



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# NADNÁRODNÍ PŘÍRUČKA PRO ZAVÁDĚNÍ ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH TECHNOLOGIÍ V INFRASTRUKTUŘE VEŘEJNÉ DOPRAVY

(2) Využití víceúčelové infrastruktury veřejné  
dopravy

## VÝTISK

**Číslo projektu:**

CE1537 Projekt energetické účinnosti EfficienCE pro infrastrukturu veřejné dopravy ve střední Evropě.

**Financováno:**

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

**Název výstupu:**

D.T2.3.2 Nadnárodní příručky pro zavádění energeticky účinných technologií infrastruktury VD

**Vydavatel:**

Konzorcium EfficienCE

**Autoři:**

Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Univerzita Maribor)

**Uspořádání a návrh:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

**Datum:**

Červen 2022

## O projektu EfficienCE

EfficienCE byl projekt spolupráce financovaný z programu Interreg CENTRAL EUROPE, jehož cílem bylo snížit uhlíkovou stopu v regionu. Většina středoevropských měst má rozsáhlé systémy veřejné dopravy, které mohou tvořit základ nízkouhlíkových služeb pro mobilitu. Více než 63 % osob v regionu dojíždějících využívá veřejnou dopravu. Opatření ke zvýšení energetické účinnosti a podílu obnovitelných zdrojů energie na infrastruktuře veřejné dopravy tak mohou mít obzvláště velký dopad na snižování CO<sub>2</sub>.

Toho bylo dosaženo podporou místních orgánů, provozovatelů veřejné dopravy a objednatelů tím, že se vypracovaly strategie plánování a akční plány, prováděly pilotní akce, vyvíjely nástroje a školení pro plánování a provoz nízkouhlíkové infrastruktury a předávaly znalosti a osvědčené postupy týkající se energeticky účinných opatření napříč středoevropskými regiony.

Dvanáct partnerů, včetně sedmi provozovatelů veřejné dopravy/společností ze sedmi zemí, spolupracovalo tři roky na využití nevyužitých potenciálů v tomto odvětví a na přispění k cílům „Bílé knihy“ EU snížit do roku 2050 emise z dopravy o 60 % a snížit používání „konvenčně poháněných“ automobilů v městské dopravě na polovinu do roku 2030.

Shrnutí .....	5
1. Víceúčelové využití infrastruktury veřejné dopravy .....	6
1.1 Souhrn příslušných technologií .....	6
1.1.1 Technologie A - Multimodální využití infrastruktury VD .....	7
1.1.2 Technologie B - Multifunkční využití infrastruktury VD .....	10
1.1.3 Technologie C - Inovativní nabíjení v pohybu pro VD .....	14
1.2 Víceúčelová infrastruktura veřejné dopravy používaná po celém světě .....	17
2. Použijte případ Maribor - Úprava stanice lanovky na víceúčelovou infrastrukturu VD ...	23
3. Závěry .....	27
Odkazy .....	28

# Shrnutí



Fotografie poskytnuté městem Lipsko

Dopravní systémy čelí výzvě kvůli rostoucí urbanizaci. Stárnoucí dopravní infrastruktura se potýká s dnešními požadavky, zatímco osobní volby týkající se městské dopravy se vyvinuly tak, že dopravní politiky v minulosti zaměřené na automobily již nejsou adekvátní.

Tato příručka obsahuje základní informace o víceúčelovém využití infrastruktury veřejné dopravy pro města, kde infrastruktura veřejné dopravy není prioritou plánování, a pro města s vyspělou kulturou plánování infrastruktury veřejné dopravy.

Víceúčelové využití infrastruktury veřejné dopravy integruje aspekty energetiky, mobility a logistiky, aby se minimalizovaly emise CO<sub>2</sub> a aby se dopravní operace zefektivnily pomocí různých technologií.

Energeticky účinné víceúčelové technologie infrastruktury pro veřejnou dopravu jsou obecně strukturovány do řešení pro multimodální využití, multifunkční využití a inovativní přístupy k nabíjecím technologiím NVP, které jsou ve vývoji.

Každá z technologií má několik předností a výhod. Ty mohou být technické, finanční nebo bezpečnostní.

Každá z předložených technologií však má také technické a legislativní překážky, např. neexistence technických norem, slučitelnost mezi různými výrobci, bezpečnostní omezení, nízká energetická účinnost, dodatečné náklady, standardizace infrastruktury a systémů.

Přehled současných postupů týkajících se různých řešení pro multimodální využití infrastruktury VD a případová studie z pilotního projektu EfficienCE představují nové technologie v provozu s jejich přínosy, zkušenostmi a možnostmi přenosu.

# 1. Víceúčelové využití infrastruktury veřejné dopravy

Elektromobilita se stala stále důležitějším tématem veřejné dopravy (VD) ve městech. Elektřina je zdrojem energie pro napájení různých elektrických vozidel.

Hlavní rozdíl mezi technologiemi pro využití víceúčelové infrastruktury VD spočívá v tom, že se používají podle:

- způsobů, pro které je víceúčelové použití relevantní (na základě stávající infrastruktury VD), a
- funkčnosti přenosu energie mezi zdrojem energie, infrastrukturou VD a elektrickými vozidly VD.

## 1.1 Souhrn příslušných technologií

Klasifikace víceúčelových technologií infrastruktury VD je založena na stávajícím multimodálním a multifunkčním využití infrastruktury VD.

**Technologie A** - Multimodální využití stávající infrastruktury VD, jako je metro, tramvaj, železnice nebo lanovka, kde se dodatečné poplatky uskutečňují za: elektrobusy, (hybridní) trolejbusy a další e-modely (elektromobily, elektrokola, elektrododávky).

**Technologie B** - Multifunkční využití infrastruktury VD za použití stávající infrastruktury VD pro účinnější využití rekuperovaného brzdění, obousměrného nabíjení (inteligentní síť) a místně generované energie z OZE (obnovitelných zdrojů energie - FV, vítr).

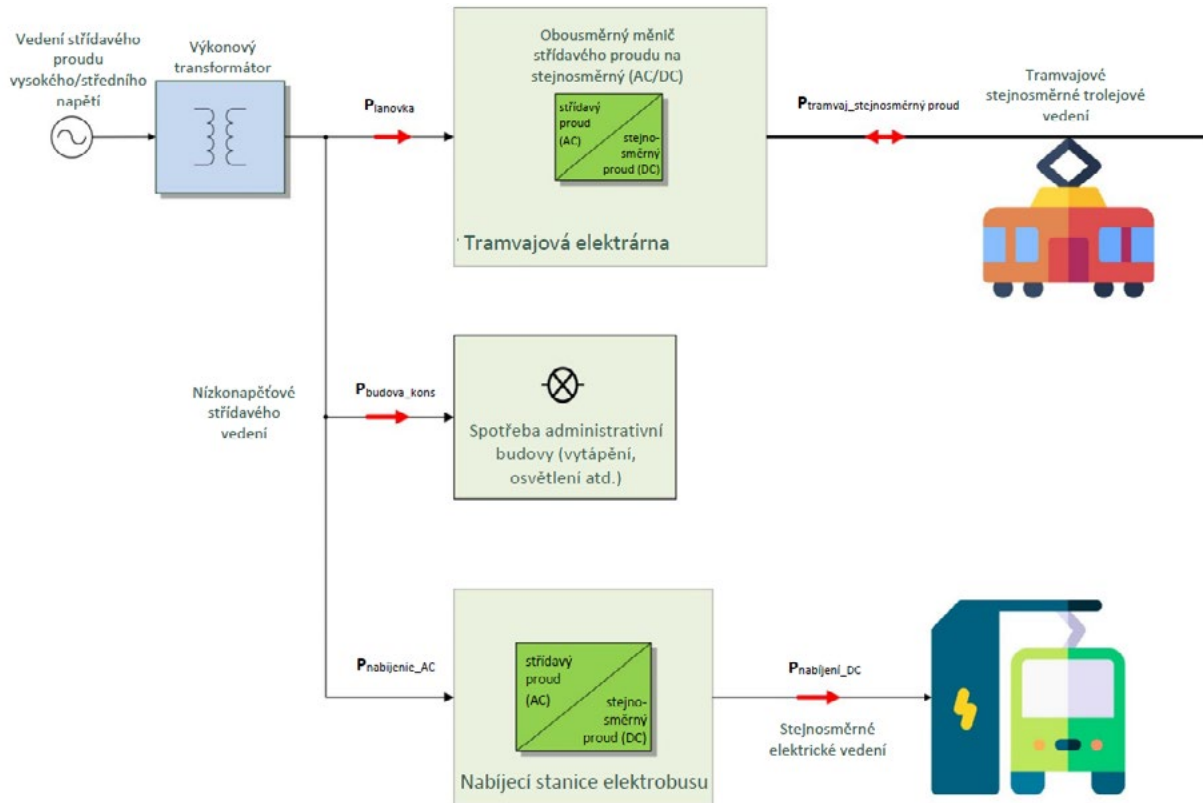
**Technologie C** - Inovativní multimodální a multifunkční NVP (nabíjení v pohybu) na silniční bázi: Indukční nabíjení na zemi, nabíjení na vodivém povrchu na dálnicích a nabíjení na vodivé zemi.

### 1.1.1 Technologie A - Multimodální využití infrastruktury VD

Technologie A odkazuje na koncepci nabíjení různých druhů elektrických vozidel ze stávající sítě VD, jako je metro, tramvaj, železnice nebo lanovka.

#### Řešení 1 - Elektřina ze stávajících sítí VD do dobíjecích míst pro elektrobusesy

Technologie odkazuje na koncepci nabíjení elektrických autobusů energií ze stávajících sítí VD, jako jsou metro, tramvaj, trolejbus, železnice nebo síť lanovek.



Obrázek 1: Připojení nabíjecích stanic pro elektrická vozidla ke stávající infrastruktuře veřejné dopravy

#### Očekávané přínosy:

Hlavním přínosem této technologické koncepce je podpora rychlé, účinné a nákladově efektivní elektrifikace veřejné autobusové dopravy poskytnutím infrastrukturního základu.

Díky integraci robustní infrastruktury (sítě) tramvaje/metra s elektrifikací vozových parků elektrobuse je zde možnost urychlit elektrifikaci vozových parků elektrobuse. Síť tramvají/metra představuje schůdnou alternativu k veřejné distribuční síti elektrické energie, aniž by byly nutné další rozvodny pro napájení elektrických autobusů.

Hlavní technické výhody jsou v oblastech:

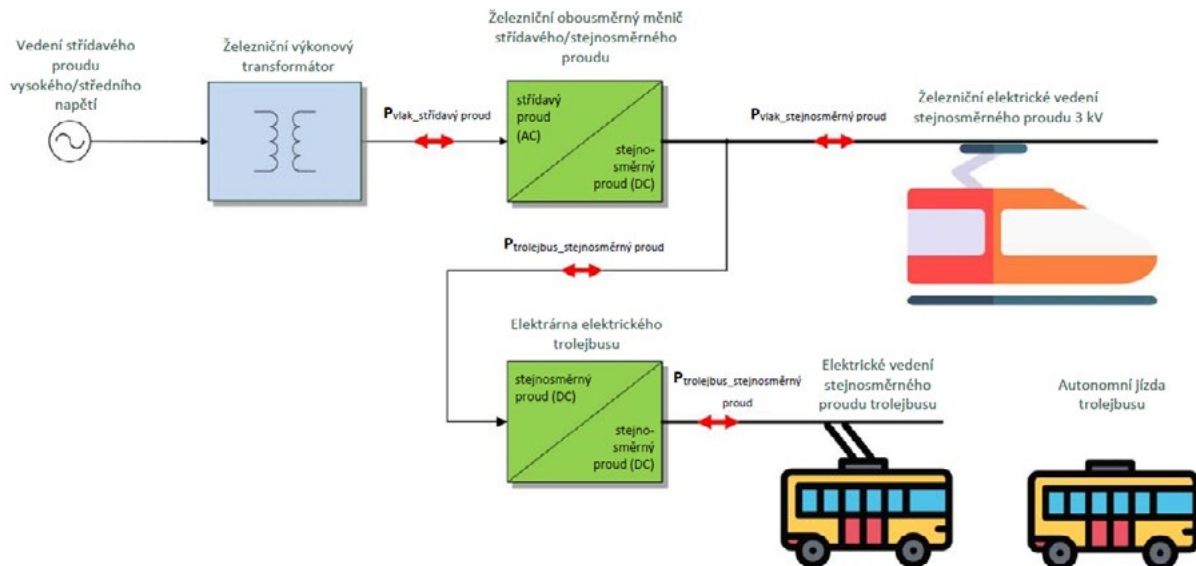
- zodpovědnost za polohu a čas, spolehlivost v případě přerušení dodávky energie,
- efektivní a vyvážené rozložení výkonu

Hlavní finanční výhoda je:

- dosažení nižší nákupní ceny energie (společný objem metra/tramvaje a elektrobuse).

## Řešení 2 - Elektřina ze stávající sítě VD (tramvaj nebo metro) do elektrické energie EV, hybridního trolejbusu

Spojení mezi stávající železniční, tramvajovou nebo metro sítí s trolejbusovou sítí by mohlo být modernizováno vybavováním trolejbusů dodatečnou trakční baterií, což by umožnilo provoz pod trolejovým vedením i bez připojení k trolejovému vedení (autonomní). Hlavním cílem tohoto uskupení je rozšířit vnitřní a regionální linky elektrických autobusů, a nahradit tak stávající linky dieselových autobusů, aniž by bylo nutné vybudovat další infrastrukturu nadzemního vedení. Aby se snížily náklady na realizaci, mohla by být (hybridní) trolejbusová síť kombinována s kolejovým systémem.



Obrázek 2: Kombinace trolejbusů v systému nabíjení v pohybu s kolejovým systémem

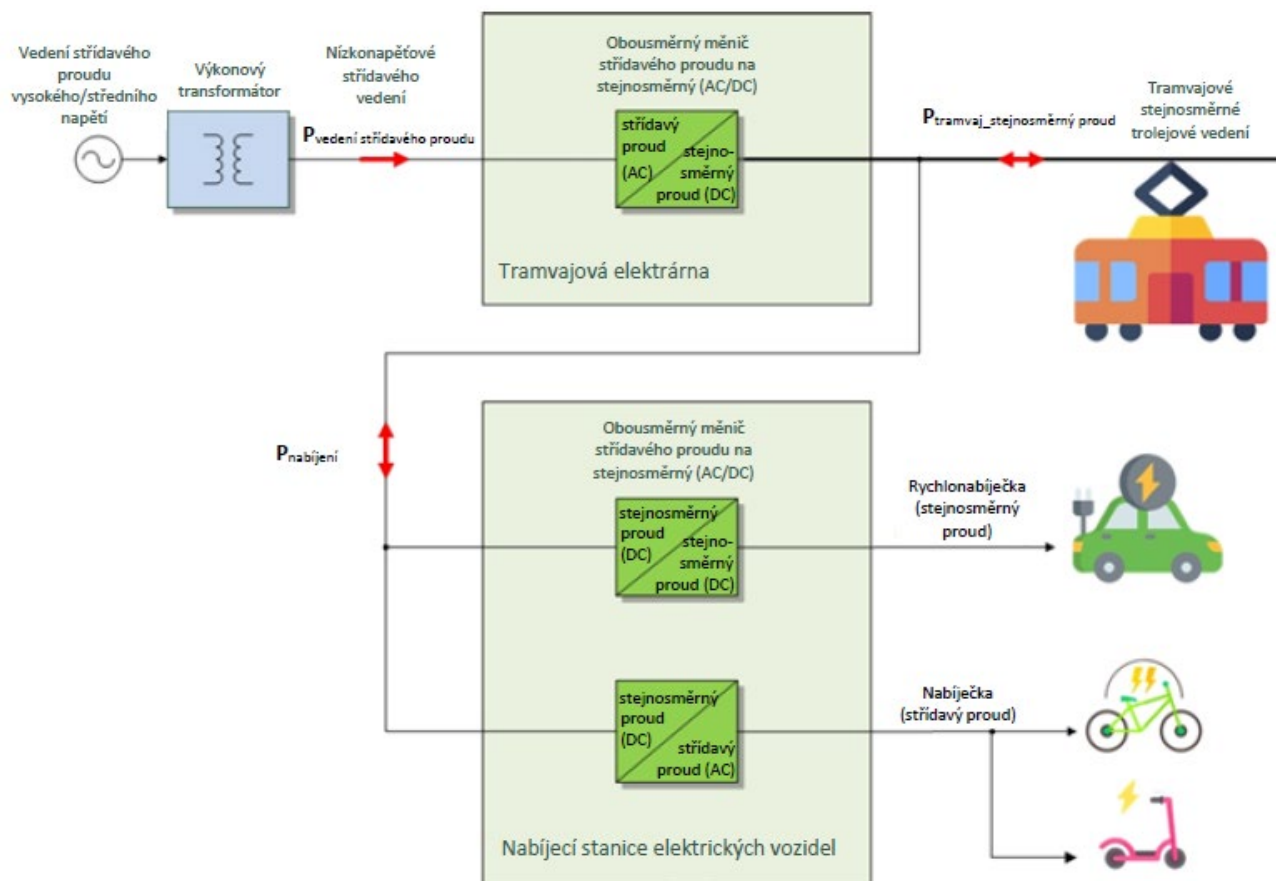
### Očekávané přínosy:

Hybridní technologie trolejbusů je dostatečně vyspělá a komerčně dostupná pro použití. Kromě toho jsou elektrická vozidla stejná nebo lepší než vozidla se spalovacími motory, pokud jde o dostupnost, účinnost a spolehlivost, a zároveň vyžadují méně údržby. Ve správě, dimenzování a kompatibilitě lithium-iontových baterií ve starších vozidlech byly zjištěny drobné nedostatky, které by však mohly být vyřešeny, jakmile se technologie baterií vyvine.

## Řešení 3 - Elektřina ze stávající sítě VD (tramvaj nebo metro) do multimodálního nabíjecího rozbočovače

Odkazuje na technologickou koncepci, která umožňuje víceúčelové využití elektrických sítí VD (metro, tramvaj nebo trolejbus) k napájení jiných typů elektrických vozidel, včetně například užitkových vozidel, osobních automobilů, a taxi. Elektrická vozidla zvažovaná v tomto řešení se liší v závislosti na případu použití a zahrnují elektromobily, jízdní kola a dodávky.





Obrázek 3: Rychlé nabíjení elektrických vozidel z trolejového vedení tramvaje

### Očekávané přínosy:

Za prvé je třeba vyjasnit, zda je možné použít elektrickou síť k uspokojení potřeb elektrické energie v nabíjecí infrastruktuře, zejména v místech, která jsou připojena k běžné elektrické síti.

Technologie A	Technické překážky	Právní překážky
Multimodální použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nedostatek technických norem pro příležitostné nabíjení.</li> <li>Kompatibilita mezi různými výrobci.</li> <li>Změny potřebné v aktuálním jízdním řádu.</li> <li>Zatížení sítě - omezené možnosti nabíjení.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prodej nebo distribuce energie provozovatelům (autobusovým) třetích stran.</li> <li>Využití environmentálních výhod pro rozšíření trolejového vedení (to není jednoduché).</li> </ul>

### 1.1.2 Technologie B – Multifunkční využití infrastruktury VD

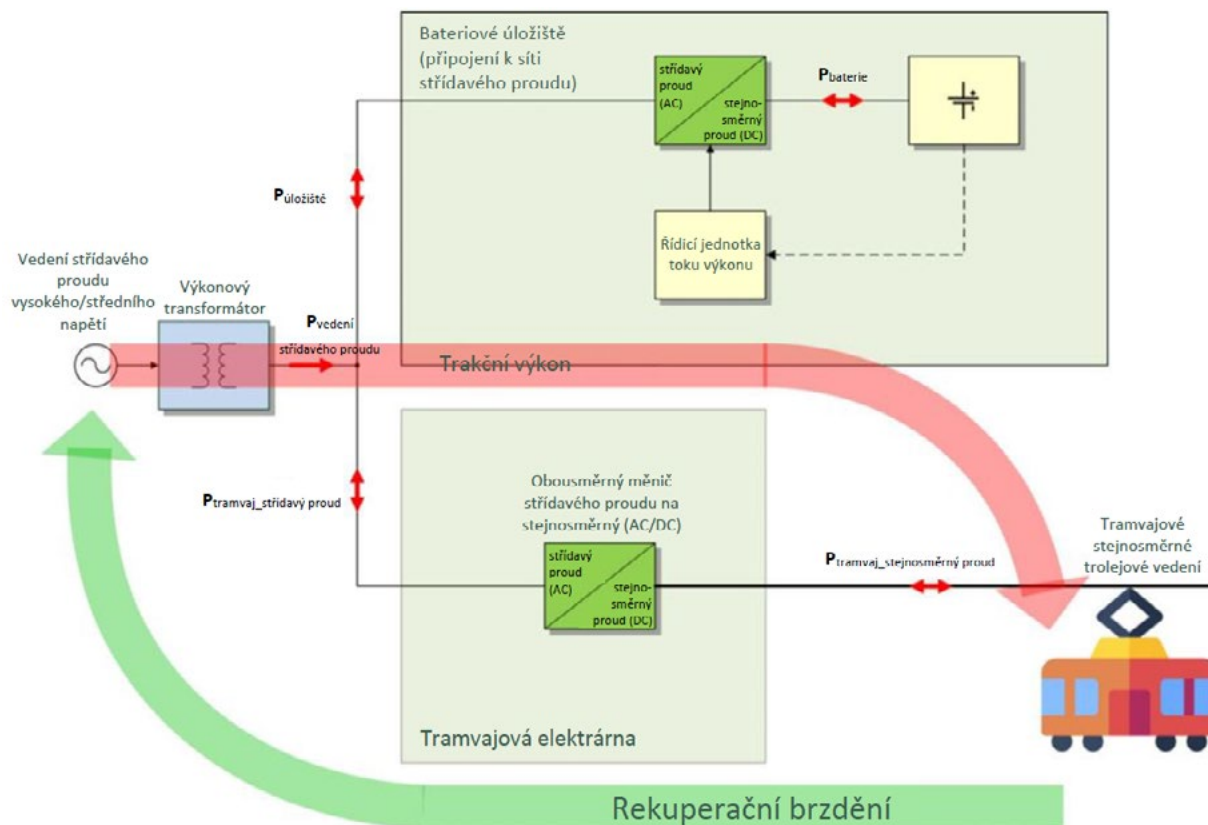
Technologie se týká účinnějšího využívání nabíjecí infrastruktury stávající sítě VD, jako je metro, tramvaj, trolejbus, železnice nebo lanovka.

#### Řešení 4 - Integrovaná rekuperovaná brzdná energie

Technologie seskupuje různá opatření a technické systémy, které zvyšují využití rekuperované brzdné energie v kolejových vozidlech (metro, tramvaj) a autobusech (trolejbus). Hlavním cílem tohoto seskupení je zvýšit energetickou účinnost systému veřejné dopravy účinnějším využíváním rekuperované brzdné energie vozidel.

Lze definovat tři typy aplikací:

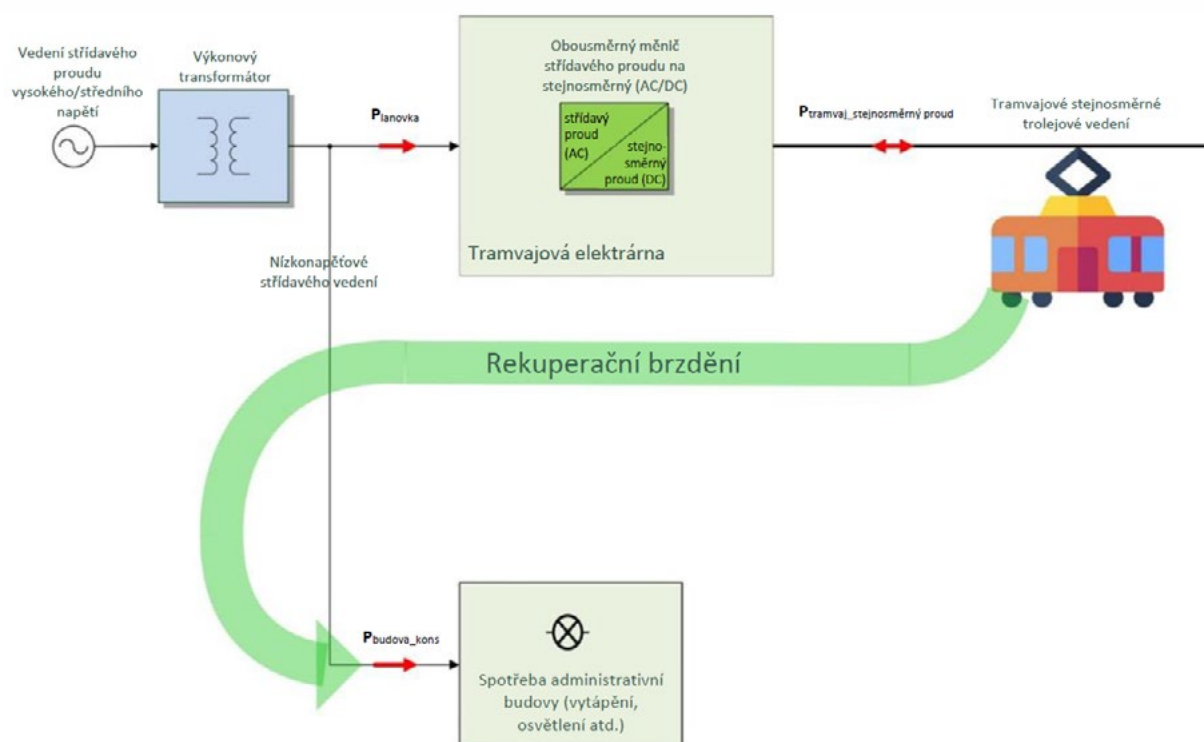
- Mobilní aplikace pro ukládání dat
- Stacionární skladovací aplikace
- Stacionární aplikace „zpět-do-sítě“.



Obrázek 4: Stacionární skladovací aplikace



Fotografie poskytnuté městem Lipsko



Obrázek 5: Stacionární aplikace „zpět-do-sítě“

### **Očekávané přínosy:**

Přínosy očekávané z žádostí lze zvýraznit v následujících bodech (François-Olivier Devaux (STIB), březen 2011):

#### **Mobilní úložiště:**

- Vysoká účinnost díky nižším režijním ztrátám, protože skladování probíhá ve vozidle.
- Možnost provozu vozidla bez trolejového vedení na určitých úsecích trati.
- Stabilizace napětí snížením poklesů napětí.
- Snížení špičkového odběru energie zprůměrováním zatížení za určité období.
- Možné snížení brzdných odporů ve vozidle.

#### **Stacionární skladovací aplikace:**

- Lze použít pro všechna vozidla provozovaná na lince, stabilizaci napětí snížením poklesů napětí.
- Snížení špičkového odběru energie zprůměrováním zatížení za určité období.
- Snížení počtu trakčních rozvodů nebo umožnění přidání vozidel bez modernizace napájecího systému.
- Snížení množství odpadního tepla, zamezení ohřevu tunelů a stanic.
- Možné snížení brzdných odporů na trati.
- Snížení bezpečnostních omezení ve srovnání s palubními systémy.
- Provádění, údržba a opravy nemají vliv na provoz (režim vypnutí).

#### **Stacionární aplikace „zpět-do-sítě“:**

- Lze použít u všech vozidel na lince.
- Velmi energeticky účinné díky menším transformačním ztrátám než při použití úložišť.
- Ve srovnání s úložišti, snížení odpadního tepla (zamezení tepelných tunelů...).
- Možné snížení brzdných odporů na trati.
- Nižší požadavky na bezpečnost ve srovnání s palubními systémy.
- Provádění, údržba a opravy nemají vliv na provoz (režim vypnutí).

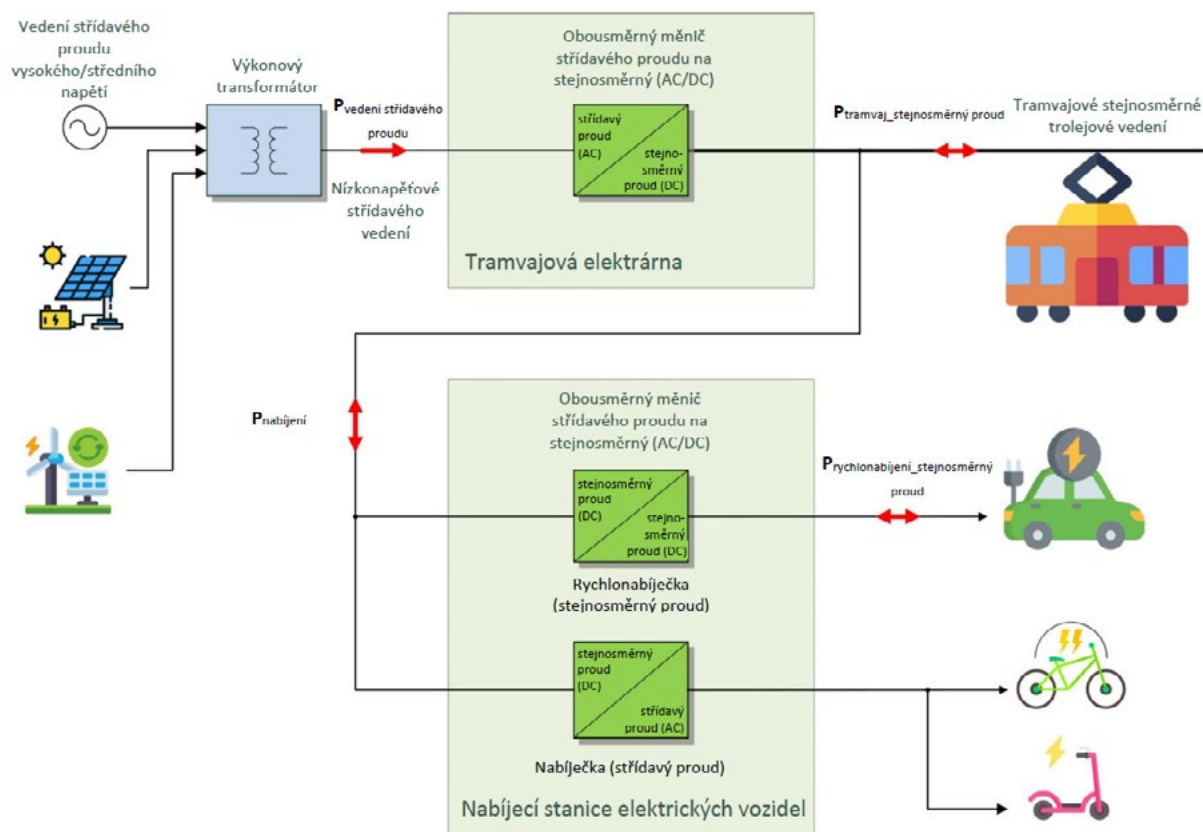
### **Řešení 5 - Inteligentní síť (FV, OZE, Mobility 2 Grid, Vehicle 2 Grid)**

Obnovitelná energie a elektromobilita pro inteligentní městské prostředí. S pomocí zvyšování elektromobility je zde příležitost k rozvoji integrovaného energetického a dopravního systému. Vývoj a zavádění inovativních řešení, která zajistí cenově dostupné a bezpečné dodávky elektřiny, tepla a dopravy založené výhradně na obnovitelné energii.

#### **Očekávané přínosy (Massink, 14. ledna 2019):**

- Snížení celkových nákladů na vlastnictví vozových parků, baterií, fotovoltaiky, ...
- Výrobci automobilů (OEM) jsou schopni prodávat vozidla s přidanou hodnotou.
- Strany trhu s energií mohou obchodovat a optimalizovat svou bilanci.
- Provozovatelé sítí mohou optimalizovat investice a stabilizovat síť.





Obrázek 6: Připojení nabíjecích stanic pro elektrická vozidla ke stávající infrastruktuře veřejné dopravy



Fotografie poskytnuté městem Lipsko

Technologie B	Technické překážky	Právní překážky
Multimodální použití	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vysoká bezpečnostní omezení pro mobilní úložiště (cestující na palubě);</li> <li>Ztráta trolejového vedení (z důvodu velké vzdálenosti mezi vozidly/stanicemi);</li> <li>Žádná stabilizace napětí pro systémy „zpět-do-sítě“.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Přísnější pravidla a prosazování mohou vést k vyšším nákladům nebo k opuštění projektu;</li> <li>Standards obousměrného přenosu výkonu mezi různými režimy podle normy ISO 15118-20.</li> </ul>

### 1.1.3 Technologie C – Inovativní nabíjení v pohybu pro VD

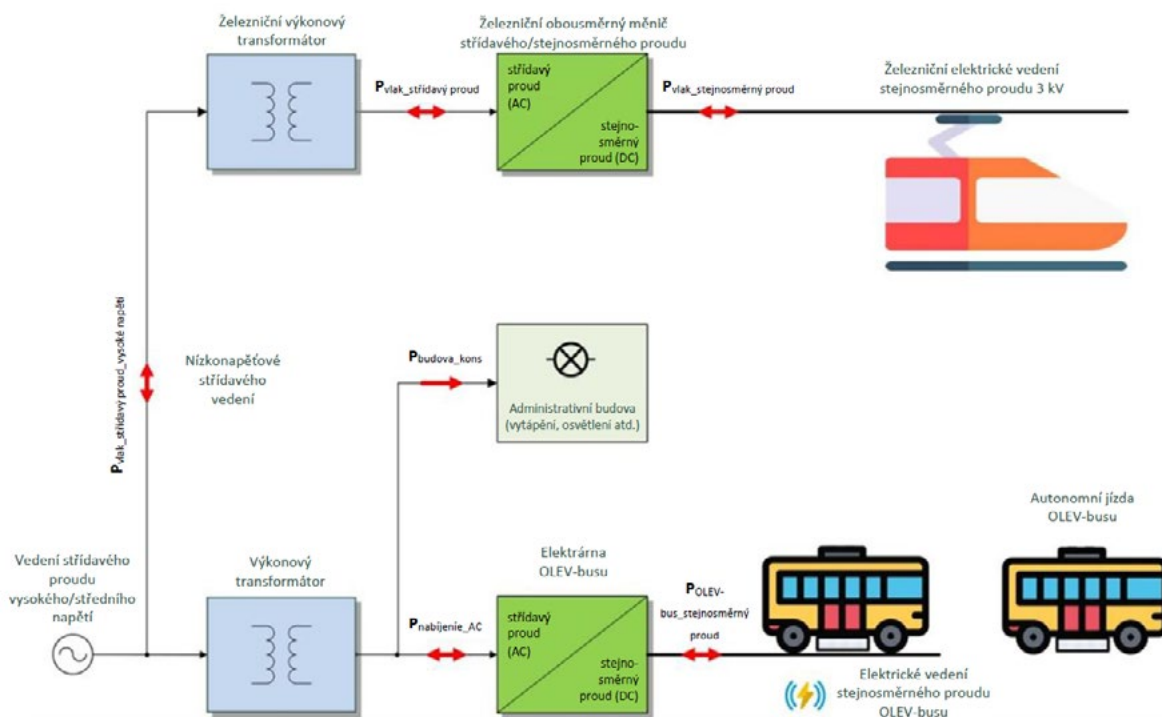
Technologie odkazuje na koncepci nabíjení vozidel VD při jízdě po silnici (v pohybu) s novými inovativními řešeními, která umožňují multimodální a univerzální použití v budoucí VD.

#### Řešení 6 - Indukční zemní nabíjení v pohybu (OLEV)

Existuje několik metod pro budování elektrifikovaných silnic. V indukční technologii se přenáší magnetická energie.

Je třeba poznamenat, že všechny vyvinuté koncepce OLEV jak se zdá pracují na frekvenci 20 kHz.

Je třeba poznamenat, že v současné době se vyvíjí šestá generace této technologie. Hlavním cílem je zajistit soulad s novou normou SAE J2954 pro stacionární indukční nabíjení elektrických vozidel. Proto je třeba zdůraznit, že šestá generace technologie OLEV bude založena na bezjádrových kolejnicích bez pevné magnetické struktury v silnici.



Obrázek 7: Indukční zemní nabíjení v pohybu



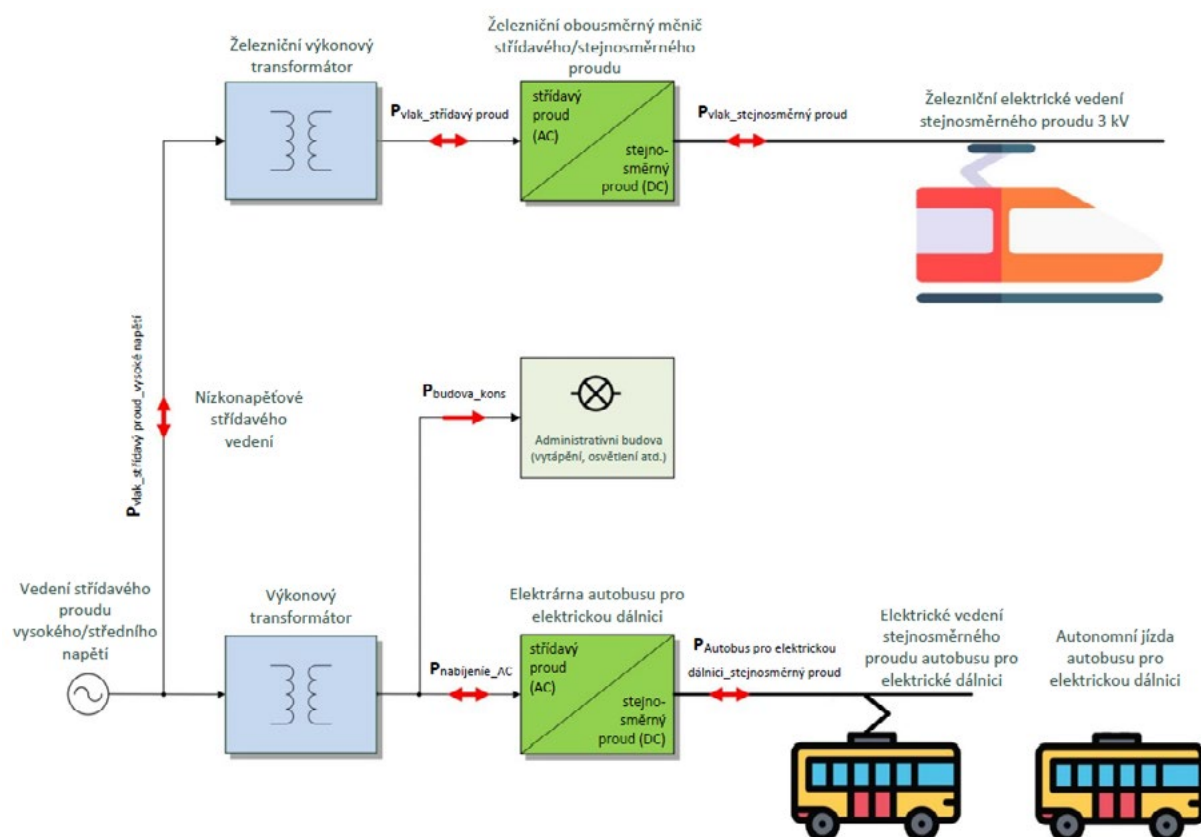
## Očekávané přínosy:

Očekává se, že systémy pro stacionární a dynamický indukční přenos výkonu do elektrických silničních vozidel budou kompatibilní. Standard pro stacionární indukční nabíjení vyžaduje provozní frekvenci 85 kHz, což také vyžaduje složité úvahy a kompromisy ve srovnání se stávajícími systémy OLEV pracujícími na frekvenci 20 kHz.

## Řešení 7 - Vodivé trolejové nabíjení v pohybu na dálnicích (elektrické dálnice)

Technologie založená na trolejových linkách může být považována za nejvyspělejší, neboť je založena na zkušenostech získaných z provozu trolejového vedení pro napájení vlaků, tramvají nebo trolejbusů.

Hlavní rozdíl mezi infrastrukturou silničních vozidel ve srovnání s vlaky nebo tramvajemi spočívá v tom, že kolejové systémy vyžadují pouze jeden vodič s posuvným kontaktem, protože kolejnice jsou obvykle návratovou dráhou proudu, zatímco dynamický vodivý přenos výkonu do silničních vozidel vyžaduje dva samostatné vodiče. Klíčovým prvkem systému je nově vyvinutý pantograf. Zajišťuje bezpečnost při připojování a odpojování trolejového vedení v rozsahu rychlosti od 0 do 90 km/h (Akerman, 2015).



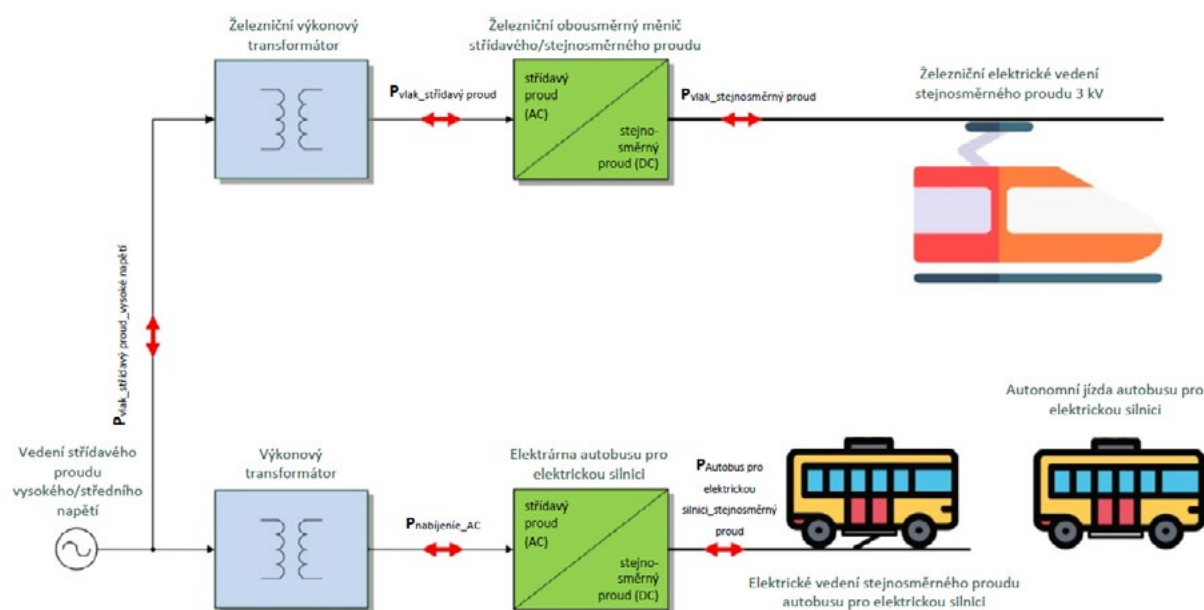
Obrázek 8: Vodivé trolejové nabíjení v pohybu na dálnicích

## Očekávané přínosy:

Očekává se, že nákladní vozidla a případně autobusy používající nadzemní vedení budou mít velmi podobná rozhraní mezi systémem pantografového sběrače a palubním pohonným systémem, i když s některými úpravami závislými na výrobcích. Očekává se, že vozidla budou mít palubní baterii s jmenovitým napětím mezi 400 a 900 V. S největší pravděpodobností bude převodník DC-DC rozhraním k pohonnému systému, který zajišťuje nastavení napětí a řízení proudu z trolejového vedení.

## Řešení 8 - Vodivé zemní nabíjení v pohybu (multimodální)

Druhá vodivá technologie umožňuje napájení zespodu přes dráty na ulici. Tyto systémy již byly zavedeny pro městské tramvaje, aby se zabránilo vizuálnímu dopadu sloupů a nadzemních vedení potřebných pro trakční systémy. Jeden z konceptů, který se vyvíjí, je založen na přizpůsobení technologie pro tramvaje, zatímco ostatní systémy jsou vyvíjeny speciálně pro silniční vozidla.



Obrázek 9: Vodivé zemní nabíjení v pohybu

### Očekávané přínosy:

- Možnost použití infrastruktury pro vozidla různých velikostí.
- Zamezení pokládání nadzemních elektrických vedení a souvisejícího vizuálního dopadu.

Technologie C	Technické překážky	Právní překážky
Inovativní nabíjení v pohybu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nízká účinnost přenosu energie za reálných podmínek;</li> <li>Bezdrátové nabíjení vyžaduje, aby byla do vozidla integrována další nabíječka (dodatečné náklady);</li> <li>Návrh, provoz a náklady systému rozvodu energie;</li> <li>Žádná jasná vize multimodality.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normalizace palubní infrastruktury a systémů;</li> <li>Interoperabilita mezi různými koncepcemi.</li> </ul>



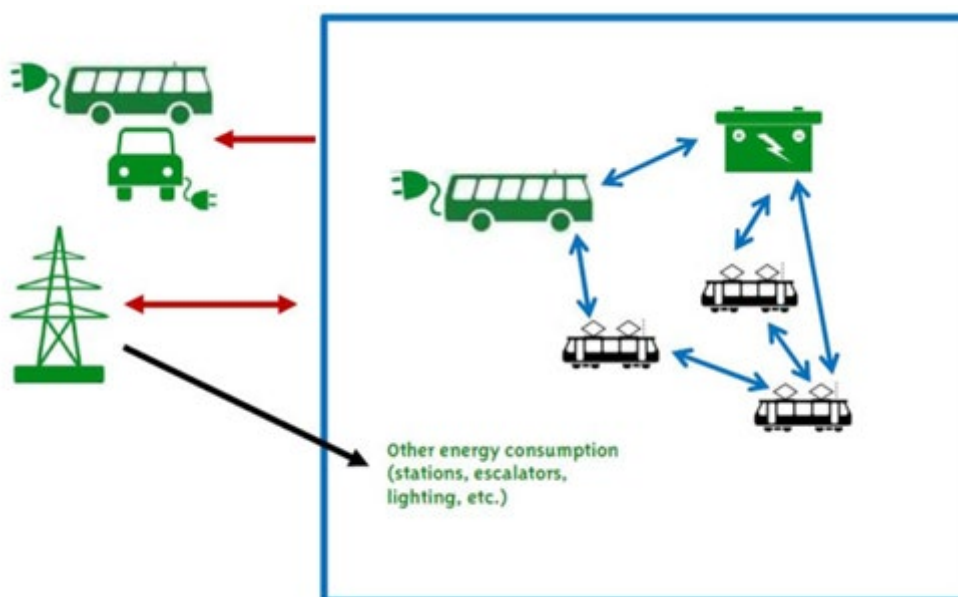
## 1.2 Víceúčelová infrastruktura veřejné dopravy používaná po celém světě

### Oberhausen: Technologie A (Řešení 1) - Použití tramvaje pro rychlé nabíjení elektrobusu

V městských autobusových systémech byla používána především dieselová vozidla. Ve městě byly zavedeny elektrobusy, které snižují závislost na fosilních palivech a snižují emise oxidů dusíku, částic a hluku v městské oblasti. Nabíjecí energie je přeměněna z trolejového vedení tramvaje na autobusové zastávce nebo převzata z rozvodny na autobusové zastávce, takže elektrické autobusy nemusí být během běžného provozu dobíjeny v autobusovém depu.

### Lipsko: Technologie A (Řešení 1) - Použití tramvaje pro plné nabíjení městského elektrobusu

Napájení ze stávajících sítí VD (tramvaj nebo metro) pro zajištění multimodálního nabíjecího rozbočovače. Používání tramvajové sítě k (opětovnému) nabíjení elektrických vozidel. Hlavním cílem bylo identifikovat právní překážky a právní zázemí související s víceúčelovým využíváním stávající tramvajové infrastruktury pro prodej energie z tramvajové sítě třetím stranám.



Obrázek 10: Pilíř A Příležitost pro (opakované) nabíjení elektrobusů pomocí tramvajové infrastruktury

### **Barcelona: Technologie A (Řešení 1) - Použití metra pro rychlé nabíjení 18metrových elektrobusů**

Rychlé příležitostné nabíjecí stanice v Barceloně - dva elektrické autobusy provádějí své služby s tímto provozním modelem. Tato vozidla mají kapacitu baterie 125 kWh a jsou dlouhá 18 m. Základní skutečnost - menší kapacita znamená méně času a energie při každém nabíjení, ale více dobíjení.



Obrázek 11: Nabíjení pantografovým sběračem v Barceloně jako součást ambiciózního plánu elektrifikace. Zdroj: TMB.

### **Szeged: Technologie A (Řešení 2) - Elektrická energie ze stávající sítě VD na pohon hybridních trolejbusů**

- Dobíjení elektrobusů „po cestě“.
- Modernizace trolejbusové sítě s bateriovými autobusy.
- Automatické zapojení/odpojení kabelů.
- Výhody také pro občany.
- Finanční a právní proveditelnost.
- Nerelevantní technologie pro provoz o nízké hustotě / periferní provoz (kloubové elektrobusy).

### **Eberswalde: Technologie A (Řešení 2) - Použití hybridních trolejbusů**

Během jízdy autobusů pod nadzemním vedením dobíjejte úložiště energie. Jakmile autobusy opustí nadzemní síť, veškerá elektrická energie a výkon jsou zajišťovány pouze úložišti vozidel. To vede k nutnosti minimalizovat skladování energie a zabránit ztrátám na kapacitě cestujících.

### **Oberhausen: Technologie A (Řešení 3) - Multimodální rozbočovače**

Elektřina ze stávajících rozvodných sítí VD (tramvaj nebo metro) k napájení multimodálního nabíjecího rozbočovače. Stávající tramvajová infrastruktura se stejnosměrným proudem může být také použita pro rychlé nabíjení jiných elektrických vozidel, jako jsou soukromé elektrické automobily a LEV.

- Elektřina ze stávajících rozvodných sítí VD do multimodálních nabíjecích rozbočovačů.
- Tramvajové trakční vedení pro rychlé nabíjení elektrobusů a elektromobilů (Oberhausen).
- Elektrická energie z tramvajového trolejového vedení stejnosměrného proudu 750 V je transformována pro rychlou nabíjecí stanici s výkonem 50 kW využitelnou automobily a LEV.
- S přepětovým ochranným systémem.
- Nejasný právní rámec a rizika pro obchodní případ.

### Barcelona: Technologie A (Řešení 3) - Pro multimodální nabíjení použijte železnici

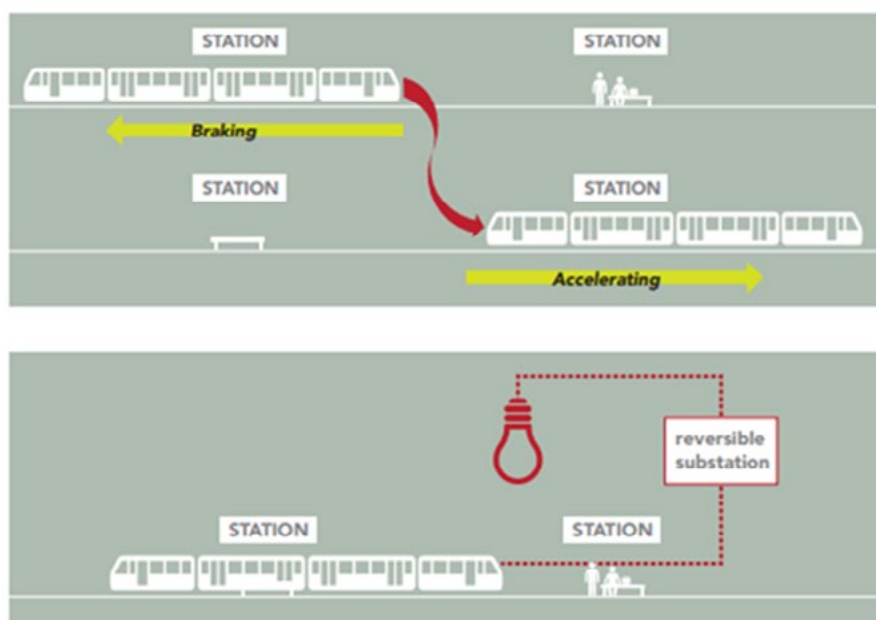
Energie dodávaná z elektrické sítě železničních zařízení, která není spotřebována elektrickou trakcí, může být použita pro nabíjení vozového parku EV v Barceloně.

- Identifikace časových úseků, dostupných parkovacích míst a elektrické sítě kolejové infrastruktury (tramvaj, metro) pro využití dobíjecích míst.
- Využití nespotřebované energie dodávané do elektrické sítě.
- Zapojené zainteresované strany: provozovatel VD, provozovatel parkoviště a koncový uživatel.
- Různé systémy správy nabíjení pro soukromá vozidla a veřejný vozový park:
- PVD na veřejný vozový park provozovatele parkování (PP), PVD na EV soukromého uživatele, PVD na PP pro veřejný/soukromý vozový park.
- Právní překážky.

### Rotterdam: Technologie B (Řešení 4) - Infrastruktura VD s integrovanou rekuperovanou brzdou energií

Všechny vlaky metra používané v Rotterdamské síti měly schopnost elektricky brzdit rekuperačními brzdnými technikami. Využití brzděné energie může být skvělou příležitostí ke snížení spotřeby energie v systému metra.

- Rekuperovaná kinetická energie z brzdění do pomocných zařízení motorových vozidel, zbývající energie se posílá do elektrické sítě pro zrychlení blízkých vlaků.
- Pokud tomu tak není, napětí sítě se zvyšuje v důsledku přebytku energie, tato dodatečná energie se rozptýlí v brzdných odporech.
- Testovaná řešení: úložné systémy superkapacitorů podél tramvajové sítě - žádné významné výhody, setrvačníky?
- Není třeba žádné úložiště, pouze měniče.
- Simulace pro optimální umístění (na 2 rozvodnách).



Obrázek 12: Systém rekuperace brzděné energie v síti metra Rotterdam (Zdroj: Virgil Grot, Regie & Ontwikkeling, 2014)

## Turin: Technologie B (Řešení 5) - Technologie „Vehicle 2 Grid“ s integrovanými OZE

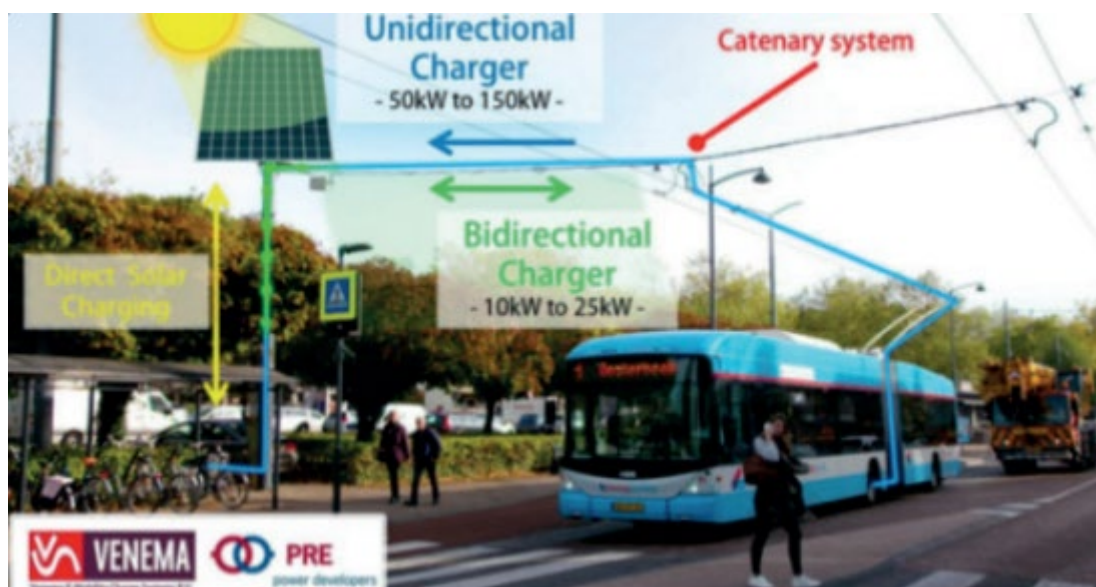
Dvousměrná technologie - která nabíjí vozidlo i vrací energii do sítě.

- Automobilový průmysl (FCA) + poskytovatelé e-mobility a technologií (ENGIE EPS) a operátor sítě (TERNA).
- Dvousměrná technologie - která nabíjí vozidlo i vrací energii do sítě.
- Použití baterií k zajištění stabilizace sítě - optimalizace provozních nákladů uživatelů automobilů.
- Instalace 32 sloupů V2G schopných připojit 64 vozidel. (cíl 700 vozidel).
- Kapacita solárních panelů 5 MW (pro 8500 domácností).

## Arnhem: Technologie B (Řešení 5) - Víceúčelové použití inteligentních trolejových sítí

Víceúčelové nabíjení ostatních elektrických vozidel z vaší trolejové sítě:

- Infrastruktura trakčních sítí trolejbusů by mohla poskytnout nákladově efektivní řešení.
- Flexibilní služba na vyžádání, která doplňuje a rozšiřuje pravidelné služby veřejné dopravy.
- Instalovaná rychlonabíječka pro vozidla je provozována přes síť stejnosměrného proudu trolejbusů-tramvají. Protože je systém stejnosměrný (DC-DC), má menší ztrátu energie než běžné nabíjecí systémy.
- Nabíjecí stanice nevyžaduje připojení ke konvenční elektrické síti, pokud je připojena k síti trolejbusů a tramvají.
- Tramvajová a trolejbusová síť může mít pozitivní dopad na využívání obnovitelných zdrojů energie vytvořením základního zatížení pro obnovitelný zdroj energie namísto jeho zavedení do sítě.



Obrázek 14: Konceptní výkres víceúčelové nabíječky (Zdroj: VENEMA/PRE Power; trolley:2.0)

## Průmyslové řešení: Technologie C (Řešení 6)

Hlavní aplikace byly pro stacionární příležitostná nabíjení systémů veřejné dopravy, jako jsou tramvaje, autobusy a nákladní vozidla (800m trať v Augsburgu od firmy Bombardier).

- Přenos 200 kW do vozidla.
- Vzduchová mezera 6 cm (tramvaje), nákladní vozidla 10 cm.
- Možná integrace se stacionárním (příležitostným) nabíjením autobusů.



Obrázek 15: Elektrobús s indukčním nabíjením v Braunschweigu. Zdroj: Rupprecht Consult.

#### **Stát Hesensko, Německo: Technologie C (Řešení 7) - Inovativní přístup k infrastruktuře VD pro napájení e-silnic (dálnic)**

Cílem projektu ELISA je proaktivně podporovat vizi klimaticky neutrální jízdy v rámci logistických hodnotových řetězců při zachování přepravní kapacity. Cílem projektových partnerů je realizace elektrického dopravního systému s nadzemním vedením.

- Hesenská elektrodálnice byla postavena v délce asi deseti kilometrů na dálnici A5.
- Byla schválena a vybudována během pouhých dvou let. To ukázalo, že tento typ elektrické silnice může být postaven v krátkém čase, a to i na rušných silnicích.
- Interoperabilita s VD?



Obrázek 16: Zkušební trať elektrodálnice ELISA 2020. Zdroj: M. Werner (TU Dresden)



### **Švédsko: Technologie C (Řešení 8) - E-silnice ARLANDA, Švédsko**

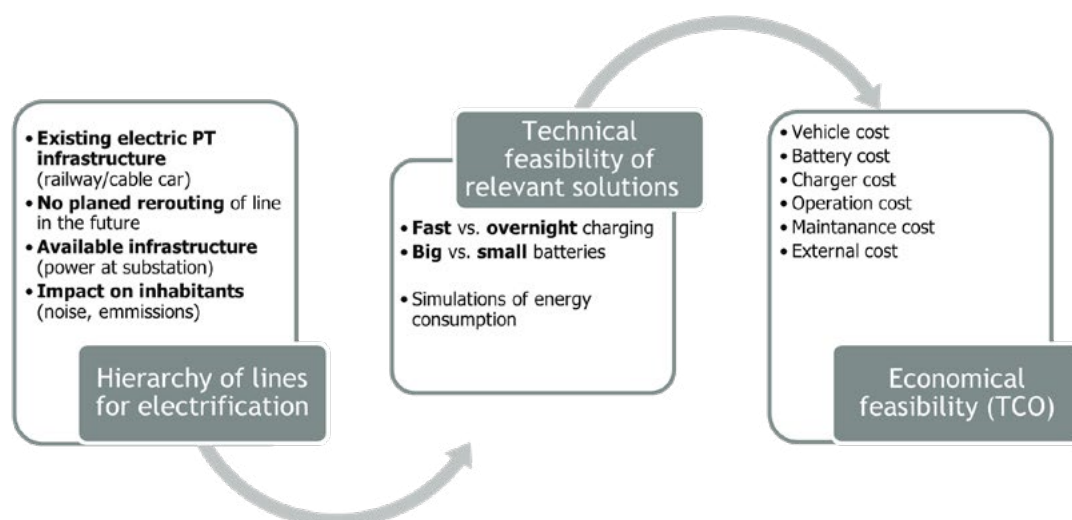
Inovativní NVP VD; vodivé zemní klouzavé kontakty. Inovativní techniky jsou založeny na vodivé technologii, která využívá elektrickou kolejnici instalovanou na silnicích k napájení a dobíjení vozidel během jejich cesty. Systém je navržen s kapacitou pro napájení těžší dopravy, jako jsou nákladní automobily, funguje také pro automobily a autobusy. Může také pomoci při jízdě do kopce.

- Vodivá technologie využívající elektrickou kolejnici instalovanou na silnicích k napájení a dobíjení vozidel během jízdy.
- Nabíjení pomocí „pohyblivého ramene“.
- Švédský cíl v oblasti bezfosilní dopravy do roku 2030.
- Původní konstrukce pro nákladní automobily, ale také relevantní pro automobily a autobusy.
- 10km zkušební trať - 18t nákladní automobily, 2 km elektrifikovaná.

## 2. Použijte případ Maribor - Úprava stanice lanovky na víceúčelovou infrastrukturu VD

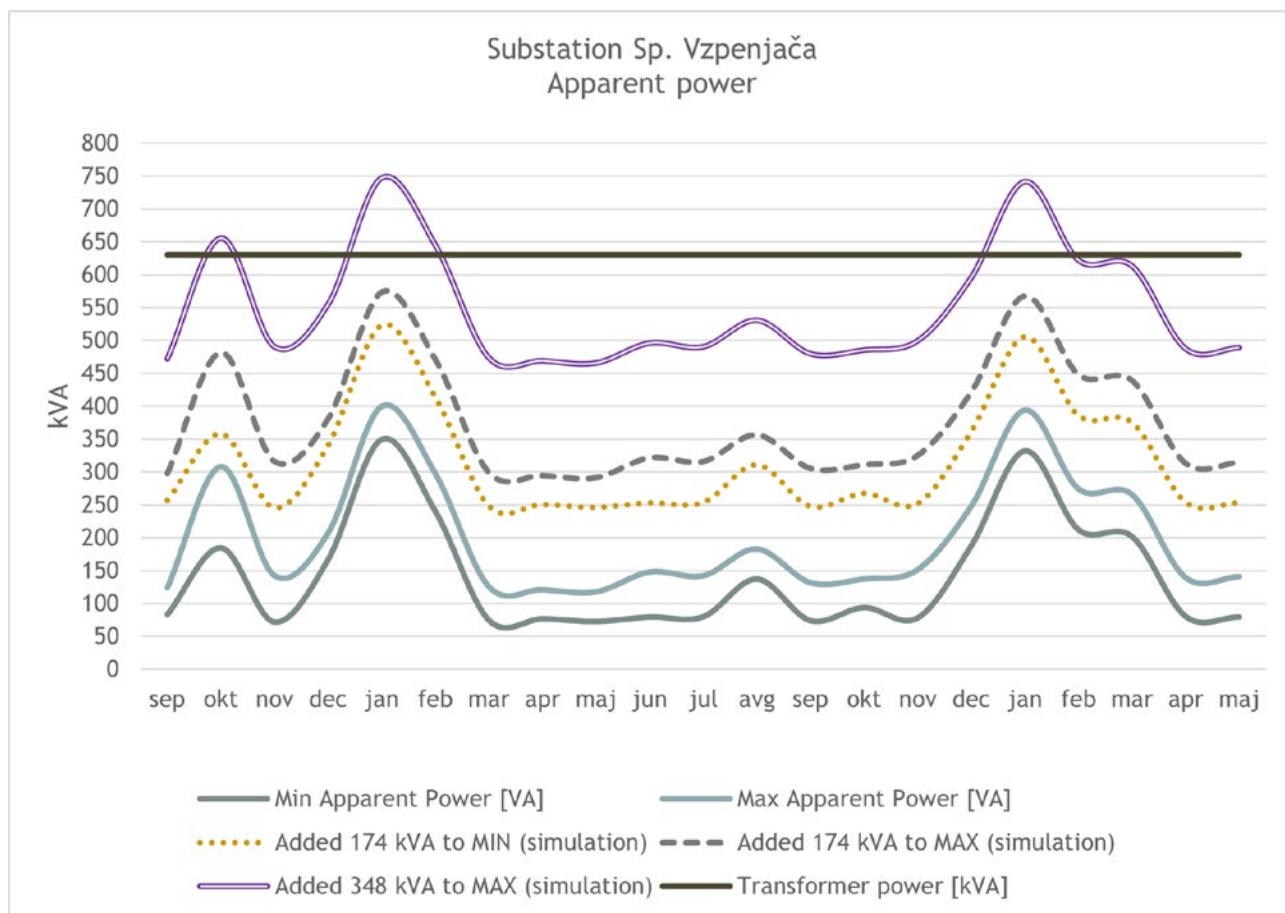
Technologie A byla použita jako součást pilotního projektu. Pilotní projekt se zaměřuje na víceúčelové rychlé nabíjení elektrobusů, přičemž rozvodna v současné době slouží jako nabíjecí stanice pro lanovky a sdílení elektromobilů. Vzhledem k tomu, že je plánována elektrifikace autobusové linky 6, nachází se rychlá nabíječka elektrobusu ve stanici Vzpenjača, kde je také umístěna stanice lanovky. Hlavní výzvou pilotního projektu bylo zavedení rychlonabíječky elektrobusu pro univerzální použití a měření stability sítě za různých okolností. Měření stability sítě před zavedením nabíječky elektrobusů a po jejím zavedení měřilo spotřebu energie stávajících spotřebitelů (stanice lanovky, sdílení elektromobilů), dalších příležitostných spotřebitelů (spotřebitelů během hlavních událostí - např. táborníků během období sjezdu na kolech a zimního období) a novou inovativní nabíječku elektrobusů (v závislosti na různých denních podmínkách nabíjení).

Byl připraven výběr koncepce nabíjení, což bylo provedeno ve třech krocích. Za prvé jsme určili trasu, kde by elektrifikace měla největší dopad na hluk a snížení emisí pro obyvatelstvo a která sousedila s již vybudovanou veřejnou dopravní infrastrukturou a v budoucnu se nebude výrazně měnit. Poté jsme analyzovali různé možnosti nabíjení pro vybranou trasu a určili, které možnosti jsou technicky proveditelné. Na základě technických řešení jsme pak vybrali koncepci nabíjení na základě analýzy nákladů životního cyklu.



Obrázek 17: Metodika elektrifikace VD v Mariboru

Implementace a instalace měřicího zařízení v rozvodně Vzpenjača byla dokončena koncem září 2020. Měřicí zařízení se používá k měření výkonu, proudu, teploty a dalších parametrů v rozvodně. Je konfigurováno pro monitorování celkové spotřeby lanové dráhy Pohorje. Po uvedení rychlé nabíjecí stanice do provozu budou dva měřiče: jeden pro nabíjecí stanici a jeden pro všechny ostatní spotřebitele dohromady. Součet jejich výstupů však bude představovat celkové zatížení rozvodny. Místní záznam dat o spotřebě bude přenášen přes síť LTE na server na univerzitě v Mariboru. Následující graf ukazuje spotřebu elektřiny ve VA v období od září 2020 do května 2022.

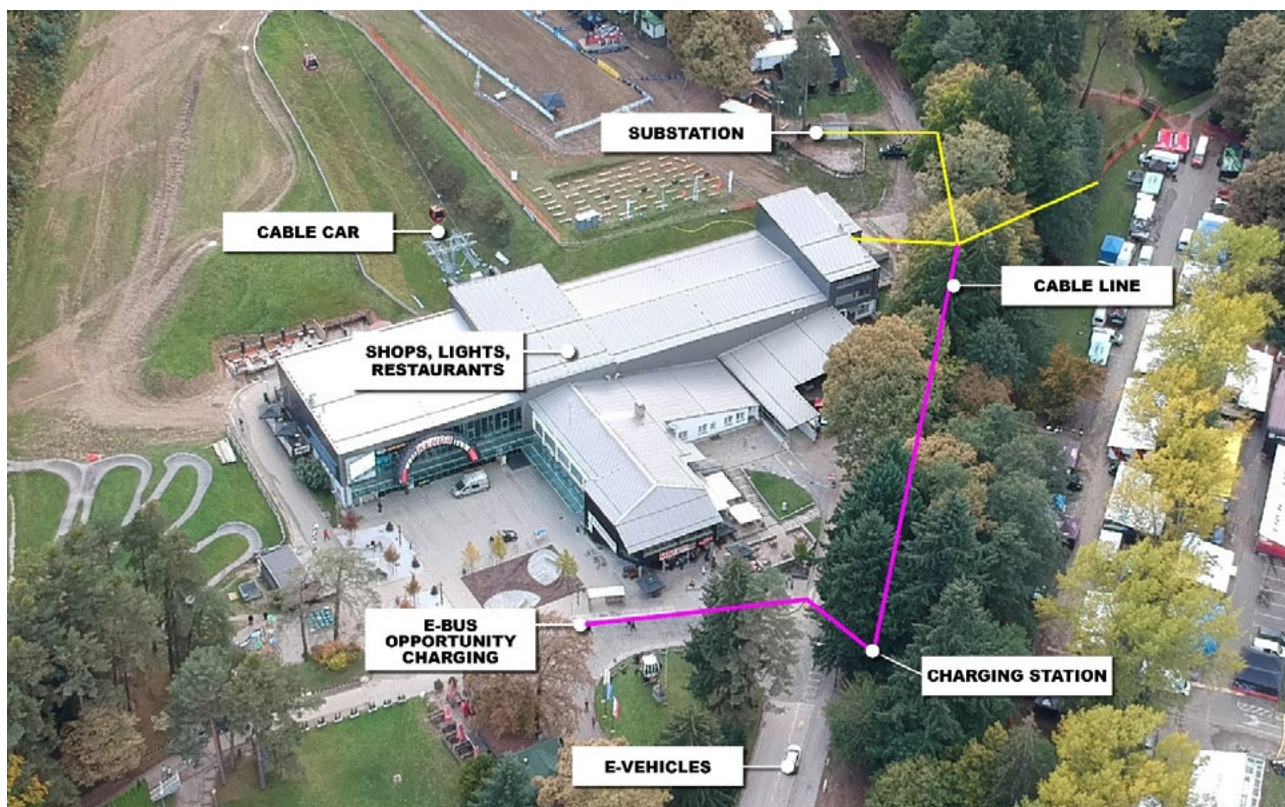


Obrázek 18: Zdánlivý výkon

Maximální špičkové zatížení v tomto období bylo 399 kVA v lednu 2021 a podobný vrchol byl v lednu 2022. Během té doby (víkend) spustilo lyžařské středisko Pohorje sněhové děla, aby bylo připraveny na novou zimní sezónu. Vzhledem k maximální špičkové zátěži založené na uvedeném diagramu a nabíjecí stanici 150 kW (174 kVA) by zdánlivý výkon byl 573 kVA, což odpovídá stávajícímu transformátoru o výkonu 630 kVA. Má-li se kapacita nabíjecí stanice zvýšit o 300 kW, tj. na maximální zdánlivé zatížení nabíjecí stanice 348 kVA, maximální zatížení by mohlo být 747 kVA. Stávající transformátor o výkonu 630 kVA by byl nedostatečný a musel by být nahrazen novým transformátorem o výkonu 1000 kVA.

Vzhledem k technickým řešením dostupným na trhu si obec zvolila dvě rychlé nabíječky a sadu baterií LTO. Obec Maribor vypsala veřejné výběrové řízení na přípravu projektové dokumentace pro rychlodobíjecí stanice pod lanovkou Pohorje, na hlavním autobusovém nádraží a v dílně Marprom v Mariboru. V září 2020 se konala koordinační schůzka s vybraným uchazečem. Zástupci obce Maribor a Univerzity Maribor představili projekt EfficienCE a podmínky projektu pro detailní přípravu odborné dokumentace.





Obrázek 19: Pohled na rychlonabíječku ve stanici Vzpenjača

Na začátku února 2022 byl na hlavním autobusovém nádraží úspěšně instalován první pantograf pro rychlé nabíjení elektrických autobusů v Mariboru s výkonem 300 kW. Druhý pantograf o výkonu 150 kW byl instalován v polovině února 2022 na stanici lanovky, kde byla zavedena integrace nabíjení ostatních elektromobilů a lanovek.



Obrázek 20: Instalace pantografu s rychlou nabíječkou na stanici lanovky v Mariboru





Obrázek 21: Instalovaný pantograf zkoušený se zakoupeným autobusem



Obrázek 22: Ukázka provozu pantografu

### 3. Závěry

Technologie relevantní pro využívání víceúčelové infrastruktury VD ukazují širokou škálu možností a řešení, které jsou k dispozici od dodavatelů a nasazeny v různých městech. S vývojem technologií jsou dopady stále v počátečních fázích (zejména dynamické/pohyblivé víceúčelové použití VD). V prvním kroku bylo představeno 8 technických řešení s popisem každé technologie, následovaných klíčovými přínosy, obecnými investicemi a technickými a právními překážkami. Ve druhém kroku byly pro každou technologii představeny osvědčené postupy, kde byl po popisu stavu techniky prezentován stav implementace, následovaný potenciálem pro rozšíření použití. Každá technologie má jak nevýhody, tak výhody, přičemž implementace je přizpůsobena místním podmínkám. Na základě této zprávy vidíme, že města a dodavatelé modernizují stávající místní infrastrukturu VD pro víceúčelové použití, zatímco nové (zejména) mobilní technologie nabíjení jsou v počátečních fázích.

Pokud jde o integraci energie, mobility a logistiky v rámci víceúčelového využití infrastruktury VD, lze konstatovat, že integrace souvisí s poptávkou a dostupnými místy a energií, zatímco mobilita a logistické uzly obvykle nemají z prostorového hlediska integrovaná místa svých distribučních sítí, a proto je integrace obtížná, ale v budoucnu by se o ní mělo uvažovat.

## Odkazy

- 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



# ZJISTĚTE VÍCE EfficienCE



Navštivte naši webovou stránku:  
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

## Kontaktujte nás



+49 341 123 59 10

Hlavní partner: Město Lipsko, Německo



Manažeri projektu:

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)

TAKING  
COOPERATION  
FORWARD



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

