



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE

NADNACIONALNI VODNIK ZA UPORABO ENERGIJSKO UČINKOVITIH TEHNOLOGIJ V INFRASTRUKTURI JAVNEGA PREVOZA

(3) Shranjevanje energije v infrastrukturi
javnega prevoza

ZALOŽNIŠKI PODATKI

Projektna številka:

CE1537 EfficienCE - Energijska učinkovitost za infrastrukturo javnega prevoza v Srednji Evropi.

Financira:

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

Naslov publikacije:

D.T2.3.2 Transnacionalni priročniki za uporabo energijsko učinkovitih tehnologij v infrastrukturi javnega prevoza

Urednik:

Konzorcij EfficienCE

Avtorji:

Anja Seyfert, Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale)

Postavitev in oblikovanje:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Datum:

Junij 2022

O projektu EfficienCE

EfficienCE je bil sodelovalni projekt, financiran iz programa Interreg CENTRAL EUROPE, namenjen zmanjšanju ogljičnega odtisa v regiji. Večina srednjeevropskih mest ima obsežne sisteme javnega prevoza, ki lahko služijo kot osnova za storitve nizkoogljične mobilnosti. Več kot 63 % dnevnih migrantov v regiji uporablja javni prevoz. Ukrepi za povečanje energijske učinkovitosti in deleža obnovljivih virov v infrastrukturi javnega prevoza lahko torej zelo močno vplivajo na zmanjšanje CO₂.

To je bilo mogoče doseči s podporo lokalnih organov, vodstva in upravljavcev javnega prevoza z razvojem strategij načrtovanja in akcijskih načrtov, z uvajanjem pilotnih ukrepov, razvojem orodij in izvedbo usposabljanj za načrtovanje in upravljanje nizkoogljične infrastrukture ter s prenosom znanja in najboljših praks o energijsko učinkovitih ukrepih po regijah Srednje Evrope.

Dvanajst partnerjev, vključno s sedmimi organi/izvajalci javnega prevoza iz sedmih držav je tri leta sodelovalo z namenom izkoristiti neizkoriščene potencialne v tem sektorju in prispevati k ciljem EU iz „bele knjige“, da se emisije iz prometa do leta 2050 zmanjšajo za 60 odstotkov in da se do leta 2030 prepolovi uporaba avtomobilov na konvencionalna goriva.

Povzetek	5
1. Uvod	6
1.1 Ustrezne tehnologije	6
1.2 Shranjevanje energije in EfficienCE - pilotni projekti in mednarodni primeri dobrih praks	8
2. EfficienCE primeri uporabe sistemov za shranjevanje energije in integracije obnovljivih virov energije	16
2.1 Energijsko učinkovit depo	16
2.2 Linearna infrastruktura	17
2.3 Pametno vozlišče	18
3. Pridobljena spoznanja in zaključki	19
4. Reference	20

Povzetek



Fotografija mesta Leipzig

Evropska unija se osredotoča na pospešeno razogljičenje prometnega sektorja, ki temelji na obnovljivih virih energije. Uporaba električnih vozil (EV), električnih vozil s pogonom na gorivne celice (FCEV) in sistemov za shranjevanje energije lahko ta prizadevanja bistveno pospeši, hkrati pa tudi izboljša stroškovno učinkovitost in stabilizacijo omrežja infrastrukture javnega prevoza.

Vloga infrastrukture javnega prevoza je močno odvisna od njene sposobnosti spodbujanja učinkovite rabe električne energije v omrežjih, kot tudi od možnosti integracije obnovljivih virov energije (OVE). V tem procesu imajo tehnologije shranjevanja energije zelo pomembno vlogo, tako v depojih, na postajah in postajališčih, kot tudi vzdolž prog, ki tvorijo prometna omrežja.

Priročnik EfficienCE o učinkovitem shranjevanju energije v infrastrukturi javnega prevoza opredeljuje glavne omogočene funkcionalnosti in tehnologije za shranjevanje energije, ki jih je mogoče uporabiti v infrastrukturi javnega prevoza, in raziskuje njihovo uporabo v pilotnih projektih in mednarodnih primerih dobrih praks. Kot rezultati so povzeti trije primeri uporabe (energijsko učinkovit depo, pametno vozlišče, linearna infrastruktura), ki opisujejo tipično opremo, ki jo je treba razviti za izboljšanje energijske učinkovitosti infrastrukture javnega prevoza. Predstavljeni so glavni vzorčni primeri uporabe za zagotavljanje višje energijske učinkovitosti, večje integracije obnovljivih virov energije in učinkovitejšo izrabo omrežja infrastrukture javnega prevoza.

S predstavljenimi primeri uporabe želimo poudariti glavne ključne elemente, pričakovane koristi, izzive in ovire, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju integracije tehnologij za shranjevanje energije v infrastrukturo javnega prevoza, in zagotoviti neposredno povezavo s pilotnimi projekti in primeri dobrih praks, ki so bile analizirane v okviru projekta, za nadaljnje smernice in primerjalno analizo.

1. Uvod

Prisotnost elektrificiranih vozil in infrastrukture v javnem prevozu predstavlja pomembno priložnost za razogljičenje prometa, hkrati pa postavlja tudi pomembne tehnične izzive, povezane s stabilnostjo omrežja, predvsem zaradi pomembnosti integracije in vse večjega izkoriščanja obnovljivih virov energije (OVE).

Shranjevanje energije se lahko v infrastrukturi javnega prevoza uporabi na različne načine, odvisno od okvirnih pogojev in potreb.

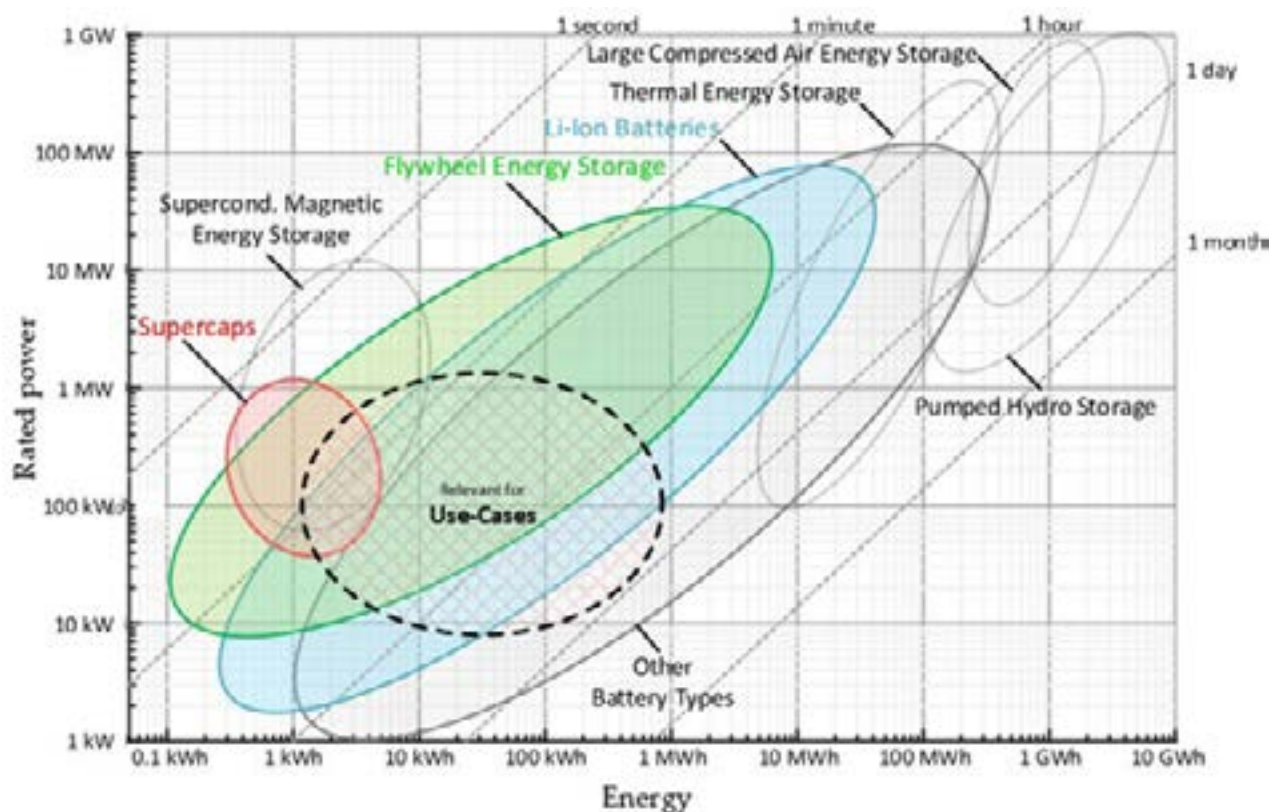
Optimizacija porabe - Tehnologije shranjevanja energije lahko prispevajo k zmanjšanju porabe z uravnavanjem potreb po energiji med prometnimi konicami in obdobji manjše porabe energije, podpirajo integracijo obnovljivih virov energije za povečanje lastne porabe, na primer iz fotonapetostnih elektrarn, ali izboljšajo energijsko učinkovitost z obnovitvijo in ponovno uporabo zavorne energije vozil, s čimer se zagotovi stabilnost omrežja v primeru kratkotrajne prekinitve napajanja ali nihanja omrežne napetosti in frekvence.

Delovanje sistema - Sistemi za shranjevanje energije se lahko uporabijo kot pomožni sistemi za zagotavljanje primarnih potreb omrežja z namenom omrežja in preprečevanja nihanj omrežne napetosti in frekvence, sekundarno tudi za izravnavo neravnovesij med obremenitvijo in proizvodnjo energije ter kot nadomestilo koničnih elektrarn za zagotovitev zadostne proizvodne zmogljivosti v konici porabe električne energije.

Prosumerizem/Integracija obnovljivih virov energije - S pomočjo tehnologij za shranjevanje energije je OVE mogoče bolje vključiti in s tem znatno povečati delež uporabljenih OVE; odvisno od stroškov shranjevanja in predlaganih prihrankov energije/stroškov bo morda treba vključiti druge možnosti, kot npr. zagotoviti uporabo polnilne infrastrukture tudi zunanjim udeležencem in postati aktiven akter v lokalnih energetskih omrežjih mobilnosti (povezave z večnamensko uporabo infrastrukture itd.); Aktivni odjemalec (angl. prosumer) z razpoložljivimi zmogljivostmi shranjevanja energije lahko tudi odkupi presežke proizvedene energije v času, ko so cene nižje, in kasneje ustvari dobiček s prodajo električne energije po višjih cenah.

1.1 Ustrezne tehnologije

Izbrane so bile najpomembnejše tehnologije za shranjevanje energije za uporabo v javnem prevozu z namenom analize in njihove uporabe v primerih, opisanih v tem priročniku. Tehnologije se razlikujejo glede na moč, energijsko gostoto in čas praznjenja (slika 1), zato je različna tudi njihova primernost uporabe, funkcionalnosti in področja uporabe v javnem prevozu.



Slika 1: Nazivna moč, energijska zmogljivost in čas praznjenja različnih sistemov za shranjevanje energije za stacionarno in mobilno uporabo v prometu. (Haidl et al. 2019)

Baterije se lahko na vozilih uporabljajo za pogon ali za druge funkcije sistema na vozilo (kot pomožne naprave, regeneracijo zavorne energije ipd.) ali kot stacionarni hranilniki energije. Pri stacionarnih baterijah so zahteve glede majhne teže in varnosti nižje, zato je nabor baterijskih tehnologij širši.

Litij-ionske baterije imajo visoko energijsko gostoto, nizko stopnjo samopraznjenja in nižje stroške na energetsko zmogljivost, hkrati pa tudi manjšo gostoto zmogljivosti in visoke stroške na moč, zato se večinoma uporabljajo v aplikacijah, kjer sta pomembni manjša teža in večja zmogljivost, npr. v avtomobilski industriji in zabavni elektroniki.

Rabljeni baterijski sistemi za shranjevanje energije lahko zmanjšajo konično porabo energije in s tem povezane stroške omrežja za hitro polnjenje, omogočijo polnjenje na območjih z omejitvami omrežja in podpirajo nadaljnje storitve, kot na primer integracijo obnovljivih virov energije. Uporaba rabljenih baterij (Second Life) zveni obetavno, saj omogoča boljšo podporo omrežju, integracijo obnovljivih virov energije in dodaja elemente krožnega gospodarstva.

Superkondenzatorje je mogoče proizvesti v različnih velikostih za različne namene uporabe. Zaradi zelo kratkega časa polnjenja zagotavljajo superkondenzatorji oskrbo z energijo v času visokih in pogostih konic porabe energije, glavne možnosti njihove uporabe pa so povezane s ponovno uporabo zavorne energije v železniškem prometu in drugih prevoznih sredstvih, integracijo obnovljivih virov energije in zamenjavo baterij v električnih vozilih.

Sistemi za shranjevanje energije vztrajnika (Flywheel Energy Storage Systems - FESS) so mehanske naprave za kratkotrajno shranjevanje kinetične energije. Majhni vztrajniki se lahko uporabljajo kot naprave za shranjevanje v napravah za neprekinjeno napajanje (UPS) in tudi v vozilih. Glavne značilnosti so dolga življenjska doba brez izgube zmogljivosti (visoko število ciklov polnjenja in praznjenja), visoka kakovost električne energije, odvisnosti od temperature, natančno preverjanje nivoja napolnjenosti/brezhibnosti stanja, minimalen vpliv na okolje, v primeru globoke izpraznitve pa ni večjih težav.

Naslednja preglednica povzema glavne pričakovane koristi in ovire preverjenih tehnologij z namenom oceniti njihove možnosti uporabe glede na primere uporabe, ki so predstavljeni v tem priročniku.

Tehnologija	Pričakovane koristi	Možne tehnične ovire	Možne regulativne ovire
Li-Ion-baterije	visoka energijska gostota, nizko samopraznjenje	degradacija, občutljivost na temperaturne spremembe, varnostni standardi	možna ponovna uporaba (Second Life)
Rabljene baterije (Second Life)	podaljšanje življenjske dobe baterij	ni standardizacije, velja enako tudi za preostalo kapaciteto in polnjenje	ni regulativnega okvirja, fiskalnih pravil, davkov na energijo
Superkondenzator	brez izgube zmogljivosti, dolga življenjska doba, zelo kratki časi polnjenja, visoka napetost	visoki investicijski stroški, nizka energijska gostota, veliki in težki sistemi za visoko zmogljivost	ne velja
Vztrajniki	brez izgube zmogljivosti, dolga življenjska doba, kratki časi polnjenja, visoka napetost, naknadna vgradnja	visoki investicijski stroški, nizka energijska gostota	možni varnostni predpisi

Slika 2: Tehnologije shranjevanja, prednosti in ovire (EfficienCE, 2021)

1.2 Shranjevanje energije in EfficienCE - pilotni projekti in mednarodni primeri dobrih praks

V tem razdelku so opisani pilotni projekti EfficienCE in primeri dobrih praks, razdeljeni po različnih tehnoloških kategorijah (baterije, vztrajniki, superkondenzatorji) ter med stacionarnimi in nameščenimi na vozilu. Naslednja preglednica prikazuje kategorijo funkcionalnosti (optimizacija porabe v primerjavi z delovanjem sistema) kot glavni uporabljen vir energije.

	Baterija	Vztrajnik	Superkondenzator	Stacionarno	Na vozilu	Delovanje sistema	Optimizacija porabe	Integracija obnovljivih virov	Regeneracija zavoje energije
London (UK) Bus2Grid (avtobus do omrežja)	V2G				x	x		x	
London (UK) Waltham depo	x			x		x	x		
Seligen (DE) Pametni trolejbusni sistem	x			x	x		x	x	x
Hannover (DE) Usmerniška podpostaja	RABLJENE BATERIJE			x			x		x
Hamburg (Nemčija) prebaja na elektriko	x				x		x	x	
Madrid (ES) projekt e-mobility	x			x		x			x
Los Angeles (US) Metro WISS		x		x			x		x
Gradec (AT) Raziskovalni projekt flyGrid									
Huai'an, Jiangsu (CN)									
Superkondenzatorji za javni prevoz			x		x		x		x
Varšava (PL) Tramvaji s superkondenzatorji			x		x	x	x		x
Le Spezia (IT) Smartibus			x		x		x		x
Nica (FR) Tramvaj z dvema načinoma delovanja			x		x		x		x
Gdynia (PL)*	RABLJENE BATERIJE						x	x	x
Pízen (CZ)*	x			x		x			
Dunaj (AT)*				x			x	x	

Slika 3: Klasifikacija pilotnih projektov in primeri dobrih praks (EfficienCE, 2022)

1.2.1. Pilotni projekti EfficienCE

Za vse navedene primere je, četudi se osredotočajo na različne specifične namene uporabe (regeneracija zavorne energije, večnamenska uporaba polnilne infrastrukture, varčevanje energije v trolejbusnih omrežjih), skupna uporaba tehnologij za shranjevanje energije v depojih, ob progah in na postajah.

Maribor (SI) - Večnamenska uporaba javne infrastrukture za polnjenje e-avtobusov

Cilj mariborskega pilotnega projekta je bila uvedba hitrih polnilnic za e-avtobuse v večnamenskih polnilnicah ob obstoječi postaji vzpenjače in ob železniški postaji. Infrastruktura za večnamensko polnjenje je nameščena na končni postaji avtobusne linije.

Rešitev za analizirano avtobusno linijo predvideva v skladu s prostorskimi načrti, tehnično izvedljivostjo in ekonomsko upravičenostjo postavitve dveh hitrih polnilnic (150 kW in 300 kW) in nakup dveh 12 metrov dolgih e-avtobusov, opremljenih s 73 kWh LTO baterijami.

Z osredotočenostjo na postajo vzpenjače vključuje posodobitev integracijo hitre polnilnice za večnamensko uporabo v obstoječo infrastrukturo javnega prevoza. Moč transformatorske postaje, ki se uporablja za obratovanje vzpenjače, zadostuje tudi za polnjenje e-avtobusov in električnih avtomobilov. Zmogljivost transformatorske postaje znaša 630 kVA, glede na trenutno obremenitev in kapaciteto ene polnilne postaje pa bi 230 kVA zadostovalo za izgradnjo dveh polnilnih postaj.



Slika 4: Hitra polnilnica za e-avtobuse na postaji vzpenjače (Mestna občina Maribor)

Plzen (CZ) - Postaja z vmesnim hranilnikom v trolejbusnem prometu za zagotovitev energijske učinkovitosti

Uvedba velikega števila trolejbusov s polnjenjem med vožnjo ima za posledico večjo porabo električne energije na odsekih, kjer se vozila premikajo in polnijo (doslej 8 zgibnih in 22 12-metrov dolgih vozil z baterijami), kar lahko povzroči znižanje napetosti pri večjih obremenitvah in posledično kratkotrajne izpade napajanja ali nenadne okvare pogonskih enot trolejbusov.

Da bi se izognili visokim investicijskim stroškom in dolgotrajnim pripravam, ki so potrebne za izgradnjo nove transformatorske postaje ali ojačitev kablov, je upravljavec javnega prevoza kot možno tehnično rešitev opredelil postavitve postaje z vmesnim hranilnikom ob progi.

Izbrana postaja za vmesni hranilnik zagotavlja na podlagi visoko zmogljivih baterij in inteligentnega računalniškega krmiljenja ter galvansko ločene pogonske enote (DC 600 V/DC 600 V) varen in zanesljiv prenos energije do in iz pogona.

Možne prihodnje nadgradnje lahko vključujejo uporabo visoko zmogljivih baterij (in rabljenih) in/ali integracijo majhne fotonapetostne elektrarne za zagotavljanje energije na lokaciji.



Slika 5: [Baterijska postaja z vmesnim hranilnikom v Plznu](#) (PMDP)

Gdynia(PL) - Regeneracija zavorne energije in OVE za napajanje zgradbe depoja za trolejbusy in uporaba napajalnega in pogonskega sistema za polnjenje električnih avtomobilov

Pilotni projekt Gdynia se je osredotočal na optimizacijo energetskega virov v zgradbi trolejbusnega depoja s pomočjo uvedbe različnih tehnoloških sistemov.

Depo je opremljen s fotonapetostno elektrarno z največjo močjo 0,5 MW, ki se nahaja na strehi in ki letno proizvede približno 450 MWh električne energije, ki se odvaja neposredno v trolejbusno omrežje (5 % celotne porabe). Poleg tega se zavorna energija iz avtobusov regenerira s pomočjo pretvornika, ki omogoča dovajanje sicer izgubljene energije neposredno v energetske sistem zgradbe.

Naprava nadzoruje tudi raven porabe energije v omrežju, zaznava neporabljeno energijo in temeljito nadzoruje porabo energije v depojski stavbi, s čimer dodatno nadgrajuje že obstoječi sistem za spremljanje rabe energije (EMS).

Inverterski sistem je opremljen z inovativnim sistemom shranjevanja energije, ki lahko akumulira povrnjeno neporabljeno regenerirano energijo v primeru, da izhod AC ni pod obremenitvijo. V ta namen se uporablja en baterijski modul iz pogonske baterije trolejbusa (ponovna uporaba ((angl. second life))).

Mobilna polnilna postaja za električne avtomobile, ki jo je v okviru projekta CAR (Creating Automotive Renewal - INTERREG South Baltic) postavilo mesto Gdynia in omogoča polnjenje z različnimi močmi in električnim tokom, se lahko poveže s trolejbusnim omrežjem kjerkoli v mestu in omogoča sinergijo med projektoma.

Prednosti kombiniranega sistema pred tradicionalnimi rešitvami so:

- priklop postaje ne zahteva dodatnih stroškov namestitve in skrajša čas investicije
- izgradnja možna brez dolgotrajnih uradnih postopkov
- trolejbusno omrežje s širokim prostorskim razponom in široko dostopnostjo omogoča postavitev polnilne postaje na mestu, kjer obstaja problem za priklop na električno omrežje z izmeničnim tokom, npr. zaradi potrebnih gradbenih del.



Slika 6: Mobilna polnilna postaja za električne avtomobile, ki se napaja iz trolejbusnega omrežja (PKT)

V okviru pilotnega projekta v mestu Gdynia je bila priključena mobilna polnilna postaja za električna vozila, da bi preverili, kako polnjenje električnih avtomobilov vpliva na stabilnost omrežja, njegove parametre ali redno obratovanje trolejbusov.

Dunaj (AT) - Integriran fotonapetostni sistem podzemne postaje za napajanje pomožnih objektov z OVE

Wiener Linien GmbH & Co KG je na postaji podzemne železnice Ottakring preizkusil nov tip fotonapetostnega sistema s folijo, ki je petkrat lažji od običajnih fotonapetostnih sistemov in ga je mogoče namestiti na obstoječe postaje, ki ne bi vzdržale dodatne teže običajnih fotonapetostnih sistemov.

Druga posebnost je vzporedno delovanje železniškega sistema z enosmernim tokom (DC) in fotonapetostne proizvodnje energije, za katero so morali izbrani fotonapetostni moduli izpolnjevati posebne tehnične zahteve (in dodatne).



Slika 7: Otvoritveni dogodek z lokalnimi oblastmi, november 2019 (Wiener Linien)



Fotografija mesta Leipzig

Eden glavnih izzivov je bil postaviti tehnično opremo, kot je frekvenčni pretvornik, na primerno mesto znotraj postaje in natančno načrtovati potek kablov, da bi skrajšali razdaljo med prostorom s tehnično opremo in prostorom, kjer se nahaja glavni nizkonapetostni razdelilnik. Fotonapetostni moduli so nameščeni na strehi, kabli pa napeljani po kabelskem kanalu. Ko je bil glavni nizkonapetostni razdelilnik povezan s prostorom s tehnično opremo, so namestili merilne komponente na stikalo za vklop.

Tehnični podatki: Fotonapetostna elektrarna obsega 360 kvadratnih metrov in ima nazivno moč 60,3 kWp z letno proizvodnjo približno 60 000 kWh, kar pokriva 6 % energetske porabe celotne postaje (vključno s parkiriščem za vlake). Največji doseženi delež energije na mesec je znašal 13 % porabe, na sončen poletni dan pa do 50 % potreb po energiji postaje pokriva fotonapetostni sistem. Meritve se izvajajo v 15 minutnih intervalih. Uporablja se merilna oprema Siemens PAC 3200, pridobljeni podatki pa se samodejno prenašajo v sistem za nadzor rabe energije.



Slika 8: Fotonapetostne folije na strehi postaje podzemne železnice (Wiener Linien)

1.2.2. Sistemi za shranjevanje energije v infrastrukturi javnega prevoza – primeri dobrih praks

V tem razdelku navajamo primere dobrih praks o uporabi sistemov za shranjevanje energije v infrastrukturi javnega prevoza. V nekaterih primerih so bili vključeni že preverjeni pristopi s funkcionalnostmi, kot so vozilo do omrežja, sistemi za regeneracijo energije ob poteh, integracija obnovljivih virov energije.

London - Bus2Grid (avtobus do omrežja)

Bus2Grid se nanaša na ambiciozen projekt, ki povezuje 28 dvonadstropnih avtobusov z omrežjem za izvajanje testov V2G. Avtobusi, opremljeni z litijevimi železo-fosfatnimi baterijami z močjo 382 kWh, se polnijo čez noč v času nizke porabe energije in so sposobni vrniti 1,1 MW v londonsko energijsko omrežje v času konice porabe energije za zagotavljanje izravnave neravnovesij med obremenitvijo in proizvodnjo energije.

Depo je opremljen z napeljavo na izmenični tok, ki se polni z dvema 40 kW vgrajenima polnilnikoma, ter z mobilno napravo za praznjenje. Zelo pomembno: večina projektov V2G uporablja polnjenje z enosmernim tokom (CHAdeMO), zato morata biti certificirana samo mesto polnjenja (ChargePoint) in z njim povezan pretvornik - ki se ne premika - in ne tudi vozilo. Seveda so stroški infrastrukture nižji.

Abellio London, Walworth depo

Družba Abellio je načrtovala uvedbo 34 električnih avtobusov za proge TfL v depolu v Walworthu. Potrebovala je financiranje za baterije in infrastrukturne storitve za polnjenje ter rešitev za omejeno zmogljivost uvoza v omrežje in prostorske omejitve. Družba Zenobē je financirala 34 baterij za električne avtobuse z upravljano storitvijo in namestila stacionarno baterijo za podporo omrežju pri polnjenju električnih avtobusov ob konicah. Baterija, ki čez dan zagotavlja storitve za družbo National Grid, ustvarja dodaten prihodek in zmanjšuje pristojbine za družbo Abellio. Polnilna infrastruktura vključuje več polnilnic z enosmernim tokom, ki lahko polnijo vozila z močjo > 80 kW, pri čemer se poraba energije spremlja z Zenobējevo lastniško programsko opremo. Z ekonomskega vidika je to edinstven pristop, ki kaže, da bi shranjevanje energije v baterijah, povezano s prevozno infrastrukturo, lahko postalo zanimiv poslovni primer pri sodelovanju s specializiranimi tretjimi osebami, kot je Zenobē.



Slika 9: [Abellio London Avtobusni depo](#) (Zenobe)

Solingen - Projekt BOB

BOB je del sistema pametnih trolejbusov in zagotavlja nadaljnji razvoj obstoječega voznega omrežja v inteligentno infrastrukturo, ki je integrirana v mestno električno omrežje. Nadzemno omrežje je povezano s srednjenapetostnim omrežjem, zavora energija pa se lahko vrača nazaj v omrežje. Fotonapetostni sistemi vzdolž nadzemnega voda lahko odvajajo električno energijo neposredno v omrežje brez izgub. Baterije, nameščene v transformatorskih postajah, lahko shranjujejo elektriko in jo po potrebi tudi oddajo. Integrirana bodo polnilna mesta za električne avtomobile.



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

Hannover - Usmerniška podpostaja z rabljenimi baterijami

V Hannovru zagotavlja dvajset rabljenih baterijskih sistemov za avtobuse približne kapacitete 500 kWh, ki se povezujejo z novo usmerniško podpostajo za oskrbo električnih avtobusov in tramvajev, ki jih upravlja ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. Enote za shranjevanje energije služijo kot hranilnik, ki omogoča učinkovito uporabo regenerirane energije iz tramvajev za stabilizacijo omrežja, predvsem za kompenzacijo koničnih obremenitev, kot tudi za podporo v primeru izpada električne energije in dovajanja dodatne električne energije za javno polnilno infrastrukturo.



Slika 11: [Trajnostni avtobus](#)

Hamburg prehaja na elektriko

V depolu Hamburg Alsterdorf sta dva od šestih nadstreškov opremljena s pametno infrastrukturo za polnjenje e-avtobusov, ki jo sestavlja 96 polnilnih in 240 parkirnih mest.

Koncept polnjenja je modularen in zato razširljiv, električno energijo pa je mogoče preko transformatorske postaje odvesti v električno omrežje mesta Hamburg. Modularni standardni transformatorji (1 600 KVA) napajajo do 16 avtobusov.

Avtobusi se polnijo čez noč, z največjo zmogljivostjo polnjenja 150 kW na avtobus in povprečnim časom polnjenja 4-5 ur. Z izkoriščanjem presežka proizvedene vetrne energije se je povečala tudi integracija obnovljivih virov v omrežje.



Slika 12: Vir: © INIT | Ulrike Kabel

Madrid - eLobster (H2020)

Projekt eLobster je namenjen izboljšanju sinergij med infrastrukturo lahke železnice in distribucijskimi omrežji električne energije z namenom zmanjšati izgube električne energije in povečati stabilnost omrežja, zlasti v scenarijih, kjer je možna visoka integracija obnovljivih virov energije.

Rešitev temelji na integriranem sistemu za upravljanje železnic in omrežij, ki bo lahko na podlagi realnočasovne analize izgub energije optimiziral medsebojno izmenjavo električne energije med omrežji in povečal lokalno samoporabo OVE.

Demonstracijska lokacija E-LOBSTER je podzemna železnica v Madridu (Metro de Madrid), saj je tam podzemna železnica povezana z lokalnim omrežjem za distribucijo električne energije z visoko penetracijo OVE.



Fotografija mesta Leipzig

Los Angeles, Združene države - Sistem za shranjevanje energije ob prometnicah (WESS)

Projekt Sistem za shranjevanje energije ob prometnicah (Way Side Energy Storage System - WESS) je integralni sistem VYCON REGEN, ki temelji na vztrajniku, v pogonsko transformatorsko postajo (TPSS) rdeče in vijolične linije na postaji Westlake/McArthur Park.

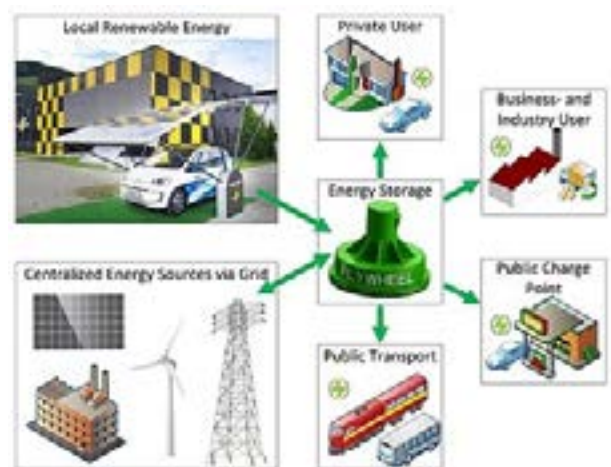
Sistem zbira zavorno energijo vlakov v ovinkih ali ob vstopu na potniško postajo v bližini v pogonsko transformatorsko postajo vgrajenega sistema za shranjevanje energije (WESS TPSS), ki to energijo shrani in jo zagotovi naslednjemu vlaku, ki jo potrebuje. Tako se zmanjša potreba po energiji v konicah in doseže 10-18 % zmanjšanje porabe vlečne moči. Sistem polno obratuje čez dan od avgusta 2014. Letni prihranek je ocenjen na približno 541 MWh, kar je enako oskrbi z energijo za 100 povprečnih domov v Kaliforniji.



Slika 13: Avtorske pravice © 2022 | Metro - Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority; [Vir](#), Dave Sotero, 3. oktober 2014

Raziskovalni projekt „FlyGrid“, Avstrija

FESS je razvit za popolnoma avtomatizirano polnilno postajo za električna vozila, ki omogoča, da nizko-napetostno distribucijsko omrežje doseže visoko moč polnjenja, hkrati pa stabilizira omrežje. Sistem je primeren za vključevanje lokalnih obnovljivih virov, ki prispevajo k povečanju deleža čiste energije v mešanici virov električne energije. Izredna življenjska doba sistema za shranjevanje energije, zmožnost dovajanja visoke moči nazaj v omrežje ter enostavnost transporta v obliki mobilne „postaje za hitro polnjenje“ (za električne gradbene stroje in podobno) so nadaljnje značilnosti koncepta FlyGrid. Modul tega prototipa bo uporabljen kot referenčni primer in bo zagotavljal 5 kWh pri konični moči 100 kW. (Haidl et al. 2019).



Slika 14: [TU Gradec](#)

Huai'an, Jiangsu: Vodilna tehnologija superkondenzatorjev za polnjenje omrežja javnega prevoza

Superkondenzatorji se v javnem prevozu uporabljajo predvsem v vozilih.

Huai'an je z 20 km dolgo potjo in 23 postanki predstavil najdaljši električni tramvaj, ki uporablja superkondenzatorje.

S tehnologijo superkondenzatorjev z zelo kratkimi časi polnjenja okoli 30 sekund in dolgo življenjsko dobo na tramvajih, ki nadomestijo poti 30 % osebnih vozil in služijo prevozu 7 milijonov oseb v območjih gostega prometa, se prihrani 4 900 ton emisij CO₂ letno.

Varšava



Slika 15: sustainable-bus.com/

Podoben pristop je bil uveden v Varšavi, kjer ultrakondenzatorski sistemi, ki jih v Estoniji proizvaja podjetje Skeleton Technologies, regenerirajo zavorno energijo in jo ponovno uporabijo za pospeševanje, kar znatno zmanjša skupno porabo energije in konične porabe, s tem pa se stabilizira omrežna infrastruktura v Varšavi in znatno poveča energijska učinkovitost. Z 1 milijonom polnilnih ciklov predstavljajo superkondenzatorji tehnično izboljšano rešitev v primerjavi z li-ionskimi baterijami za specifične namene uporabe.

La Spezia (IT) SmartBUS



Slika 16: [trajnostni-avtobus](https://trajnostni-avtobus.com/)

V La Spezii so testirali avtobuse, opremljene z ultrakondenzatorji (32 kWh), na 17 km dolgi progi s polnilno postajo AC/DC, moči 150 kW, ki je nameščena na avtobusni postaji. Čas polnjenja avtobusa SmartBUS znaša 5 do 7 minut. Novost je predvsem v zmanjšani teži in velikosti avtobusa ter možnosti regeneracije zavorne energije do 40 %.

Skupno podjetje E-CO, Chariot, Prometeon in Politecnico Milano je pokazalo, da lahko ultrakondenzatorji različnih kapacitet, ki se uporabljajo v modelih avtobusov SmartBUS (8, 12 in 18 metrov) namesto baterij, z enim polnjenjem omogočijo razdalje nad 40 km.

2. EfficienCE primeri uporabe sistemov za shranjevanje energije in integracije obnovljivih virov energije

V tem poglavju so glede na analizo funkcionalnosti in tehnologij ter pregleda primerov dobrih praks, opisanih v prejšnjih poglavjih, opredeljeni trije ustrezni primeri uporabe. Primeri so sestavljeni iz konceptov za a) energijsko učinkovit depo, b) pametno vozlišče in c) linearno infrastrukturo, kjer se uvajajo tehnologije za shranjevanje energije, ki omogočajo integracijo obnovljivih virov energije in podpora delovanju sistema. Trije primeri uporabe povzemajo tipično opremo, ki jo je treba razviti za izboljšanje energijske učinkovitosti in zmogljivosti infrastrukture javnega prevoza.

	Energijsko učinkovit depo	Pametno vozlišče	Linearna infrastruktura
London (UK) Bus2Grid (avtobus do omrežja)	x		
London (UK) Walworth depo	x		
Solingen (DE) Pametni trolejbusni sistem			x
Hannover (DE) Usmerniška podpostaja			x
Hamburg (Nemčija) prehaja na elektriko	x		
Madrid (ES) projekt elobster		x	
Los Angeles (US) Metro WESS		x	
Gradec (AT) Raziskovalni projekt FlyGrid		x	
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzatorji za javni prevoz			x
Varšava (PL) Tramvaji s superkondenzatorji			x
La Spezia (IT) Smartbus			x
Maribor (SI)* Večnamenska raba javne infrastrukture		x	
Gdynia (PL)* Regeneracija zavorne energije in OVE	x	x	x
Plzen (CZ)* Postaja z vmesnim hranilnikom v trolejbusnem prometu			x
Dunaj (AT)* Integriran fotonapetostni sistem podzemne postaje	x	x	

*Pilotni projekti EfficienCE

Slika 17: Pilotni projekti, mednarodni primeri dobrih praks in primeri uporabe (EfficienCE, 2022)

Okvirni načrt je predstavljen v kontekstu mesta Bergamo, kjer izvedba načrta trajnostne mobilnosti v mestih predvideva prenovu pomembnega vozlišča mobilnosti za prometno omrežje, izgradnjo novih linij lahke železnice in linij eBRT ter razvoj večnamenskega polnilnega omrežja za električna vozila.

Primer Bergama, kjer se v okviru projekta EfficienCE razvija akcijski načrt za boljšo integracijo obnovljivih virov energije in sistemov za shranjevanje energije v infrastrukturi javnega prevoza, predstavlja primeren okvir za vzorčni kontekst za dodelitev sistemov za skladiščenje energije za različne namene in za različne vrste infrastrukture.

2.1 Energijsko učinkovit depo

Primer uporabe se osredotoča na izboljšanje energijske učinkovitosti depoja javnega prevoza (prenovljenega ali na novo zasnovanega) z boljšo uporabo razpoložljivih obnovljivih virov energije (vključno z zaviranjem) in učinkovitejšo porabo energije, kot tudi na prispevek k energetski avtonomiji in stabilnosti omrežja (npr. avtobus do omrežja).

Načrtovanje energijsko učinkovitega depoja lahko vključuje širok nabor deležnikov, kot so lokalni organi, operaterji javnega prevoza in drugi ponudniki (npr. e-carsharing), operaterji prenosnih sistemov, distribucijski operaterji ter državljani.

Glede na ozadje primera uporabe temeljita zasnova in izvedba rešitev energijske učinkovitosti za depoje, ki temeljijo na shranjevanju energije, predvsem na baterijskih sistemih shranjevanja energije (novih in rabljenih), naložbe pa vključujejo tudi fotonapetostne sisteme in druge rešitve za proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, polnilne naprave (tudi V2G), nadzorne sisteme ipd.

Glavni pričakovani vplivi so povezani z večjo energijsko učinkovitostjo na podlagi samoproizvodnje in zmanjšanjem izgub, boljšo integracijo obnovljivih virov ter s tem povezanimi okoljskimi in gospodarskimi koristmi.

Izzivi/ovire

Implementacija rešitev za shranjevanje energije v energijsko učinkovitih depojih se lahko sreča z različnimi izzivi in ovirami, zlasti z regulatornimi, ko govorimo o V2G in distribuciji energije, ter v zvezi z oceno stroškov in koristi potrebnih naložb. Poleg tega predstavlja družbena sprejemljivost pomemben element, ki ga je treba upoštevati pri načrtovanju nove infrastrukture v gosto poseljenih območjih, izzivi, povezani s shranjevanjem energije in V2G pa lahko prinesejo koristi, ki jih tudi ne gre zanemariti.

Reference:

London (UK) Bus2Grid (avtobus do omrežja)
London (UK) Walworth depo
Hamburg (Nemčija) prehaja na elektriko
Gdynia (PL)* Regeneracija zavorne energije in OVE
Plzen (CZ)* Postaja z vmesnim hranilnikom v trolejbusnem prometu
Dunaj (AT)* Integriran fotonapetostni sistem podzemne postaje

2.2 Linearna infrastruktura

Ta primer analizira možne načine uporabe tehnologij za shranjevanje energije v linearni infrastrukturi, predvsem z namenom podpore in uravnoteženja omrežja ob upoštevanju tako stacionarnih, kot tudi mobilnih oblik sistemov za shranjevanje energije.

Upoštevati je treba tako stacionarne in mobilne baterije, kot tudi vztrajnike in superkondenzatorje, da bi raziskali obseg koristi za omrežje na podlagi uporabe tehnologij za shranjevanje energije, kot tudi prednosti in omejitve njihove uporabe.

Sodelovanje deležnikov se mora osredotočati zlasti na tehnično plat, tako glede mobilnosti (operaterji javnega prevoza in drugi ponudniki) kot tudi glede energije (operaterji prenosnih sistemov in distribucijski operaterji).

Glavni pričakovani vplivi so povezani s podporo omrežju z namenom izboljšati operativno učinkovitost omrežja in s tem povečati okoljsko in ekonomsko učinkovitost infrastrukture z ekonomsko vzdržnimi rešitvami. Obseg uporabe se razlikuje v odvisnosti od vrste obstoječe oziroma bodoče infrastrukture: zato so vključeni primeri uporabe na trolejbusih, avtobusih in tramvajih.

Izzivi/ovire

Implementacija rešitev za shranjevanje energije za linearno infrastrukturo se lahko sreča predvsem z gospodarskimi izzivi, povezanimi s potrebnimi investicijami, hkrati pa lahko predstavlja priložnosti za odlog zadevnih investicij v omrežje in za iskanje bolj prilagodljivih rešitev za stabilizacijo omrežja. V nekaterih primerih lahko obstajajo posebne zakonske ovire za načine uporabe različnih tehnologij (npr. varnostni predpisi za vztrajnike).

Reference:

Solingen (DE) Pametni trolejbusni sistem
Hannover (DE) Usmerniška podpostaja
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkondenzatorji za javni prevoz
Varšava (PL) Tramvaji s superkondenzatorji
La Spezia (IT) Smartbus
Gdynia (PL)* Regeneracija zavorne energije in OVE
Plzen (CZ)* Postaja z vmesnim hranilnikom v trolejbusnem prometu

2.3 Pametno vozlišče

Zadnji primer uporabe se osredotoča na zasnovo pametnega vozlišča kot postaje, postajališča ali multimodalnega vozlišča, kjer je mogoče prilagoditi shranjevanje energije, da se omogoči učinkovita uporaba obnovljivih virov kot tudi večnamenska uporaba polnilne infrastrukture. Razmisliti je treba o različnih pristopih, od izboljšanja energijske učinkovitosti in zmogljivosti infrastrukture do aktivnega prispevka vozil in proizvodnje energije k stabilnosti omrežja.

Sodelovanje deležnikov se mora osredotočati zlasti na tehnično plat, tako glede mobilnosti (operaterji javnega prevoza in drugi ponudniki) kot tudi glede energije (operaterji prenosnih sistemov in distribucijski operaterji).

Pri izbiri rešitev za pametna vozlišča, ki temeljijo na shranjevanju energije, bodo upoštevane različne tehnološke možnosti, vključno z baterijami, vztrajniki in superkondenzatorji, kot tudi ocena njihovega potenciala glede na značilnosti vozlišč in sistemov.

Glavni pričakovani vplivi so povezani z vključevanjem obnovljivih virov, podporo omrežju in energijsko učinkovitostjo z namenom izboljšati operativno učinkovitost in s tem povečati okoljsko in gospodarsko učinkovitost infrastrukture. Identifikacija optimalne lestvice za integracijo tehnologij za shranjevanje energije in obnovljivo energijo na ravni vozlišča, ob upoštevanju soobstoja in interakcij med različnimi (linearnimi in vozliščnimi) infrastrukturami je ključnega pomena za zagotavljanje učinkovitosti in ekonomske trajnosti načinov uporabe.

Izzivi/ovire

Implementacija rešitev za shranjevanje energije za pametna vozlišča se lahko sreča s posebnimi izzivi in tehničnimi ovirami zaradi kompleksnosti in interakcij med različnimi sistemi. Zlasti uvedba večnamenskih polnilnih sistemov in izmenjave energije med različnimi storitvami lahko zahteva poglobljeno analizo regulatornih politik in poslovnih modelov.

Reference:

Madrid (ES) projekt eLobster
Los Angeles (US) Metro WESS
Gradec (AT) Raziskovalni projekt FlyGrid
Maribor (SI)* Večnamenska raba javne infrastrukture
Gdynia (PL)* Regeneracija zavorne energije in OVE
Dunaj (AT)* Integriran fotonapetostni sistem podzemne postaje

3. Pridobljena spoznanja in zaključki

Kombinacija energijsko učinkovitih depojev, pametnih vozlišč in linearne infrastrukture za javni prevoz poudarja potencial razvoja inovativnih rešitev pri optimizaciji razmerja med mobilnostjo in energijskim omrežjem.

V zvezi z učinkovitostjo depoja je bil eden izmed naukov iz analize ta, da je obseg infrastrukture OVE ključnega pomena za določitev priložnosti za uporabo sistemov za shranjevanje energije. Morda bi bilo vredno razmisliti na primer o vlogi omrežja javnega prevoza kot zbiralnika različnih virov OVE na lokalni ravni za učinkovito in ekonomično ponovno uporabo energije.

Uporaba sistemov za shranjevanje energije v linearni infrastrukturi se lahko šteje kot odvečna v smislu integracije OVE, vendar zagotavlja dobre in prilagodljive možnosti za izvedbo pomožnih storitev, kot je npr. nadzor napetosti. Poleg tega pa lahko v nekaterih primerih uporaba sistemov za shranjevanje energije pomeni priložnost za odlog zadevnih investicij v omrežje.

Glavni nauk primera uporabe pametnega vozlišča pa dopolnjuje prejšnjega: pri načrtovanju je treba upoštevati kompleksnost in interakcije med različnimi sistemi; zlasti uvedba večnamenskih polnilnih sistemov in izmenjave energije med različnimi storitvami lahko zahteva poglobljeno analizo regulatornih politik in poslovnih modelov.

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>

Povezave do projektov

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>

VEČ O EfficienCE



Obiščite naše spletno mesto:
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Kontaktni podatki



+49 341 123 59 10



Projektni vodji:

Sebastian Graetz
sebastian.graetz2@leipzig.de

Marlene Damerau
m.damerau@rupprecht-consult.eu

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

f www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/



@Int_EfficienCE



GDAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

Leipziger
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



Faculty of Civil Engineering,
Transportation Engineering
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

