



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# NADNÁRODNÁ PRÍRUČKA PRE ZAVÁDZANIE ENERGETICKY ÚČINNÝCH TECHNOLOGIÍ V INFRAŠTRUKTÚRE VEREJNEJ DOPRAVY

(3) Skladovanie energie v infraštruktúre  
verejnej dopravy

## IMPRINT

**Číslo projektu:**

CE1537 EfficienCE Energetická účinnosť infraštruktúry verejnej dopravy v strednej Európe.

**Financované:**

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

**Názov výstupu:**

D.T2.3.2 Transnational Handbooks for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment (Národné príručky pre zavádzanie energeticky účinných technológií v infraštruktúre verejnej dopravy)

**Editor:**

Konzorcium EfficienCE

**Autori:**

Anja Seyfert, Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale)

**Grafická úprava a dizajn:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

**Dátum:**

jún 2022

## O projekte EfficienCE

EfficienCE bol projekt spolupráce financovaný z programu Interreg CENTRAL EUROPE, ktorého cieľom bolo znížiť uhlíkovú stopu v regióne. Väčšina stredoeurópskych miest disponuje rozsiahlymi systémami verejnej dopravy, ktoré môžu tvoriť základ služieb nízkouhlíkovej mobility. Viac ako 63 % cestujúcich v tomto regióne využíva verejnú dopravu. Opatrenia na zvýšenie energetickej účinnosti a podielu obnoviteľných zdrojov energie v infraštruktúre verejnej dopravy tak môžu mať mimoriadne veľký vplyv na zníženie emisií CO<sub>2</sub>.

Tento cieľ bol dosiahnutý vďaka podpore miestnych orgánov, orgánov verejnej dopravy a prevádzkovateľov prostredníctvom vypracovania stratégií plánovania a akčných plánov, realizácie pilotných opatrení, vývoja nástrojov a školení na plánovanie a prevádzku nízkouhlíkovej infraštruktúry, ako aj zdieľaním poznatkov a osvedčených postupov v oblasti energeticky účinných opatrení v stredoeurópskych regiónoch.

Počas troch rokov spolupracovalo dvanásť partnerov vrátane siedmich orgánov/podnikov verejnej dopravy zo siedmich krajín s cieľom využiť nevyužitý potenciál v tomto odvetví a prispieť k cieľom „Bielej knihy“ EÚ znížiť do roku 2050 emisie z dopravy o 60 % a do roku 2030 znížiť používanie automobilov s konvenčným pohonom v mestskej doprave o polovicu.

Zhrnutie .....	5
1. Úvod .....	6
1.1 Relevantné technológie .....	6
1.2 Skladovanie energie a EfficienCE - pilotné projekty a medzinárodne osvedčené postupy .....	8
2. Prípady použitia EfficienCE v oblasti skladovania energie a integrácie obnoviteľných zdrojov energie .....	16
2.1 Energeticky účinné depo .....	16
2.2 Lineárna infraštruktúra .....	17
2.3 Inteligentný uzol .....	18
3. Získané skúsenosti a závery .....	19
4. Referencie .....	20

# Zhrnutie



Foto: mesto Lipsko

Európska únia sa zameriava na urýchlenie dekarbonizácie odvetvia dopravy založenej na obnoviteľných zdrojoch energie. Elektrické vozidlá (EV), elektrické vozidlá s palivovými článkami (FCEV) a skladovanie energie môžu výrazne podporiť toto úsilie a zároveň aj zvýšiť nákladovú účinnosť a stabilizáciu siete pre infraštruktúru verejnej dopravy.

Úloha infraštruktúry verejnej dopravy (VD) je výrazne závislá od jej schopnosti podporovať efektívne využívanie elektrickej energie v sieťach, ale aj umožniť integráciu obnoviteľných zdrojov energie (RES). V tomto procese zohrávajú veľmi dôležitú úlohu skladovacie technológie, ktoré sa používajú v depách, staniciach, na zastávkach a na tratiach, ktoré tvoria dopravné siete.

Príručka EfficienCE o skladovaní energie v infraštruktúre verejnej dopravy identifikuje hlavné povolené funkcie a technológie skladovania energie, ktoré je možné použiť v infraštruktúre verejnej dopravy, a skúma ich použitie v pilotných projektoch a medzinárodných osvedčených postupoch. Výsledky sú zhrnuté v troch prípadoch použitia (energeticky efektívne depo, inteligentný uzol, lineárna infraštruktúra), ktoré opisujú typické vybavenie, ktoré je potrebné vybudovať s cieľom zvýšiť energetickú efektívnosť infraštruktúry verejnej dopravy, a zahŕňajú hlavné vzorové aplikácie umožňujúce vyššiu energetickú efektívnosť, vyššiu integráciu obnoviteľných zdrojov a účinnejší prínos infraštruktúry verejnej dopravy do siete.

Cieľom prípadov použitia je zdôrazniť hlavné kľúčové prvky, očakávané prínosy, výzvy a prekážky, ktoré je potrebné zohľadniť pri plánovaní integrácie technológií skladovania do infraštruktúry VD, a poskytnúť priame odkazy na pilotné projekty a osvedčené postupy analyzované v rámci projektu na účely ďalšieho usmerňovania a porovnávania.

# 1. Úvod

Prítomnosť elektrifikovaných vozidiel a infraštruktúry vo verejnej doprave predstavuje významnú príležitosť pre proces dekarbonizácie v doprave a zároveň predstavuje významné technické výzvy súvisiace so stabilitou siete, najmä v súvislosti s rastúcim podielom obnoviteľných zdrojov energie (RES), ktoré je potrebné integrovať a využívať.

Skladovanie energie môže mať v infraštruktúre verejnej dopravy rôzne funkcie v závislosti od príslušných rámcových podmienok a potrieb.

Optimalizácia spotreby - Technológie skladovania môžu prispieť k minimalizácii poplatkov za spotrebu vyrovnaním potrieb medzi špičkami a časmi s nízkym dopytom, podporiť integráciu obnoviteľných zdrojov energie s cieľom maximalizovať vlastnú spotrebu, napríklad z fotovoltických elektrární, alebo zlepšiť energetickú účinnosť rekuperáciou a opätovným využívaním brzdnéj energie vozidiel, zabezpečiť stabilitu siete pri krátkodobých výpadkoch energie alebo zmenách frekvencie a napätia.

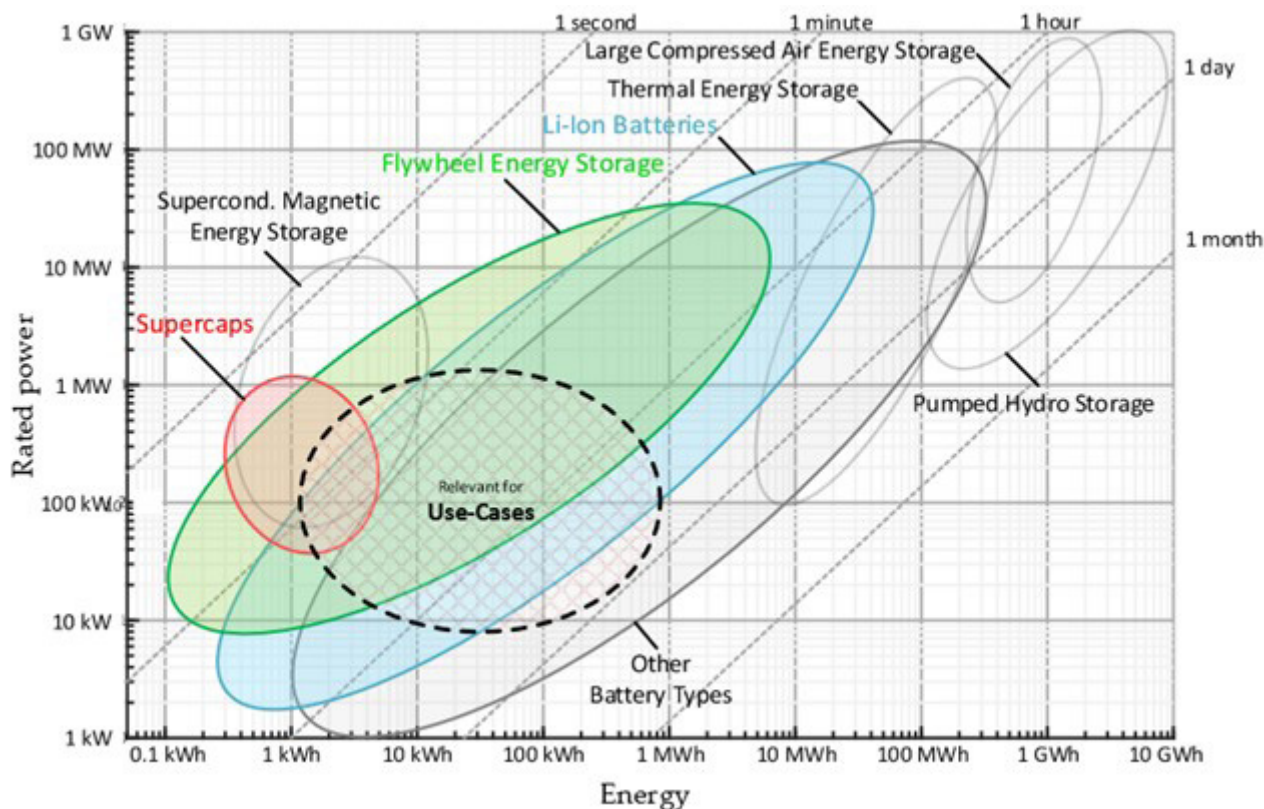
Prevádzka systému - systémy skladovania energie môžu poskytovať pomocné služby pre primárnu odozvu siete na stabilizáciu zmien frekvencie a napätia v sieti, sekundárnu odozvu na odstránenie nerovnováhy medzi zaťažením a výrobou a náhradu doplnkových špičkových zdrojov energie na zabezpečenie dostatočnej výrobnéj kapacity v čase špičkového dopytu

Využívanie/integrácia obnoviteľných zdrojov energie - technológie skladovania energie - môžu lepšie integrovať a maximalizovať podiel využívaných obnoviteľných zdrojov energie; v závislosti od nákladov na skladovanie a navrhovaných úspor energie/nákladov môže byť potrebné zahrnúť aj iné možnosti, ako je poskytovanie nabíjacej infraštruktúry aj externým stranám a stať sa tak aktívnym hráčom v miestnych energetických sieťach pre mobilitu (prepojenia s viacúčelovým využitím infraštruktúry a podobne). Pre profesionálneho používateľa dostupných skladovacích kapacít je dostupná aj energetická arbitráž, a teda zisk z nákupu energie za nízke ceny, ktorú je možné predat' v obdobiach s vysokými cenami.

## 1.1 Relevantné technológie

Na použitie vo verejnej doprave boli vybrané najrelevantnejšie technológie skladovania, ktoré je potrebné následne analyzovať a zvážiť pri prípadoch použitia opísaných v príručke. Technológie sa líšia v závislosti od kapacity výkonu, hustoty energie a času vybíjania (Obr. 1), a preto majú rôzne úrovne vhodnosti, funkcie a oblasti použitia vo verejnej doprave.





Obrázok 1: Menovitý výkon, energetická kapacita a čas vybíjania rôznych systémov skladovania energie pre stacionárne a mobilné dopravné aplikácie. (Haidl a kol. 2019)

Batérie sa môžu vo vozidlách používať buď na pohon, poskytovanie iných služieb (ako pomocné zariadenia, rekuperácia brzdného energie a podobne), alebo ako stacionárne úložisko. V prípade stacionárnych batérií sú požiadavky na nízku hmotnosť a bezpečnosť nižšie. Umožňujú širšiu škálu technológií batérií.

Lítium-iónové technológie poskytujú vysokú hustotu energie, nižšie náklady na energetickú kapacitu a nízke samovybíjanie, ale aj nižšiu hustotu výkonu a vysoké náklady na energetickú kapacitu, a preto sa väčšinou používajú v aplikáciách citlivých na hmotnosť, ktoré vyžadujú väčšiu kapacitu, napríklad v automobilovom priemysle a spotrebnej elektronike.

Systémy skladovania energie second-life batériami môžu znížiť špičkovú spotrebu energie a súvisiace náklady na rýchle nabíjanie zo siete, umožniť nabíjanie v oblastiach s obmedzeniami siete a podporiť ďalšie služby, napríklad integráciu obnoviteľných zdrojov energie. Využívanie second-life batérií sa zdá byť sľubné, pretože umožňuje lepšie podporovať sieť, integrovať obnoviteľné zdroje energie a pridať prvky obehu.

Superkondenzátory je možné vyrábať v rôznych veľkostiach pre rôzne aplikácie. Vďaka veľmi krátkemu času dobíjania umožňujú superkondenzátory zásobovať vysoké a časté špičky v dopyte po energii, pričom hlavné aplikácie sú spojené s opätovným využívaním brzdného energie v železničnej doprave a rôznych vozidlách, s integráciou obnoviteľných zdrojov energie a náhradou batérií v elektrických vozidlách.

Zotrvačnické systémy uskladnenia energie (FESS) sú mechanické zariadenia na krátkodobé uskladnenie kinetickej energie. Zotrvačníky malých rozmerov je možné používať ako úložné zariadenia v zdrojoch neprerušiteľného napájania (UPS), ako aj vo vozidlách. Hlavnými charakteristikami sú dlhá životnosť bez straty kapacity (veľmi vysoký počet nabíjajúcich a vybíjajúcich cyklov), vysoká kvalita energie, prijateľné teplotné závislosti, presné overenie stavu nabitia/dobrého stavu, žiadne problémy s hlbokým vybitím a minimálny vplyv na životné prostredie.

V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté hlavné očakávané prínosy a prekážky preskúmaných technológií tak, aby bolo možné posúdiť možnosti ich použitia podľa prípadov použitia uvedených v príručke.

Technológia	Očakávané prínosy	Možné technické prekážky	Možné regulačné prekážky
Li-ion batérie	vysoká hustota energie, nízka úroveň samovybíjania	degradácia, citlivosť na teplotu, bezpečnostné normy	súvisiace s opätovným použitím po skončení životnosti
Second-life batérie	predĺženie životnosti batérií	chýbajúca štandardizácia, aj pre zostávajúcu kapacitu a nabíjanie	žiadny regulačný rámec, fiškálne pravidlá, energetické dane
Superkondenzátor	žiadna strata kapacity, dlhá životnosť, veľmi krátky čas nabíjania, vysoké napätie	vysoké investičné náklady, nízka hustota energie, veľké a ťažké systémy pre aplikácie s vysokým výkonom	neuvádza sa
Zotrvačníky	žiadna strata kapacity, dlhá životnosť, veľmi krátky čas nabíjania, vysoké napätie, možnosť dodatočnej integrácie	vysoké investičné náklady, nízka hustota energie	možné bezpečnostné predpisy

Obrázok 2: Technológie skladovania, výhody a prekážky (EfficienCE, 2021)

## 1.2 Skladovanie energie a EfficienCE - pilotné projekty a medzinárodne osvedčené postupy

V tejto časti sú uvedené pilotné projekty a osvedčené postupy EfficienCE rozdelené do rôznych technologických kategórií (batérie, zotrvačníky, superkondenzátory) a na stacionárne a palubné zariadenia. Nasledujúca tabuľka uvádza kategóriu funkčnosti (optimalizácia spotreby v porovnaní s prevádzkou systému), ako aj hlavný zdroj energie.

	Batéria	Zotrvačník	Superkondenzátor	Stacionárna	Na palube	Prevádzka systému	Optimalizácia spotreby	Integrácia obnoviteľných zdrojov energie	Rekuperácia brzdnéj energie
Londýn (UK) Bus2Grid	V2G				x	x		x	
Depo Walworth v Londýne (UK)	x			x		x	x		
Solingen (DE) Inteligentný trolejbusový systém	x			x	x		x	x	x
Hannover (DE) Usmerňovacia rozvodňa	použité batérie			x			x		x
Hamburg (DE) prechádza na elektrickú energiu	x				x		x	x	
Madrid (ES) Projekt eLobster	x			x		x			x
Los Angeles (USA) Metro WESS		x		x			x		x
Graz (AT) Výskumný projekt FlyGrid									
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzátory pre verejnú dopravu			x		x		x		x
Varšava (PL) Elektrické so superkondenzátormi			x		x	x	x		x
La Spezia (IT) Smartbus			x		x		x		x
Nice (FR) Dvojrežimová električková trať			x		x		x		x
Gdansk (PL)*	použité batérie						x	x	x
Plzeň (CZ)*	x			x		x			
Viedeň (AT)*				x			x	x	

Obrázok 3: Klasifikácia pilotných projektov a osvedčených postupov (EfficienCE, 2022)



### 1.2.1. Pilotné projekty EfficienCE

Všetky tieto príklady, hoci sa zameriavajú na rôzne špecifické účely (rekuperácia brzdnéj energie, viacúčelové využitie nabíjacej infraštruktúry, skladovanie energie v trolejbusových sieťach), sa vyznačujú použitím technológií uskladnenia v depách, pozdĺž tratí a na staniciach.

#### Maribor (SI) - Viacúčelové využitie verejnej infraštruktúry na nabíjanie elektrických autobusov

Cieľom pilotnej akcie v Maribore bola integrácia rýchlonabíjačky elektrických autobusov do viacúčelových nabíjacích zariadení umiestnených pri existujúcej stanici lanovky a pri železničnej stanici. Infraštruktúra na viacúčelové nabíjanie je umiestnená na konečných zastávkach autobusovej linky.

Riešenie určené pre analyzovanú trasu podľa analýz územného plánovania, technickej uskutočniteľnosti a ekonomickej životaschopnosti predpokladá inštaláciu dvoch rýchlonabíjačiek (150 kW a 300 kW) a obstaranie dvoch 12-metrových elektrických autobusov s batériami LTO s kapacitou 73 kWh.

Modernizácia sa zameriava na stanicu lanovky a zahŕňa integráciu rýchlonabíjačky na viacúčelové využitie existujúcej infraštruktúry verejnej dopravy (VD). Energia z rozvodne lanovky, ktorá sa používa na prevádzku lanovky, sa môže využívať aj na nabíjanie elektrických autobusov a elektrických vozidiel. Rozvodňa má kapacitu 630 kVA a vzhľadom na súčasné zaťaženie a kapacitu jednej nabíjacej stanice by na vybudovanie dvoch nabíjacích staníc stačilo 230 kVA.



Obrázok 4: Rýchlonabíjačka na elektrické autobusy pri stanici lanovky (Mesto Maribor)

#### Plzeň (CZ) - Vyrovnávacia stanica v trolejbusovej sieti pre energetickú účinnosť

Nasadenie veľkého počtu trolejbusov s nabíjaním v pohybe má za následok vyššiu spotrebu elektrickej energie v úsekoch, kde sa vozidlá pohybujú a nabíjajú (zatiaľ 8 kĺbových a 22 12-metrových batériových vozidiel), čo môže spôsobiť zníženie napätia pri vyššom zaťažení, a teda môže spôsobiť krátkodobé výpadky siete alebo okamžité poruchy pohonných jednotiek trolejbusov.

Aby sa predišlo vysokým investičným nákladom a dlhobodej príprave potrebnej na výstavbu novej rozvodne alebo posilnenie káblov, prevádzkovateľ verejnej dopravy označil za možné technické riešenie inštaláciu vyrovnávacej stanice na trati.

Zvolená vyrovnávacia stanica založená na vysoko výkonných batériách a inteligentnom počítačovom riadení a galvanicky oddelená trakčná pohonná jednotka (DC 600 V/DC 600 V) zabezpečuje bezpečný a spoľahlivý prenos energie do a z trakcie.

Prípadné budúce modernizácie môžu zahŕňať použitie veľkokapacitných batérií (aj z druhej ruky) a/alebo integráciu malej fotovoltickej elektrárne na zabezpečenie energie na mieste.



Obrázok 5: [Batériová vyrovnávacia stanica v Plzni](#) (PMDP)

## Gdynia (PL) - Rekuperácia brznej energie a RES na napájanie budovy trolejbusového depa a použitie trakčného napájacieho systému na nabíjanie elektromobilov

Pilotný projekt v Gdyni sa zameriaval na optimalizáciu energetických zdrojov v budove trolejbusového depa prostredníctvom kombinácie technologických aplikácií.

Depo je vybavené 0,5 MW špičkovou fotovoltickou elektrárnou na streche, ktorá ročne vyrobí približne 450 MWh, ktoré sa dodávajú priamo do trolejbusovej siete (5 % celkovej spotreby). Okrem toho sa brzdná energia z autobusov rekuperuje vďaka meniču energie, ktorý umožňuje dodávať inak nevyužitú energiu priamo do energetického systému budovy.

Zariadenie zároveň monitoruje úroveň spotreby energie v trakčnej sieti, zisťuje nevyužitú energiu a dôkladne kontroluje spotrebu energie v budove depa, čím ďalej zlepšuje už existujúci systém monitorovania energie (EMS).

Invertorový systém je vybavený inovatívnym systémom akumulácie energie, ktorý dokáže akumulovať spätné získanú nevyužitú rekuperačnú energiu v prípade, že výstup striedavého prúdu nie je zaťažený. Na tento účel sa používa jeden batériový modul z trakčnej batérie trolejbusu (second-life aplikácia).

Mobilná nabíjacia stanica na elektromobily, ktorú v rámci projektu CAR (Creating Automotive Renewal - INTERREG South Baltic) zriadilo mesto Gdynia a ktorá umožňuje nabíjanie s rôznymi rozsahmi výkonu a elektrického prúdu, je pripojiteľná k trolejbusovej trakčnej sieti kdekoľvek v meste a umožňuje synergiu medzi týmito dvoma projektmi.

Výhody kombinovaného systému v porovnaní s tradičnými riešeniami sú:

- pripojenie stanice si nevyžaduje dodatočné náklady na inštaláciu a skracuje čas návratnosti investície;
- žiadny dlhý formálny proces spojený s jeho výstavbou;
- trakčná sieť so svojim rozsiahlym priestorovým dosahom a širokou dostupnosťou umožňuje používanie nabíjacej stanice aj tam, kde je problém s pripojením na striedavé elektrické vedenie, napríklad z dôvodu potreby stavebných prác.



Obrázok 6: Mobilná nabíjacia stanica na elektromobily napájané z trolejbusovej siete (PKT)

V rámci pilotného projektu v Gdyni bola pripojená mobilná nabíjačka na elektrické vozidlá, ktorej cieľom je overiť, ako nabíjanie elektromobilov ovplyvňuje stabilitu siete, jej parametre alebo pravidelnú prevádzku trolejbusov.

## Viedeň (AT) - Integrovaný fotovoltický systém stanice metra na napájanie pomocných zariadení budovy z RES

Spoločnosť Wiener Linien GmbH & Co KG testovala na stanici metra Ottakring nový typ fóliového fotovoltického systému (FV), ktorý je päťkrát ľahší ako bežné fotovoltické systémy, čo umožnilo inštaláciu na existujúcich staniciach bez potreby udržať dodatočnú hmotnosť bežných fotovoltických systémov.

Ďalšou zvláštnosťou bola paralelná prevádzka železničného systému na jednosmerný prúd (DC) a výroby elektrickej energie pomocou FV, vzhľadom na ktorú museli vybrané fotovoltické moduly spĺňať špeciálne technické požiadavky (a ďalšie náklady).



Obrázok 7: Otváracie podujatie s miestnymi orgánmi, november 2019 (Wiener Linien)

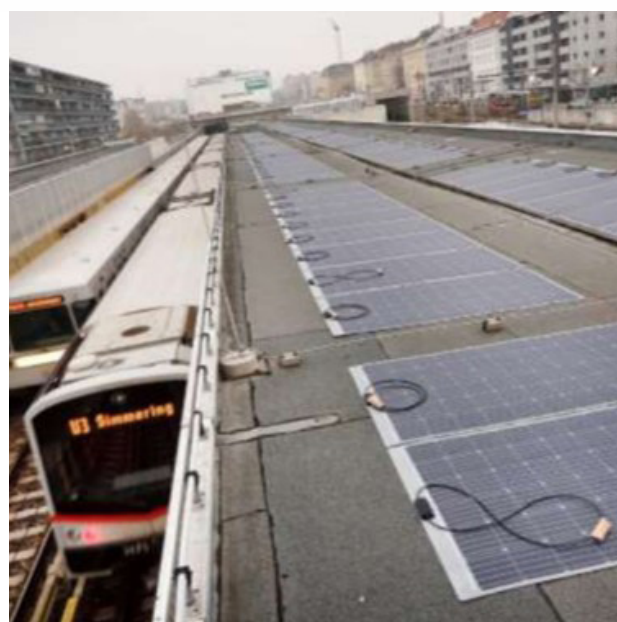




Foto: mesto Lipsko

Jednou z hlavných výziev bolo umiestniť technické zariadenie, ako napríklad frekvenčný menič, na vhodné miesto v stanici a presne naplánovať vedenie káblov tak, aby sa skrátila vzdialenosť medzi technickou miestnosťou a miestnosťou hlavného nízkonapäťového rozvádzača. Fotovoltické moduly sú prilepené na strechu a káble sú vedené v kanáli. Po pripojení hlavného nízkonapäťového rozvádzača do technickej miestnosti boli napokon pri vypínači nainštalované meracie komponenty.

Technické údaje: Fotovoltická elektrárňa má rozlohu 360 m<sup>2</sup>, nominálny výkon má 60,3 kWp a ročnú produkciu približne 60 000 kWh, čo pokrýva 6 % ročnej spotreby energie celej stanice metra (vrátane parkovacej haly pre vlaky metra). Maximálny mesačný podiel energie dosiahol 13 % spotreby, počas slnečného letného dňa pokrýva fotovoltický systém až 50 % potreby energie stanice. Merania sa vykonávajú v 15-minútových intervaloch. Ako meracie zariadenie sa používa Siemens PAC 3200 a získané údaje sa automaticky prenášajú do nášho systému riadenia energie.



Obrázok 8: Fotovoltické fólie na streche stanice metra (Wiener Linien)

### 1.2.2. Aplikácie skladovania energie v infraštruktúre VD – osvedčené postupy

V tejto časti navrhujeme prehľad osvedčených postupov týkajúcich sa aplikácií skladovania energie v infraštruktúre verejnej dopravy, pričom v niektorých prípadoch integrujeme už preskúmané prístupy s funkciami, ako je prepojenie vozidla so sieťou, systémy rekuperácie energie na ceste, integrácia obnoviteľných zdrojov energie.

## Londýn - Bus2Grid

Bus2Grid sa vzťahuje na ambiciózny projekt pripojenia 28 dvojposchodových autobusov k sieti s cieľom vykonať testovanie V2G. Autobusy vybavené 382 kWh lítiovo-železo-fosfátovými batériami sa v čase nízkeho dopytu nabíjajú cez noc a v čase vysokého dopytu sú schopné dodávať 1,1 MW do londýnskej siete na zabezpečenie vyrovnávacích služieb.

Depo je vybavené nabíjaním striedavým prúdom pomocou  $2 \times 40$  kW palubných nabíjačiek a mobilným vybíjacím zariadením. Veľmi dôležité: väčšina projektov V2G využíva nabíjanie jednosmerným prúdom (CHAdeMO), a preto je potrebné certifikovať iba ChargePoint a príslušný menič, ktorý sa nepohybuje, a nie vozidlo. Samozrejme, náklady na infraštruktúru sú nižšie.

## Abellio Londýn, depo Walworth

Spoločnosť Abellio plánovala nasadiť 34 elektrických autobusov zo svojho depa vo Walworth na linky TfL. Vyžadovalo si to financovanie batérií a služby nabíjacej infraštruktúry, ako aj riešenie obmedzenej vstupnej kapacity siete a priestorových obmedzení. Spoločnosť Zenobē financovala 34 batérií pre elektrické autobusy so službou riadenia batérií a nainštalovala stacionárnu batériu na podporu siete pri nabíjaní elektrických autobusov v čase špičky. Batéria, ktorá počas dňa poskytuje služby pre národnú sieť, generuje dodatočné príjmy a znižuje poplatky spoločnosti Abellio. Nabíjacia infraštruktúra zahŕňa viacero nabíjačiek jednosmerného prúdu s možnosťou nabíjania vozidiel pri  $> 80$  kW, pričom spotrebu energie monitoruje vlastný softvér spoločnosti Zenobē. Z ekonomického hľadiska ide o jedinečný prístup, ktorý ukazuje, že pripojenie batériových úložísk k dopravnej infraštruktúre by mohlo pri spolupráci so špecializovanými tretími stranami ako spoločnosť Zenobē predstavovať zaujímavú obchodnú príležitosť.



Obrázok 9: [Autobusové depo Abellio v Londýne](#) (Zenobē)

## Solingen - Projekt BOB

BOB je súčasťou inteligentného systému trolejbusov a ďalšieho rozvoja existujúcej trolejovej siete na inteligentnú infraštruktúru, ktorá je integrovaná do mestskej elektrickej siete. Sieť nadzemného vedenia je prepojená so sieťou stredného napätia a brzdnú energiu je možné vrátiť späť. Fotovoltické systémy pozdĺž nadzemného vedenia môžu byť napájané priamo do siete bez strát. Batérie inštalované v rozvodniach môžu uchovávať elektrickú energiu a dodávať ju v prípade potreby. Integrované budú nabíjacie stanice na elektromobily.



Obrázok 10: <https://www.bob-solingen.de/>

## Hannover - Usmerňovacia rozvodňa so second-life batériami

V Hannoveri poskytuje dvadsať autobusových systémov so second-life batériami kapacitu približne 500 kWh, ktoré sa pripájajú k novej usmerňovacej rozvodni na napájanie elektrických autobusov a električiek prevádzkovaných spoločnosťou ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. Zásobníky energie slúžia ako rezerva, ktorá umožňuje efektívne využitie získanej energie pri prevádzke električiek, na stabilizáciu siete, najmä na vyrovnávanie odberových špičiek, ako aj na podporu v prípade výpadku elektrickej energie a na zabezpečenie elektrickej energie pre verejnú nabíjaciu infraštruktúru.



Obrázok 11: [Sustainable Bus](#)



## Hamburg prechádza na elektrickú energiu

V hamburskom depe Alsterdorf boli dve zo šiestich parkovísk vybavené inteligentnou infraštruktúrou na nabíjanie elektrických autobusov, ktorá pozostáva z 96 nabíjacích bodov a 240 parkovacích miest.

Koncepcia nabíjania je modulárna a teda škálovateľná. Dodávka elektrickej energie je pripojená k hamburskej elektrickej sieti prostredníctvom rozvodne. Modulárne štandardné transformátory (1 600 KVA) dodávajú energiu až pre 16 autobusov.

Autobusy sa budú nabíjať cez noc s maximálnou nabíjacou kapacitou 150 kW na autobus a priemerným časom nabíjania 4 až 5 hodín, pričom sa bude využívať aj prebytok vyrobenej veternej energie, čím sa zvýši integrácia obnoviteľných zdrojov do siete.



Obrázok 12: Zdroj: © INIT | Ulrike Kabel

## Madrid - eLobster (H2020)

Cieľom projektu eLobster je zlepšiť synergie medzi ľahkou železničnou infraštruktúrou a elektrickými distribučnými sieťami, znížiť straty elektrickej energie a zvýšiť stabilitu siete, najmä v scenároch, v ktorých je možná vysoká integrácia obnoviteľných zdrojov energie.

Riešenie je založené na integrovanom systéme riadenia železníc a siete, ktorý na základe analýzy energetických strát v reálnom čase dokáže optimalizovať výmenu elektrickej energie medzi sieťami a maximalizovať miestnu vlastnú spotrebu RES.



Foto: mesto Lipsko

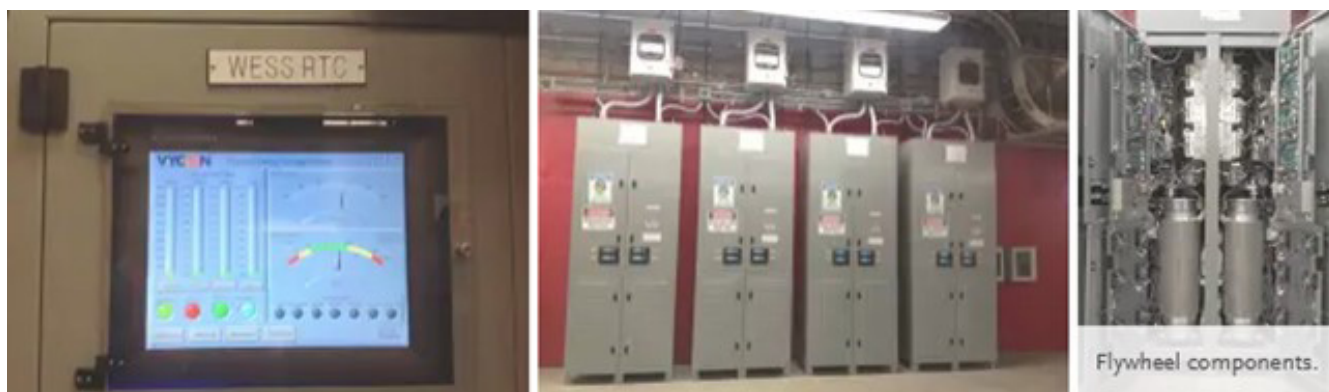


Demonštračným miestom E-LOBSTER je metro v Madride, keďže jeho podzemná železnica je napojená na miestnu distribučnú sieť s vysokým podielom RES.

### Los Angeles, Spojené štáty americké - Way Side Energy Storage System (WESS)

Projekt Way Side Energy Storage System (WESS) integroval systém na báze zotrvačníka VYCON REGEN do trakčnej napájacej stanice (TPSS) červenej a fialovej trate na stanici Westlake/McArthur Park.

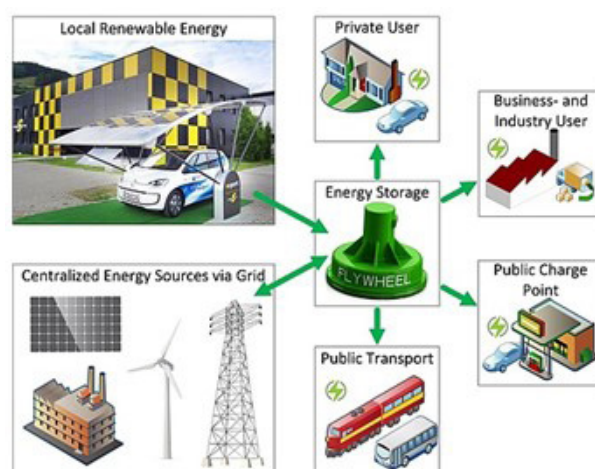
Tento systém akumuluje energiu z brzdenia súprav metra v oblúkoch alebo pri vjazde do stanice v blízkosti WESS TPSS, ukladá túto energiu a poskytuje ju ďalšiemu vlaku, ktorý ju potrebuje. Preto znižuje špičkovú spotrebu energie a dosahuje 10 až 18-percentné zníženie trakčnej energie. Systém je v dennej plnej prevádzke od augusta 2014. Ročné úspory sa odhadujú na približne 541 MWh, čo zodpovedá dodávke energie pre 100 priemerných kalifornských domácností.



Obrázok 13: Copyright © 2022 | Metro – Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority [Zdroj](#), Dave Sotero, 3. októbra 2014

### Výskumný projekt „FlyGrid“, Rakúsko

Systém FESS je vyvinutý pre plne automatizovanú nabíjajúcu stanicu EV, ktorá umožňuje v nízkonapäťovej distribučnej sieti dosiahnuť vysoký nabíjací výkon a zároveň stabilizovať sieť. Systém je vhodný na integráciu miestnych obnoviteľných zdrojov, čím prispieva k zvýšeniu podielu čistej energie v mixe zdrojov elektrickej energie. Vynikajúca životnosť zariadenia na uskladnenie energie, schopnosť dodávať vysoký výkon späť do siete, ako aj ľahká prenosnosť vo forme mobilného „rýchlonabíjacieho boxu“ (pre elektrické stavebné stroje a podobne) sú ďalšími charakteristikami koncepcie FlyGrid. Jeden modul tohto prototypu bude použitý ako referenčný prípad a bude dodávať 5 kWh pri špičkovom výkone 100 kW. (Haidl a kol. 2019).



Obrázok 14: [TU Graz](#)



## Huai'an, Jiangsu: Technológia superkondenzátorov ako primárne zariadenie na nabíjanie prostriedkov verejnej dopravy

Superkondenzátory sú vo verejnej doprave používané najmä vo vozidlách.

S 20 km dlhou trasou a 23 zastávkami zaviedol Huai'an najdlhšie električkové vedenie využívajúce superkondenzátory.

Technológia superkondenzátora s veľmi krátkym časom dobíjania okolo 30 sekúnd a dlhou životnosťou dokáže nahradiť 30 % súkromných vozidiel a prepraviť 7 miliónov cestujúcich v oblasti s hustou premávkou, ušetriť 4 900 ton emisií CO<sub>2</sub> ročne.

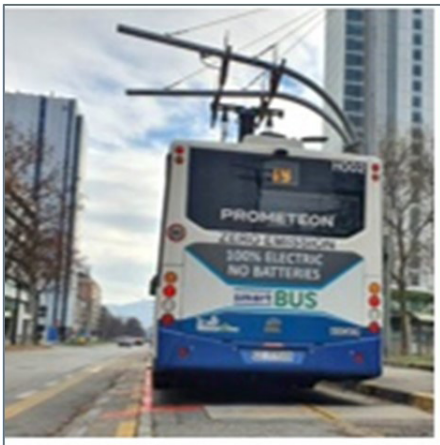
### Varšava



Obrázok 15: [sustainable-bus.com/](https://sustainable-bus.com/)

Podobný prístup bol zvolený vo Varšave, kde ultrakondenzátorové systémy vyrobené v Estónsku spoločnosťou Skeleton Technologies rekuperujú brzdnú energiu a opätovne ju využívajú na zrýchľovanie, čím sa výrazne znižuje celková spotreba energie a odstraňujú sa energetické špičky. Tým sa vo Varšave stabilizuje infraštruktúra siete a výrazne sa zvyšuje energetická účinnosť. V porovnaní s lítium-iónovými batériami superkondenzátory s 1 miliónom nabíjacích cyklov predstavujú pre špecifické aplikácie technicky dokonalejšie riešenie.

### La Spezia (IT) SmartBUS



Obrázok 16: [sustainable bus](https://sustainable-bus.com/)

V La Spezii boli testované autobusy vybavené ultrakondenzátormi (32 kWh) na 17 km dlhej linke s nabíjacou stanicou AC/DC 150 kW na autobusovej stanici. Čas nabíjania autobusu SmartBUS je 5 až 7 minút. Inovácia spočíva najmä v zníženej hmotnosti a veľkosti autobusu a v možnosti rekuperácie brzdnéj energie až do 40 %.

Spoločný podnik spoločností E-CO, Chariot, Prometeon a Politecnico Milano ukázal, že ultrakondenzátory rôznych kapacít v modeloch autobusov SmartBUS (8, 12 a 18 metrov), ktoré sa používajú namiesto batérií, môžu na jedno nabitie prejsť vzdialenosť viac ako 40 km.

## 2. Prípady použitia EfficienCE v oblasti skladovania energie a integrácie obnoviteľných zdrojov energie

Na základe analýzy funkcií, technológií a prehľadu osvedčených postupov vykonaného v predchádzajúcich kapitolách sú v tejto kapitole identifikované tri relevantné prípady použitia. Prípady pozostávajú z koncepcií a) energeticky efektívneho depa, b) inteligentného uzla a c) lineárnej infraštruktúry, kde sa zavádzajú technológie skladovania energie umožňujúce integráciu obnoviteľných zdrojov energie a podporu prevádzky systému. Tieto tri prípady použitia sumarizujú typický rozsah vybavenia, ktoré je potrebné vybudovať s cieľom zvýšiť energetickú účinnosť infraštruktúry VD.

	Energeticky efektívne depo	Inteligentný uzol	Lineárna infraštruktúra
Londýn (UK) Bus2Grid	x		
Depo Walworth v Londýne (UK)	x		
Solingen (DE) Inteligentný trolejbusový systém			x
Hannover (DE) Usmerňovacia rozvodňa			x
Hamburg (DE) prechádza na elektrickú energiu	x		
Madrid (ES) Projekt eLobster		x	
Los Angeles (USA) Metro WESS		x	
Graz (AT) Výskumný projekt FlyGrid		x	
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzátory pre verejnú dopravu			x
Varšava (PL) Električky so superkondenzátormi			x
La Spezia (IT) Smartbus			x
Maribor (SI)* Viacúčelové využitie verejnej infraštruktúry		x	
Gdyňa (PL)* Rekuperovaná brzdná energia a RES	x	x	x
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací stanica v trolejbusovej sieti			x
Viedeň (AT)* Integrovaný fotovoltický systém stanice metra	x	x	

Pilotné projekty EfficienCE

Obrázok 19: Pilotné projekty, medzinárodné osvedčené postupy a prípady použitia [EfficienCE, 2022]

Rámcový plán predstavuje kontext mesta Bergamo, kde sa v rámci realizácie projektu SUMP počíta s rekonštrukciou dôležitého uzla mobility dopravnej siete, výstavbou nových liniek ľahkej železnice a eBRT a rozvojom viacúčelovej siete na dobíjanie elektrických vozidiel.

Prípado Bergamo, kde je v rámci projektu EfficienCE vypracúvaný akčný plán na lepšiu integráciu obnoviteľných zdrojov energie a systémov skladovania vo verejnej dopravnej infraštruktúre, predstavuje vhodný rámec, ktorý predstavuje modelový kontext pre pridelenie skladovacích zariadení na rôzne účely a pre rôzne typy infraštruktúry.

### 2.1 Energeticky efektívne depo

Prípado použitia sa zameriava na zlepšenie energetickej výkonnosti depa VD (zrekonštruovaného alebo novo navrhnutého) prostredníctvom lepšieho využívania obnoviteľných zdrojov, ak sú k dispozícii (vrátane rekuperácie brzdenia), ako aj efektívnejšej spotreby a na podporu energetickej autonómie a prispievanie k sieti (napríklad Bus to Grid).

Na plánovaní energeticky efektívneho depa sa môže podieľať mnoho zainteresovaných strán, ako sú miestne orgány, prevádzkovatelia verejnej dopravy a iní poskytovatelia (napríklad e-carsharing), prevádzkovatelia prenosových sústav a prevádzkovatelia distribučných sústav, ako aj občania.

V súlade s východiskami pre prípady použitia sa návrh a realizácia riešení energetickej efektívnosti dep založených na skladovaní energie opiera najmä o skladovanie energie z batérií (nových a second-life batérií), pričom investície zahŕňajú aj fotovoltické systémy a iné riešenia výroby energie z obnoviteľných zdrojov, nabíjacie zariadenia (aj V2G), monitorovacie systémy a podobne.

Hlavné očakávané vplyvy súvisia s vyššou energetickou účinnosťou prostredníctvom vlastnej výroby a zníženia strát, lepšou integráciou obnoviteľných zdrojov a súvisiacimi environmentálnymi a ekonomickými prínosmi.

#### Výzvy/prekážky

Implementácia riešení skladovania energie v energeticky účinných depách môže čeliť rôznym výzvam a v niektorých prípadoch aj prekážkam, najmä v súvislosti s regulačným kontextom, keď sa hovorí o V2G a energetickom dispečingu, a v súvislosti s hodnotením nákladov a prínosov potrebných investícií. Okrem toho predstavuje spoločenská akceptácia dôležitý prvok, ktorý je nevyhnutné zohľadniť pri plánovaní novej infraštruktúry v husto obývaných štvrtiach, pričom výzvy súvisiace s ukladáním a V2G môžu priniesť výhody, ktoré je potrebné zohľadniť.

#### Referencie:

Londýn (UK) Bus2Grid
Depo Walworth v Londýne (UK)
Hamburg (DE) prechádza na elektrickú energiu
Gdyňa (PL)* Rekuperovaná brzdná energia a RES
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací stanica v trolejbusovej sieti
Viedeň (AT)* Integrovaný fotovoltický systém stanice metra

## 2.2 Lineárna infraštruktúra

Tento prípad použitia analyzuje možné aplikácie technológií skladovania v lineárnej infraštruktúre, najmä na účely podpory a vyrovnávania siete, pričom sa zohľadňujú stacionárne aj pohyblivé prístupy.

Uvažuje sa o aplikáciách, ako sú stacionárne a pohyblivé batérie, ako aj zotrvačníky a superkondenzátory s cieľom preskúmať škálu výhod, ktoré je možné pre sieť dosiahnuť použitím technológií skladovania. Zároveň sa zvažujú výhody a obmedzenia takýchto aplikácií.

Zapojenie zainteresovaných strán sa zameria najmä na technickú stránku týkajúcu sa mobility (prevádzkovatelia verejnej dopravy a iní poskytovatelia) a energetiky (prevádzkovatelia prenosových sústav a prevádzkovatelia distribučných sústav).

Hlavné očakávané vplyvy súvisia s podporou siete s cieľom zlepšiť prevádzkovú efektívnosť, a tým zvýšiť environmentálnu a ekonomickú výkonnosť infraštruktúry prostredníctvom ekonomicky životaschopných riešení. Rozsah použitia sa líši podľa typu existujúcej alebo pripravovanej infraštruktúry: z tohto dôvodu odkazy zahŕňajú príklady trolejbusov, autobusov a električiek.

#### Výzvy/prekážky

Implementácia riešení skladovania pre lineárnu infraštruktúru môže čeliť najmä ekonomickým výzvam súvisiacim s potrebnými investíciami, ale zároveň môže predstavovať príležitosť na odloženie príslušných investícií do siete a na vytvorenie flexibilnejších riešení na stabilizáciu siete. V niektorých prípadoch môžu pre rôzne technologické aplikácie existovať špecifické regulačné prekážky (napr. bezpečnostné predpisy pre zotrvačníky).

#### Referencie:

Solingen (DE) Inteligentný trolejbusový systém
Hannover (DE) Usmerňovacia rozvodňa
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzátory pre verejnú dopravu
Varšava (PL) Električky so superkondenzátormi
La Spezia (IT) Smartbus
Gdyňa (PL)* Rekuperovaná brzdná energia a RES
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací stanica v trolejbusovej sieti

## 2.3 Inteligentný uzol

Posledný prípad použitia sa zameriava na návrh inteligentného uzla ako stanice, zastávky alebo multimodálneho uzla, kde sa môže použiť úložisko, aby sa umožnilo efektívne využívanie obnoviteľných zdrojov, ako aj viacúčelové využitie nabíjacej infraštruktúry. Je možné uvažovať o rôznych prístupoch, od čistého zlepšenia energetickej účinnosti a výkonnosti infraštruktúry, až po aktívny príspevok vozidiel a výroby k stabilite siete.

Zapojenie zainteresovaných strán sa zameria najmä na technickú stránku týkajúcu sa mobility (prevádzkovatelia verejnej dopravy a iní poskytovatelia) a energetiky (prevádzkovatelia prenosových sústav a prevádzkovatelia distribučných sústav).

Pri výbere riešení pre inteligentné uzly založené na skladovaní sa zohľadňujú rôzne technologické možnosti vrátane batérií, zotrvačiek a superkondenzátorov a posudzuje sa ich potenciál podľa vlastností uzlov a systémov.

Hlavné očakávané vplyvy súvisia s podporou siete s cieľom zlepšiť prevádzkovú efektívnosť, a tým zvýšiť environmentálnu a ekonomickú výkonnosť infraštruktúry prostredníctvom ekonomicky životaschopných riešení. Určenie optimálneho rozsahu integrácie technológií skladovania a obnoviteľných zdrojov energie na úrovni uzla, pri zohľadnení koexistencie a interakcií medzi rôznymi (lineárnymi a uzlovými) infraštruktúrami, je rozhodujúce pre zaručenie účinnosti a ekonomickej udržateľnosti aplikácií.

#### Výzvy/prekážky

Implementácia riešení na skladovanie pre inteligentné uzly môže čeliť najmä výzvam a technickým prekážkam z dôvodu zložitosti a vzájomného pôsobenia rôznych systémov. Najmä zavedenie viacúčelových systémov nabíjania a výmeny energie medzi rôznymi službami si môže vyžadovať hĺbkové analýzy regulačných a obchodných modelov.

#### Referencie:

Madrid (ES) Projekt eLobster
Los Angeles (USA) Metro WESS
Graz (AT) Výskumný projekt FlyGrid
Maribor (SI)* Viacúčelové využitie verejnej infraštruktúry
Gdyňa (PL)* Rekuperovaná brzdná energia a RES
Viedeň (AT)* Integrovaný fotovoltický systém stanice metra

### 3. Získané skúsenosti a závery

Kombinácia energeticky účinných dep, inteligentných uzlov a lineárnej infraštruktúry pre verejnú dopravu poukazuje na potenciál vývoja inovatívnych riešení pri optimalizácii vzťahu medzi mobilitou a energetickou sieťou.

Pokiaľ ide o efektívne depá, z analýzy vyplynulo, že rozsah infraštruktúry RES je rozhodujúci na určenie možnosti využitia skladovania. Možno by stálo za to zvážiť napríklad úlohu siete VD ako zberača rôznych zdrojov RES na úrovni susedstva, aby bolo opätovné využívanie tokov energie efektívne a ekonomicky životaschopné.

Použitie akumulácie na lineárnej infraštruktúre možno považovať za zostatkové z hľadiska integrácie RES, ale poskytuje dobré a flexibilné reakcie pri riešení pomocných funkcií, napríklad pri regulácii napätia. Okrem toho môže byť v niektorých prípadoch využívanie zásobníkov príležitosťou na odloženie príslušných investícií do siete.

Hlavný poznatok z prípadu použitia inteligentného uzla dopĺňa predchádzajúce: proces plánovania musí zohľadňovať zložitosť a interakcie medzi rôznymi systémami; najmä implementácia viacúčelových systémov nabíjania a výmeny energie medzi rôznymi službami si môže vyžadovať hlbkové analýzy regulačných a obchodných modelov.

## 4. Referencie

- Ahmad Arabkoohsar, Meisam Sadi, 2021: Flywheel energy storage, in Mechanical Energy Storage Technologies, (<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gyrobus>)
- BloombergNEF, 2020: Battery Price Survey <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- Jimena Castro-Gutiérrez, Alain Celzard a Vanessa Fierro, 2020: Energy Storage in Supercapacitors: Focus on Tannin-Derived Carbon Electrodes, *Front. Mater.*, 22 July 2020 <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00217>
- Circular Energy Storage, research and consulting, 2021: Prices for used batteries are higher than for new batteries - this is why <https://circularenergystorage.com/articles/2021/1/15/prices-for-used-batteries-are-higher-than-for-new-batteries-this-is-why>
- Circular Energy Storage, research and consulting, 2021: The lithium-ion battery life cycle report <https://static1.squarespace.com/static/587657ddbe659497fb46664c/t/5fdaa991dc2ddb6396c30fa6/1608165783527/The+lithium-ion+battery+life+cycle+report+sample.pdf>
- EASE European Association for Storage of Energy, 2020: Energy Storage and Transport: What's the Connection? <https://ease-storage.eu/news/energy-storage-and-transport-whats-the-connection/>
- Sarah George, 2021: 'UK's first' grid-scale battery storage system comes online in Oxford <https://www.euractiv.com/section/electricity/news/uks-first-grid-scale-battery-storage-system-comes-online-in-oxford/>
- Philipp Glücker, Klaus Kivekäs, Jari Vepsäläinen, Panagiotis Mouratidis, Maximilian Schneider, Stephan Rinderknecht, Kari Tammi: Prolongation of Battery Lifetime for Electric Buses through Flywheel Integration; *Energies* 2021, 14, 899. <http://doi.org/10.3390/en14040899>
- M.A. Guerrero, E. Romero, F. Barrero, M. I. Milanés, E. González Supercapacitors: Alternative Energy Storage Systems <http://peandes.unex.es/archives%5CP126.pdf>
- Peter Haidl, Armin Buchroithner, Bernhard Schweighofer, Michael Bader, Hannes Wegleiter, 2019: Lifetime Analysis of Energy Storage Systems for Sustainable Transportation, sustainability file:///C:/Users/user/AppData/Local/Temp/sustainability-11-06731-v2.pdf
- IEA 2021: Prospects for electric vehicle deployment, Global EV Outlook 2021 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/prospects-for-electric-vehicle-deployment>
- Fabian Meishner, Dirk Uwe Sauer, 2019: Wayside energy recovery systems in DC urban railway grids. Elsevier, *eTransportation* 1 (2019) <https://d-nb.info/1226855962/34>
- Craig Morris, 2015: how batteries can stabilize the grid; Energy Transition - The global Energiewende, <https://energytransition.org/2015/06/batteries-stabilize-the-grid/#menuopen>
- Kaushik Patowary, 2019: Gyrobus: The Flywheel-Powered Public Transportation <https://www.amusingplanet.com/2019/02/gyrobus-flywheel-powered-public.html>
- Abraham Alem Kebede, Thierry Coosemans, Maarten Messagie, Towfik Jemal, Henok Ayele Behabtu, Joeri Van Mierlo, Maitane Berecibar, 2021: Techno-economic analysis of lithium-ion and lead-acid batteries in stationary energy storage application, *Journal of Energy Storage* Volume 40, August 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21004783#!>
- Robert Rapier, 2020: Why Vanadium Flow Batteries may be the future of utility - scale energy storage, *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/10/24/why-vanadium-flow-batteries-may-be-the-future-of-utility-scale-energy-storage/?sh=6faaca6f2305>
- (Haidl a kol. 2019) Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies, *Joule* 3, 81-100 January 16, 2019, 2018 Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008>



Octavio Solis, Frank Castro, Leonid Bukhin, Kinh Pham, David Turner, Gary Thompson, 2015: SAVING MONEY EVERY DAY: LA METRO SUBWAY WAYSIDE ENERGY STORAGE SUBSTATION, Proceedings of JRC 2015 Joint Rail Conference <https://vyconenergy.com/wp-content/uploads/2018/06/Saving-Money-Every-Day-LA-Metro-Subway-Wayside-Energy-Storage-Substation-March-2015.pdf>

Xiaojun Li, Alan Palazzolo, 2021: A review of flywheel energy storage systems: state of the art and opportunities (arXiv:2103.05224v3 [eess.SY] 13 Jun 2021) <https://arxiv.org/pdf/2103.05224.pdf>

#### Odkazy na projekty

eLobster - H2020 <https://www.e-lobster.eu/project-brief/>

BOB - Solingen (DE) <https://www.bob-solingen.de/>

BUS2GRID - London (UK) <https://www.sseenergysolutions.co.uk/distributed-energy-infrastructure/our-solutions/bus2grid>

# ZISTITE VIAC O EfficienCE



Pozrite si naše webové stránky:  
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

## Kontaktujte nás



+49 341 123 59 10



Projektoví manažéri:

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

