitie trolejbusových výhybiiek.
- O3.7 Analýza využitia použitých batérií na ukladanie obnoviteľnej energie na napájanie rýchlonabíjacej stanice ako príklad strategickej orientácie na cirkularitu.
- O3.8 Vývoj prenositeľných obchodných modelov pre opätovné použitie batérií na ukladanie obnoviteľnej energie v systémoch verejnej dopravy.
- O3.9 Návrh riadiacich jednotiek električiek v rámci repasovania električiek.
- O3.10 Online trh s použitými dielmi a produktmi a nástroj na prepájanie ponuky a dopytu a zdieľanie informácií.



Scan me for the project website

Copyright: Szeged Transport Company

Projekt CE4CE (Infraštruktúra verejnej dopravy v strednej Európe - uľahčenie prechodu na obehové hospodárstvo) podporuje systémové myslenie v oblasti obehového hospodárstva u aktérov verejnej dopravy v strednej Európe s cieľom znižovať množstvo odpadu a vytvárať hodnotu v rámci nových životných cyklov infraštruktúry a vozidlového parku.

KONTAKTUJTE NÁS

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH / Leipzig Public Transport Company
 Koordinátor projektu: pán Stefan Röhl
 E-mail: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de
 Webová stránka projektu: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>
 LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/interreg-ce4ce/>
 YouTube: <https://www.youtube.com/@InterregCE4CE>
 Znalostná platforma projektu: <https://circularity4publictransport.eu/>

