



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# TRANSNACIONALNI PRIRUČNIK ZA UVOĐENJE ENERGETSKI UČINKOVITIH TEHNOLOGIJA INFRASTRUKTURE JAVNOG PRIJEVOZA

(2) Višenamjensko korištenje infrastrukture  
javnog prijevoza

## IMPRINT

**Broj projekta:**

CE1537 EfficienCE Energetska učinkovitost za infrastrukturu javnog prijevoza u srednjoj Europi.

**Financirao:**

Interreg Central Europe (<http://interreg-central.eu/Content.Node/home.html>)

**Naslov za isporuku:**

D.T2.3.2 Transnational Handbooks for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment  
(Transnacionalni priručnici za uvođenje energetske učinkovite tehnologije infrastrukture JP)

**Urednik:**

EfficienCE konzorcij

**Autori:**

Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Sveučilište u Mariboru)

**Prijelom i dizajn:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

**Datum:**

lipanj 2022.

## O projektu EfficienCE

EfficienCE je bio projekt suradnje koji je pokrenuo program Interreg CENTRAL EUROPE i s ciljem smanjivanja ugljičnog otiska u regiji. Većina srednjoeuropskih gradova ima opsežne sustave javnog prijevoza koji mogu stvoriti osnovu za usluge mobilnosti niskog ugljičnog otiska. Više od 63 % osoba u regiji koje putuju na posao koriste javni prijevoz. Stoga mjere za povećanje energetske učinkovitosti i udjela obnovljivih izvora energije u infrastrukturi javnog prijevoza mogu imati posebno snažan utjecaj na smanjenje CO<sub>2</sub>.

To je postignuto pružanjem potpore lokalnim vlastima, upravama javnog prijevoza i operaterima razvojem strategija planiranja i akcijskih planova, implementacijom pilot akcija, razvojem alata i obuka za planiranje i rukovanje infrastrukturom s niskim ugljičnim otiskom te prijenosom znanja i najboljih praksi u vezi s mjerama energetske učinkovitosti diljem regija Srednje Europe.

Dvanaest partnera, uključujući sedam tijela nadležnih za javni prijevoz / poduzeća za javni prijevoz, iz sedam zemalja tri su godine surađivali kako bi iskoristili neiskorišteni potencijal u tom sektoru i kako bi doprinijeli ciljevima Bijele knjige EU-a u pogledu smanjenja emisija iz prometa za 60 % do 2050. godine te kako bi se prepolovila upotreba automobila na konvencionalna goriva u gradskom prometu do 2030. godine.

Izvršni sažetak .....	5
1. Višenamjensko korištenje infrastrukture javnog prijevoza .....	6
1.1 Sažetak relevantnih tehnologija .....	6
1.1.1 Tehnologija A - Multimodalno korištenje infrastrukture JP .....	7
1.1.2 Tehnologija B - Multifunkcionalno korištenje infrastrukture JP .....	10
1.1.3 Tehnologija C - Inovativno punjenje u pokretu za JP .....	14
1.2 Višenamjensko korištenje infrastrukture javnog prijevoza diljem svijeta .....	17
2. Slučaj upotrebe Maribor - Adaptacija stanice žičare na višenamjensku infrastrukturu JP .....	23
3. Zaključak .....	27
Reference .....	28

# Izvršni sažetak



Fotografija Grad Leipzig

Sustavi prijevoza suočavaju se s izazovima zbog povećane urbanizacije. Zastarjela prometna infrastruktura nastoji ispuniti suvremene zahtjeve, dok su se osobni izbori u vezi gradskog prometa razvili tako da prethodne prometne politike usmjerene na automobile više nisu prikladne.

Priručnik predstavlja osnove višenamjenskog korištenja infrastrukture javnog prijevoza za gradove u kojima infrastruktura javnog prijevoza nije prioritet planiranja, kao i za gradove s naprednom kulturom planiranja infrastrukture javnog prijevoza.

Višenamjensko korištenje infrastrukture javnog prijevoza integrira energiju, mobilnost i logističke aspekte za smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i energetske učinkovitije prometne aktivnosti kroz različite tehnologije.

Energetski učinkovite višenamjenske tehnologije infrastrukture za javni prijevoz općenito su strukturirane u rješenja za multimodalnu i multifunkcionalnu upotrebu te inovativne pristupe za tehnologije punjenja IMC u razvoju.

Svaka od tehnologija ima nekoliko prednosti i koristi. Prednosti i koristi mogu biti tehničke, financijske ili sigurnosne.

Međutim, svaka od prikazanih tehnologija ima tehničke i regulatorne prepreke, npr. nedostatak tehničkih standarda, usklađenost između različitih proizvođača, sigurnosna ograničenja, niska energetska učinkovitost, dodatni troškovi, standardizacija infrastrukture i sustava.

Pregled današnjih praksi povezanih s različitim rješenjima za multimodalnu upotrebu infrastrukture JP i studija slučaja iz pilot-projekta EfficienCE predstavljaju nove tehnologije u skladu s njihovim prednostima, iskustvima i mogućnostima prijenosa.

# 1. Višenamjensko korištenje infrastrukture javnog prijevoza

Elektromobilnost postaje sve važnija tema za javni prijevoz (JP) u gradovima. Električna energija izvor je za napajanje različitih električnih vozila.

Glavna je razlika među tehnologijama za korištenje višenamjenske infrastrukture JP što se koriste u skladu s:

- Modalnostima za koje je višenamjensko korištenje važno (na temelju postojeće infrastrukture JP) i
- Funkcionalnosti prijenosa energije između izvora energije, infrastrukture JP i električnih vozila JP.

## 1.1 Sažetak relevantnih tehnologija

Klasifikacija višenamjenskih tehnologija infrastrukture JP temelji se na postojećem multimodalnom i multifunkcionalnom korištenju infrastrukture JP.

**Tehnologija A** - Multimodalno korištenje postojeće infrastrukture JP, kao što je podzemna željeznica, tramvaj, željeznica ili žičara gdje je dodatno punjenje potrebno za: E-autobuse, (hibridne) trolejbuse i ostale E-modele (E-automobile, E-bicikle, E-dostave).

**Tehnologija B** - Multifunkcionalno korištenje infrastrukture JP uz korištenje postojeće infrastrukture JP za učinkovitiju upotrebu regenerativnog kočenja, dvosmjernog punjenja (pametna mreža) i lokalno proizvedene energije od obnovljivih izvora energije (fotonaponske ćelije, vjetar).

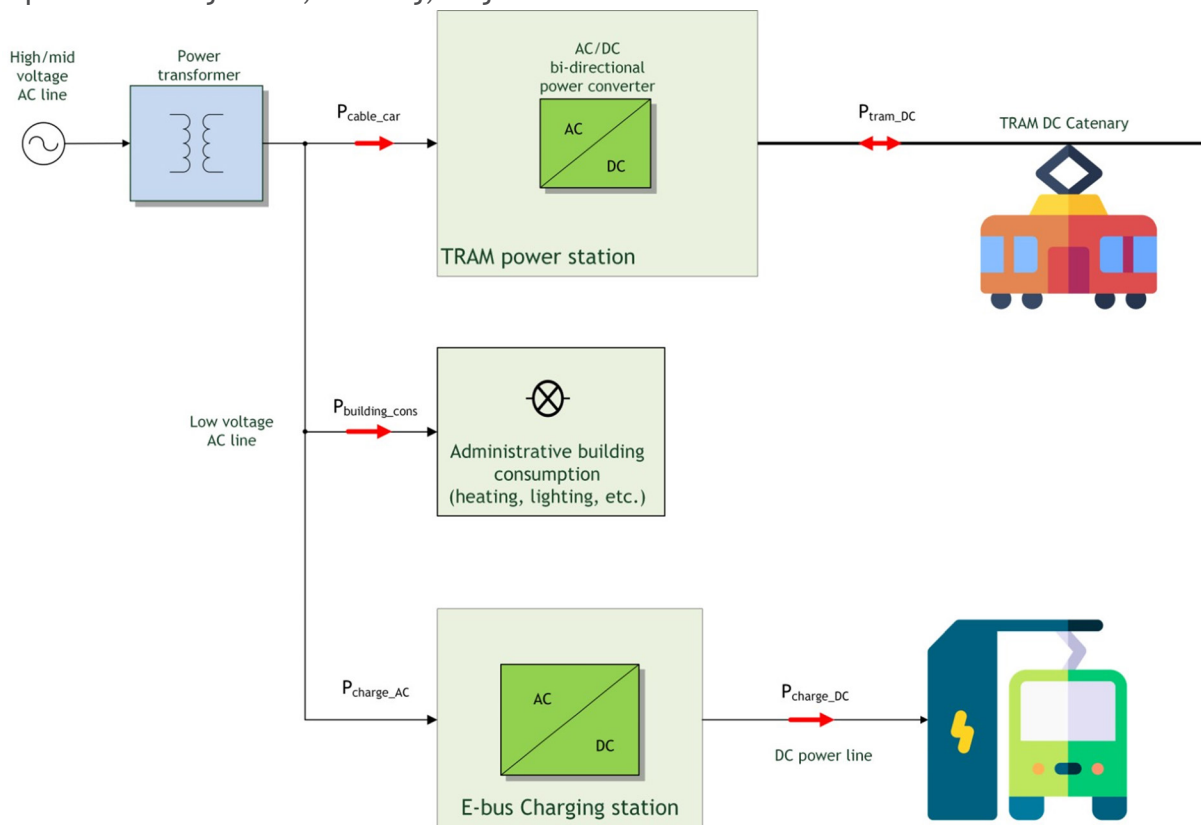
**Tehnologija C** - Inovativno multimodalno i multifunkcionalno IMC (punjenje u pokretu) na ulici Induktivno zemaljsko punjenje, konduktivno površinsko punjenje na autocestama i konduktivno zemaljsko punjenje.

### 1.1.1 Tehnologija A – Multimodalno korištenje infrastrukture JP

Tehnologija A odnosi se na koncept punjenja različitih električnih vozila iz postojeće mreže JP, kao što je podzemna željeznica, tramvaj, željeznica ili žičara.

#### Rješenje 1 - Električna energija iz postojećih mreža JP za napajanje točaka za punjenje E-autobusa

Tehnologija A odnosi se na koncept punjenja različitih električnih vozila iz postojeće mreže JP, kao što je podzemna željeznica, tramvaj, željeznica ili žičara.



Slika 1: Povezivanje stanica za punjenje e-vozila na postojeću infrastrukturu javnog prijevoza

#### Očekivane prednosti:

Glavna je prednost koncepta tehnologije podrška za brzu, učinkovitu i isplativu elektrifikaciju javnog autobusnog prometa pružanjem osnovne infrastrukture.

Uz integraciju robusne infrastrukture (mreže) tramvaja/podzemne željeznice s elektrifikacijom flote e-autobusa postoji mogućnost ubrzanja elektrifikacije flota e-autobusa. Mreža tramvaja/podzemne željeznice pruža moguću alternativu javnoj distribucijskoj mreži bez potrebe za dodatnim stanicama za napajanje e-autobusa.

Glavne su tehničke prednosti u područjima:

- Odgovornost u vezi mjesta i vremena, pouzdanost u slučaju prekida napajanja,
- Učinkovita i uravnotežena distribucija energije

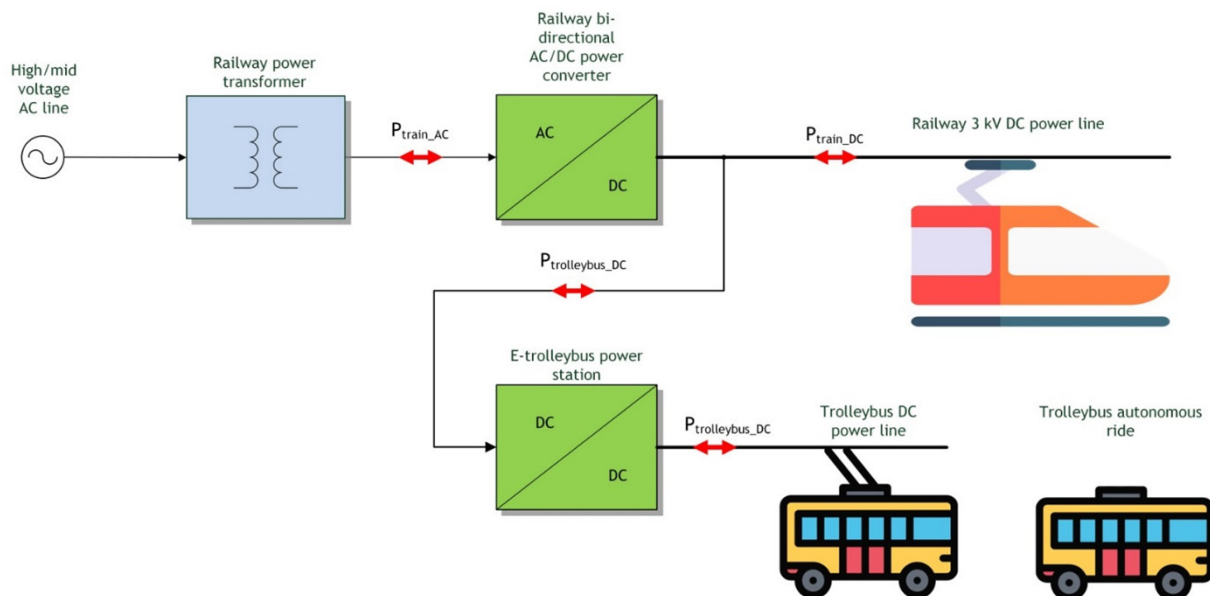
Glavna je financijska prednost:

- Postizanje niže nabavne cijene energije (zajednički volumen podzemne željeznice/tramvaja i e-autobusa).



## Rješenje 2 - Električna energija iz postojeće mreže JP (tramvaj ili podzemna željeznica) za napajanje električnih vozila, hibridnih trolejbusa

Povezanost između postojeće željezničke i tramvajske mreže ili mreže podzemne željeznice s mrežom trolejbusa može se nadograditi opremanjem trolejbusa dodatnim vučnim akumulatorima koji omogućuju rad pod kontaktnom mrežom, kao i bez kontaktne mreže (autonomno). Glavni je cilj tog klastera proširiti gradske i regionalne linije električnih autobusa i time zamijeniti današnje dizelske autobusne linije bez potrebe za izgradnjom dodatne nadzemne infrastrukture. Kako bi se smanjio trošak implementacije, mreža (hibridnih) trolejbusa može se kombinirati sa željezničkim sustavom.



Slika 2: Kombiniranje trolejbusa s punjenjem u pokretu sa željezničkim sustavom

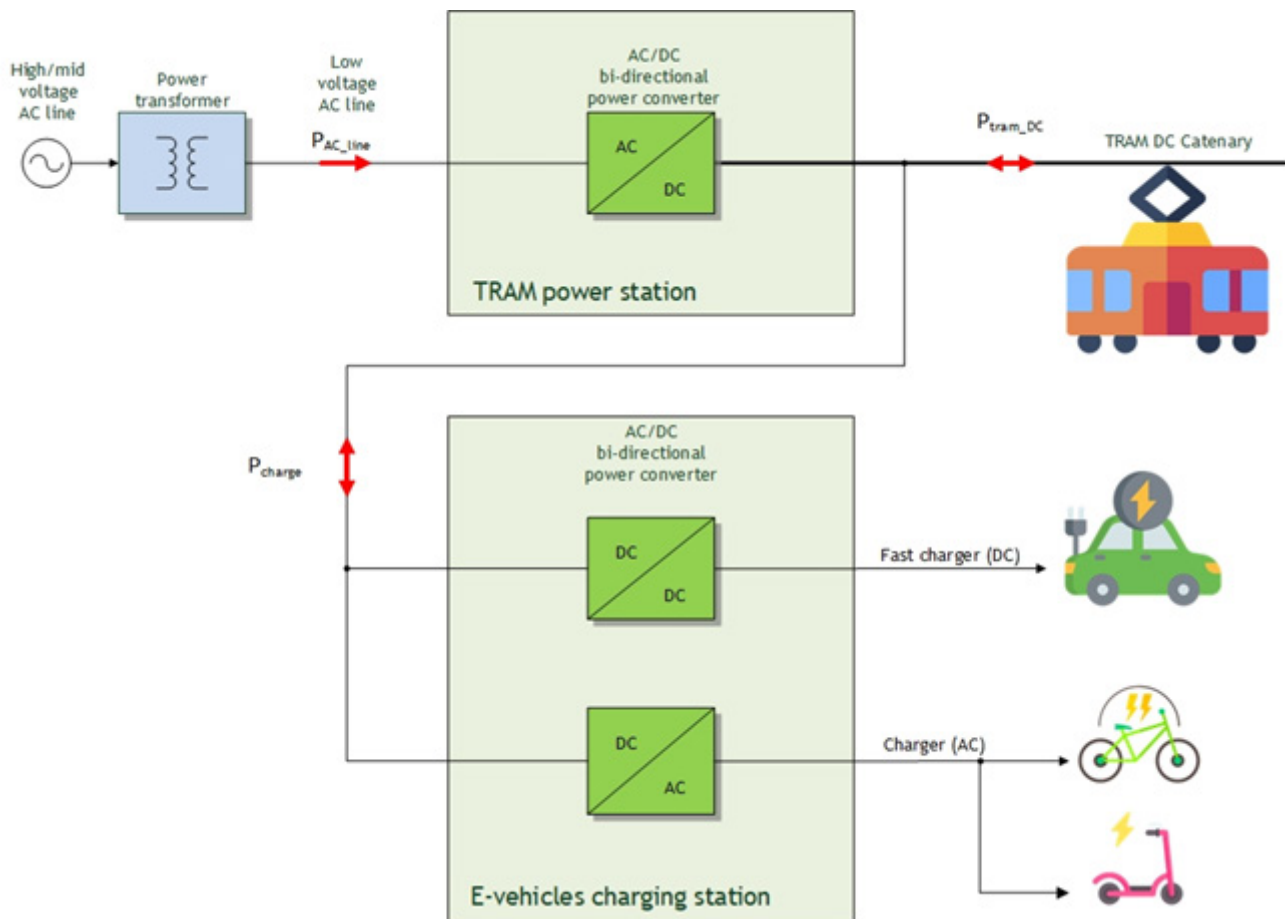
### Očekivane prednosti:

Tehnologija hibridnih trolejbusa dovoljno je razvijena i komercijalno dostupna za korištenje. Usto su električna vozila jednaka ili bolja od dizelskih vozila kada je riječ o dostupnosti, učinkovitosti i pouzdanosti uz manje zahtjevno održavanje. Uočene su manje slabosti u upravljanju, veličini i usklađenosti litij-ionskih akumulatora u starijim vozilima, ali one bi se mogle riješiti razvojem tehnologije akumulatora.

## Rješenje 3 - Električna energija iz postojeće mreže JP (tramvaj ili podzemna željeznica) za napajanje multimodalnog čvorišta za punjenje

Odnosi se na tehnološki koncept koji omogućuje višenamjensko korištenje električnih mreža JP (podzemna željeznica, tramvaj ili trolejbus) za napajanje drugih vrsta električnih vozila, uključujući, na primjer, komercijalna vozila, putničke automobile i taksije. Električna vozila koja se razmatraju u rješenju razlikuju se ovisno o slučaju upotrebe i uključuju električne automobile, bicikle i kombije.





Slika 3: Brzo punjenje e-vozila iz tramvajske kontaktne mreže

#### Očekivane prednosti:

Najprije se mora razjasniti je li moguće koristiti energetska mrežu kako bi se zadovoljile potrebe za električnom energijom infrastrukture za punjenje, pogotovo na mjestima koja su povezana s regularnom energetskom mrežom.

Tehnologija A	Tehničke prepreke	Pravne prepreke
Multimodalno korištenje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nedostatak tehničkih standarda za punjenje.</li> <li>Usklađenost različitih proizvođača.</li> <li>Potrebne su promjene u trenutnom redu vožnje.</li> <li>Opterećenje na mreži - ograničene mogućnosti punjenja.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prodaja ili distribucija energije (autobusnim) operaterima trećih strana.</li> <li>Korištenje okolišnih prednosti za produljenje linija kontaktne mreže (nije jednostavno).</li> </ul>

### 1.1.2 Tehnologija B – Multifunkcionalno korištenje infrastrukture JP

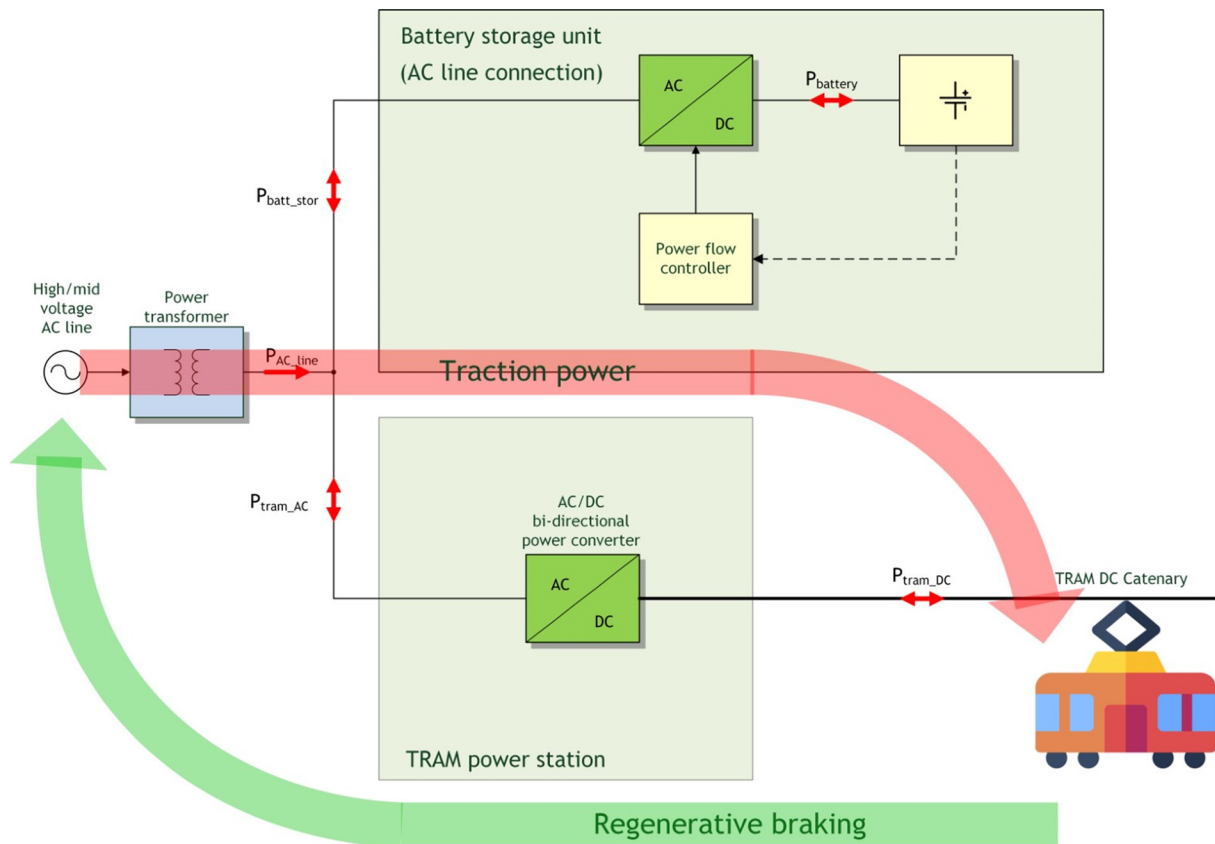
Tehnologija se odnosi na učinkovitije korištenje infrastrukture za punjenje iz postojeće mreže JP, kao što je podzemna željeznica, tramvaj, trolejbus, željeznica ili žičara.

#### Rješenje 4 - Integrirana energija regenerativnog kočenja

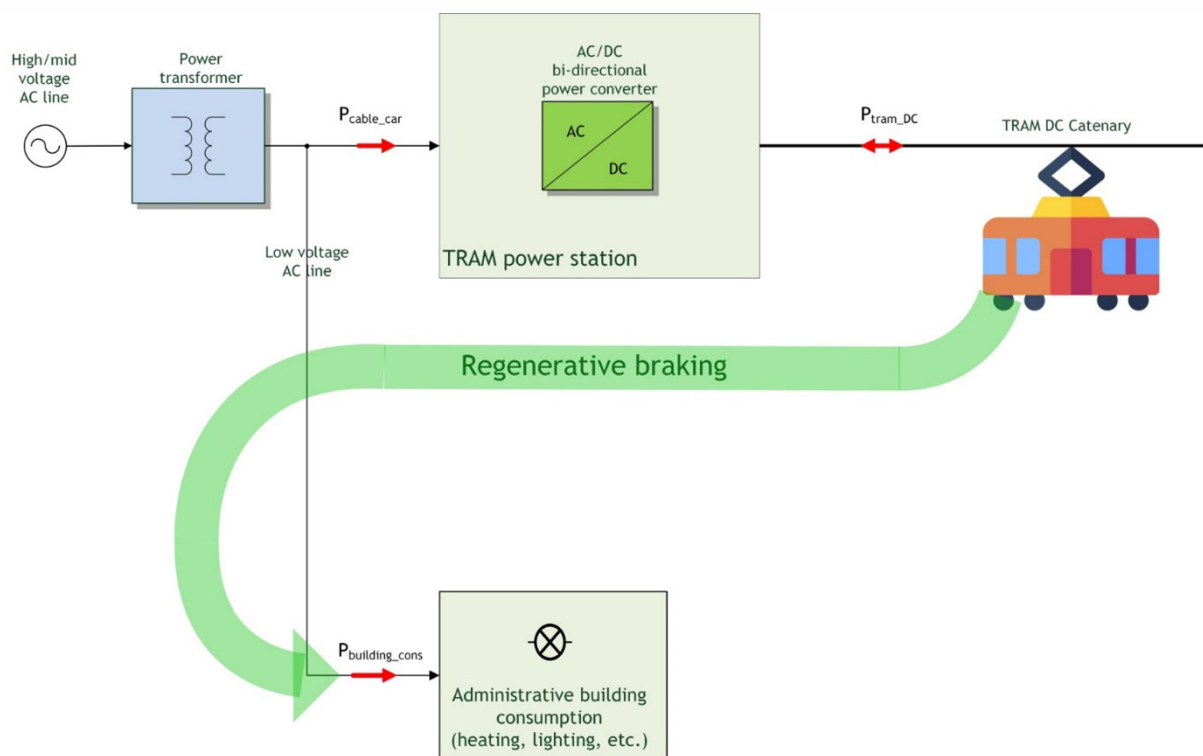
Tehnologija obuhvaća različite mjere i tehničke sustave koji povećavaju korištenje energije regenerativnog kočenja tračnih vozila (podzemna željeznica, tramvaj) i autobusa (trolejbus). Glavni je cilj klastera povećati energetska učinkovitost sustava javnog prijevoza učinkovitijim korištenjem energije regenerativnog kočenja vozila.

Mogu se definirati tri vrste primjene:

- Primjene mobilne pohrane
- Primjene stacionarne pohrane
- Primjene stacionarnog „povrata u mrežu”.



Slika 4: Primjene stacionarne pohrane



Slika 5: Primjene stacionarnog „povrata u mrežu“

### **Očekivane prednosti:**

Očekivane prednosti primjena mogu se istaknuti u sljedećim točkama (François-Olivier Devaux (STIB), ožujak 2011.):

#### **Mobilna pohrana:**

- Visoka učinkovitost zbog smanjenja nadzemnih gubitaka jer je pohrana u vozilu.
- Mogućnost upravljanja vozilom bez nadzemnih linija na određenim dijelovima linije.
- Stabilizacija napona ublažavanjem padova napona.
- Smanjenje zahtjeva za vršnom snagom usrednjavanjem opterećenja tijekom određenog razdoblja.
- Mogućnost smanjenja otpora kočenja u vozilu.

#### **Primjene stacionarne pohrane:**

- Mogu je koristiti sva vozila na liniji, stabilizacija napona ublažavanjem padova napona.
- Smanjenje zahtjeva za vršnom snagom usrednjavanjem opterećenja tijekom određenog razdoblja.
- Smanjenje broja vučnih podstanica ili omogućavanje dodavanja vozila bez nadogradnje energetskog sustava.
- Smanjenje otpadne topline, izbjegavanje zagrijavanja tunela i stanica.
- Mogućnost smanjenja pružnog otpora kočenja.
- Smanjenje sigurnosnih ograničenja u odnosu na sustave u vozilu.
- Provedba, održavanje i popravak ne utječu na rad (način rada isključivanja).

#### **Primjene stacionarnog „povrata u mrežu”:**

- Mogu ga koristiti sva vozila na liniji.
- Visoka energetska učinkovitost zbog manje pretvorbenih gubitaka u odnosu na primjene pohrane.
- U odnosu na primjene pohrane, smanjenje otpadne topline (izbjegavanje zagrijavanja tunela...).
- Mogućnost smanjenja pružnog otpora kočenja.
- Manji sigurnosni zahtjevi u odnosu na sustave u vozilu.
- Provedba, održavanje i popravak ne utječu na rad (način rada isključivanja).

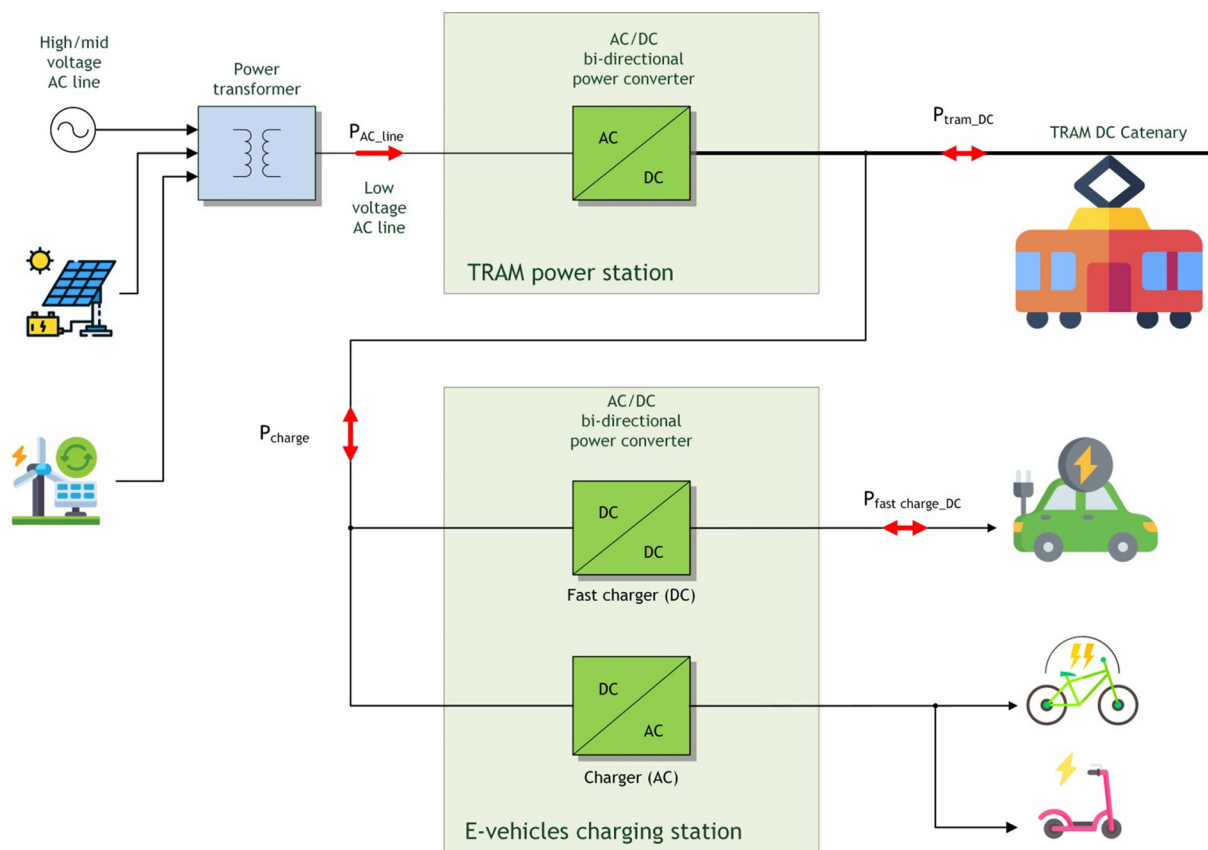
### **Rješenje 5 - Pametna mreža (fotonaponske ćelije, obnovljivi izvori energije, mobilnost do mreže, vozilo do mreže)**

Obnovljiva energija i elektromobilnost za pametno gradsko okruženje. Uz povećanje elektromobilnosti postoji mogućnost razvoja integriranog energetskog i prijevoznog sustava. Razvoj i provedba inovativnih rješenja za osiguravanje isplative i sigurne opskrbe električnom energijom, grijanjem i prijevozom koji se u potpunosti temelje na obnovljivoj energiji.

#### **Očekivane prednosti (Massink, 14. siječnja, 2019.):**

- Smanjenje ukupnog troška vlasništva nad voznim parkom, akumulatorima, fotonaponskim ćelijama...
- OEM-ovi (proizvođači) vozila mogu prodavati vozila s dodanom vrijednosti.
- Strane na energetskom tržištu mogu trgovati i optimizirati svoju bilancu.
- Mrežni operateri mogu optimizirati ulaganja i stabilizirati mrežu.





Slika 6: Povezivanje stanica za punjenje e-vozila na postojeću infrastrukturu javnog prijevoza



Tehnologija B	Tehničke prepreke	Pravne prepreke
Multimodalno korištenje	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visoka sigurnosna ograničenja za primjenu mobilne pohrane (putnici u vozilu);</li> <li>Gubici u nadzemnim linijama (zbog velikih udaljenosti između vozila/stanica);</li> <li>Nema stabilizacije napona za povrat u mrežne sustave.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stroža pravila i provedba mogu rezultirati većim troškovima ili odustajanjem od projekta;</li> <li>Norme za dvosmjerni prijenos energije među različitim načinima rada uz korištenje norme ISO 15118-20.</li> </ul>

### 1.1.3 Tehnologija C – Inovativno punjenje u pokretu za JP

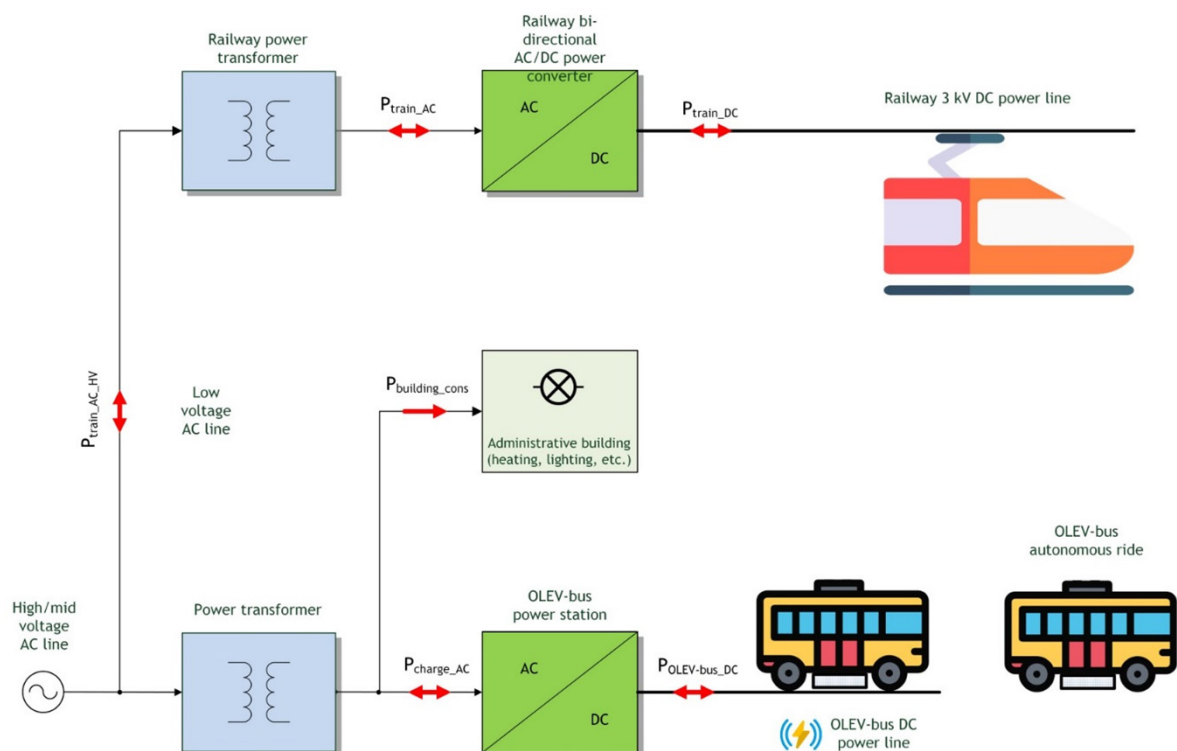
Tehnologija se odnosi na koncept punjenja vozila JP dok ih se vozi na cesti (u pokretu) uz nova inovativna rješenja koja mogu omogućiti multimodalno i raznoliko korištenje u javnom prijevozu budućnosti.

#### Rješenje 6 - Induktivno uzemljeno punjenje u pokretu (OLEV)

Postoji nekoliko metoda za izgradnju elektrificiranih cesta. U induktivnoj se tehnologiji prenosi magnetska energija.

Zabilježeno je da svi razvijeni OLEV koncepti funkcioniraju na frekvenciji od 20 kHz.

Naznačeno je da se trenutno razvija šesta generacija tehnologije. Glavni je cilj osigurati usklađenost s novom normom SAE J2954 za stacionarno induktivno punjenje električnih vozila. Stoga je istaknuto da će se šesta generacija tehnologije OLEV temeljiti na tračnicama bez jezgre i bez krute magnetske strukture na cestama.



Slika 7: Induktivno uzemljeno punjenje u pokretu

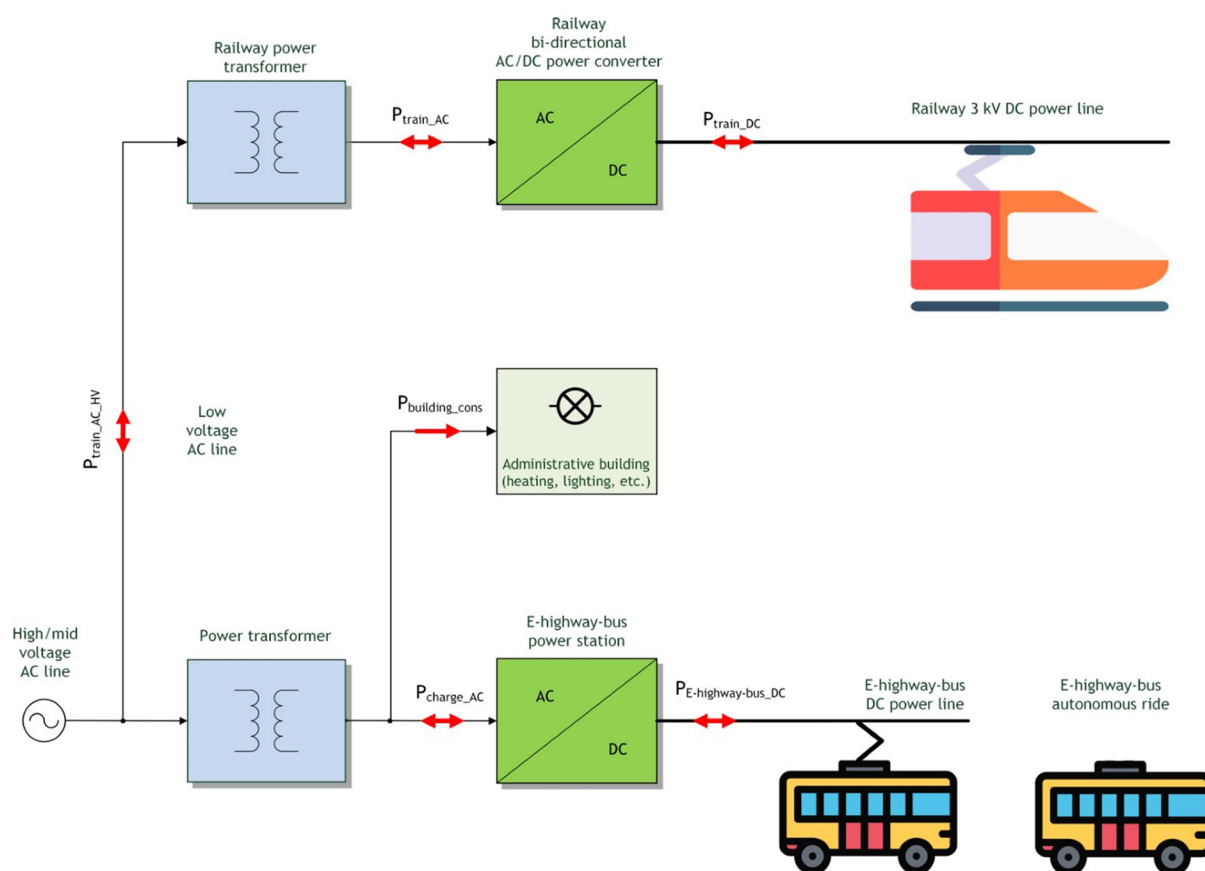
### Očekivane prednosti:

Očekuje se da će prijenos sustava za stacionarnu i dinamičku induktivnu energiju na električna vozila biti usklađen. Norma za stacionarno induktivno punjenje zahtijeva radnu frekvenciju od 85 kHz što sa sobom povlači teška razmatranja i kompromise u odnosu na postojeće OLEV sustave koji rade na frekvenciji od 20 kHz.

### Rješenje 7 - Konduktivno nadzemno punjenje u pokretu na autocestama (e-autoceste)

Tehnologija koja se temelji na nadzemnim linijama može se smatrati najzrelijom jer se temelji na iskustvu dobivenom iz upravljanja nadzemnim linijama kako bi se energijom opskrbili vlakovi, tramvaji ili trolejbusi.

Glavna je razlika između infrastrukture cestovnih vozila u odnosu na vlakove ili tramvaje što željeznički sustavi zahtijevaju samo jedan vodič s klizećim kontaktom jer su vlakovi uobičajeno povratna staza za struju, dok dinamički prijenos konduktivne energije do cestovnih vozila zahtijeva dva posebna vodiča. Ključna je komponenta sustava novorazvijeni pantograf. Pantograf jamči sigurnost tijekom spajanja i razdvajanja s nadzemnom kontaktnom mrežom u rasponu brzine od 0 do 90 km/h (Akerman, 2015.).



Slika 8: Konduktivno nadzemno punjenje u pokretu na autocestama

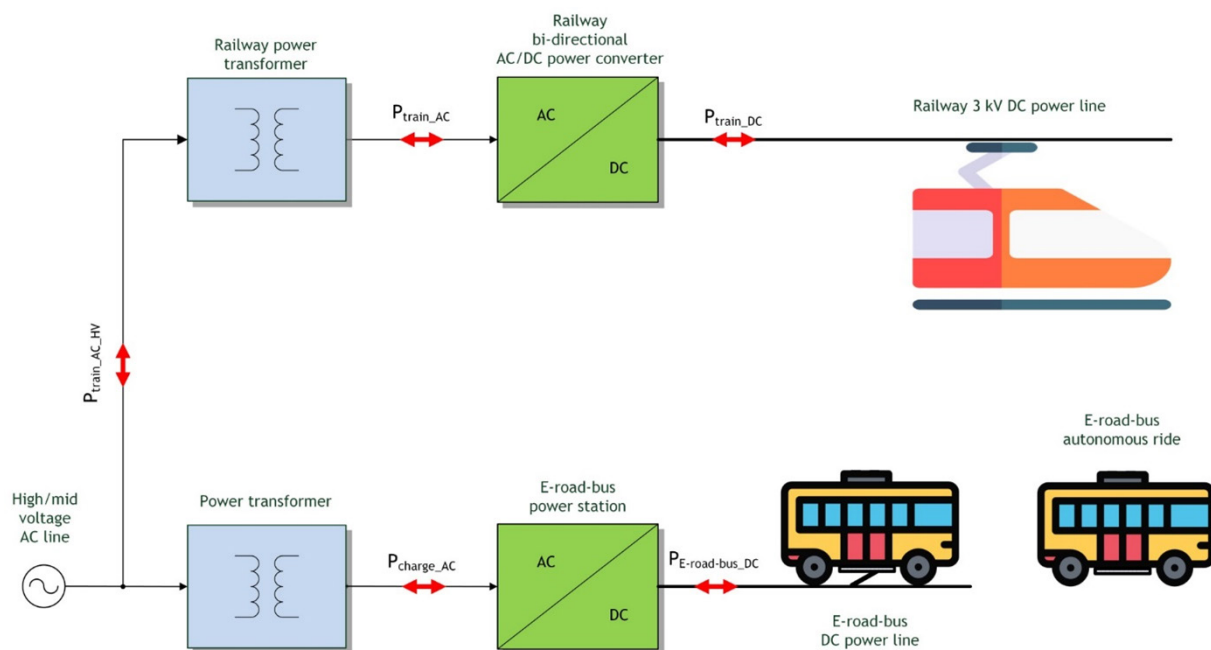
### Očekivane prednosti:

Očekuje se da kamioni i možda autobusi koji koriste nadzemne vodove imaju vrlo slična sučelja između sustava pantografa i pogonskog sustava vozila, iako uz neke prilagodbe koje ovise o proizvođaču. Očekuje se da vozila imaju akumulatorsku pohranu nominalnog napona između 400 i 900 V. Najvjerojatnije će pretvarač DC-DC biti sučelje pogonskog sustava uz prilagodbu napona i kontrolu električne energije iz nadzemnih vodova.



## Rješenje 8 - Konduktivno uzemljeno punjenje u pokretu (multimodalno)

Druga konduktivna tehnologija omogućuje opskrbu energijom od dolje putem žica na ulici. Takvi su sustavi već implementirani za gradske tramvaje kako bi se izbjegao vizualni utjecaj stupova i nadzemnih žica koji su potrebni za kontaktnu mrežu. Jedan od koncepata koji se još razvija temelji se na prilagodbi tehnologije za tramvaje, dok se ostali sustavi razvijaju posebno za cestovna vozila.



Slika 9: Konduktivno uzemljeno punjenje u pokretu

### Očekivane prednosti:

- Mogućnost da vozila različitih veličina koriste infrastrukturu.
- Izbjegavanje postavljanja nadzemnih energetske vodova i povezanog vizualnog utjecaja.

Tehnologija C	Tehničke prepreke	Pravne prepreke
Inovativno punjenje u pokretu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Slaba učinkovitost energetskog prijenosa u stvarnim uvjetima;</li> <li>▪ Za bežično punjenje potreban je dodatni punjač koji se integrira u vozilo (dodatni trošak);</li> <li>▪ Oblikovanje, rad i trošak sustava distribucije energije;</li> <li>▪ Bez jasne vizije multimodalnosti.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Standardizacija infrastrukture i sustava vozila;</li> <li>▪ Međusobno funkcioniranje različitih koncepata.</li> </ul>

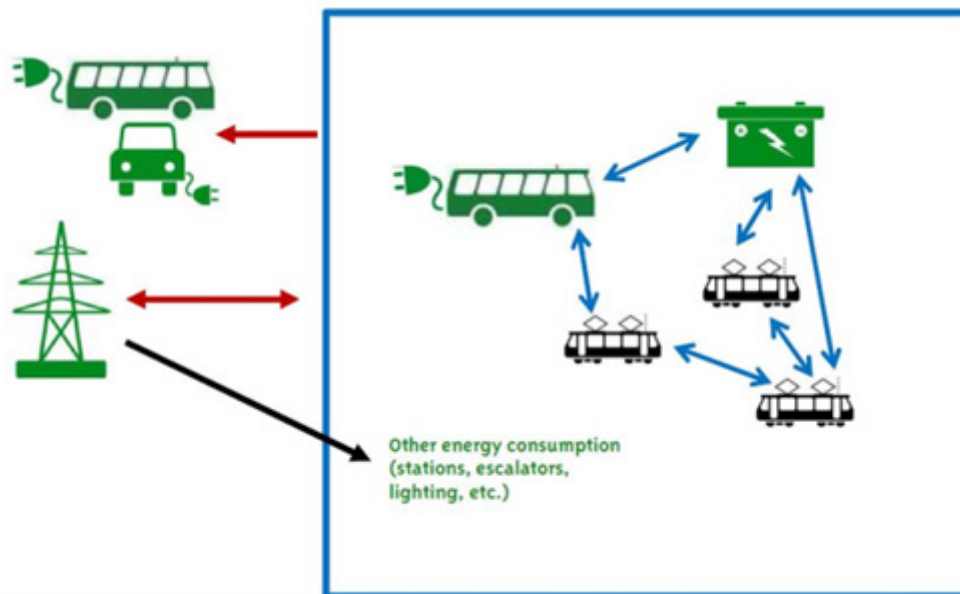
## 1.2 Višenamjensko korištenje infrastrukture javnog prijevoza diljem svijeta

## Oberhausen: Tehnologija A (Rješenje 1) - Korištenje tramvaja za brzo punjenje e-autobusa

U gradskim autobusnim sustavima ponajprije su se koristila dizelska vozila. Električni su autobusi uvedeni u grad kako bi se smanjila ovisnost o fosilnim gorivima i smanjio dušikov oksid, krute čestice i buka u gradskim područjima. Energija punjenja pretvara se iz tramvajskih nadzemnih vodova na autobusnoj stanici ili uzima od podstanice na autobusnoj stanici tako da se električni autobusi ne trebaju ponovno puniti u spremištu autobusa tijekom redovnog rada.

## Leipzig: Tehnologija A (Rješenje 1) - Korištenje tramvaja za punjenje svih gradskih e-autobusa

Energija iz postojeće mreže JP (tramvaj ili podzemna željeznica) za napajanje multimodalnog čvorišta za punjenje. Korištenje tramvajske mreže za (ponovno)punjenje e-vozila. Glavni je cilj bio identificirati pravne prepreke i pravnu pozadinu povezanu s višenamjenskim korištenjem postojeće tramvajske infrastrukture za prodaju energije iz tramvajske mreže trećim stranama.



Slika 10: Stup A Mogućnost (ponovnog)punjenja e-autobusa pomoću tramvajske infrastrukture

## **Barcelona: Tehnologija A (Rješenje 1) - Korištenje podzemne željeznice za brzo punjenje e-autobusa od 18 m**

Stanica za brzo punjenje u Barceloni - dva električna autobusa pružaju usluge pomoću ovog operativnog modela. Vozila imaju kapacitet akumulatora od 125 kWh i duljine su 18 m. Osnovna činjenica - manje kapaciteta znači manje vremena i energije prilikom svakog punjenja, ali i više punjenja.



Slika 11: Punjenje pantografa u Barceloni kao dio ambicioznog plana elektrifikacije. Izvor: TMB.

## **Segedin: Tehnologija A (Rješenje 2) - Električna energija iz postojeće mreže JP za napajanje hibridnih trolejbusa**

- Ponovno punjenje e-autobusa „en route”.
- Nadogradnja mreže trolejbusa akumulatorskim autobusima.
- Automatsko postavljanje/uklanjanje žica.
- Prednosti i za građane.
- Financijska i pravna izvedivost.
- Tehnologija nije relevantna za nisku gustoću/periferni promet (zglobni e-autobusi).

## **Eberswalde: Tehnologija A (Rješenje 2) - Korištenje hibridnih trolejbusa**

Ponovno punjenje pohrane energije dok autobusi prolaze ispod nadzemnih vodova. Nakon što autobusi napuste nadzemnu mrežu, cjelokupna električna energija i snaga dobivaju se samo od uređaja za pohranu energije samog vozila. To dovodi do potrebe za smanjenjem pohrane energije i izbjegavanjem gubitaka u kapacitetu putnika.

## **Oberhausen: Tehnologija A (Rješenje 3) - Multimodalna čvorišta**

Električna energija iz postojećih mreža JP (tramvaj ili podzemna željeznica) za napajanje multimodalnog čvorišta za punjenje. Postojeća istosmjerna tramvajska infrastruktura može se koristiti i za brzo punjenje drugih električnih vozila, kao što su privatni e-automobili i LEV-ovi.

- Električna energija iz postojećih mreža JP za napajanje multimodalnih čvorišta za punjenje.
- Tramvajska kontaktna mreža koristi se za brzo punjenje e-autobusa i e-automobila (Oberhausen).
- Električna snaga iz istosmjerne tramvajske kontaktne mreže od 750 V pretvara se za stanicu za brzo punjenje od 50 kW koju mogu koristiti automobili i LEV-ovi.
- Sa sustavom za zaštitu od prevelikog napona.

- Nejasan pravni okvir i rizici za poslovni slučaj.

### Barcelona: Tehnologija A (Rješenje 3) - Korištenje željeznice za multimodalno punjenje

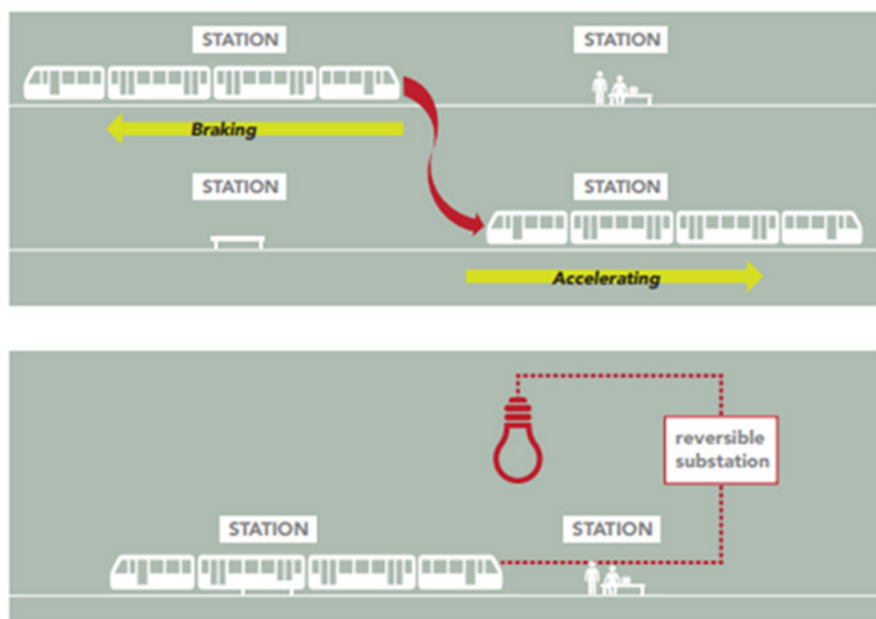
Energija koja se dobiva iz električne mreže željezničkih instalacija, a koju ne troši električna vuča može se koristiti za punjenje EV voznog parka u Barceloni.

- Identifikacija vremenskih odsječaka, dostupnih parkirališnih mjesta i električna mreža željezničke infrastrukture (tramvaj, podzemna željeznica) za uvođenje točaka za ponovno punjenje.
- Upotreba neiskorištene energije koja se isporučuje u električnu mrežu.
- Uključene zainteresirane strane: Operater JP, operater parkirališta i krajnji korisnik.
- Različite sheme upravljanja punjenjem za privatna vozila i javni vozni park:
- PTO do operatera parkirališta (PO) javnog voznog parka, PTO do privatnog korisnika EV, PTO do PO do javnog/privatnog voznog parka.
- Pravne prepreke.

### Rotterdam: Tehnologija B (Rješenje 4) - Infrastruktura JP s integriranom energijom regenerativnog kočenja

Svi vlakovi podzemne željeznice koji se koriste u mreži grada Rotterdama imaju mogućnost električnog kočenja pomoću tehnika regenerativnog kočenja. Povrat energije kočenja može biti izvrsna prilika za smanjenje energije koju koristi sustav podzemne željeznice.

- Oporavljena kinetička energija kočenja za napajanje pomoćnih uređaja u vozilu, preostala se energija šalje u električnu mrežu za ubrzavanje vlakova u blizini.
- Ako tome nije tako, napon mreže povećava se zbog viška energije, ta se dodatna energija gubi u otpornicima kočenja.
- Ispitana rješenja: sustavi pohrane superkondenzatora duž tramvajske mreže - bez značajnih prednosti, zamašnjaci?
- Nije potrebna pohrana, već pretvarači.
- Simulacije za optimalnu lokaciju (na 2 podstanice).



Slika 12: Sustav regenerativnog kočenja u mreži podzemne željeznice grada Rotterdama (Izvor: Virgil Grot, Regie & Ontwikkeling, 2014.)

## Torino: Tehnologija B (Rješenje 5) - Tehnologija „Vozilo do mreže” s integriranim obnovljivim izvorima energije

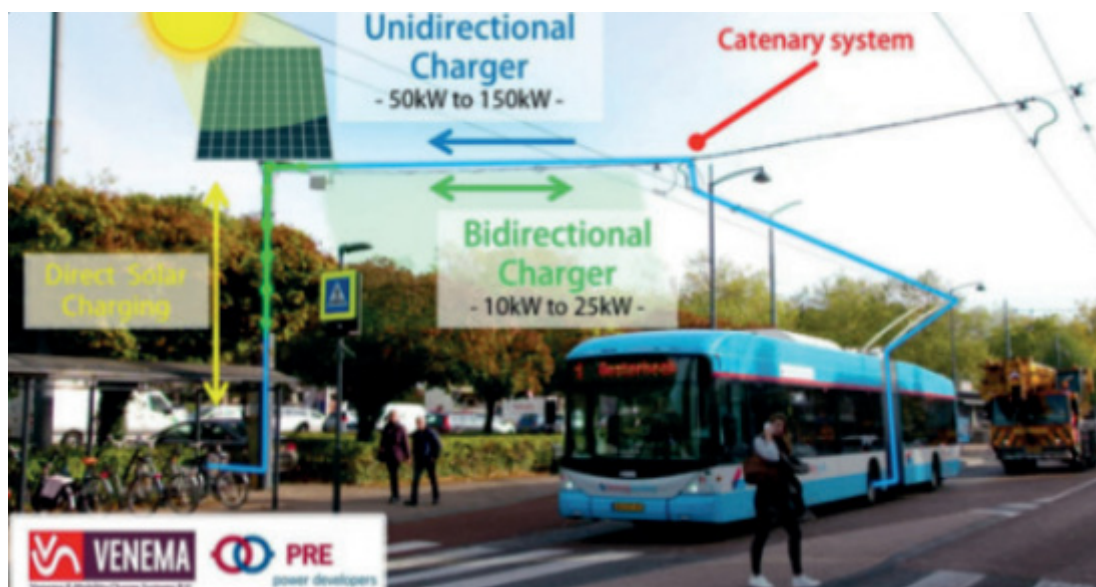
Dvosmjerna tehnologija - punjenje automobila i povrat energije u mrežu.

- Automobilska industrija (FCA) + E-mobilnost i pružatelji tehnologija (ENGIE EPS) i operater mreže (TERNA).
- Dvosmjerna tehnologija - punjenje automobila i povrat energije u mrežu.
- Korištenje akumulatora za pružanje stabilizacije mreže - optimizacija radnih troškova korisnika automobila.
- Instalacija 32 V2G stupa na koje se mogu povezati 64 vozila (cilj je 700 vozila).
- Kapacitet solarnog panela od 5 MW (za 8500 kućanstava).

## Arnhem: Tehnologija B (Rješenje 5) - Višenamjensko korištenje pametnih mreža trolejbusa

Višenamjensko punjenje drugih električnih vozila iz mreže trolejbusa:

- Infrastruktura vučne mreže trolejbusa može pružiti isplativo rješenje.
- Fleksibilna usluga na zahtjev koja dopunjava i proširuje redovne usluge javnog prijevoza.
- Brzim punjačem ugrađenim u vozilo upravlja se putem istosmjerne mreže trolejbus-tramvaj. Budući da je sustav DC - DC (istosmjerna struja - istosmjerna struja), gubitak energije je manji u odnosu na konvencionalne sustave punjenja.
- Stanica za punjenje ne zahtijeva povezivanje na konvencionalnu energetska mrežu kada je povezana s mrežom trolejbus-tramvaj.
- Mreža trolejbus-tramvaj može pozitivno utjecati na korištenje obnovljivih izvora energije stvaranjem osnovnog opterećenja za obnovljive izvore energije umjesto povrata u mrežu



Slika 13: Konceptualni nacrt višenamjenskog punjača (Izvor: VENEMA/PRE Power; trolley: 2.0)

## Industrijsko rješenje: Tehnologija C (Rješenje 6)

Glavne su primjene za stacionarno punjenje sustava javnog prijevoza, kao što su tramvaji, autobusi i kamioni (staza od 800 m u Augsburgu, Bombardier).

- Prijenos 200 kW u vozilo.
- Zračni raspor 6 cm (tramvaji), 10 cm kamioni.
- Moguća integracija sa stacionarnim punjenjem autobusa.





Slika 14: E-autobus s induktivnim punjenjem u gradu Braunschweig. Izvor: Rupprecht Consult.

**Savezna država Hessen, Njemačka: Tehnologija C (Rješenje 7) - Inovativni pristup infrastrukturi JP za napajanje E-cesta (autoceste)**

Projekt ELISA usmjeren je na proaktivnu podršku vizije klimatski neutralne vožnje kao dijela logističkog lanca vrijednosti uz održavanje kapaciteta prijevoza. Cilj je partnera projekta realizacija električnog prometnog sustava s nadzemnom mrežnom infrastrukturom.

- E-autocesta Hessen izgrađena je na udaljenosti od oko deset kilometara na autocesti A5.
- Odobrena je i izgrađena u roku od dvije godine. To je pokazalo da takva vrsta električne ceste može biti izgrađena za kratko vrijeme, čak i na prometnim cestama.
- Međusobno funkcioniranje s JP?



Slika 15: Ispitna staza e-autoceste ELISA 2020. Izvor: M. Werner (TU Dresden)

## Švedska: Tehnologija C (Rješenje 8) - e-cesta ARLANDA-SE

Inovativno IMC JP; konduktivni uzemljeni klizeći kontakti. Inovativne tehnike temelje se na konduktivnoj tehnologiji koja koristi električnu tračnicu ugrađenu u ceste za napajanje i ponovno punjenje vozila tijekom putovanja. Sustav je osmišljen s kapacitetom za podržavanje gušćeg prometa, kao što su kamioni, no funkcionira i za automobile i autobuse. Može pružati pomoć i tijekom vožnje uzbrdo.

- Konduktivna tehnologija koja koristi električnu tračnicu ugrađenu u ceste za napajanje i ponovno punjenje vozila tijekom putovanja.
- Punjenje „pomičnom rukom”.
- Cilj Švedske do 2030. jest prijevoz bez fosilnih goriva.
- Prvotno izgrađeno za kamione, ali važno i za automobile i autobuse.
- Ispitna staza od 10 km - kamioni od 18 t, elektrificirana 2 km.

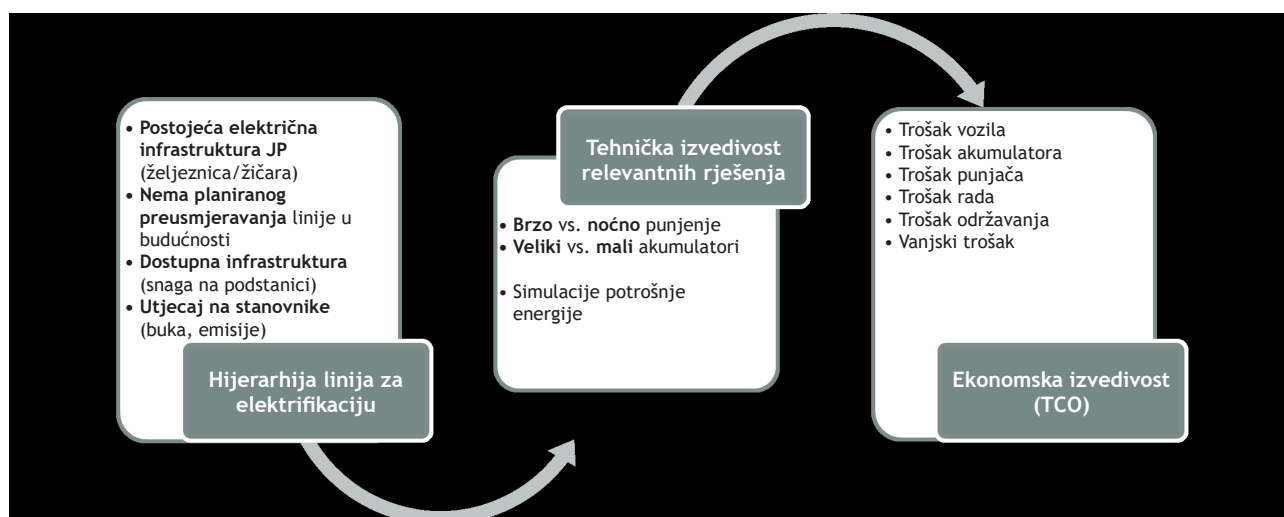


## 2. Slučaj upotrebe Maribor - Adaptacija stanice žičare na višenamjensku infrastrukturu JP

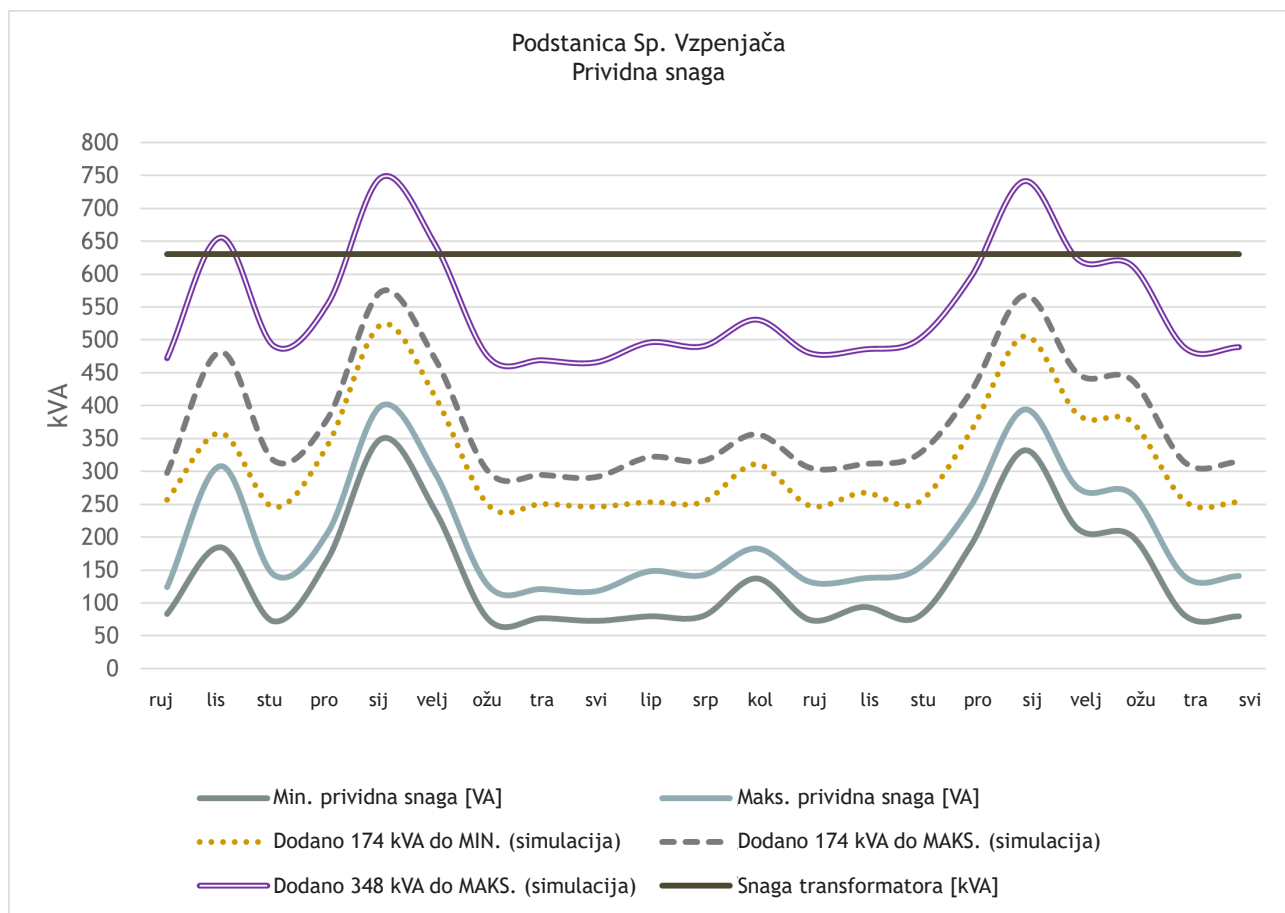
Kao dio pilot-projekta korištena je tehnologija A. Pilot-projekt usredotočen je na višenamjensko brzo punjenje e-autobusa s podstanicom koja trenutno služi kao stanica za punjenje za žičaru i dijeljenje e-automobila. Budući da se planira elektrifikacija autobusne linije 6, brzi punjač za e-autobuse nalazi se na stanici Vzpenjača, gdje se nalazi i stanica žičare. Glavni je izazov pilot-projekta bila implementacija brzog punjača za e-autobus za višenamjensku upotrebu i mjerenje stabilnosti mreže u različitim uvjetima. Mjerenja stabilnosti mreže prije i nakon implementacije punjača za e-autobus izmjerila su potrošnju energije postojećih korisnika (stanica žičare, dijeljenje e-automobila), drugih povremenih korisnika (korisnici tijekom većih događanja - npr. kamp-prikolice tijekom vožnje nizbrdo i zimske sezone) i novog inovativnog punjača za e-autobus (u skladu s različitim dnevnim situacijama punjenja).

Pripremljen je odabir koncepta punjenja koji je proveden u tri koraka. Najprije smo identificirali rutu na kojoj bi elektrifikacija imala najveći utjecaj na buku i smanjenje emisija, a koja se nalazi pored već izgrađene infrastrukture javnog prijevoza i koja se neće značajno mijenjati u budućnosti. Zatim smo analizirali različite mogućnosti punjenja za odabranu rutu i odlučili koje su mogućnosti tehnički izvedive. S obzirom na tehnička rješenja odabrali smo koncept punjenja na temelju analize troška životnog vijeka.

Slika 16: Metodologija za elektrifikaciju JP u Mariboru



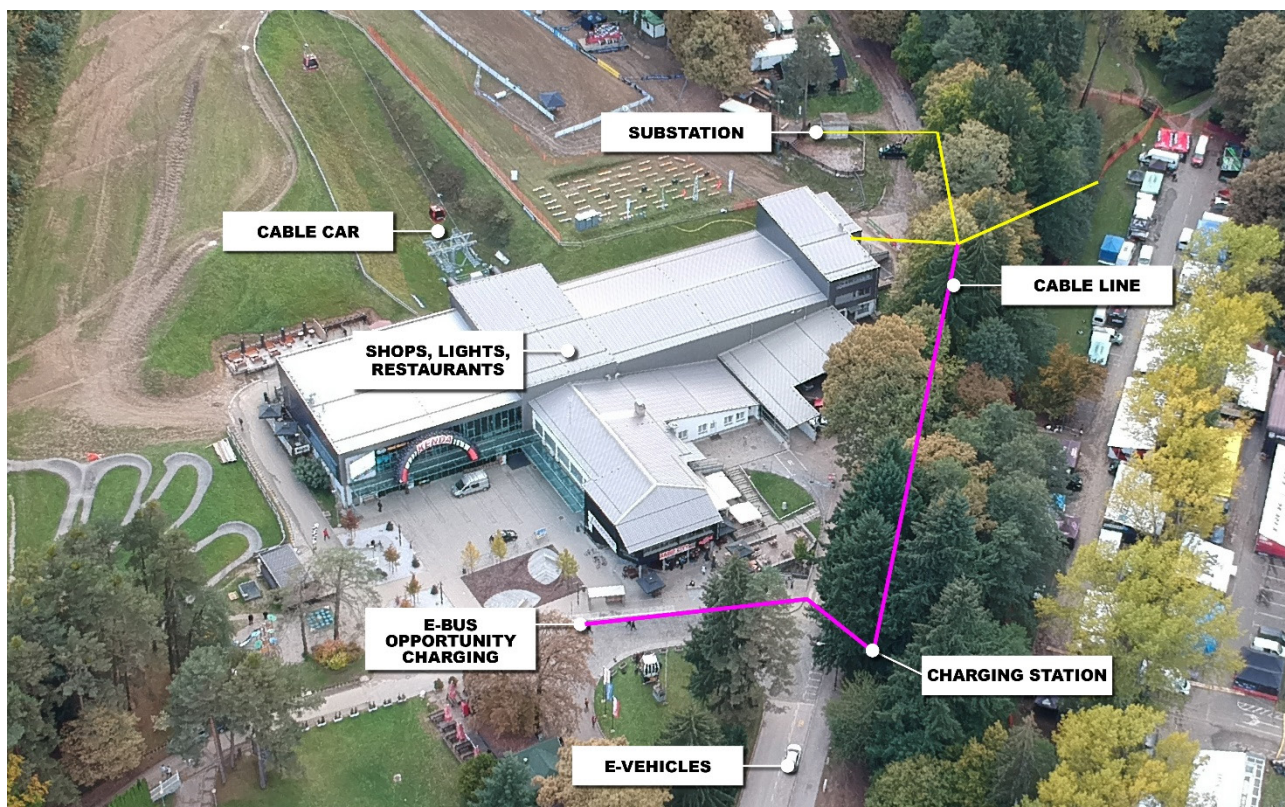
Implementacija i ugradnja uređaja za mjerenje na podstanci Vzpenjača dovršena je krajem rujna 2020. godine. Uređaj za mjerenje koristi se za mjerenje snage, struje, temperature i drugih parametara na podstanci. Konfiguriran je za nadzor ukupne potrošnje žičare Pohorje. Nakon što se stanica za brzo punjenje pusti u rad, postojat će dva mjerača: jedan za stanicu za punjenje, a drugi za sve potrošače. Međutim, zbroj njihovih rezultata predstavljat će ukupno opterećenje podstanice. Lokalni zapis podataka o potrošnji prenijet će se putem LTE mreže do poslužitelja na Sveučilištu u Mariboru. Grafikon u nastavku prikazuje potrošnju električne energije u VA između rujna 2020. i svibnja 2022.



Slika 17: Prividna snaga

Maksimalno vršno opterećenje tijekom tog razdoblja bilo je 399 kVA u siječnju 2021., a slično vršno opterećenje bilo je u siječnju 2022. godine. Tijekom tog razdoblja (vikend) Pohorje Ski Center započelo je zasnježivanje kako bi se pripremilo za novu zimsku sezonu. S obzirom na maksimalno vršno opterećenje na temelju gornjeg dijagrama i stanicu za punjenje od 150 kW (174 kVA), prividna bi snaga bila 573 kVA, što odgovara postojećem transformatoru od 630 kVA. Ako se kapacitet stanice za punjenje poveća za 300 kW, tj. na maksimalni prividni kapacitet stanice za punjenje od 348 kVA, vršno bi opterećenje moglo iznositi 747 kVA. Postojeći transformator od 630 kVA bio bi nedovoljan i trebao bi se zamijeniti novim transformatorom od 1000 kVA.

S obzirom na tehnička rješenja dostupna na tržištu, općina se odlučila za dva brza punjača i skup LTO akumulatora. Općina Maribor provela je javni tender za pripremu projektne dokumentacije za stanice za brzo punjenje na „Žičari Pohorje”, na autobusnom kolodvoru i na javnom poduzeću Marprom u Mariboru. Koordinacijski sastanak s odabranim ponuđačima održan je u rujnu 2020. godine. Predstavnici Općine Maribor i Sveučilišta u Mariboru predstavili su projekt EfficienCE i uvjete za pripremu profesionalne dokumentacije.



Slika 18: Prostorni prikaz brzog punjača na stanici Vzpenjača

Početak veljače 2022. na autobusnu stanicu u Mariboru uspješno je postavljen prvi pantograf za brzo punjenje električnih autobusa sa snagom od 300 kW. Drugi pantograf snage 150 kW postavljen je sredinom veljače 2022. na stanici žičare, gdje je provedena integracija punjenja za druga e-vozila i žičaru.



Slika 19: Ugradnja pantografa s brzim punjačem na stanici žičare u Mariboru





Slika 20: Ugrađeni pantograf ispituje se zajedno s kupljenim autobusom



Slika 21: Demonstracija rada pantografa

### 3. Zaključak

Tehnologije važne za korištenje višenamjenske infrastrukture JP pokazuju široki raspon mogućnosti i rješenja koja su dostupna kod dobavljača i uvedena u različitim gradovima. Dok se tehnologija razvija, utjecaji su još uvijek u ranim fazama (posebno dinamičko/pokretno višenamjensko korištenje JP). U prvom je koraku predstavljeno 8 tehničkih rješenja s opisom svake tehnologije, ključnim prednostima, općenitim ulaganjima te tehničkim i pravnim preprekama. U drugom su koraku predstavljene najbolje prakse za svaku tehnologiju, gdje je nakon opisa najnovijih dostignuća prikazan status implementacije uz potencijalno proširivanje upotrebe. Svaka tehnologija ima prednosti i nedostatke uz implementaciju prilagođenu lokalnim uvjetima. Na temelju izvješća možemo vidjeti da gradovi i dobavljači nadograđuju postojeću lokalnu infrastrukturu JP za višenamjensko korištenje, dok su nove (posebno) mobilne tehnologije punjenja u ranim fazama.

S obzirom na integraciju energije, mobilnosti i logistike u višenamjenskom korištenju infrastrukture JP, možemo zaključiti da je integracija povezana sa zahtjevom i dostupnim lokacijama i energijom, dok iz prostorne perspektive čvorišta za mobilnost i logistiku obično nemaju integrirane lokacije distribucijskih mreža i stoga je integracija teška, no trebala bi se razmotriti u budućnosti.

## Reference

- Akerman, P., (2015). Ppmc-transport. Von eHighway - Electrifying Heavy Duty Road Freight Transport: <http://www.ppmc-transport.org/ehighway-electrifying-heavy-duty-road-freight-transport/> abgerufen
- Arriaga D.S., (Siemens), D. G. (1 June 2015). ELIPTIC; Deliverable 3.5 - Technological Viability Evaluation. EU: ELIPTIC Electrification of public transport in cities. Abgerufen am EBRUARY 2021 von <http://www.eliptic-project.eu/>
- Bloomberg, (14. September 2020). Bloomberg - The Vehicle-to-Grid Pilot Project Has Been Inaugurated at Mirafiori. Von [www.bloomberg.com/](http://www.bloomberg.com/): <https://www.bloomberg.com/press-releases/2020-09-14/the-vehicle-to-grid-pilot-project-has-been-inaugurated-at-mirafiori> abgerufen
- Bode, A. (MAY 2014). Ticket to KYOTO Bielefeld. Von INVESTMENT SHEETS Bielefeld: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- CENIT, T. a., & SM/CENIT. (25-11-15). Barcelona Use case set up report. ELIPTIC.
- Devaux F.O., (STIB), X. T. (March 2011). T2K - Overview of braking energy recovery technologies in the public transport field. The "TICKET TO KYOTO" project - [www.tickettokyoto.eu](http://www.tickettokyoto.eu).
- eHighway, (2021). Field trial eHighway Schleswig-Holstein. Von eHighway.SH: <https://www.ehighway-sh.de/de/projektbeschreibung.html> abgerufen
- eRoadArlanda, (February 2021). eRoadArlanda -SE. Von [eroadarlanda.com](http://eroadarlanda.com): <https://eroadarlanda.com/the-technology/> abgerufen
- Freudenberg B., (BBG), T. K., (June 2015). Eberswalde Final Use Case Report. Von [www.eliptic-project.eu](http://www.eliptic-project.eu): <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- Greater, A. L., (May 2012). Ticket to Kyoto - Economic Expertise in the Carbon Market - Optimising policies and regulations for CO2 reduction in the public transport sector.
- Grot V., (May 2014). Regie & Ontwikkeling, R., T2K Rotterdam - Braking energy recovery. Von Ticket to KYOTO Investment sheet: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- Hegazy O., V. C.-O., (June 2015). Brussels Final Use Case Report. Von [eliptic-project.eu](http://www.eliptic-project.eu): <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- House, T. M., (2019). White paper: Smart Charging for Electric Buses. The Mobility House GmbH.
- Hub, V., V2G - A Global Roadtrip. Von Vehicle to grid Hub: <https://www.v2g-hub.com/report> abgerufen
- Klemenčič M., A. I., (2017). Review of electric e-bus technologies. University of Maribor.
- Knote T.(Fraunhofer), E. N., (11/2015). Leipzig Use Case set-up Report. Thoralf Knote, F. A. (15/06/2018). Leipzig Final Use Case Report.
- Mackinger G., L. E., (May 2019). UITP My Library. Von <https://mylibrary.uitp.org/>: <https://mylibrary.uitp.org/> abgerufen
- Massink, R., (January 14, 2019). Integrated and Replicable Solutions for CoCreation in Sustainable Cities, FINAL PROJECT FACT SHEET. EUROPEAN UNION CO-FUNDED PROJECT; IRIS project HORIZION 2020.
- Náday A., S. D., (June 2015). Szeged Final Use Cases Report. Von <http://www.eliptic-project.eu>: <http://www.eliptic-project.eu> abgerufen
- Reh, S., (22. June 2016). Siemens World's first eHighway opens in Sweden. Von SIEMENS Press Release: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/worlds-first-ehighway-opens-sweden> abgerufen

Roca J., C. F., (22/06/2018). Barcelona Final Use Case Report. ELIPTIC.

Sue, D. A., (28.10.2020). Decarbonisation of Heavy Goods Vehicles with a Catenary System: The „eHighway“. Von ec.europa.eu: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20201028\\_eu-hgv-workshop\\_sue\\_public.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20201028_eu-hgv-workshop_sue_public.pdf) abgerufen

Suul J.A., G. G., (2018). Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles. Electric Infrastructure for Goods Transport. Von [www.elingo.no](http://www.elingo.no) abgerufen

T2K, (May 2014). T2K Brussels, Braking energy recovery on the metro network. Von [www.tickettokyoto.eu](http://www.tickettokyoto.eu): <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen

Talbot D., T. D., (1. June 2015). London Final Use Case Report. Von <http://www.eliptic-project.eu/>: <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen

Thurm S., S. J., (15/06/2018). Oberhausen Final Use Case Report.

Waldeyer, L., (January 2017). Project ELISA - electrified, innovative heavy traffic on highways. Von Interreg Europe: <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/item/3455/project-elisa-electrified-innovative-heavy-traffic-on-highways/> abgerufen



# OTKRIJTE VIŠE EfficienCE



Posjetite našu web-stranicu:  
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Obratite nam se



+49 341 123 59 10

Glavni partner: Grad Leipzig, Njemačka



Voditelji projekta:

Sebastian Graetz  
[sebastian.graetz2@leipzig.de](mailto:sebastian.graetz2@leipzig.de)

Marlene Damerau  
[m.damerau@rupprecht-consult.eu](mailto:m.damerau@rupprecht-consult.eu)



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



[www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/](https://www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/)



[@Int\\_EfficienCE](https://twitter.com/Int_EfficienCE)



BUDAPESTI  
KÖZLEKEDÉSI  
KÖZPONT



redmint



GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY



Leipziger  
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské  
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



University of Maribor  
Faculty of Civil Engineering,  
Transportation Engineering  
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

