



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



NADNACIONALNI VODNIK ZA UPORABO ENERGIJSKO UČINKOVITIH TEHNOLOGIJ V INFRASTRUKTURI JAVNEGA PREVOZA

(1) Energetska učinkovitost depojev

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:

Marcin Wołek (Tehnološka univerza v Gdansku)

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 Pregled literature	6
1.2 Postopek izbire študije primera	7
2. Primer uporabe	8
2.1 DPMB Brno	8
2.2 DPO Ostrava	8
2.3 MPK Vroclav	9
2.4 MZA Varšava	9
2.5 PKT Gdynia	10
2.6 SZKT Szeged	10
2.7 Splošne značilnosti depojev	11
3. Analiza primerov uporabe	13
3.1 Zgradbe	14
3.1.1 Izolacija	14
3.1.2 Pametno merjenje	14
3.1.3 Manjše izboljšave stavbe	15
3.1.4 Druge dejavnosti manjšega obsega	15
3.2 Ogrevanje	16
3.3 Obnovljivi viri energije	16
3.4 Razsvetljava	18
3.5 Lakirnica	19
4. Sklepi	20
Reference	21

Povzetek



Fotografija mesta Leipzig

Čeprav predstavlja energija, ki se ne uporablja za pogon vozil, manjši strošek, se zaradi okoljskih in geopolitičnih zahtev po transformaciji energije pojavljajo potrebe po iskanju priložnosti za izboljšave v depojih.

Depo uporablja električno energijo, pa tudi plin, olje in sisteme za daljinsko ogrevanje. Struktura je odvisna od posameznega primera, uporaba pa od dejavnikov, kot so tehnično stanje stavb, razpoložljivost obnovljivih virov energije, oprema (lakirnice, razsvetljava) in uvedeni ukrepi za varčno rabo energije.

Pregled literature je le delno odgovoril na vprašanje energetske učinkovitosti depojev. Večina strokovnih prispevkov je bila osredotočena na uporabo obnovljivih virov energije. Problematika energetske in toplotne učinkovitosti tehničnih naprav in opreme upravljavcev javnega prevoza se v literaturi le redko omenja.

Izvedena je bila temeljita analiza šestih izbranih študij primerov različnih upravljavcev javnega prevoza v Srednji Evropi. Analiza je pokazala, da se izvajajo različne aktivnosti, usmerjene v povečanje energetske učinkovitosti depojev. Obseg teh aktivnosti ni odvisen le od velikosti upravljavca javnega prometa, temveč tudi od lokalnih okoliščin in nacionalnega pravnega okvirja.

Te aktivnosti so razvrstili v pet glavnih skupin, in sicer v zgradbe, ogrevanje, obnovljive vire energije, razsvetlavo in lakirnice, saj vsaka izmed njih predstavlja zelo specifično območje dnevne porabe energije.

Optimizacija porabe energije v depojih je sestavni del ukrepov za izboljšanje energetske in ekonomske učinkovitosti podjetij za upravljanje javnega prevoza. To je še posebej pomembno sedaj, ko cene fosilnih goriv in električne energije strmo naraščajo in so bolj nepredvidljive kot kdajkoli doslej.

1. Uvod

Energetska učinkovitost depojev je bila dolga leta sekundarni ali terciarni izziv za večino upravljavcev javnega prometa. Zadnja leta smo bili priča množičnemu nakupu sodobnih vozil v znamenju elektrifikacije voznega parka. Danes se v mestnem prometu po vsem svetu uporablja več kot pol milijona električnih vozil, obseg elektrifikacije pa narašča. Ocenjuje se, da bodo električni avtobusi do leta 2040 predstavljali več kot 2/3 vseh vozil v voznih parkih mestnega prometa po vsem svetu. Ob tem se vzporedno večja vloga vozil na vodikov pogon, ki bodo leta 2040 predstavljala 6 % vozil v mestnem javnem prometu¹. Glavni poudarek leži na sistemih za shranjevanje energije v vozilih. Zdi se, da se je med tremi razpoložljivimi tehnologijami (baterija, superkondenzator, vztrajnik)² kot vodilna izkazala baterija, sledijo pa ji superkondenzatorji in vztrajniki. Tehnologija polnjenja v gibanju velja kot nova priložnost pri uporabi trolejbusov, tudi zaradi njene tehnološke zrelosti³.

Čeprav predstavlja energija, ki se ne uporablja za pogon vozil, manjši strošek⁴, se zaradi okoljskih in geopolitičnih zahtev po transformaciji energije pojavljajo potrebe po iskanju priložnosti za izboljšave v depojih.

Depo uporablja električno energijo, pa tudi plin, olje in sisteme za daljinsko ogrevanje. Struktura je odvisna od posameznega primera, uporaba pa od dejavnikov, kot so tehnično stanje stavb, razpoložljivost obnovljivih virov energije, oprema (lakirnice, razsvetljava) in uvedeni ukrepi za varčno rabo energije.

1.1 Pregled literature

Tehnološki napredek je trenutno usmerjen predvsem v shranjevanje električne energije pri različnih generacijah baterij⁵.

V strokovnem prispevku je M. Bartłomiejczyk predlagal uvedbo prvega fotonapetostnega sistema za oskrbo trolejbusnega omrežja v Gdiniji (Poljska) z električno energijo. Trolejbusno omrežje je zaradi različne količine sončne energije in neenakomerne porabe energije za pogon trolejbusov (npr. zaradi cestnih zastojev) neenakomerno obremenjeno, kar omogoča uporabo več kot 70 % energije, proizvedene s fotonapetostno napravo z močjo 500 kW. Z uvedbo bilateralnega napajanja se poveča možnost uporabe energije. Optimalna moč sistema na sončno energijo je zelo odvisna od lokalne strukture elektroenergetskega sistema in prometnih razmer. Za velike transformatorske postaje je priporočljivo namestiti fotonapetostne naprave z močjo 400-500 kW, za manjše pa z močjo 100 do 150 kW. Za fotonapetostne sisteme, priključene na nadzemni trolejbusni vod na šibkih točkah, je priporočena največja moč fotonapetostnih naprav do 50 kW⁶.

»Stroškovno učinkovit sistem upravljanja z energijo«, analiziran v drugem dokumentu, upošteva energijo, proizvedeno s fotonapetostnimi napravami ob souporabi sistema za shranjevanje energije. Glavne ovire pri uvedbi takšne rešitve so bili visoki začetni finančni stroški, specifične tehnične zahteve (npr. za namestitev sta potrebni velika površina in ustrezna konstrukcija) in prekinitev napajanja, ki so bile izpostavljene kot glavna težava fotonapetostnega sistema. Po drugi strani pa lahko »učinkovita integracija in upravljanje z energijo fotonapetostnih naprav in sistemov za shranjevanje energije v ekosistemu polnjenja depojev omilita vpliv prekinitev napajanja«⁷, zmanjšata konično obremenitev distribucijskega omrežja⁸ in stroške energije lastnika depoja⁹.

1 Electric Vehicle Council. Electric Vehicle Outlook 2020. Executive Summary; Electric Vehicle Council:Sydney, Australia, 2020

2 Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, prepared within EfficienCE project, 2022

3 Wołek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279

4 For instance, the non-traction energy bought in 2017 by one of PT operators in Poland was about 5 percent of the overall bought energy. Still, it was worth more than 1M PLN (ca. 213 thous. EUR as of 12.05.2022)

5 Wołek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? "Sustainability" 2020 nr 12

6 Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. "Energies" 2018 nr 11(4)

7 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.

8 W. Khan, F. Ahmad, M.S. Alam, Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange, "Engineering Science and Technology, an International Journal" 2019 nr 22 (1)

9 Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: A Consecutive Energy Management Approach for a VPP Comprising Commercial Loads and Electric Vehicle Parking Lots Integrated with Solar PV Units and Energy Storage Systems. [In:]: 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019

Na podlagi simulacije, izvedene za Šanghaj, je bilo dokazano, da je stroškovno najučinkovitejša rešitev izvedba fotonapetostnega baterijskega sistema za shranjevanje energije¹⁰. Na podlagi študije primera v Singapurju pa je bila izvedena analiza za zmanjšanje sprememb koničnega odjema na končnih postajah avtobusov, ki so opremljene s postajami za hitro polnjenje vozil ob souporabi stacionarne enote za shranjevanje energije. Študija je pokazala, da se potencial za zmanjšanje stroškov znižuje z naraščajočo elektrifikacijo avtobusnih prog¹¹. Druga študija je opozorila na hibridizacijo sistemov za shranjevanje energije z uporabo baterij in superkondenzatorjev, ki se lahko uporabljajo v različnih sistemih obnovljivih virov energije, zlasti pa v fotonapetostnih sistemih¹².

Nedavni strokovni prispevek, ki temelji na raziskavi, izvedeni v okviru projekta TROLLEY 2.0, je diagnosticiral neskladje med proizvodnjo energije iz obnovljivih virov in nerednimi voznimi redi avtobusov. Iz tega izhaja, da celoten sistem zaradi velikega presežka energije iz ekonomskega vidika ni izvedljiv. Študija, ki je obravnavala uporabo fotonapetostne in vetrne energije, je bila modelirana na podlagi študije primera mesta Arnhem (edinega mesta na Nizozemskem s trolejbusnim sistemom). Najboljše priporočilo je bilo, da se proizvedena energija iz celotnega omrežja združuje. Najboljši rezultat je bil dosežen, ko je bila uvedena hibridna rešitev (53 % fotonapetostne in 47 % vetrne energije), podprta z namestitvijo sistema za shranjevanje energije. To temelji na dejstvu, da lahko proizvodnja vetrne energije bolje sledi trendu potreb po energiji, potrebni za obratovanje avtobusov na letni ravni¹³.

Pregled literature je le delno odgovoril na vprašanje energetske učinkovitosti depojev. Večina strokovnih prispevkov je bila osredotočena na uporabo obnovljivih virov energije. Problematika energetske in toplotne učinkovitosti tehničnih naprav in opreme upravljalcev javnega prevoza se v literaturi le redko omenja.

1.2 Postopek izbire študije primera

Metoda študije primera je bila izbrana za zapolnitev raziskovalnih vrzeli, ugotovljenih v literaturi. Izbor posameznih študij primerov je bil izveden glede na velikost mesta, velikost upravljavca javnega prometa, različne vrste prevoznih sredstev in napredek v uporabi obnovljivih virov energije. V preglednici 1 so predstavljene izbrane študije primerov za nadaljnjo analizo. Študija se je osredotočila na upravljalce javnega prevoza iz Srednje Evrope - in sicer na posamezna podjetja in ne na celotne sisteme javnega prevoza. To je omogočilo večjo natančnost pri pridobivanju podatkov in nadaljnjem raziskovanju v obliki individualnih razgovorov z ustreznimi predstavniki upravljalcev javnega prometa.

Preglednica 1. Glavne značilnosti študij primerov, izbranih za analizo

Upravljavec javnega prometa	Država	Avtobusi	Trolejbusi	Tramvaji	Dobava [Prevoženi km v mil.]	PV
DPMB Brno	Češka	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Češka	298	68	239	30,7	N
MPK Vroclav	Poljska	328	0	285	22,2	D
MZA Varšava	Poljska	1422	0	0	89	D
PKT Gdynia	Poljska	0	100	0	5,3	Načrt.
SZKT Szeged	Madžarska	0	61	43	Ni podatka	Načrt.

D – Da, N – Ne, Načrt. – Načrtovano

- 10 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.
- 11 Trocker F. et. al.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. "Journal of Energy Storage" 2020 nr 32
- 12 Z. Cabrane, J. Kim, K. Yoo, M. Ouassaid: HESS-based photovoltaic/batteries/supercapacitors: Energy management strategy and DC bus voltage stabilization. "Solar Energy" 2021 nr 216
- 13 I. Diab, B. Scheurwater, A. Saffirio, G. R. Chandra-Mouli, P. Bauer: Placement and sizing of solar PV and Wind systems in trolleybus grids. "Journal of Cleaner Production" 2022 nr 352

2. Primer uporabe

2.1 DPMB Brno

Edini lastnik DPMB je mesto Brno. V letu 2020 so prevozili več kot 272 milijonov km, kar je 25 % manj kot v letu 2019¹⁴. Električna vozila so leta 2020 zagotavljala 52 % ponudbe javnega prevoza v Brnu. DPMB načrtuje razvoj trolejbusnega podsistema, s čimer bo bolje izkoristil prednosti sistema polnjenja v gibanju¹⁵.



Slika 1: Trolejbus Škoda Solaris v dvonadstropnem trolejbusnem depolu v Brnu (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

2.2 DPO Ostrava

Dopravní Podnik Ostravy a.s. je upravljavalec javnega prevoza v Ostravi v lasti mesta Ostrava. Proizvodnja energije DPO je zadoščala za 30,7 milijona prevoženih kilometrov. Leta 2020 so električna vozila skupaj predstavljala 46 % ponudbe javnega prevoza v Ostravi¹⁶, vendar se bo ta odstotek zaradi pričakovane uvedbe električnih baterijskih avtobusov od leta 2022 še povečal. Poleg tega v Ostravi načrtujejo izgradnjo polnilne postaje za vodik v depolu Hranecnik.



Slika 2: Trolejbusni sistem v Ostravi je prisoten v delu mesta in ima 10-odstotni delež v skupni ponudbi javnega prevoza (avtor fotografije: Marcin Wolek).

¹⁴ Výroční Zpráva Dopravní Podnik Města Brna, A. S. 2020. Brno 2021

¹⁵ <https://ceetransport.com/40-sor-trolleybus-kits-to-be-assembled-by-brno-carrier-637/>

¹⁶ Dopravní Podnik Ostrava, Výroční Zpráva 2020. Ostrava 2021

2.3 MPK Vroclav



Slika 3: MPK Vroclav upravlja velik vozni park tramvajev (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

MPK Vroclav je bil ustanovljen leta 1995 in je v celoti v lasti mesta Vroclav (s 640.000 prebivalci). MPK je leta 2019 prevozil 22,2 milijona kilometrov. V letu 2022 je bil izdan razpis za dobavo električnih avtobusov, na podlagi katerega se bo nabavilo 11 zgibnih avtobusov znamke Mercedes e-Citaro G. V depozu na Ulici Obornicka bo poleg dveh hibridnih polnilnikov z močjo 5x60 kW in 6x60 kW nameščen tudi visoko zmogljiv polnilnik na zanki (400 kW).

2.4 MZA Varšava

MZA je najpomembnejši upravljavec javnega prevoza na Poljskem s približno 4500 zaposlenimi. Vozila MZA so leta 2019 prevozila približno 89 milijonov kilometrov s 1422 razpoložljivimi vozili, vključno s 160 električnimi avtobusi. Zato je Varšava z 11 % voznega parka na električni pogon na čelu elektromobilnosti na Poljskem.



Slika 4: MZA Varšava upravlja največji avtobusni vozni park na Poljskem. (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

2.5 PKT Gdynia

PKT Gdynia je upravljavec mestnega trolejbusnega prometa v Gdinii in sosednjem mestu Sopot. Njihovi trolejbusi so v letu 2020 prevozili okoli 5,3 milijona kilometrov, vozni park pa je sestavljalo skoraj 100 vozil. Nedavno so dve liniji avtobusov na dizelski pogon zamenjali s trolejbusi s sistemom polnjenja v gibanju. Upravljavec javnega prometa pa še dodatno nenehno uvaja vozila s sistemom polnjenja v gibanju. Leta 2019 so trolejbusi prevozili skoraj 10 % kilometrov poti brez uporabe nadzemnega voda¹⁷. Glede na visoke in nestabilne cene nafte gre za zelo obetaven trend.



Slika 5: Trolejbus PKT Gdynia s sistemom polnjenja v gibanju v Gdinii (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

2.6 SZKT Szeged



Slika 6: Predelani trolejbus SZKT v Szegedu [Fotografija: SZKT Szeged]

Trolejbusse in tramvaje upravlja Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT), ki je v 100-odstotni lasti občine Szeged. Szeged je eno od štirih madžarskih mest s tramvaji in eno od treh, v katerih vozijo trolejbusi. Upravljavec javnega prevoza v Szegedu načrtuje nadaljnjo širitev obstoječe električne prometne infrastrukture z namenom pokriti čim več območij lokalnega javnega prevoza. Sedanje avtobuse na dizelski pogon naj bi v prihodnosti zamenjali. Infrastruktura nadzemnega voda v Szegedu obstaja od leta 1979 in se od takrat nenehno širi.

¹⁷ Wolek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279



Fotografija mesta Leipzig

2.7 Splošne značilnosti depojev

Splošne značilnosti depojev javnega prevoza so naslednje:

stavba depoja je običajno velika, z visokimi vrati, ki se pogosto odpirajo;

depoji imajo različne ravni tehnične opreme in dodatnih prostorov (tj. lakirnic);

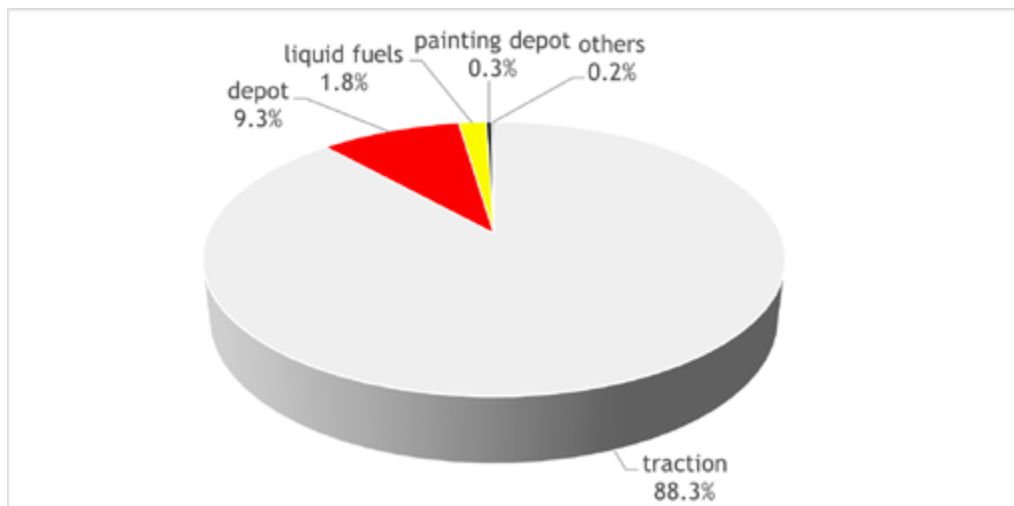
v stavbi je velik prostor, ki ga je treba ogrevati, in potrebne je veliko svetlobe;

depoji obratujejo tako rekoč neprekinjeno, podnevi in ponoči, izpolnjevati pa morajo posebne zahteve za zagotavljanje udobja in varnosti zaposlenih;

ogrevalni sistemi se razlikujejo od depoja do depoja;

elektroenergetski sistem mora biti iz zgoraj navedenih razlogov enostaven za vzdrževanje.

Struktura skupne porabe energije za PKT Gdinia (Poljska) kaže, da depo porabi približno 9,3 % celotne energije, ki jo porablja upravljavec javnega prevoza (kar vključuje elektriko, gorivo in ogrevanje). Sama lakirnica porabi zanemarljiv delež v skupni porabi energije (slika 7).

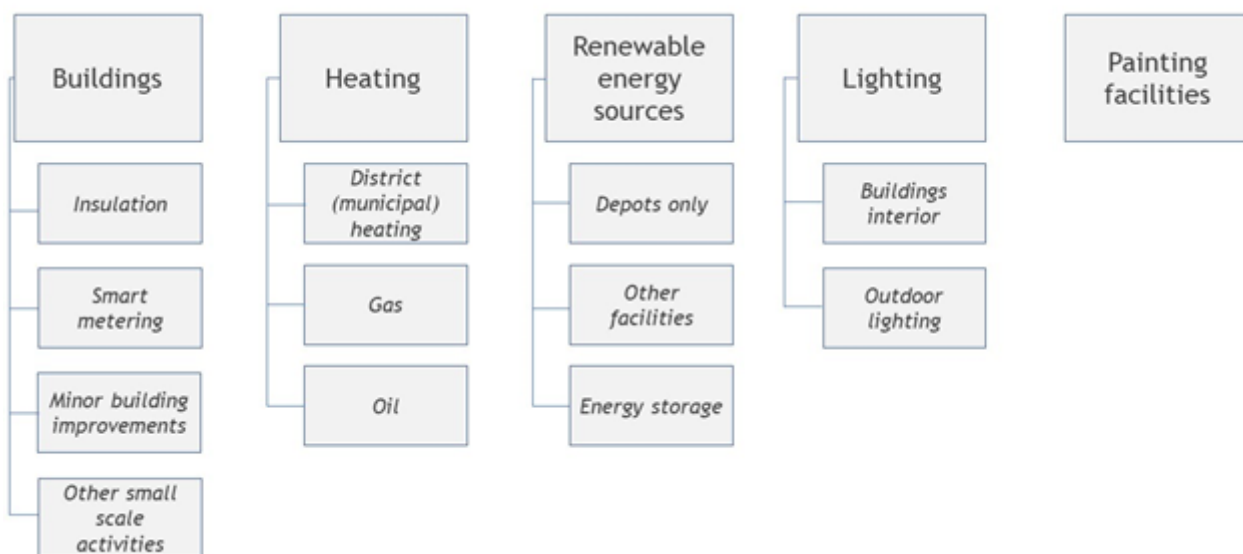


Slika 7: Skupna poraba energije PKT Gdnia v letu 2020

Vir: na podlagi energetskega pregleda za PKT Gdynia

3. Analiza primerov uporabe

Na podlagi temeljite analize izbranih primerov uporabe, podprte z izjavami relevantnih deležnikov, je bilo mogoče določiti najpogostejše ukrepe za doseganje večje energetske učinkovitosti. Na splošno bi lahko vse opredeljene ukrepe združili v več splošnih skupin (slika 8). Polnilna infrastruktura za vozila, ki se nahajajo v določenih depojih, je bila izključena iz analize.



Slika 8: Združevanje ukrepov za doseganje večje energetske učinkovitosti za depoje javnega prevoza po skupinah



Fotografija:
Rupprecht Consult

3.1 Zgradbe

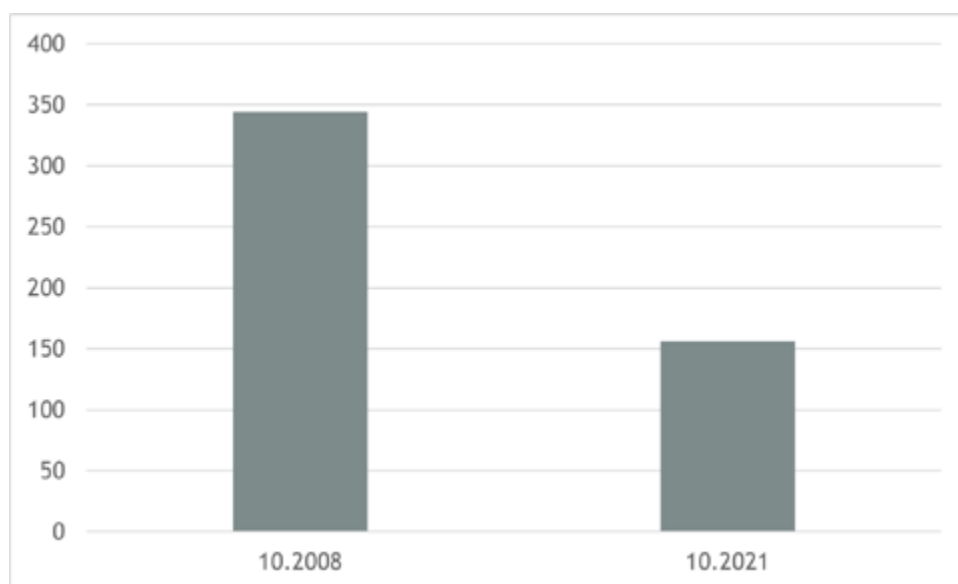
3.1.1 Izolacija

Številne depojske zgradbe so bile zgrajene v prejšnjem stoletju, nekatere celo v začetku 20. stoletja. Zato je zaradi številnih tehničnih pogojev vsak primer specifičen in drugačen. Precej pogost ukrep je kompleksna izvedba izolacije stavbe, ki se izvede sočasno z drugimi ukrepi manjšega obsega. Vzemi-mo na primer Ostravo (Češko): projekt nadgradnje trolejbusnega depoja je temeljil na priporočilu za izvedbo izolacije, strešnih konstrukcij, zamenjavo strešnih oken in rekonstrukcijo sistema osvetlitve notranjosti. Z izvedbo navedenih ukrepov bi prihranili približno 37 % energije glede na začetno stanje.

3.1.2 Pametno merjenje

Na vseh objektih, s katerimi razpolaga DPO Ostrava, se meri poraba vseh komunalnih storitev (elek-trika, toplota, voda). Programska oprema češkega podjetja AYISIS omogoča spremljanje porabe vseh komunalnih storitev na določeni lokaciji v realnem času. Izdelujejo se, na primer, urni profili porabe električne energije. Programska oprema med drugim omogoča nadzor temperature v zgradbah glede na vremenske razmere v kateremkoli danem trenutku (podatki se pridobivajo iz vremenske postaje podjetja).

V stavbi depoja PKT Gdina so namestili sistem upravljanja zgradb (BMS). V podjetju so določili, ka-tere komunalne storitve naj bi sistem v prvi fazi nadziral. V PKT so dali prednost toplotni energiji in zamenjali stikalne naprave, 13 grelnikov ter napeljavo in nadzorni sistem. Grelniki so povezani s temperaturnimi senzorji v vsaki od treh depojskih con (pregled, čiščenje, vzdrževanje).



Slika 9: Poraba toplote trolejbusnega depoja PKT Gdina oktobra 2008 in oktobra 2021 [GJ]

Vir: na podlagi podatkov PKT Gdynia sp. z o.o.

Po namestitvi sistema upravljanja zgradbe (BMS) je bila razlika v porabi toplote v zimskih mesecih približno 200 GJ, kar pomeni približno 12.000 PLN prihranka. Poraba toplote je oktobra 2008 znašala 344 GJ, oktobra 2021 pa se je bistveno zmanjšala na 156 GJ (Slika 9). Sistem je podprt s sistemom za spremljanje zunanje temperature, kar je omogočilo tudi zmanjšanje količine naročene elektrike in vodilo do 18.000 PLN (3840 EUR) prihranka na leto.

3.1.3 Manjše izboljšave stavbe

Depojska zgradba PKT Gdunia (Poljska) je bila zasnovana s strešnimi okni in odprtinami za nadzemni vod, kar je standardna rešitev za tramvajske in trolejbusne depoe. V depoju se nahaja tudi sistem za nadzor temperature, ki zagotavlja čim boljši izkoristek toplotne energije objekta. Z zamenjavo izolacijskih slojev na strehi so izboljšali toplotno izolacijo strehe.



Slika 10: Trolejbusni depo PKT Gdunia (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

Ob zamenjavi strešnih oken v depoju PKT Gdynia se je njihova površina povečala. Zdaj zavzemajo 1/3 površine strehe (slika 11). Nova strešna okna imajo tudi višjo protipožarno zaščito in zagotavljajo boljšo toplotno izolacijo.



Slika 11: Nova strešna okna v depoju PKT Gdunia (Avtor fotografije: Marcin Wolek)

3.1.4 Druge dejavnosti manjšega obsega

V dnevnih servisnih halah je zaradi specifičnosti njihovega načina delovanja (vključno s pogostim odpiranjem vrat z veliko površino) treba razmisliti o vgradnji naprav za mešanje zraka (destrifikatorjev). Ogreti zrak se v hladnih dneh dvigne in se zbira pod streho, zato je temperatura, ki jo zaznava delavec pri tleh, nižja. Za enakomerno porazdelitev temperature zraka v teh prostorih se uporabljajo naprave za mešanje zraka, katerih glavna naloga je ohranjanje temperaturnega ravnovesja zraka pod streho in pri tleh stavbe, s čimer je mogoče znižati stroške ogrevanja. Takšna rešitev je bila uspešno izvedena v enem od depojev MZA Varšava (Poljska).

Poceni ukrep, ki že v kratkem povrne stroške investicije, je prav gotovo lahko tudi toplotna izolacija ventilov in prirobničnih spojev z namenom zmanjšanja toplotnih izgub. V primeru MPK Wrocław znašajo ocenjeni izdatki za izvedbo tega ukrepa približno 1.300 PLN, s 4.841 kWh letnega prihranka. Naložba se bo tako povrnila v manj kot dveh letih.

DPMB Brno (Češka) je uvedel mednarodni standard upravljanja energije, ISO 50001. Zahteve standarda so namenjene izboljšanju energetske učinkovitosti podjetij ne glede na njihovo velikost, panogo ali število zaposlenih. Z uvedbo tega standarda v DPMB ni potrebno izvajati energetskega pregleda. Druge prednosti uvedbe standarda so še prepoznavanje in obvladovanje tveganj, povezanih s prihodnjo oskrbo z energijo, merjenje in spremljanje porabe energije za določitev območij, v katerih je potrebno izboljšati energetske učinkovitost, ter skrb za okolje in izpolnjevanje zahtev.

3.2 Ogrevanje

Trije depoji MZA Varšava so priključeni na sistem daljinskega ogrevanja (Veolia). En depo se ogreva na plin. MZA ima nov lakirni depo, ki je bil dokončan pred nekaj leti in je opremljen s sistemom dvojnega prezračevanja in odsesavanja prahu. Obe lakirnici sta integrirani v energetske sistem depoja.

Vsi depoji MPK Vroclav so priključeni na sistem daljinskega ogrevanja. Vgradnja toplotnih črpalk ni bila predvidena v kratkem, ker so bili objekti zgrajeni v različnih obdobjih in tako ne obstaja podlaga za njihovo rekonstrukcijo in morebitno vgradnjo toplotnih črpalk.

V primeru SZKT so zgradbe podjetja precej različne. Nekatere stavbe so stare 100 let, se komaj vzdržujejo in ne ustrezajo več trenutnim standardom, v lasti pa imajo pa tudi sodobne novogradnje, ki ustrezajo najnovejšim arhitekturnim in energetskim zahtevam. Večina objektov je bila zasnovana za predviden namen uporabe, npr. velike delavnice v halah, manjše postajne stavbe in servisne delavnice, ogrevane in neogrevane ter klimatizirane stavbe.

Zaradi tega se stavbe tudi ogrevajo na različne načine. Večina hal se ogreva s pomočjo termo ventilatorskih enot ali sistemov za sevalno ogrevanje. V večjih objektih se uporablja toplovodno centralno ogrevanje, delno se ogreva s kondenzacijskimi kotli. V starejših in bolj dotrajanih manjših objektih se uporablja individualno ogrevanje na plinske konvektorje, nekateri prostori pa se ogrevajo z električnimi grelniki. Oskrba s sanitarno toplo vodo je centralizirana v depojih tramvajev in trolejbusov z ustreznimi hranilniki in sistemi za sanitarno vodo, v ostalih objektih pa se uporabljajo večinoma pretočni in hitri električni grelniki sanitarne vode¹⁸.

3.3 Obnovljivi viri energije

Varšava (Poljska) je bila prvo mesto na Poljskem, ki je avtobuse v velikem obsegu opremilo s fotonapetostnimi paneli na strehah. Fotovoltaični paneli omogočajo izboljšanje energijske bilance vozil in do pet odstotkov prihranka na gorivu. Poleg tega je postavitve sončne elektrarne na strehi depoja "Woronicza" omogočila zadovoljitev potreb po energiji za zagotavljanje običajnega delovanja obrata. Energetske učinkovitost so povečali tudi z zamenjavo več sto žarnic v depojih, z energijsko varčnimi LED diodami.

Fotonapetostni paneli s približno 65 kW moči so bili nameščeni na streho servisne hale MZA Varšava na ulici Włościańska 52, za kar je bilo potrebno izpolnjevati več zahtev. Po uvedbi električnih avtobusov se je poraba električne energije tako povečala, da de facto prodaja energije navzven ni bila mogoča. Druga fotonapetostna naprava je nameščena na depoju na Ulici Woronicza (74 kW).

Na dveh avtobusnih depojih (tramvajski depo na ulici Powstańców Śląskich in avtobusni depo na ulici Obornicka), ki sta v lasti MPK Vroclav, so v zadnjih letih namestili več fotonapetostnih naprav z močjo približno 50 kW. Na podlagi tega bo ena od hal, v kateri med drugim čistijo in popravljajo avtobuse, v večji meri samooskrbna z energijo. Sončna naprava na njeni strehi bo pokrila polovico potreb hale, kar bo omogočilo prihranek 30 tisoč PLN letno. Stroški naložbe so znašali 212.000 PLN (45.211 EUR) neto. MPK ocenjuje, da se bo investicija v energiji povrnila v 8 letih.

Nadaljnji razvoj vključuje namestitev fotonapetostnih panelov na vseh strehah stavb v lasti MPK Wrocław sp. z o.o. Trenutno se vgrajuje fotonapetostna naprava z močjo 50 kW v depoju na Ulici Obornicka (slika 12).

¹⁸ Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

Ker MPK Vroclav nima pokritih parkirnih površin, energija, proizvedena v fotonapetostnih napravah na lokacijah upravljavca javnega prevoza, ne bo bistvena za pogon vozil.

V izračunih za fotonapetostno elektrarno za enega izmed depojev SZKT Szeged (Madžarska) z načrtovano močjo 150 kW je bilo ugotovljeno daljše obdobje za povrnitev stroškov investicije. Letna proizvodnja električne energije je bila ocenjena na 174.000 kWh. Brez zunanjega sofinanciranja je obdobje za povrnitev stroškov investicije znašalo 12,7 let, s 30 % sofinanciranjem stroškov investicije pa bi znašalo le slabih 9 let. Zaradi zvišanja cen energije zaradi vojne in nestabilnosti na trgu pa se pričakovano obdobje povrnitve stroškov investicije skrajša.



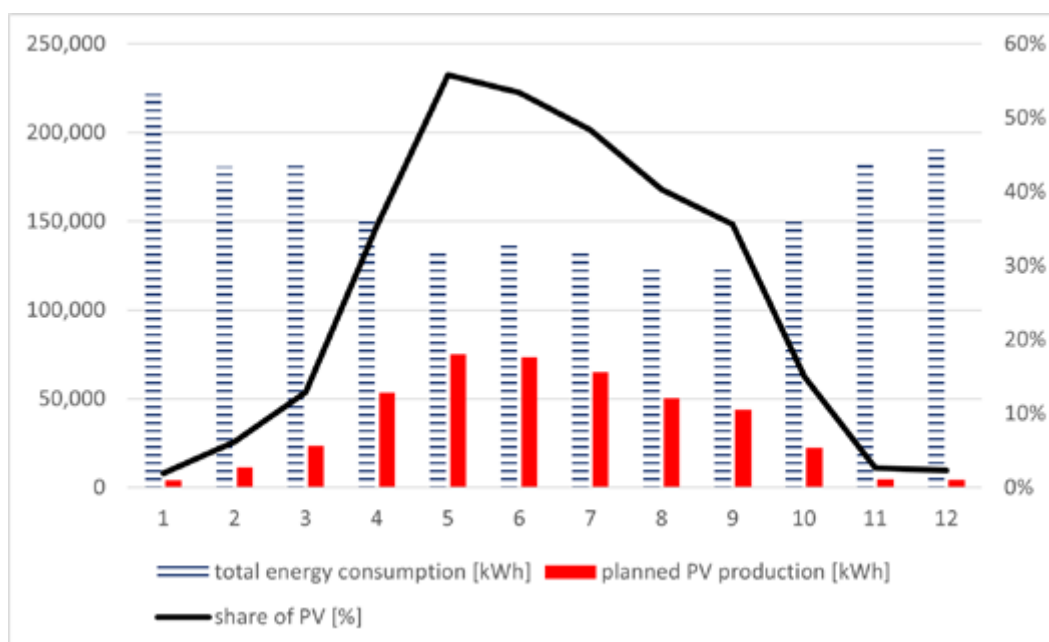
Slika 12: Fotonapetostna naprava na strehi tramvajskega depoja MPK Vroclav (avtor fotografije: Marcin Wolek)

Na enem od trolejbusnih postajališč v središču Brna je nameščena fotovoltaična elektrarna, pri čemer najemnik (t.j. mesto) plačuje le nadomestilo za uporabo infrastrukture za obratovanje elektrarne.

PKT Gdina (Poljska) načrtuje razvoj fotovoltaične elektrarne (pribl. 500 kW) na strehi svojega skladišča (pribl. 5000 m²), ki bi poskrbela za do 5 % energije, potrebne za obratovanje trolejbusov. Z uvedbo sistema za shranjevanje energije bi se delež še povečal. Ugotovili so, da bi največja moč naprave ob uporabi visoko učinkovitih monokristalnih fotonapetostnih panelov znašala 499,8 kWp. Na podlagi podrobnih podatkov, pridobljenih iz fotonapetostne naprave s podobnimi parametri, je PKT Sp. z o.o. pripravil izračune donosa sončne energije. Ocenjeni letni donos je znašal 431.391 kWh/letno¹⁹.

¹⁹ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

Ob predpostavki, da bo fotonapetostna naprava priključena na transformatorsko postajo Grabówek, bi lahko pokrila več kot 22,5 % letne potrebe po energiji, čeprav bi prihajalo do visokih mesečnih nihanj (slika 13). Povprečni letni prihranek primarne energije bo znašal 431,39 MWh oziroma 37,09 ton ekvivalenta nafte/letno. S tem bi lahko pokrili celotno porabo električne energije depoja (406,7 MWh). Poleg tega obstaja še možnost namestitve FV panelov na druge objekte, ki so v lasti PKT Gdunia, kar bi lahko pomenilo proizvodnjo dodatnih 99,5 MWh.²⁰

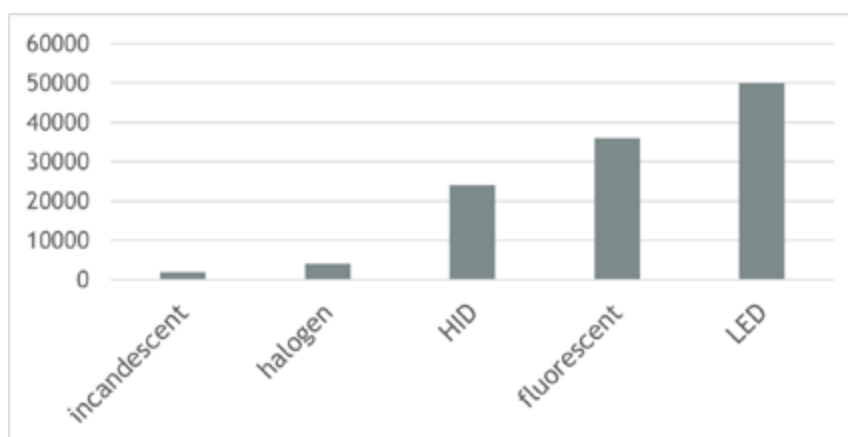


Slika 13: Mesečna poraba energije in načrtovana energija iz fotonapetostne naprave za transformatorsko postajo Grabówek, PKT Gdunia (Poljska)

Vir: na podlagi energetskega pregleda PKT Gdunia, september 2021

3.4 Razsvetljava

Sodobne LED sijalke ne potrebujejo le manj energije, njihova ocenjena življenjska doba je veliko daljša od življenjske dobe žarnice z žarilno nitko ali celo fluorescenčne sijalke (slika 14).



Slika 14: Tipična povprečna ocenjena življenjska doba za različne vrste žarnic [v urah]

²⁰ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

Celovita zamenjava žarnic zagotavlja hitro povrnitev naložbe. Izvaja se lahko ločeno ali kot del projekta posodobitve in izolacije stavbe.



Slika 15: Razsvetljava na trgu pred halo MPK Wrocław sp. o.o.

Stroški posodobitve razsvetljave so znašali 314.000 PLN. Letni prihranek električne energije je znašal 258.939 kWh, s čimer so prihranili 112.000 PLN in zmanjšali emisije CO₂ za 186 ton. V tem primeru bodo stroški investicije povrnjeni v manj kot 3 letih²¹. Posodobitev razsvetljave je bila izvedena tudi na prostem (slika 15).

Na podlagi energetskega pregleda SZKT Szeged (Madžarska) so prišli do podobnih zaključkov: Z naložbo v zamenjavo razsvetljave z LED sijalkami (5,12 mio HUF = 13.600 EUR) bo obdobje povrnitve stroškov investicije krajše od 3 let²².

3.5 Lakirnica

V PKT Gdunia sp. z o.o. uporablja lakirnica zaradi občasnih potreb po veliki količini toplotne energije za ogrevanje kurilno olje. Zaradi visokih stroškov energije pri distributerju ogrevanja je bilo daljinsko ogrevanje opuščeno v korist tekočega goriva. Letna poraba goriva znaša ca. 3440 litrov kurilnega olja²³.

Nova lakirnica MZA Varšava je bila dokončana pred nekaj leti in je opremljena s sistemom dvojnega prezračevanja in odsesavanja prahu. Obe lakirnici sta integrirani v energetski sistem depoja.

²¹ Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Attachment 2: Buildings. Audytel, Wrocław 2021, p. 89 and next

²² Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

²³ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

4. Sklepi

Čeprav se večina električne energije porabi za obratovanje tramvajev, porabljajo električno in toplotno energijo tudi depoji. Optimizacija porabe energije v depoju je nujno potrebna za izboljšanje energetske in ekonomske učinkovitosti podjetij za javni prevoz.

Depoji podjetij za javni prevoz se med seboj zelo razlikujejo. Razlikujejo se po letnici izgradnje, po vrsti prevoznega sredstva ter po obsegu izvedenih posodobitev in opremljenosti. Vse to vpliva na porabo energije in drugih komunalnih storitev (npr. vode).

Pregled izbranih primerov kaže na določene zakonitosti pri iskanju načinov za izboljšanje energetske učinkovitosti objektov upravljavcev javnega prometa.

Med osnovnimi investicijskimi aktivnostmi je zelo pogosta posodobitev stavb z namenom izboljšanja energetske učinkovitosti (toplotnih parametrov) same stavbe. Takšne ukrepe pogosto spremljajo meritve v stavbah. Posodobitev je lahko popolna in zajema vse komunalne storitve (energijo, toploto in vodo) ali pa se uvaja postopoma in cilja na komunalne storitve, ki ustvarjajo največje stroške. V obseg tehnične posodobitve objekta so lahko vključene tudi aktivnosti z majhnim vplivom, ki pa izboljšajo udobje dela v hali za servisiranje vozil in hkrati izboljšajo požarno varnost (npr. zamenjava in povečanje strešnih oken).

Dobro možnost predstavlja tudi namestitev fotonapetostnih panelov na strehe depojev. Tako proizvedena električna energija se običajno porabi za lastne potrebe depoja. Namestitev hranilnikov električne energije se mora izvesti sočasno z namestitvijo fotonapetostnih panelov.

Cenovno ugodni ukrepi so kot del širše celote ključnega pomena. Čeprav naložba v posodobitev razsvetljave ne prinaša bistvenih prihrankov za celotno podjetje, se hitro povrne. Lahko se izvaja postopoma, tudi brez nujnih investicijskih sredstev.

Reference

- Arif S. M., Lie T. T., Seet B. Ch., Ayyadi S.: A novel and cost-efficient energy management system for plug-in electric bus charging depot owners. "Electric Power Systems Research" 2021 nr 199
- Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. "Energies" 2018 nr 11(4)
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: Multiaspect measurement analysis of breaking energy recovery. "Energy Conversion Management" 2016 nr 127
- Cabrane Z., Kim J., Yoo K., Ouassaid M.: HESS-based photovoltaic/batteries/supercapacitors: Energy management strategy and DC bus voltage stabilization. "Solar Energy" 2021 nr 216
- Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, prepared within EfficienCE project, 2022
- Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.
- Diab I., Scheurwater B., Saffirio A., Chandra-Mouli G. R., Bauer P.: Placement and sizing of solar PV and Wind systems in trolleybus grids. "Journal of Cleaner Production" 2022 nr 352
- Electric Vehicle Council. Electric Vehicle Outlook 2020. Executive Summary; Electric Vehicle Council: Sydney, Australia, 2020
- Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Attachement 2: Buildings. Audytel, Wrocław 2021
- Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021
- Energy audit for the SZKT, Szeged 2019
- Gao Z.et. al.: Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. "Energy" 2017 nr 122
- Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Misak S., Stýskala V.: Energy recovery effectiveness in trolleybus transport. "Electric Power Systems Research" 2014 nr 112
- Khan W., Ahmad F., Alam M.S.: Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange, "Engineering Science and Technology, an International Journal" 2019 nr 22 (1)
- Kratz S. et. al.: Expansion of a Trolleybus Infrastructure towards a 100% Renewable Energy Usage. 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference
- Munoz P. et. al.: Comparative analysis of cost, emissions and fuel consumption of diesel, natural gas, electric and hydrogen urban buses. "Energy Conversion and Management" 2022 nr 257
- Rogge M., van der Hurk E., Larsen A., Sauer D. U.: Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. "Applied Energy" 2018 nr 211
- Trocker F. et. al.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. "Journal of Energy Storage" 2020 nr 32
- Výroční Zpráva2020. Dopravní Podnik Města Brna, Brno 2021
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Ostrava, Ostrava 2021
- Wołek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279

Wótek M.et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279

Wótek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? "Sustainability" 2020 nr 12

Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: A Consecutive Energy Management Approach for a VPP Comprising Commercial Loads and Electric Vehicle Parking Lots Integrated with Solar PV Units and Energy Storage Systems. [In:]: 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019

Spletne povezave:

<https://ceetransport.com/40-sor-trolleybus-kits-to-be-assembled-by-brno-carrier-637/>

<https://www.smartcitiesworld.net/news/news/czech-city-of-ostava-expands-electric-bus-fleet-6345>

https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMlw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE

VEČ O EfficienCE



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

Kontaktni podatki



+49 341 123 59 10

Vodilni partner: Mesto Leipzig, Nemčija



Projektni vodji:

Sebastian Graetz
sebastian.graetz2@leipzig.de

Marlene Damerau
m.damerau@rupprecht-consult.eu



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



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

