



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# TRANSNACIONALNI PRIRUČNIK ZA UVOĐENJE ENERGETSKI UČINKOVITIH TEHNOLOGIJA INFRASTRUKTURE JAVNOG PRIJEVOZA

(3) Pohrana energije u infrastrukturi 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:**

Anja Seyfert, Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale)

**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.

## Sadržaj

Izvršni sažetak .....	5
1. Uvod .....	6
1.1 Relevantne tehnologije .....	6
1.2 Pohrana energije i EfficienCE - pilot-projekti i međunarodne dobre prakse .....	8
2. Slučajevi upotrebe pohrane energije i integracije obnovljive energije projekta EfficienCE .....	16
2.1 Energetski učinkovit depo .....	16
2.2 Linearna infrastruktura .....	17
2.3 Pametno čvorište .....	18
3. Usvojene lekcije i zaključci .....	19
4. Reference.....	20

# Izvršni sažetak



Fotografija Grad Leipzig

Europska unija usmjerena je na ubrzavanje dekarbonizacije prijevoznog sektora na temelju obnovljivih izvora energije. Električna vozila (EV), električna vozila s gorivim ćelijama (FCEV) i pohrana energije mogu uvelike pomoći u ovom nastojanju i istovremeno pomoći u smanjenju troškova i stabilizaciji mreže za infrastrukturu javnog prijevoza.

Uloga infrastrukture javnog prijevoza (JP) snažno ovisi o njezinoj sposobnosti prihvaćanja učinkovitog korištenja električne energije u mrežama, kao i o omogućavanju integracije obnovljivih izvora energije (Renewable Energy Sources, RES). U tom procesu tehnologije pohrane imaju vrlo važnu ulogu, s primjenama i depoima, na postajama i stanicama, kao i duž linija koje čine prijevozne mreže.

Priručnik EfficienCE o pohrani energije u infrastrukturi javnog prijevoza identificira glavne omogućene funkcije i tehnologije za pohranu energije koje se mogu primijeniti na infrastrukturu javnog prijevoza, a istražuje njihovu primjenu u radnjama pilot-projekta i međunarodnih dobrih praksi. Rezultati su tri sažeta slučaja upotrebe (energetski učinkovit depo, pametno čvorište, linearna infrastruktura) koji opisuju tipičnu opremu koja se treba razviti kako bi se poboljšale performanse energetske učinkovitosti infrastrukture JP, a pokrivaju glavne primjere primjene koja omogućuje veću energetska učinkovitost, veću integraciju obnovljivih izvora i učinkovitiji doprinos infrastrukture javnog prijevoza mreži.

Slučajevi upotrebe namjeravaju istaknuti ključne elemente, očekivane prednosti, izazove i prepreke koje se trebaju uzeti u obzir prilikom planiranja integracije tehnologija pohrane u infrastrukturu JP, uz pružanje izravnih referenci za pilot-projekte i dobre prakse analizirane u okviru projekta za daljnje smjernice i standarde.

## 1. Uvod

Prisutnost elektrificiranih vozila i infrastrukture u javnom prijevozu predstavlja važnu priliku za proces dekarbonizacije u prijevozu, a istovremeno postavlja relevantne tehničke izazove povezane sa stabilnošću mreže, posebno uz prisutnost rastućih udjela obnovljivih izvora energije (RES) za integraciju i iskorištavanje.

Pohrana energije može imati raznolike funkcije u infrastrukturi javnog prijevoza ovisno o odgovarajućim okvirnim uvjetima i potrebama.

Optimizacija potrošnje - Tehnologije pohrane mogu doprinijeti smanjenju punjenja na zahtjev međupohranom potreba između zahtjevnih i manje zahtjevnih razdoblja, poduprijeti integraciju obnovljivih energija kako mi se povećala vlastita potrošnja, na primjer, od fotonaponskih energetske postrojenja ili poboljšanju energetske učinkovitosti oporavkom i ponovnim korištenjem kočione energije vozila, pružati stabilnost mreže tijekom kratkotrajnog gubitka električne energije ili promjena u frekvenciji i naponu.

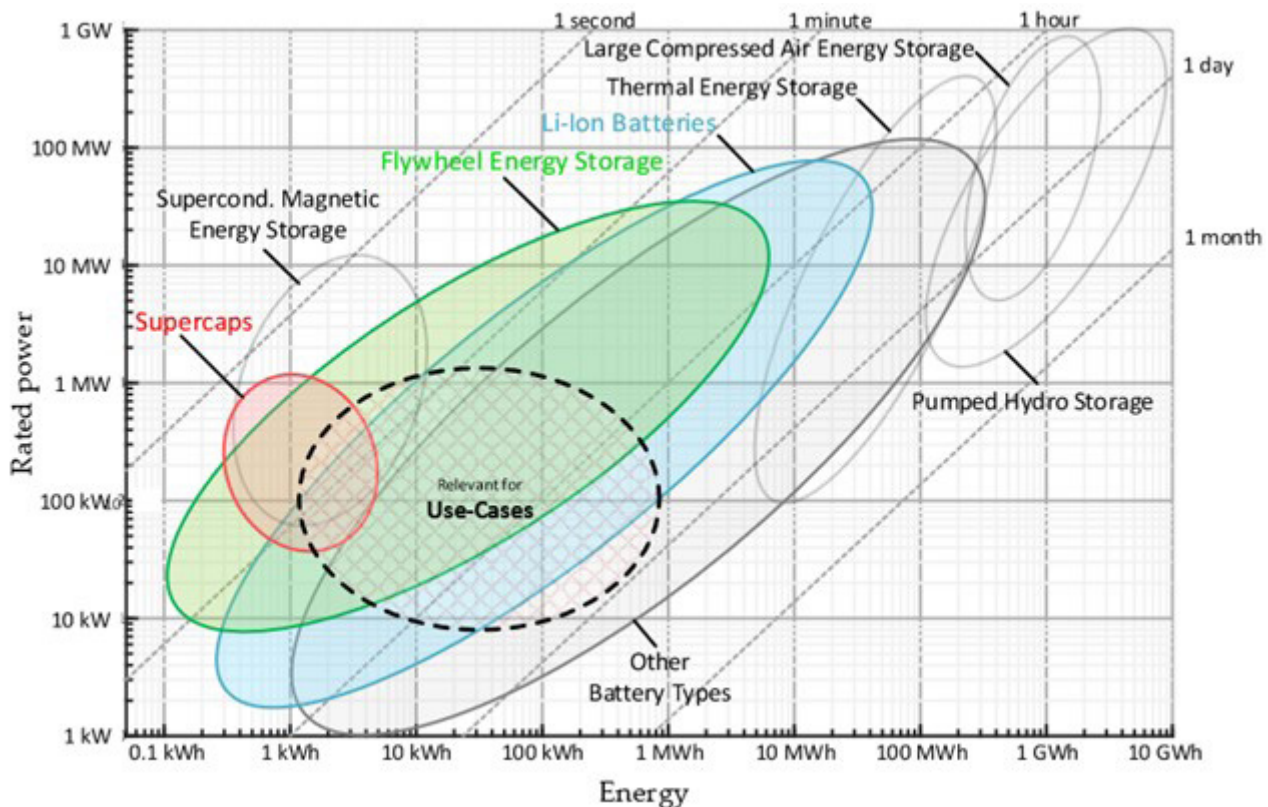
Rad sustava - Sustavi pohrane energije mogu pružiti pomoćne usluge primarnom odgovoru mreže kako bi se stabilizirala frekvencija i promjene napona u mreži, sekundarnom odgovoru kako bi se ispravile neravnoteže između opterećenja i proizvodnje i zamjenom postrojenja kako bi se osigurao dovoljan kapacitet proizvodnje tijekom zahtjevnih vršnih razdoblja.

Prozumerizam/integracija obnovljivih energija - Tehnologije pohrane energije mogu bolje integrirati i povećati udio korištenih obnovljivih izvora energije; ovisno o trošku pohrane i predloženim uštedama energije/troškova moglo bi biti potrebno uključiti ostale mogućnosti, kao što je pružanje infrastrukture punjenja i vanjskim strankama i tako postati aktivan sudionik u lokalnim energetske mrežama za mobilnost (povezanost s višenamjenskim korištenjem infrastrukture, itd.); kao prozumer s dostupnim kapacitetima pohrane moguća je i energetska arbitraža, a stoga i prihod od kupnje jeftine energije koja se može prodavati u razdobljima visokih cijena.

### 1.1 Relevantne tehnologije

Najvažnije tehnologije pohrane za korištenje u javnom prijevozu odabrane su kako bi se analizirale i razmotrile za slučajeve upotrebe opisane u priručniku. Tehnologije se razlikuju ovisno o kapacitetu napajanja, gustoći energije i vremenu pražnjenja (Slika 1) i stoga imaju različite razine prikladnosti, funkcija i područja primjene u javnom prijevozu.





Slika 1: Nazivna snaga, energetska kapacitet i vrijeme pražnjenja različitih sustava pohrane energije za stacionarne i mobilne primjene u prijevozu. (Haidl et al. 2019)

Akumulatori se mogu koristiti na vozilima za pogon ili ostale usluge unutar vozila (kao pomoćno sredstvo, energija regenerativnog kočenja, itd.) ili kao stacionarna pohrana. Za stacionarne akumulatorne zahtjevi su niži za lakoću i sigurnosti, omogućavaju širi raspon tehnologija akumulatora.

Među akumulatorima, litij-ionske tehnologije omogućuju visoku gustoću energije, niske troškove po kapacitetu energije i nisko samopražnjenje, ali i manju gustoću snage i veće troškove po kapacitetu snage i stoga se najčešće koriste za primjene osjetljive na težinu koje zahtijevaju više kapaciteta, npr. automobilska i potrošačka elektronika.

Sustavi pohrane u akumulatorne drugog životnog vijeka mogu smanjiti vršnu potrošnju energije i povezane troškove mreže za brzo punjenje, omogućiti punjenje u područjima s ograničenjima mreže i podržati ostale usluge, na primjer, integraciju obnovljivih energija. Korištenje akumulatora drugog životnog vijeka čini se obećavajućim za bolju podršku mreži, integraciju obnovljivih izvora energije i dodavanje kružnih elemenata.

Superkondenzatori proizvode se u različitim veličinama za raznovrsne primjene. Zbog vrlo kratkog vremena ponovnog punjenja superkondenzatori omogućuju opskrbu za visoke i česte energetske zahtjeve vrhunice, glavne su primjene povezane s ponovnim korištenjem kočione energije na željeznici i različitim vozilima, integracijom obnovljive energije i zamjenom akumulatora u električnim vozilima.

Sustavi pohrane energije u zamašnjaku (Flywheel Energy Storage Systems, FESS) mehanički su uređaji koji kratkotrajno pohranjuju kinetičku energiju. Zamašnjaci male veličine mogu se koristiti kao uređaji za pohranu u neprekidnim napajanjima (uninterruptible power supplies, UPS) i u vozilima. Glavne su karakteristike dugovječnost bez gubitaka kapaciteta (vrlo visok broj ciklusa punjenja i pražnjenja), visoka kvaliteta električne energije, bez temperaturnih ovisnosti, precizna provjera stanja punjenja/zdravlja, bez problema s dubokim pražnjenjem, minimalan utjecaj na okoliš.

Sljedeća tablica sažima glavne očekivane prednosti i prepreke promatranih tehnologija u svrhu procjene prilike za primjenu u skladu sa slučajevima upotrebe u priručniku.

Tehnologija	Očekivane prednosti	Moguće tehničke prepreke	Moguće regulatorne prepreke
Litij-ionski akumulatori	visoka gustoća energije, nisko samopražnjenje	degradacija, temperaturna osjetljivost, sigurnosni standardi	povezano s ponovnim korištenjem u drugom životnom vijeku
Akumulatori drugog životnog vijeka	produljenje životnog vijeka akumulatora	nema standardizacije, i za preostali kapacitet i punjenje	nema regulatornog okvira, fiskalnih pravila, poreza na energiju
Superkondenzator	nema gubitaka kapaciteta, dug životni vijek, vrlo kratko vrijeme punjenja, visoki napon	visoki troškovi ulaganja, niska gustoća energije, veliki i teški sustavi za visokoenergetski kapacitet	nije dostupno
Zamašnjaci	nema gubitaka kapaciteta, dug životni vijek, kratko vrijeme punjenja, visoki napon, nadogradnja	visoki troškovi ulaganja, niska gustoća energije	moгуća sigurnosna regulacija

Slika 2: Tehnologije pohrane, prednosti i prepreke (EfficienCE, 2021.)

## 1.2 Pohrana energije i EfficienCE - pilot-projekti i međunarodne dobre prakse

U ovom odjeljku govorimo o pilot-projektima i dobrim praksama projekta EfficienCE raspoređenima među različitim tehnološkim kategorijama (akumulatori, zamašnjaci, superkondenzatori) i između stacionarnih i mobilnih. Sljedeća tablica pokazuje kategoriju funkcionalnosti (optimizacija potrošnje i rad sustava), kao i uključeni glavni izvor energije.

	Akumulator	Zamašnjak	Super-kondenzator	Stacionarno	U vozilu	Rad sustava	Optimizacija potrošnje	Integracija obnovljivih izvora energije	Regenerativno kočenje
London (UK) Bus2Grid	V2G				x	x		x	
London (UK) depo Walworth	x			x		x	x		
Solingen (DE) sustav Smart Trolleybus	x			x	x		x	x	x
Hannover (DE) Ispravljačka trafostanica	DRUGI ŽIVOTNI VIJEK			x			x		x
Hamburg (DE) postaje električni grad	x				x		x	x	
Madrid (ES) eLobster projekt	x			x		x			x
Los Angeles (US) Metro WECS		x		x			x		x
Graz (AT) FlyGrid istraživački projekt									
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzatori za javni prijevoz			x		x		x		x
Varšava (PL) Tramvaji sa superkondenzatorima			x		x	x	x		x
La Spezia (IT) SmartBUS			x		x		x		x
Nica (FR) Dvojni način rada tramvajske pruge			x		x		x		x
Gdynia (PL)*	DRUGI ŽIVOTNI VIJEK						x	x	x
Plzeň (CZ)*	x			x		x			
Beč (AT)*				x			x	x	

Slika 3: Klasifikacija pilot-projekata i dobre prakse (EfficienCE, 2022.)



### 1.2.1. Pilot-projekti EfficienCE

Sve ove primjere, iako su usmjereni na različite posebne namjene (povrat kočione energije, višenamjensko korištenje infrastrukture punjenja, međupohrana energije u mrežama trolejbusa) karakterizira korištenje tehnologija pohrane u depoima, duž linija, na postajama.

#### Maribor (SI) - višenamjensko korištenje javne infrastrukture za punjenje e-autobusa

Cilj pilot-projekta grada Maribora bila je implementacija brzih punjača za e-autobuse u višenamjenske prostore za punjenje koji se nalaze pored postojećih postaja žičare i željezničke postaje. Infrastruktura za višenamjensko punjenje postavljena je na okretišta autobusnih linija.

Rješenje identificirano za analiziranu rutu u skladu s analizama prostornog planiranja, tehničke izvedivosti i ekonomske isplativosti razmatra ugradnju dvaju brzih punjača (150 kW i 300 kW) i nabavu dvaju 12-metarskih e-autobusa s LTO akumulatorima od 73 kWh.

Modernizacija uključuje integraciju brzog punjača za višenamjensko korištenje postojeće infrastrukture javnog prijevoza (JP) s usmjerenjem na postaju žičare. Snaga trafostanice žičare koja se koristi za rad žičare može se podijeliti za punjenje e-autobusa i e-automobila. Trafostanica ima kapacitet od 630 kVA, a s obzirom na trenutno opterećenje i kapacitet jedne stanice za punjenje, 230 kVA bit će dovoljno za izgradnju dviju stanica za punjenje.



Slika 4: Brzi punjač za e-autobuse na postaji žičare (Općina Maribor)

#### Plzeň (CZ) - stanica međupohrane u mreži trolejbusa za energetske učinkovitost

Uvođenje velikog broja trolejbusa koji se pune u pokretu rezultira većom potrošnjom električne energije na dionicama kojima se vozila kreću i pune (ukupno 8 zglobnih vozila i 22 akumulatorska vozila od 12 metara) što može dovesti do smanjenja napona prilikom većih opterećenja i stoga izazvati kratkotrajne nestanke električne energije ili iznenadne kvarove pogonskih jedinica trolejbusa.

Kako bi se izbjegli visoki troškovi ulaganja i dugotrajna priprema potrebna za izgradnju nove trafostanice ili ojačanja kablova, operater javnog prijevoza identificirao je ugradnju stanice međupohrane duž linije kao moguće tehničko rješenje.

Odabrana stanica međupohrane temelji se na visokoenergetskim akumulatorima i inteligentnom računalnom upravljanju, a galvanska odvojena vučna pogonska jedinica (DC 600 V/DC 600 V) osigurava siguran i pouzdan prijenos energije do i od vuče.

Moguće buduće nadogradnje mogu uključivati korištenje akumulatora visokog kapaciteta (i rabljenih) i/ili integraciju malog fotonaponskog postrojenja za dobivanje energije na licu mjesta.



Slika 5: [Akumulatorska stanica međupohrane u Plzňu](#) (PMDP)

## Gdynia(PL) - Oporavljena kočiona energija i RES za napajanje zgrade depoa trolejbusa i primjena sustava opskrbe vuče za punjenje električnih automobila

Pilot-projekt grada Gdynia usredotočio se na optimizaciju izvora energije unutar zgrade depoa trolejbusa kroz više tehnoloških primjena.

Depo je opremljen vršnim fotonaponskim postrojenjem od 0,5 MW na krovu koje godišnje proizvede oko 450 MWh koji se izravno usmjeravaju u mrežu trolejbusa (5 % ukupne upotrebe). Osim toga, kočiona energija iz autobusa koja bi inače bila izgubljena, oporavlja se zahvaljujući pretvaraču energije, a to omogućuje usmjeravanje energije izravno u energetske sustav zgrade.

Uređaj kontrolira i razinu potrošnje energije u vučnoj mreži, otkriva neiskorištenu energiju i temeljito kontrolira potrošnju energije zgrade depoa, čime dodatno unaprjeđuje već postojeći sustav nadzora energije (energy monitoring system, EMS).

Sustav pretvarača opremljen je inovativnim sustavom pohrane energije koji može akumulirati oporavljenu neiskorištenu energiju regenerativnog kočenja ako nema opterećenja na izlazu izmjenične električne energije. U tu se svrhu koristi jedan modul akumulatora iz vučnog akumulatora trolejbusa (primjena drugog životnog vijeka).

Mobilna stanica za punjenje električnih automobila postavljena kao dio projekta CAR (Creating Automotive Renewal - INTERREG južni Baltik) grada Gdynije omogućuje punjenje različitim rasponima snage i električne energije, može se povezati s vučnom mrežom trolejbusa bilo gdje u gradu i omogućuje sinergiju između dvaju projekata.

Prednosti su kombiniranog sustava u usporedbi s tradicionalnim rješenjima:

- priključivanje stanice ne zahtijeva dodatne troškove ugradnje i skraćuje razdoblje ulaganja
- nema dugog formalnog procesa povezanog s izgradnjom,
- vučna mreža s opsežnim prostornim rasponom i širokom pristupačnošću omogućuje uvođenje stanica za punjenje ondje gdje postoji problem s povezivanjem na izmjeničnu električnu mrežu, npr. zbog potrebe za građevinskim radovima.



Slika 6: Mobilna stanica za punjenje za električne automobile koju napaja mreža trolejbusa (PKT)

U sklopu pilot-projekta grada Gdynia priključen je mobilni punjač za električna vozila kako bi se provjerilo na koji način punjenje električnih automobila utječe na stabilnost mreže, njezine parametre ili rad regularnih linija trolejbusa.

## Beč (AT) - fotonaponski sustav integriran u postaju podzemne željeznice za napajanje pomoćnih zgrada pomoću RES

Wiener Linien GmbH & Cdo KG na postaji podzemne željeznice Ottakring ispitao je novu vrstu sustava fotonaponske folije koja je pet puta lakša od konvencionalnih fotonaponskih sustava i omogućuje ugradnju na postojećim postajama bez dodatne težine konvencionalnih fotonaponskih sustava.

Druga je posebna značajka bio usporedni rad željezničkog sustava s istosmjernom strujom (DC) i fotonaponske proizvodnje energije za koju odabrani fotonaponski moduli moraju zadovoljiti posebne tehničke zahtjeve (i dodatne troškove).



Slika 7: Ceremonija otvaranja s lokalnim vlastima, studeni 2019. (Wiener Linien)

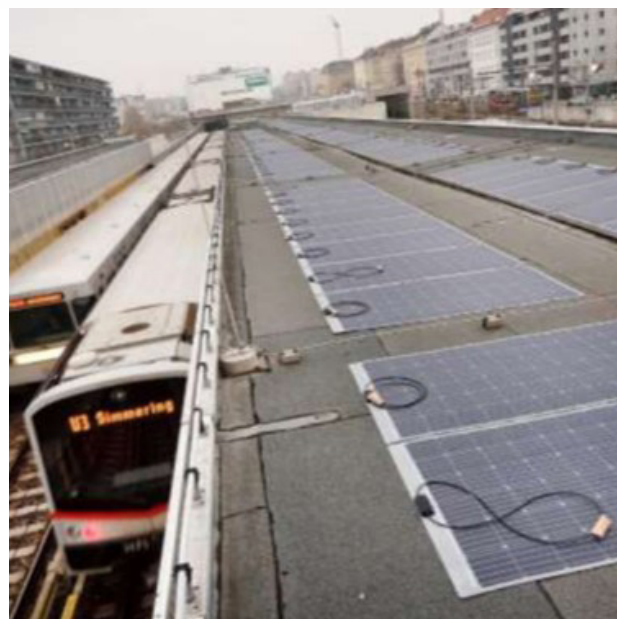




Fotografija Grad Leipzig

Jedan od najvećih izazova bio je postavljanje tehničke opreme, kao što je pretvarač frekvencije na prikladno mjesto unutar postaje i precizno planiranje usmjerenja kablova kako bi se smanjila udaljenost između tehničke prostorije i niskonaponske glavne distribucijske prostorije. Fotonaponski moduli zalijepljeni su na krov, a kablovi su pričvršćeni u vodove. Nakon što se niskonaponska glavna distribucijska prostorija povezala s tehničkom prostorijom, mjerne su komponente ugrađene u prekidač.

Tehničke pojedinosti: Fotonaponsko postrojenje veličine je 360 kvadratnih metara, nominalne snage 60,3 kWp i godišnje proizvodnje od približno 60 000 kWh što pokriva energetske udio od 6 % godišnje potrošnje energije cijele postaje podzemne željeznice (uključujući i parkiralište za vlakove podzemne željeznice). Maksimalni ostvareni mjesečni energetske udio bio je 13 % potrošnje, na sunčani ljetni dan do 50 % energetske zahtjeva postaja pokriveno je fotonaponskim sustavom. Mjerenja se provode u intervalima od 15 minuta. Kao oprema za mjerenje koristi se Siemens PAC 3200, a dobiveni se podaci automatski prenose u sustav kontrole energije.



Slika 8: Fotonaponske folije na krovu postaje podzemne željeznice (Wiener Linien)

### 1.2.2. Primjene pohrane energije u infrastrukturi JP – dobre prakse

U ovom smo odjeljku predložili pregled dobrih praksi u primjenama pohrane energije u infrastrukturi javnog prijevoza, u nekim slučajevima integracijom već razmotrenih pristupa s funkcijama, kao što su vozilo u mreži, sustavi oporavka energije, integracija obnovljivih energija.

## London - Bus2Grid

Bus2Grid odnosi se na ambiciozni projekt povezivanja 28 autobusa na kat na mrežu kako bi se provela ispitivanja V2G. Autobusi opremljeni litijско-željezno-fosfatnim akumulatorima od 382kWh pune se preko noći tijekom manje zahtjevnih razdoblja i mogu vratiti 1,1 MW u londonsku mrežu kada je potražnja velika kako bi pružili ravnotežu usluga.

Depo je opremljen izmjeničnim punjačima s mobilnim punjačima 2 x 40kW, mobilnim pogonom za pražnjenje. Važno: većina projekata V2G koristi istosmjerno (CHAdeMO) punjenje, stoga je potrebno certificirati samo ChargePoint i odgovarajući fiksni pretvarač, a ne vozilo. Naravno, trošak infrastrukture je niži.

### Abellio London, depo Walworth

Abellio je planirao uvođenje 34 električna autobusa za TfL rute iz depoa Walworth. Zahtijevao je financiranje akumulatora i usluge infrastrukture punjenja, kao i rješenje za ograničeni kapacitet uvoza mreže i ograničenja prostora. Zenobē je financirao akumulatora za 34 e-autobusa s upravljanoj uslugom i instalirao stacionarni akumulator za podršku mreži prilikom punjenja e-autobusa u razdobljima povećane potrošnje. Akumulator, koji pruža usluge tvrtki National Grid tijekom dana, proizvodi dodatni prihod i smanjuje naknade za Abellio. Infrastruktura punjenja uključuje više istosmjernih punjača koji mogu puniti vozila pri >80kW, dok potrošnju energije nadzire vlastiti softver tvrtke Zenobē. S ekonomske točke gledišta to je jedinstveni pristup koji pokazuje da pohrana akumulatora povezana s prijevoznom infrastrukturom može postati zanimljiv poslovni slučaj kada se udruži sa specijaliziranim trećim stranama, kao što je Zenobē.



Slika 9: [Autobusni depo Abellio London](#) (Zenobē)

### Solingen - projekt BOB

BOB je dio sustava pametnih trolejbusa Smart Trolleybus i daljnji razvoj postojeće kontaktne mreže u inteligentnu infrastrukturu koja je integrirana u gradsku električnu mrežu. Mreža nadzemnih vodova povezana je sa srednjenaponskom mrežom, a kočiona se energija može vratiti. Fotonaponski sustavi duž nadzemnih vodova mogu se vratiti izravno u mrežu bez gubitaka. Akumulatori ugrađeni u trafostanice mogu pohraniti električnu energiju i isporučiti je kada je to potrebno. Integrirat će se mjesta za punjenje za električne automobile.



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

### Hannover - ispravljačka trafostanica s akumulatorima drugog životnog vijeka

U Hannoveru dvadeset autobusnih sustava akumulatora drugog životnog vijeka pruža otprilike 500 kWh kapaciteta povezano s novom ispravljačkom trafostanicom za opskrbu električnih autobusa i tramvaja kojima upravlja ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. Jedinice za pohranu energije služe kao međupohrana kako bi omogućile učinkovito korištenje oporavljene energije u radu tramvaja, za stabilizaciju mreže, posebno kompenzaciju vršnih opterećenja, kao i podršku u slučaju nestanka električne energije i opskrbu električnom energijom za javnu infrastrukturu punjenja.



Slika 11: [Sustainable Bus](#)



## Hamburg postaje električni grad

U depou Hamburg Alsterdorf dva od šest parkirališta opremljena su pametnom infrastrukturom za punjenje e-autobusa koja se sastoji od 96 točaka punjenja i 240 parkirališnih mjesta.

Koncept punjenja je modularan i stoga mjerljiv, opskrba električnom energijom povezana je s električnom mrežom grada Hamburga putem trafostanice. Modularni standardni transformatori (1 600 KVA) napajaju do 16 autobusa.

Autobusi će se puniti noću, s maksimalnim kapacitetom punjenja od 150 kW po autobusu i prosječnim vremenom punjenja od 4 do 5 sati uz korištenje viška proizvedene energije vjetra koja unaprjeđuje integraciju obnovljivih izvora u mrežu.



Slika 12: Izvor: © INIT | Ulrike Kabel

## Madrid - eLobster (H2020)

Projekt eLobster teži poboljšanju sinergije između lake željezničke infrastrukture i mreža za distribuciju električne energije kako bi se smanjili gubici električne energije i povećala stabilnost mreže, posebno u scenarijima u kojima je moguća visoka integracija obnovljive energije.

Rješenje se temelji na integriranom sustavu upravljanja željeznicom i mrežom koji će počevši od analize gubitaka energije u stvarnom vremenu moći optimizirati razmjenu električne energije među mrežama uz povećanje lokalne samopotrošnje RES.



Fotografija Grad Leipzig



Pokazno mjesto projekta E-LOBSTER jest Metro de Madrid jer je njegova podzemna željeznica povezana s lokalnom distribucijskom mrežom uz visoki proboj RES.

### Los Angeles, Sjedinjene Države - Way Side Energy Storage System (WESS)

Projekt Way Side Energy Storage System (WESS) integrirao je sustav VYCON REGEN koji se temelji na zamašnjaku u Red and Purple Line Traction Power Substation (TPSS) na postaji Westlake/McArthur Park.

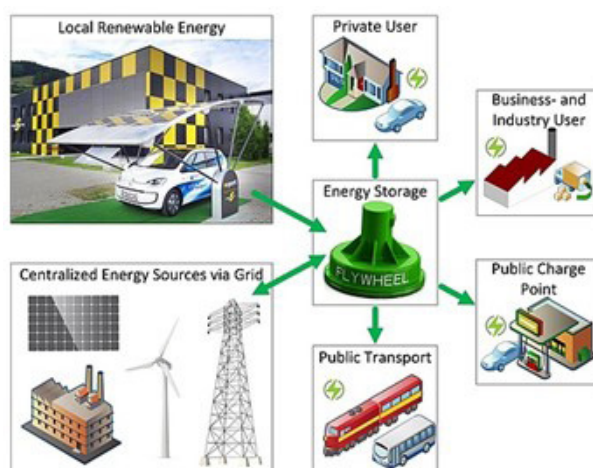
Sustav prikuplja kočionu energiju podzemne željeznice u zavojima ili prilikom dolaska na postaju blizu WESS TPSS, pohranjuje energiju i daje je sljedećem vlaku kojem je potrebna. Stoga smanjuje najveću potražnju za energijom i ostvaruje 10 - 18 % smanjenja energije vuče. Sustav u potpunosti i svakodnevno radi od kolovoza 2014. godine. Godišnja se ušteda procjenjuje na oko 541 MWh, što je jednako napajanju za 100 prosječnih kalifornijskih domova.



Slika 13: Copyright © 2022 | Metro - Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority; [The Source](#), by Dave Sotero, October 3, 2014

### Istraživački projekt „FlyGrid”, Austrija

FESS je razvijen za potpuno automatsku stanicu za punjenje EV kako bi se u niskonaponskoj distribucijskoj mreži omogućilo postizanje velike snage punjenja uz istovremenu stabilizaciju mreže. Sustav je prikladan za integraciju lokalnih obnovljivih izvora kako bi se doprinijelo povećanju udjela čiste energije u ukupnoj električnoj energiji. Nadmoćni životni ciklus uređaja za pohranu energije, sposobnost vraćanja velike snage u mrežu, kao i jednostavna prenosivost u obliku mobilne „kutije za brzo punjenje” (za električne građevinske strojeve i slično) daljnje su karakteristike koncepta FlyGrid. Jedan modul ovog prototipa koristit će se kao referentni slučaj i isporučit će 5 kWh pri vršnoj snazi od 100 kW. (Haidl et al. 2019).



Slika 14: [TU Graz](#)



## Huai'an, Jiangsu: Tehnologija superkondenzatora predvodi u javnom prijevozu

Primjena superkondenzatora u javnom prijevozu uglavnom je u vozilima.

Huai'an je uveo najdulji električni tramvaj koji koristi superkondenzatore s 20 km dugom rutom i 23 stanice.

Tehnologija superkondenzatora s vrlo kratkim vremenom punjenja od oko 30 sekundi i dugim životnim vijekom zamjenjuje 30 % privatnih vozila i prevozi 7 milijuna ljudi u prometno gustom području, a godišnje uštedi 4 900 tona emisija CO<sub>2</sub>.

### Varšava



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

Sličan je pristup usvojen u Varšavi gdje sustavi ultrakondenzatora, koje u Estoniji proizvodi Skeleton Technologies, oporavljaju kočionu energiju i ponovno je koriste za ubrzavanje uz značajno smanjenje ukupne potrošnje energije i smanjenje vršne snage stabiliziranjem mrežne infrastrukture u Varšavi, a time umnogome povećavaju energetske učinkovitost. Sa 1 milijunom ciklusa punjenja superkondenzatori predstavljaju tehnički napredno rješenje u usporedbi s litij-ionskim akumulatorima za posebne primjene.

### La Spezia (IT) SmartBUS



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

Autobusi grada La Spezia opremljeni ultrakondenzatorima (32 kWh) ispitani su duž linije od 17 km sa stanicom za punjenje AC/DC od 150 kW na autobusnom terminalu. Vrijeme punjenja autobusa SmartBUS iznosi od 5 do 7 minuta. Inovacija umnogome leži u smanjenoj težini i veličini autobusa te mogućnosti oporavka kočione energije do 40 %.

Zajednički poduhvat E-CO, Chariot, Prometeon i Politecnico Milano pokazao je da ultrakondenzatori različitih kapaciteta u modelima autobusa SmartBUS (8, 12 i 18 metara), koji se koriste umjesto akumulatora, mogu omogućiti udaljenosti od više od 40 km na jednom punjenju.

## 2. Slučajevi upotrebe pohrane energije i integracije obnovljive energije projekta EfficienCE

U ovom su poglavlju identificirana tri relevantna slučaja upotrebe u skladu s analizom funkcija i tehnologija te pregledom dobrih praksi provedenim u prethodnim poglavljima. Slučajevi se sastoje od koncepata za a) energetske učinkovite depoe, b) pametno čvorište i c) linearnu infrastrukturu gdje uvođenje tehnologija pohrane energije omogućuje integraciju obnovljivih izvora energije i podršku radu sustava. Tri studije upotrebe sažimaju tipičnu opremu koja se treba razviti kako bi se poboljšale performanse energetske učinkovitosti infrastrukture JP.

	Energetski učinkovit depo	Pametno čvorište	Linearna infrastruktura
London (UK) Bus2Grid	x		
London (UK) depo Walworth	x		
Solingen (DE) sustav Smart Trolleybus			x
Hannover (DE) Ispravljačka trafostanica			x
Hamburg (DE) postaje električni grad	x		
Madrid (ES) eLobster projekt		x	
Los Angeles (US) Metro WESS		x	
Graz (AT) FlyGrid istraživački projekt		x	
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzatori za javni prijevoz			x
Varšava (PL) Tramvaji sa superkondenzatorima			x
La Spezia (IT) SmartBUS			x
Maribor (SI)* Višenamjensko korištenje javne infrastrukture		x	
Gdynia (PL)* Oporavljena kočiona energija i RES	x	x	x
Plzeň (CZ)* Stanica međupohrane u mreži trolejbusa			x
Beč (AT)* Stanica podzemne željeznice integrirana s fotonaponskim sustavom	x	x	

\*Pilot-projekti EfficienCE

Slika 19: Pilot-projekti, međunarodne dobre prakse i slučajevi upotrebe (EfficienCE, 2022.)

Okvirni nacrt predstavljen je u kontekstu Grada Bergama u kojemu implementacija SUMP predviđa obnovu važnog mobilnog čvorišta prijevozne mreže, izgradnju nove lake željeznice i linija eBRT uz razvoj višenamjenske mreže za punjenje električnih vozila.

Slučaj Bergama gdje se akcijski plan za bolju integraciju obnovljivih energija i sustava pohrane u infrastrukturi javnog prijevoza razvija pod okriljem projekta EfficienCE, predstavlja prikladan okvir konteksta modela postavljanja uređaja za pohranu za različite svrhe i različite tipove infrastrukture.

### 2.1 Energetski učinkovit depo

Slučaj upotrebe usredotočuje se na poboljšanje energetske performansi depoa JP (obnovljenog ili novog) kroz bolje korištenje obnovljivih izvora kada je to moguće (uključujući kočenje), učinkovitiju potrošnju i na doprinos energetske autonomiji i mreži (npr. Bus to Grid).

Planiranje energetski učinkovitog depoa može uključivati širok raspon sudionika, kao što su lokalne vlasti, operatori javnog prijevoza i ostali davatelji usluga (npr. dijeljenje e-automobila), energetski TSO i DSO, kao i građane.

S obzirom na pozadinu slučaja upotrebe, dizajn i implementacija energetske učinkovite rješenja za depoe koji se temelje na pohrani uglavnom se zasniva na akumulatorskoj pohrani (novi i drugi životni vijek), a ulaganja uključuju i fotonaponske sustave te ostala rješenja obnovljive energije, uređaje za punjenje (i V2G), sustave nadzora, itd.

Glavni su očekivani utjecaji povezani s većom energetske učinkovitošću kroz samoodrživu proizvodnju i smanjenje gubitaka, bolju integraciju obnovljivih izvora te povezane okolišne i ekonomske prednosti.

#### Izazovi/prepreke

Implementacija rješenja pohrane za energetske učinkovite depoe može se suočiti s različitim nizom izazova, u nekim slučajevima prepreka, napose povezano s regulatornim kontekstom kada govorimo o V2G i distribuciji energije, a povezano s procjenom troškova i prednosti potrebnih ulaganja. Usto, društveno prihvaćanje predstavlja važan element koji se mora uzeti u obzir prilikom planiranja nove infrastrukture u gusto naseljenim područjima, a izazovi povezani s pohranom i V2G mogu donijeti prednosti koje se moraju razmotriti.

#### Reference:

London (UK) Bus2Grid
London (UK) depo Walworth
Hamburg (DE) postaje električni grad
Gdynia (PL)* Oporavljena kočiona energija i RES
Plzeň (CZ)* Stanica međupohrane u mreži trolejbusa
Beč (AT)* Stanica podzemne željeznice integrirana s fotonaponskim sustavom

## 2.2 Linearna infrastruktura

Slučaj upotrebe analizira moguće primjene tehnologija pohrane u linearnoj infrastrukturi, uglavnom u svrhu podrške i ravnoteže mreže, uzimajući u obzir stacionarne i mobilne pristupe.

Primjene kao što su stacionarni i mobilni akumulatori, zamašnjaci i superkondenzatori trebale bi se razmotriti kako bi se istražio raspon prednosti koje mogu nastati za mrežu korištenjem tehnologija pohrane, zajedno s njihovim prednostima i ograničenjima.

Uključenost sudionika trebala bi se naročito usmjeriti na tehničku stranu s obzirom na mobilnost (operateri javnog prijevoza i ostali pružatelji) i energiju (TSO i DSO).

Glavni su očekivani utjecaji povezani s podrškom mreži kako bi se poboljšala operativna učinkovitost, a s njome unaprijedile okolišne i ekonomske performanse infrastrukture kroz ekonomski održiva rješenja. Raspon primjena razlikuje se ovisno o tipu postojeće infrastrukture ili infrastrukture koja se treba razviti, a upravo zbog ovoga reference uključuju primjere za trolejbus, autobus i tramvaj.

#### Izazovi/prepreke

Implementacija rješenja pohrane za linearnu infrastrukturu naročito bi se mogla suočiti s ekonomskim izazovima povezanim s potrebnim ulaganjima, ali istovremeno može predstavljati priliku za odgodu relevantnih ulaganja u mrežu i pronalazak fleksibilnijih rješenja za stabilizaciju mreže. U nekim se slučajevima mogu pojaviti posebne regulatorne prepreke za različite tehnološke primjene (npr. sigurnosne regulacije za zamašnjake).

#### Reference:

Solingen (DE) sustav Smart Trolleybus
Hannover (DE) Ispravljačka trafostanica
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzatori za javni prijevoz
Varšava (PL) Tramvaji sa superkondenzatorima
La Spezia (IT) Smartbus
Gdynia (PL)* Oporavljena kočiona energija i RES
Plzeň (CZ)* Stanica međupohrane u mreži trolejbusa

## 2.3 Pametno čvorište

Posljednji se slučaj upotrebe usmjerio na dizajn pametnog čvorišta, kao postaje, stanice ili kombiniranog središta gdje se pohrana može uvesti kako bi se omogućila učinkovita upotreba obnovljivih izvora i višenamjensko korištenje infrastrukture za punjenje. Mogu se razmotriti različiti pristupi, od potpunog poboljšanja energetske učinkovitosti i performansi infrastrukture do aktivnog doprinosa vozila i proizvodnje stabilnosti mreže.

Uključenost sudionika trebala bi se naročito usmjeriti na tehničku stranu s obzirom na mobilnost (operatori javnog prijevoza i ostali pružatelji) i energiju (TSO i DSO).

Odabir rješenja za pametna čvorišta na temelju pohrane razmatra raznovrsne tehnološke mogućnosti, uključujući akumulatore, zamašnjake i superkondenzatore, kao i procjenu njihova potencijala u skladu s karakteristikama čvorišta i sustava.

Glavni su očekivani utjecaji povezani s integracijom obnovljivih izvora, podrškom mreži i energetsom učinkovitošću kako bi se poboljšala operativna učinkovitost, a s njome unaprijedile okolišne i ekonomske performanse infrastrukture. Identifikacija optimalne ljestvice za integraciju pohrane i tehnologija obnovljive energije na razini čvorišta ključna je kako bi se zajamčila učinkovitost i ekonomska održivost primjena s obzirom na koegzistenciju i interakcije među različitim (linearnim i čvorište) infrastrukturama.

#### Izazovi/prepreke

Implementacija rješenja pohrane za pametna čvorišta naročito bi se mogla suočiti s izazovima i tehničkim preprekama zbog kompleksnosti i interakcija među različitim sustavima. Osobito implementacija višenamjenskih sustava za punjenje i razmjenu energije među različitim uslugama može zahtijevati dubinske analize regulatornih i poslovnih modela.

#### Reference:

Madrid (ES) eLobster projekt
Los Angeles (US) Metro WESS
Graz (AT) FlyGrid istraživački projekt
Maribor (SI)* Višenamjensko korištenje javne infrastrukture
Gdynia (PL)* Oporavljena kočiona energija i RES
Beč (AT)* Stanica podzemne željeznice integrirana s fotonaponskim sustavom

### 3. Usvojene lekcije i zaključci

Kombinacija energetske učinkovitosti depoa, pametnih čvorišta i linearne infrastrukture za javni prijevoz naglašava potencijal razvoja inovativnih rješenja u optimizaciji odnosa između mobilnosti i energetske mreže.

Što se tiče učinkovitog depoa, jedna lekcija usvojena iz analize jest da je ljestvica RES infrastrukture ključna kako bi se utvrdila mogućnost za primjenu pohrane. Valjalo bi kao primjer razmotriti ulogu fotonaponske mreže kao kolektora različitih RES izvora na razini područja kako bi ponovno korištenje energije bilo učinkovito i ekonomski održivo.

Primjena pohrane u linearnoj infrastrukturi mogla bi se smatrati nepotrebnom s obzirom na integraciju RES, no pruža dobre i fleksibilne odgovore prilikom bavljenja s pomoćnim funkcijama, npr. kontrolom napona. Osim toga, u nekim slučajevima korištenje uređaja za pohranu može biti prilika za odgodu relevantnih ulaganja u mrežu.

Glavna usvojena lekcija o slučaju upotrebe pametnog čvorišta dopunjuje prethodne: proces planiranja mora uzeti u obzir kompleksnost i interakcije među različitim sustavima; osobito implementacija višenamjenskih sustava za punjenje i razmjenu energije među različitim uslugama može zahtijevati dubinske analize regulatornih i poslovnih modela.

## 4. Reference

- 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 and 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>
- Schmidt et al., 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>

#### Reference za projekte

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>

# OTKRIJTE VIŠE EfficienCE



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

Obratite nam se



+49 341 123 59 10



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)

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

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



@Int\_EfficienCE

TAKING  
COOPERATION  
FORWARD



BUDAPESTI  
KÖZLEKEDÉSI  
KÖZPONT



redmint



GAŃSK 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

