



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# TRANSNACIONALNI PRIRUČNIK ZA UVOĐENJE ENERGETSKI UČINKOVITIH TEHNOLOGIJA INFRASTRUKTURE JAVNOG PRIJEVOZA

(1) Energetska učinkovitost za depoe

## 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:**

Marcin Wołek (Tehnološko sveučilište u Gdanjsku)

**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.

Izvršni sažetak .....	5
1. Uvod .....	6
1.1 Pregled literature .....	6
1.2 Postupak odabira studije slučaja .....	7
2. Slučaj upotrebe .....	8
2.1 DPMB Brno .....	8
2.2 DPO Ostrava .....	8
2.3 MPK Wrocław .....	9
2.4 MZA Varšava .....	9
2.5 PKT Gdynia .....	10
2.6 SZKT Segedin .....	10
2.7 Općenite značajke depoa .....	11
3. Analiza slučaja upotrebe .....	13
3.1 Zgrade .....	14
3.1.1 Izolacija .....	14
3.1.2 Pametno mjerenje .....	14
3.1.3 Manja poboljšanja zgrada .....	15
3.1.4 Ostale aktivnosti manjeg opsega .....	15
3.2 Grijanje .....	16
3.3 Obnovljivi izvori energije .....	16
3.4 Rasvjeta .....	18
3.5 Trgovina bojom .....	19
4. Zaključak .....	20
Reference .....	21

# Izvršni sažetak



Fotografija Grad Leipzig

Iako je nevučna energija manji trošak, okolišni i geopolitički pritisak na energetske transformacije daje argumente za istraživanje poboljšanja u depovima.

Depo troši električnu energiju, ali i benzin, ulje i lokalno grijanje. Struktura ovisi o pojedinačnom slučaju, a korištenje ovisi o čimbenicima kao što su tehnički uvjeti zgrade, dostupnost obnovljivih izvora energije, oprema (prostori za bojenje, osvjetljenje), kao i procedure koje su implementirane u svrhu smanjenja potrošnje energije.

Pregled literature pružio je samo djelomični odgovor na temu energetske učinkovitosti za depoe. Većina se studija usredotočila na korištenje obnovljivih izvora energije. Problem energije i toplinske učinkovitosti tehničkih prostora operatera javnog prijevoza jedva su spomenuti u literaturi.

Na korištenih je šest odabranih studija slučaja različitih operatera javnog prijevoza iz Srednje Europe provedena temeljita analiza. Ukazala je na raznolikost različitih aktivnosti usredotočenih na povećanje energetske učinkovitosti depoa. Njihovo skaliranje ovisi ne samo o veličini operatera, već i o lokalnim okolnostima te nacionalnom zakonodavnom okviru.

Ove su akcije podijeljene u pet glavnih skupina uključujući zgrade, grijanje, obnovljive izvore energije, rasvjetu i trgovine bojom jer predstavljaju vrlo specifično područje dnevnog iskorištavanja.

Optimizacija potrošnje energije u depovima integralni je dio unaprjeđenja energetske i gospodarske učinkovitosti tvrtki javnog prijevoza. Ovo je naročito važno u trenutku kada cijene fosilnih goriva i električne energije rastu, a nepredvidljive su kao nikada prije.

## 1. Uvod

Mnogo je godina za većinu operatera energetska učinkovitost depoa bila sekundarni ili čak tercijarni izazov. Posljednjih godina svjedočili smo masovnoj nabavci modernog voznog parka pod zastavom elektrifikacije. Danas se u urbanom prijevozu koristi preko pola milijuna električnih vozila, a skaliranje elektrifikacije raste. Procjenjuje se da će do 2040. godine električni autobusi premašiti 2/3 flote urbanog prijevoza na globalnoj razini. Paralelni je trend rastuća uloga hidrogenskih vozila koji bi mogli činiti 6 % vozila urbanog prijevoza u 2040. godini<sup>1</sup>. Glavni je fokus stavljen na sustave pohrane energije u vozilima. Među trima dostupnim tehnologijama (akumulator, superkondenzator, zamašnjak)<sup>2</sup>, akumulator je kao vodeća tehnologija iza sebe ostavila superkondenzatore i zamašnjake. Tehnologija punjenja u pokretu smatra se novom mogućnošću za korištenje u trolejbusovima i zbog svoje tehnološke zrelosti<sup>3</sup>.

Iako je nevučna energija manji trošak<sup>4</sup>, okolišni i geopolitički pritisak na energetska transformaciju daje argumente za istraživanje poboljšanja u depoima.

Depo troši električnu energiju, ali i benzin, ulje i lokalno grijanje. Struktura ovisi o slučaju, a korištenje ovisi o čimbenicima kao što su tehnički uvjeti zgrade, dostupnost obnovljivih izvora energije, oprema (prostori za bojenje, osvjetljenje), kao i procedure koje su implementirane u svrhu smanjenja potrošnje energije.

### 1.1 Pregled literature

Trenutno je tehnološki napredak prvenstveno usmjeren na pohranu električne energije korištenjem različitih generacija akumulatora<sup>5</sup>.

U članku M. Bartłomiejczyka predložen je prvi fotonaponski sustav za energetska opskrbu sustava trolejbusa u Gdyniji (Poljska). Neujednačeno opterećenje u opskrbi vučnom snagom kao rezultat različitog solarnog zračenja i neujednačeni prijem energije trolejbusa (cestovna zagušenja) omogućila su korištenje više od 70 % energije koja se može postići ugradnjom fotonaponskog sustava od 500 kW. Uvođenje bilateralnog izvora napajanja povećava sposobnost korištenja energije. Optimalna snaga solarnog sustava uvelike ovisi o lokalnoj strukturi elektroenergetske mreže i uvjetima u prometu. Za velike se trafostanice preporučuje razvoj fotonaponskog sustava sa snagom od 400 do 500 kW, a za manje od 100 do 150 kW. Za fotonaponske sustave povezane s vučnom kontaktnom mrežom na slabim se točkama preporučuje maksimalna snaga fotonaponskog sustava do 50 kW<sup>6</sup>.

„Isplativ sustav upravljanja energijom” koji je analiziran u drugoj studiji razmatrao je energiju koju su proizveli fotonaponski sustavi, a koje podržava sustav pohrane energije. Glavne su prepreke takvog rješenja bili visoki prethodni kapitalni troškovi, posebni tehnički zahtjevi (npr. potreba za veliki područjem, relevantna konstrukcija) i prekidi koji su istaknuti kao veliki problem fotonaponskih sustava. S druge strane, „učinkovite integracija i upravljanje energijom fotonaponskih sustava i sustava pohrane energije u ekosustavu punjenja depoa mogu rezultirati ublažavanjem utjecaja prekida”<sup>7</sup>, smanjenjem najvećeg opterećenja u distribucijskoj mreži<sup>8</sup> i smanjiti troškove energije za vlasnika depoa<sup>9</sup>.

1 Vijeće za električna vozila (Electric Vehicle Council). Electric Vehicle Outlook 2020. Izvršni sažetak; Vijeće za električna vozila: Sydney, Australija, 2020.

2 Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (Najnoviji i stručni pregledi za uvođenje energetska učinkovitih tehnologija infrastrukture JP.) Pohrana energije u infrastrukturi javnog prijevoza. Redmint, pripremljeno u sklopu projekta EfficienCE, 2022.

3 Wołek M. et. al.: Omogućavanje održivog razvoja urbanog javnog prijevoza: Studija slučaja sustava trolejbusa u Gdyniji i Sopotu (Poljska). „Journal of Cleaner Production” 2021. br. 279

4 Na primjer, nevučna energija koju je 2017. godine kupio jedan od operatera JP u Poljskoj činila je oko 5 posto cjelokupne kupljene energije. No vrijedila je više od 1 milijun PLN (cca. 213 tisuća EUR na dan 12. 05. 2022.).

5 Wołek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformacija prijevoza trolejbusom u Poljskoj. Je li (tehnologija) punjenja u pokretu važna? „Održivost” 2020. br. 12

6 Bartłomiejczyk M.: Potencijalna primjena sustava solarne energije za elektrificirane sustave urbanog prijevoza. „Energije” 2018. br. 11 (4)

7 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimalni dizajn stanice za punjenje fotonaponskog sustava/akumulatora pohrane energije/električnog vozila na temelju više-agentskog algoritma optimizacije rojem čestica. „Održivost” 2019. br. 11 (7) 1973.

8 W. Khan, F. Ahmad, M. S. Alam, Integracija brzih EV stanica za punjenje s mrežom uz osiguravanje optimalne i kvalitetne izmjene energije, „Engineering Science and Technology, an International Journal” 2019. br. 22 (1)

9 Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: Pristup uzastopnom upravljanju energijom za komercijalna opterećenja koja sadrže VPP i parkirališna mjesta za električna vozila integrirana sa solarnim fotonaponskim jedinicama i sustavima za pohranu energije [In:]: 2019. 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019.

Na temelju simulacije provedene za Šangaj, dokazano je da je sustav pohrane energije fotonaponskog akumulatora najisplativije rješenje<sup>10</sup>. S druge pak strane, na temelju studije slučaja u Singapuru, pružena je analiza za smanjenje promjena tijekom najveće potrošnje na posljednjim autobusnim stanicama opremljenim stanicama za brzo punjenje koje podržavaju stacionarne jedinice za pohranu energije. Studija je pokazala da se potencijal za smanjenje troškova smanjuje povećavanjem razina elektrifikacije autobusnih linija<sup>11</sup>. Druga je studija ukazala na hibridizaciju sustava pohrane energije upotrebom akumulatora i superkondenzatora koji se mogu koristiti u različitim sustavima obnovljive energije, posebno fotonaponskih sustava<sup>12</sup>.

Nedavni je članak koji se temelji na istraživanju koje je provedeno u sklopu projekta TROLLEY 2.0, dijagnosticirao nepodudaranje između generiranja energije iz obnovljivih izvora i isprekidanih rasporeda autobusa. Kao rezultat toga, značajan višak energije čini cijeli sustav nepraktičnim s ekonomske točke gledišta. Studija koja je obuhvatila fotonaponske sustave i energiju vjetra oblikovana je na temelju studije slučaja grada ArnHEMA (jedinu grad u Nizozemskoj koji ima sustav trolejbusa). Preporuka je bila prikupljati generiranje iz cijele mreže. Najbolji je rezultat postignut uvođenjem hibridnog rješenja (53 % fotonaponski sustav i 47 % vjetar) podržanog sustavom pohrane energije. Razlog je što generiranje vjetra bolje prati trend zahtjeva autobusa na godišnjoj razini<sup>13</sup>.

Pregled literature pružio je samo djelomični odgovor na temu energetske učinkovitosti za depoe. Većina se studija usredotočila na korištenje obnovljivih izvora energije. Problem energije i toplinske učinkovitosti tehničkih prostora operatera javnog prijevoza jedva su spomenuti u literaturi.

## 1.2 Postupak odabira studije slučaja

Metoda studije slučaja odabrana je kako bi se popunile praznine u istraživanju koje su otkrivene u okviru pregleda literature. Odabir određenih studija slučaja proveden je prema veličini grada, veličini operatera, različitim sredstvima prijevoza i napretkom prema korištenju obnovljivih izvora energije. U Tablici 1 nalaze se odabrane studije slučaja za daljnju analizu. Studija je usmjerena na operatere iz Srednje Europe - tvrtke, a ne na cjelokupni sustav javnog prijevoza. To je omogućilo veću preciznost u prikupljanju podataka i daljnje istraživanje u obliku pojedinačnih razgovora s predstavnicima relevantnih operatera.

Tablica 1. Glavne karakteristike studija slučaja odabranih za analizu

Operater	Država	Autobusi	Trolejbusi	Tram-vaji	Opskrba [mio. veh-kms]	Fotonaponski sustav
DPMB Brno	Češka	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Češka	298	68	239	30,7	N
MPK Wrocław	Poljska	328	0	285	22.2	Y
MZA Varšava	Poljska	1422	0	0	89	Y
PKT Gdynia	Poljska	0	100	0	5.3	P
SZKT Segedin	Mađarska	0	61	43	Nema podataka	P

Y – da, N – ne, P – planirano

10 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimalni dizajn stanice za punjenje fotonaponskog sustava/akumulatora pohrane energije/ električnog vozila na temelju više-agentskog algoritma optimizacije rojem čestica. „Održivost” 2019. br. 11 (7) 1973.

11 Trocker F. et. al.: Procjena na razini grada za stacionarnu pohranu energije koja podržava završne stanice za brzo punjenje za različite razine elektrifikacije flote autobusa. „Journal of Energy Storage” 2020. br. 32

12 Z. Cabrane, J. Kim, K. Yoo, M. Ouassaid: Fotonaponski sustavi/akumulatori/superkondenzatori koji se temelje na HESS. Strategija upravljanja energijom i istosmjerna stabilizacija voltaže autobusa. „Solar Energy” 2021. br. 216

13 I. Diab, B. Scheurwater, A. Saffirio, G. R. Chandra-Mouli, P. Bauer: Postavljanje i kalibracija solarnih fotonaponskih sustava i sustava vjetra u mrežama trolejbusa. „Journal of Cleaner Production” 2022. br. 352

## 2. Slučaj upotrebe

### 2.1 DPMB Brno

Isključivi je vlasnik DPMB-a grad Brno. Godišnji broj putnika u 2020. godini premašio je 272 mio. putovanja, što znači smanjenje od 25 % u usporedbi s 2019. godinom<sup>14</sup>. Ukupno je električna vuča pružila 52 % opskrbe javnim prijevozom u Brnu u 2020. godini. DPMB planira razviti podsustav trolejbusa uz veće iskorištavanje prednosti punjenja u pokretu<sup>15</sup>.



Slika 1: Trolejbus Škoda Solaris u depou za trolejbuse na dva kata u Brnu (fotografija Marcin Wolek)

### 2.2 DPO Ostrava

Dopravní Podnik Ostravy a.s. operater je javnog prijevoza u Ostravi koji je u vlasništvu grada Ostrave. Opskrba DPO-a iznosila je 30,7 mil. vozilo-km. Ukupno je električna vuča pružila 46 % opskrbe javnim prijevozom u Ostravi u 2020. godini<sup>16</sup>, ali to će se povećati zbog očekivanog uvođenja autobusa na električne akumulatore 2022. godine. Osim toga, u Ostravi postoji plan izgradnje stanice za punjenje vodikom u depou Hranečník.



Slika 2: Sustav trolejbusa u Ostravi opslužuje dio grada i ima udio od 10 % u ukupnoj opskrbi javnim prijevozom (fotografija Marcin Wolek)

<sup>14</sup> Výroční Zpráva Dopravní Podnik Města Brna, A. S. 2020. Brno 2021.

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

<sup>16</sup> Dopravní Podnik Ostrava, Výroční Zpráva 2020. Ostrava 2021.

## 2.3 MPK Wrocław



Slika 3: MPK Wrocław upravlja velikom flotom tramvaja (fotografija Marcin Wolek)

MPK Wrocław utemeljen je 1995. godine i u potpunosti je u vlasništvu grada Wrocława (640 000 stanovnika). MPK je izvršio 22,2 milijuna vozilo-km u 2019. godini. Tender za nabavu električnih autobusa otvoren je 2022. godine, a to će rezultirati isporukom 11 zglobnih autobusa Mercedes e-Citaro G. Hibridni punjači 5x60 kW i 6x60 kW ugradit će se u depou u Ulici Obornicka, zajedno s jednim punjačem velike snage u petlji (400 kW).

## 2.4 MZA Varšava

MZA je najvažniji operater javnog prijevoza u Poljskoj koji zapošljava otprilike 4500 radnika. Vozila MZA-a izvršila su oko 89 milijuna vozilo-km u 2019. godini s 1422 raspoloživa vozila, uključujući 160 električnih autobusa. To stavlja Varšavu na poziciju predvodnika u elektromobilnosti u Poljskoj, s udjelom električne flote na razini od 11 %.



Slika 4: MZA Varšava upravlja najvećom autobusnom flotom u Poljskoj (fotografija Marcin Wolek)

## 2.5 PKT Gdynia

PKT Gdynia gradski je operater trolejbusa koji opslužuje Gdyniju i susjedni grad Sopot. U 2020. godini trolejbusi su obavili cca. 5,3 mil. vozilo-km, a flota se sastojala od gotovo 100 vozila. Nedavno su dvije linije dizelskih autobusa zamijenjene trolejbusima s punjenjem u pokretu. Štoviše, operater neprestano uvodi modele s punjenjem u pokretu. U 2019. godini gotovo 10 % vozilo-km trolejbusa vozilo je bez kontaktne mreže<sup>17</sup>. Taj trend vrlo obećava jer su cijene gorive visoke i nestabilne.



Slika 5: Trolejbus PKT Gdynia u načinu rada punjenja u pokretu u Gdyniji (fotografija Marcin Wolek)

## 2.6 SZKT Szeged



Slika 6: Izmijenjeni trolejbus operatera SZKT u Segedinu [fotografija SZKT Szeged]

Trolejbusima i tramvajima upravlja Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT) koji je u stopostotnom vlasništvu Grada Segedina. To je jedan od četiriju mađarskih gradova s tramvajima i jedan od samo triju koji imaju trolejbusove. Planiranje javnog prijevoza u Segedinu teži daljnjem širenju postojeće električne prijevozne infrastrukture kako bi se pokrilo što više područja lokalnog javnog prijevoza. Sadašnji dizelski autobusi planiraju se zamijeniti u budućnosti. Gornja linijska infrastruktura u Segedinu postoji od 1979. godine i otad se neprestano proširuje.

<sup>17</sup> Wolek M. et. al.: Omogućavanje održivog razvoja urbanog javnog prijevoza: Studija slučaja sustava trolejbusa u Gdyniji i Sopotu (Poljska). „Journal of Cleaner Production” 2021. br. 279



Fotografija Grad Leipzig

## 2.7 Općenite značajke depoa

Općenite su značajke depoa javnog prijevoza sljedeće:

zgrada depoa obično je velika, s velikim vratima koja su često otvorena;

depoi imaju različite razine tehničke opreme i dodatnih prostora (npr., prostor za bojenje);

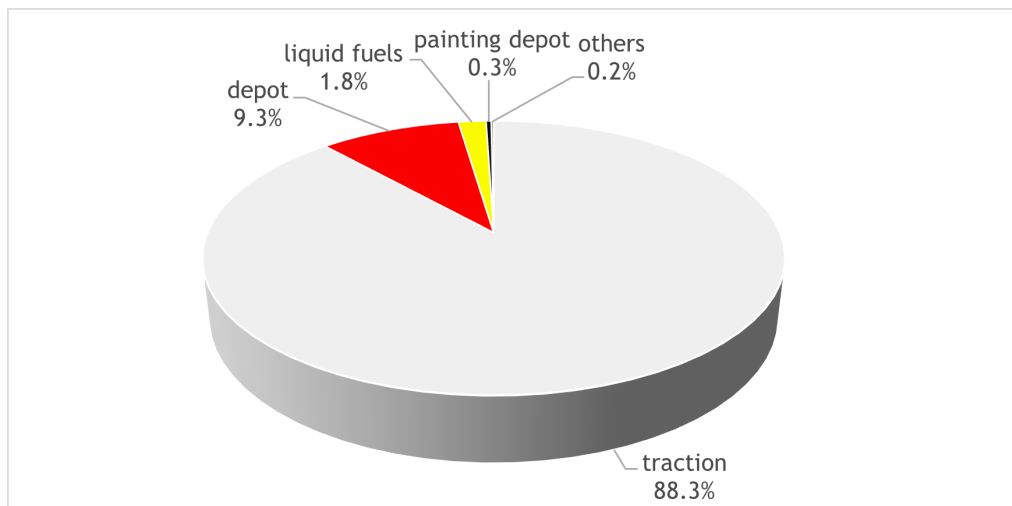
unutar zgrade nalazi se golemi prostor koji je potrebno grijati i osvijetliti;

depoi zapravo neprestano funkcioniraju, tijekom dana i noći uz posebne zahtjeve za udobnost i sigurnost radnika;

sustavi grijanja razlikuju se od depoa do depoa;

sustav napajanja mora se moći jednostavno održavati zbog svega gore navedenoga.

Struktura ukupne potrošnje energije za PKT Gdynia (Poljska) pokazuje da depo troši cca. 9,3 % ukupne energije koju operater troši (uz električnu energiju, gorivo i grijanje). Sama radionica bojenja ima marginalni udio u ukupnoj potrošnji energije (Slika 7).

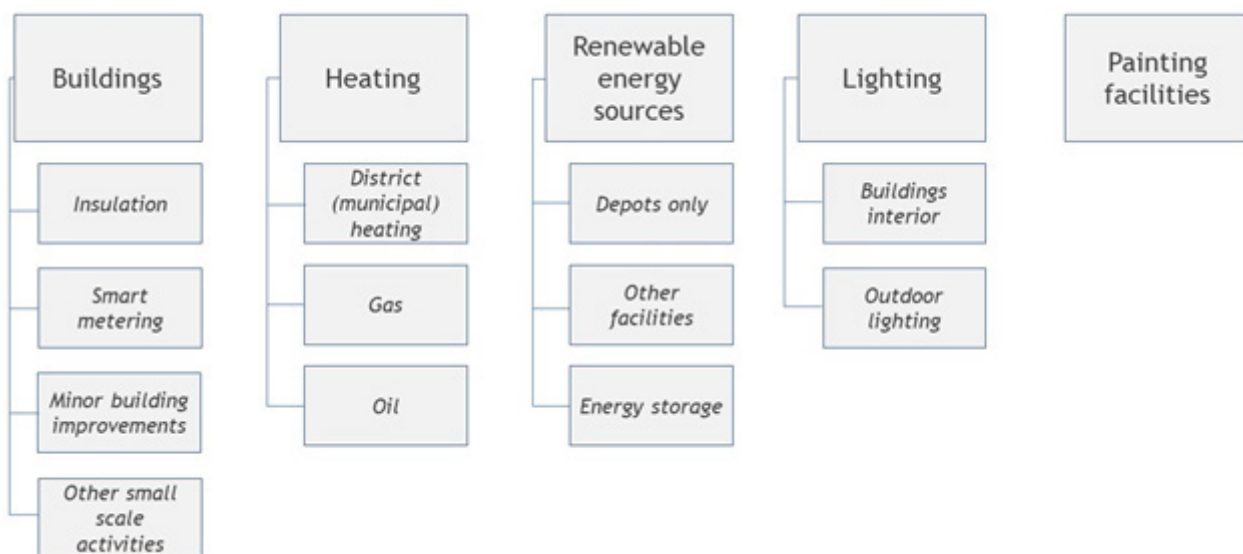


Slika 7: Ukupna potrošnja energije operatera PKT Gdynia u 2020. godinin

*Izvor: na temelju energetske revizije za PKT Gdynia*

### 3. Analiza slučaja upotrebe

Detaljna analiza odabranih studija upotrebe uz podršku razgovora provedenih s relevantnim zainteresiranim stranama omogućila je odabir najčešćih aktivnosti koje dovode do povećanja energetske učinkovitosti. Općenito se sve identificirane aktivnosti mogu podijeliti u nekoliko uobičajenih skupina (Slika 8). Infrastruktura punjenja za vozila koja se nalaze u pojedinačnim depoima isključena je iz analize.



Slika 8: Podjela aktivnosti za veću energetska učinkovitost za depoe javnog prijevoza



## 3.1 Zgrade

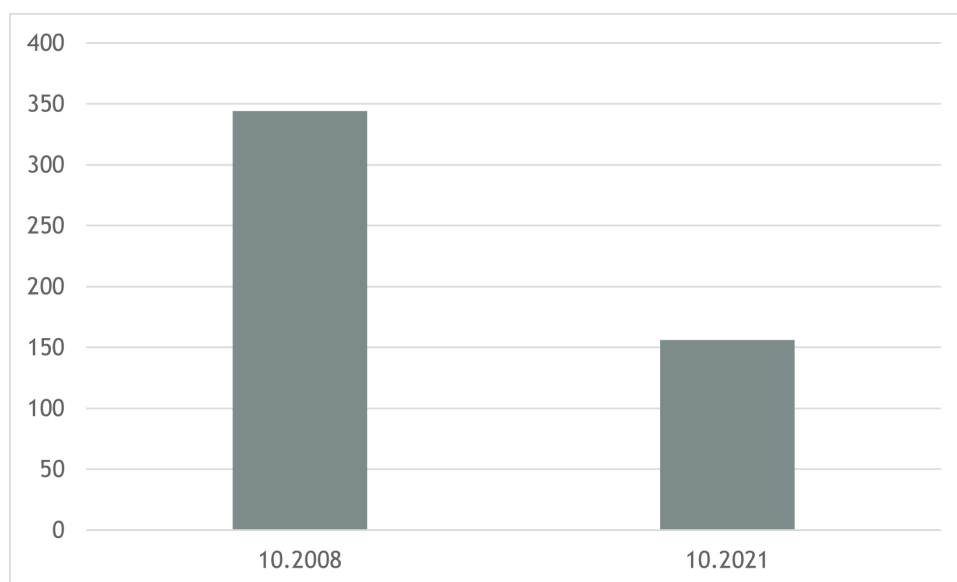
### 3.1.1 Izolacija

Mnogo je zgrada depoa izgrađeno u prošlom stoljeću, neke čak datiraju s početka 20. stoljeća. Stoga postoji raznolikost tehničkih uvjeta koji svaki slučaj čine posebnim i različitim. Sveobuhvatna izolacija zgrada poprilično je uobičajena aktivnost koju prate ostale manje radnje. Na primjer, u Ostravi (Češka) se projekt nadogradnje depoa za trolejbuse temeljio na preporuci za izvedbu izolacije, krovnih struktura, zamjenu krovnih svjetlarnika i rekonstrukcije sustava unutarnje rasvjete. Implementacija gornjih mjera uštedjela bi energiju za grijanje u usporedbi s početnim stanjem za otprilike 37 %.

### 3.1.2 Pametno mjerenje

Svi prostori na raspolaganju DPO Ostrava izmjereni su za potrošnju svih komunalija (električna energija, grijanje, voda). Softver češke tvrtke AYISIS omogućuje nadzor u stvarnom vremenu svih komunalnih usluga na određenom mjestu. Primjerice, tako postoji generiranje profila potrošnje električne energije svakoga sata. Među ostalim, to omogućuje kontrolu temperature unutar zgrada s obzirom na vremenske uvjete u danom trenutku (podaci se dobivaju od vremenske stanice tvrtke).

BMS (Building Management System) ugrađen je u zgradu depoa PKT Gdynia. Tvrtka je u prvoj etapi utvrdila koje komunalne usluge sustav treba pokrivati. U PKT je prednost dana toplinskoj energiji, a razvodni uređaj i 13 grijača zamijenjeno je zajedno s ožičenjem i upravljačkim sustavom. Grijači su povezani sa senzorima temperature u svakoj od tri zone depoa (kontrola, čišćenje, održavanje).



Slika 9: Potrošnja toplinske energije u depou trolejbusa PKT Gdynia u listopadu 2008. i listopadu 2021. [GJ]

*Izvor: na temelju podataka koje je pružio PKT Gdynia sp. z o. o.*

Nakon ugradnje BMS, razlika u potrošnji toplinske energije tijekom zimskih mjeseci bila je oko 200 GJ, što je pretvoreno u uštedu od otprilike 12 000 PLN. Potrošnja toplinske energije u listopadu 2008. iznosila je 344 GJ, a u listopadu 2021. značajno je smanjena na 156 GJ (Slika 9). Sustav podržava vanjski nadzor temperature.

Ovo je omogućilo smanjenje naručene snage, što je rezultiralo uštedama od otprilike 18 000 PLN (3840 EUR) godišnje.

### 3.1.3 Manja poboljšanja zgrada

Zgrada depoa PKT Gdynia (Poljska) osmišljena je sa svjetlarnicama i prozorima za kontaktnu mrežu, što je standardno rješenje za depoe tramvaja i trolejbusa. U depou se nalazi kontrola toplinskog središta kako bi se na najbolji način iskoristila toplotna energija zgrade. Zamjenom izolacijskih slojeva na krovu odmah je poboljšana toplotna izolacija krova.



Slika 10: Depo trolejbusa PKT Gdynia (fotografija Marcin Wolek)

Kada su na depou PKT Gdynia zamijenjeni svjetlarnici, njihovo je površinsko područje povećano. Sada zauzimaju 1/3 područja krova (Slika 11). Novi svjetlarnici imaju i veći vatrootporni standard te veće parametre toplotne izolacije.



Slika 11: Zamijenjeni krovni svjetlarnici na depou PKT Gdynia (fotografija Marcin Wolek)

### 3.1.4 Ostale aktivnosti manjeg opsega

U halama za dnevne usluge zbog posebne je prirode režima rada (uključujući učestalo otvaranje vrata velike površine), potrebno je razmotriti ugradnju uređaja za miješanje zraka. Zagrijani se zrak tijekom hladnih dana diže uvis, sakuplja se ispod krova te je stoga temperatura koju opaža radnik na razini tla niža. Kako bi se temperatura zraka u tim prostorijama ravnomjerno rasporedila, koriste se uređaji za miješanje zraka čiji je glavni zadatak održavati ravnotežu temperature zraka ispod krova i na tlu zgrade. Na ovaj se način mogu smanjiti troškovi grijanja. Takvo je rješenje uspješno implementirano u jednom od depoa MZA Varšava (Poljska).

Toplinska izolacija spojeva ventila i prirubnica za smanjenje gubitaka topline može biti i jeftina mjera s kratkim razdobljem povrata novca. U slučaju MPK Wrocław procijenjeni izdaci za ovu mjeru iznose oko 1 300 PLN s godišnjom uštedom od 4 841 kWh. To donosi povrat nakon manje od dvije godine.

DPMB Brno (Češka) je implementirao ISO 50001, međunarodnu normu za upravljanje energijom. Odredbe norme namijenjene su poboljšanju energetske učinkovitosti poduzeća bez obzira na njihovu veličinu, djelatnost ili broj zaposlenika. DPMB ne treba provoditi energetske revizije zbog implementacije ove norme. Ostale prednosti među ostalim uključuju identificiranje i upravljanje rizicima povezanim s budućom opskrbom energijom, mjerenje i nadzor korištenja energije kako bi se prepoznala područja za poboljšanje učinkovitosti te iskazivanje brige za okoliš kako bi se zadovoljili zahtjevi tendera.

## 3.2 Grijanje

Tri depoa MZA Varšava povezana su s lokalnim grijanjem (Veolia). Jedan depo ima pogon na plin. MZA ima novi depo za bojenje, dovršen prije nekoliko godina, opremljen dvostrukim ventilacijskim sustavom i ekstrakcijom prašine. Obje su trgovine bojom integrirane s energetske sustavom depoa.

Svi depoi MPK Wrocław povezani su s lokalnim grijanjem. Ugradnja toplinskih crpki nije ranije predviđena jer su zgrade sagrađene u različito vrijeme, a ne postoji opravdanje za njihovu rekonstrukciju kako bi se potencijalno ugradile toplinske crpke.

U slučaju SZKT, zgrade tvrtke imaju šaroliku priču. Postoje zgrade stare 100 godina, jedva održavane, nedorasle današnjim standardima, kao i moderne nove zgrade koje ispunjavaju najnovije arhitektonske i energetske zahtjeve. Većina zgrada osmišljena je za svoju predviđenu namjenu, npr. velike radionice u halama, malene kompaktne zgrade stanica i uslužne zgrade, grijane i negrijane zgrade, kao i klimatizirane zgrade.

Stoga je i grijanje zgrada prilično raznoliko. Većina pogonskih hala ima radijacijsko grijanje ili grijanje pomoću termoventilatora. U većim se zgradama koristi centralno grijanje s vrućom vodom, djelomično s kondenzacijskim bojlerima. U starijim i trošnijim malim zgradama koristi se grijanje pojedinačnim plinskim konvektorima, ali postoje i prostorije s električnim grijalicama. Unutarnja opskrba vrućom vodom centralizirana je u područjima depoa za tramvaje i trolejbuse, s odgovarajućim kapacitetom pohrane, dok se u ostalim zgradama većinom nalaze trenutno postavljeni električni generatori vruće vode<sup>18</sup>.

## 3.3 Obnovljivi izvori energije

Varšava (Poljska) je bila prva u Poljskoj koja se opremila autobusima s fotonaponskim panelima na krovovima u velikom opsegu. Paneli omogućuju unapređenja energetske ravnoteže vozila i uštedu goriva do pet posto. Usto, ugradnja solarne energetske stanice na krovu depoa „Woronicza” omogućila je zadovoljavanje potreba uobičajenog funkcioniranja energetske stanice. Energetska učinkovitost povećana je i zamjenom nekoliko stotina svjetiljki postavljenih depoima energetske štedljivim LED svjetlima.

Fotonaponski paneli snage oko 65 kW postavljeni su na halu dnevnog servisa MZA Varšava u ulici Włociańska 52. To je zahtijevalo ispunjavanje nekoliko obaveza. Nakon uvođenja električnih autobusa, potrošnja električne energije na bazi toliko je porasla da de facto nema prodaje energije prema van. Druga ugradnja fotonaponskih panela uključuje depo u ulici Woronicza (74 kW).

Na dva autobusna depoa (tramvajski depo u ulici Powstańców Śląskich i autobusni depo u ulici Obornicka) koji pripadaju MPK Wrocław, posljednjih su godina postavljeni fotonaponski paneli, svaki od oko 50 kW. Zahvaljujući tome, jedna od hala u kojima se, među ostalim, autobusi peru i popravljaju, bit će uvelike samodostatna. Solarna instalacija na njezinu krovu pokrivat će polovicu potreba hale, što će omogućiti uštedu od 30 tisuća PLN godišnje. Trošak ulaganja bio je 212 000 PLN neto (45 211 EUR). MPK procjenjuje da će se novac u obliku energije isplatiti u roku od 8 godina.

Daljnji razvoj fotonaponskih sustava planira se na krovovima zgrada koje pripadaju MPK Wrocław sp. z o.o. Trenutno se na depo u ulici Obornicka (Slika 12) ugrađuje još jedna fotonaponska instalacija od 50 kW.

<sup>18</sup> Energetska revizija za SZKT, Segedin 2019.

Budući da MPK Wrocław nema natkrivena parkirališna područja, fotonaponska energija od instalacija na prostorima operatora neće biti značajna u vučne svrhe.

Dulja stopa povratnog razdoblja postignuta je u kalkulacijama za fotonaponsku farmu za jedan od depoa SZKT Segedin (Mađarska) s planiranim kapacitetom od 150 kW. Godišnja proizvodnja električne energije procjenjuje se na 174 000 kWh. Bez vanjskog sufinanciranja razdoblje povrata novca bila je 12,7 godina, uz 30 % sufinanciranja troškova ulaganja - nešto malo manje od 9 godina. Povećanje cijena energije zbog rata i nestabilnosti čini očekivanu stopu povrata kraćom.



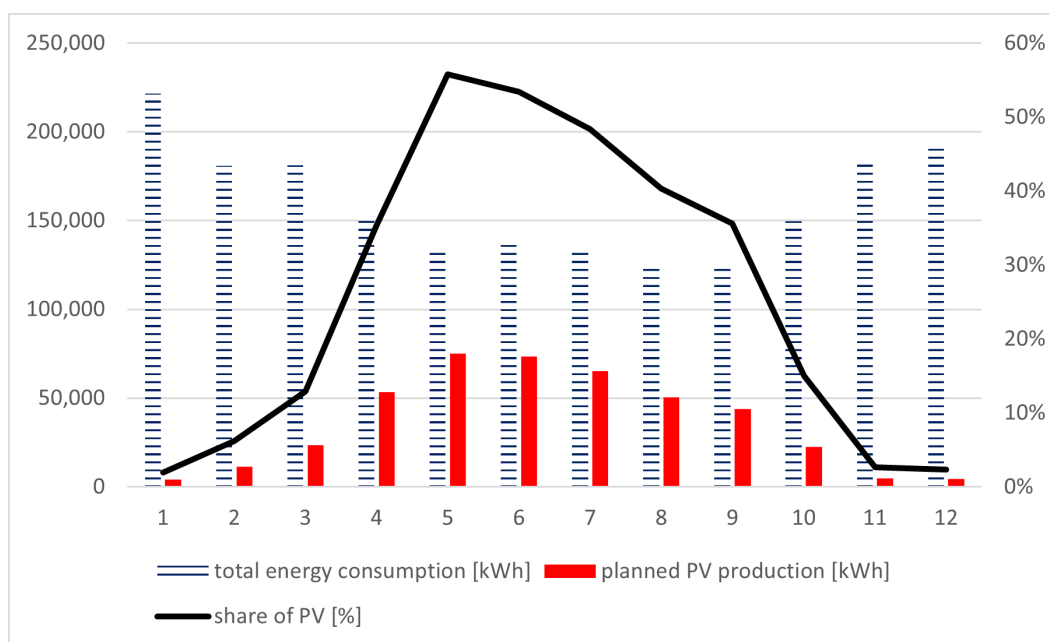
Slika 12: Ugradnja fotonaponskog sustava na krov tramvajskog depoa MPK Wrocław (fotografija Marcin Wolek)

Fotonaponska farma nalazi se na jednom od depoa trolejbusa u središnjem dijelu Brna, ali zakupac (tj. grad) naplaćuje samo naknadu za korištenje infrastrukture za farmu.

PKT Gdynia (Poljska) planira razvoj fotonaponske farme (cca. 500 kW) na krovu svojeg depoa (cca. 5000 m<sup>2</sup>), što bi pokrilo do 5 % energije koju troše trolejbusi. Dodavanje sustava pohrane energije povećalo bi taj udio. Uz korištenje visokoučinkovitih monokristalnih fotonaponskih panela, maksimalni je kapacitet ugradnje utvrđen na 499,8 kWp. Na temelju detaljnih podataka o fotonaponskim instalacijama sa sličnim parametrima, PKT Sp. z o. o. izradio je kalkulacije o prinosu solarne energije. Procijenjeni je godišnji prinos bio: 431 391 kWh/godišnje<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Energetska revizija PKT Gdynia, PKT Gdynia rujan 2021.

Ako se fotonaponska instalacija poveže s trafostanicom Grabówek, omogućit će pokrivanje njezine godišnje potrebe za energijom za više od 22,5 %, iako uz vrlo snažna mjesečna odstupanja (Slika 13). Prosječna godišnja primarna ušteda energije iznosit će 431,39 MWh tj., 37,09 toe/godišnje. Stoga bi moglo biti moguće pokriti cjelokupnu potrošnju električne energije depoa (406,7 MWh). Usto, postoji mogućnost ugradnje panela na ostale prostore koji pripadaju PKT Gdynia, što se može pretvoriti u proizvodnju dodatnih 99,5 MWh<sup>20</sup>.

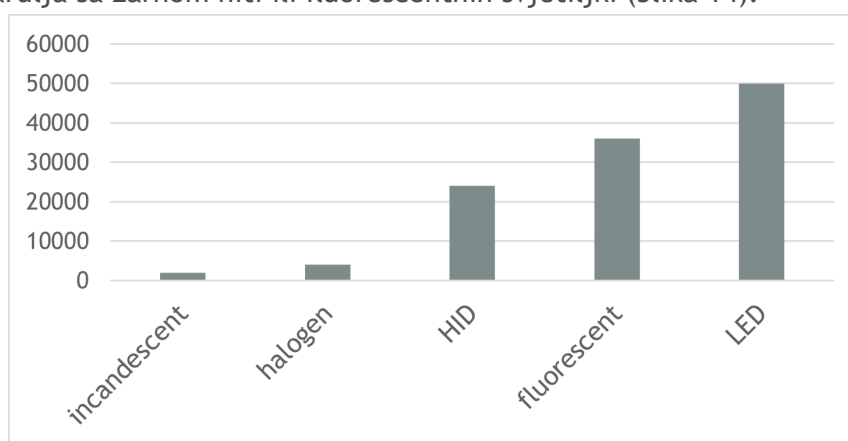


Slika 13: Mjesečna potrošnja energije i planirana energija od fotonaponskih sustava za trafostanicu Grabówek, PKT Gdynia (Poljska)

Izvor: na temelju energetske revizije PKT Gdynia, rujan 2021.

### 3.4 Rasvjeta

Moderne LED svjetiljke ne samo da trebaju manje energije, već je njihov procijenjeni životni vijek mnogo dulji od žarulja sa žarnom niti ili fluorescentnih svjetiljki (Slika 14).



Slika 14: Tipični prosječno procijenjeni životni vijek različitih vrsta svjetiljki [sati]

<sup>20</sup> Energetska revizija PKT Gdynia, PKT Gdynia rujan 2021.

Sveobuhvatna zamjena rasvjetnih tijela donosi brz povrat ulaganja. Mogu se postavljati pojedinačno ili kao dio modernizacije zgrade i projekta izolacije.



Slika 15: Rasvjeta trga ispred hale u MPK Wrocław sp. o. o.

Troškovi nastali tijekom modernizacije rasvjete iznosili su 314 000 PLN. Godišnja ušteda električne energije iznosila je 258 939 kWh, što je rezultiralo uštedom od 112 000 PLN i smanjenjem 186 tona emisija CO<sub>2</sub>. U ovom će se slučaju povratak ulaganja postići nakon manje od 3 godine<sup>21</sup>. Modernizacija rasvjete provedena je i u eksterijeru (Slika 15).

Energetska revizija SZKT Segedin (Mađarska) sadrži slične zaključke. Uz ulaganje u zamjenu rasvjete LED svjetiljkama (5,12 Mio HUF = 13 600 EUR), razdoblje povrata novca bit će manje od 3 godine<sup>22</sup>.

### 3.5 Trgovina bojom

U PKT Gdynia sp. z o.o. trgovina bojom koristi loživo ulje zbog potrebe za povremeno visokom toplinskom energijom. Lokalno grijanje napušteno je u korist tekućeg goriva, kao i zbog visokih troškova napajanja naručivanog od distributera grijanja. Godišnja potrošnja goriva jednaka je cca. 3 440 litara ulja<sup>23</sup>.

MZA Varšava ima novu trgovinu bojom, dovršenu prije nekoliko godina, opremljenu dvostrukim ventilacijskim sustavom i ekstrakcijom prašine. Obje su trgovine bojom integrirane s energetske sustavom depoa.

<sup>21</sup> Energetska revizija za MPK Wrocław sp. z o.o. Privitak 2: Zgrade. Audytel, Wrocław 2021., str. 89 i dalje

<sup>22</sup> Energetska revizija za SZKT, Segedin 2019.

<sup>23</sup> Energetska revizija PKT Gdynia, PKT Gdynia rujna 2021.

## 4. Zaključak

Iako se većina električne energije koristi za vuču, depoi troše i električnu i toplinsku energiju. Optimizacija potrošnje energije u depoima integralni je dio unaprjeđenja energetske i gospodarske učinkovitosti tvrtki javnog prijevoza.

Depoi u tvrtkama javnog prijevoza pružaju vrlo raznoliku sliku. Razlikuju se u godini izgradnje, sredstvu prijevoza koje prometuje, provedenom stupnju modernizacije i razini opreme. Sve to utječe na potrošnju energije i ostale komunalije (npr. vodu).

Pregled odabranih primjera ukazuje na određene pravilnosti u potrazi operatera za načinima unaprjeđenja energetske učinkovitosti prostora.

Među osnovnim je investicijskim aktivnostima vrlo česta modernizacija zgrada kako bi se poboljšali njihovi toplinski parametri. Mjerenje zgrada često prati takve mjere. Može biti potpuno i pokrivati sve komunalije (energija, grijanje i voda) ili se postupno implementirati i ciljati komunalije koje generiraju najveće troškove. Opseg tehničke modernizacije zgrade može uključivati i aktivnosti niskog utjecaja, ali uz poboljšanje udobnosti rada u halama za servis vozila i istovremeno poboljšanje sigurnosti od požara (npr. zamjena i povećanje krovnih svjetlarnika).

Dobar je smjer djelovanja ugradnja fotonaponskih sustava na krovove depoa. Električna energija koja se na ovaj način proizvede najčešće se koristi za potrebe depoa. Ugradnja uređaja za pohranu električne energije trebala bi pratiti ugradnju fotonaponskih panela.

Kao dio veće cjeline, niskobudžetne mjere imaju ključnu ulogu. Iako ne rezultiraju značajnim uštedama za cijelu tvrtku, ulaganja u zamjenu rasvjete imaju kratko razdoblje povrata novca. Može se postupno implementirati, čak i bez ključnih investicijskih resursa.

## 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. br. 199
- Bartłomiejczyk M.: Potencijalna primjena sustava solarne energije za elektrificirane sustave urbanog prijevoza. „Energije” 2018. br. 11 (4)
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: Multiaspect measurement analysis of breaking energy recovery. „Energy Conversion Management” 2016. br. 127
- Cabrane Z., Kim J., Yoo K., Ouassaid M.: Fotonaponski sustavi/akumulatori/superkondenzatori koji se temelje na HESS. Strategija upravljanja energijom i istosmjerna stabilizacija voltaže autobusa. „Solar Energy” 2021. br. 216
- Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (Najnoviji i stručni pregledi za uvođenje energetske učinkovite tehnologije infrastrukture JP.) Pohrana energije u infrastrukturi javnog prijevoza. Redmint, pripremljeno u sklopu projekta EfficienCE, 2022.
- Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimalni dizajn stanice za punjenje fotonaponskog sustava/akumulatora pohrane energije/električnog vozila na temelju više-agentskog algoritma optimizacije rojem čestica. „Održivost” 2019. br. 11 (7) 1973.
- Diab I., Scheurwater B., Saffirio A., Chandra-Mouli G. R., Bauer P.: Postavljanje i kalibracija solarnih fotonaponskih sustava i sustava vjetra u mrežama trolejbusa. „Journal of Cleaner Production” 2022. br. 352
- Vijeće za električna vozila (Electric Vehicle Council). Electric Vehicle Outlook 2020. Izvršni sažetak; Vijeće za električna vozila: Sydney, Australija, 2020.
- Energetska revizija za MPK Wrocław sp. z o.o. Privitak 2: Zgrade. Audytel, Wrocław 2021.
- Energetska revizija PKT Gdynia, PKT Gdynia rujan 2021.
- Energetska revizija za SZKT, Segedin 2019.
- Gao Z. et. al.: Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. „Energy” 2017. br. 122
- Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Misak S., Stýskala V.: Energy recovery effectiveness in trolleybus transport. „Electric Power Systems Research” 2014. br. 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. br. 22 (1)
- Kratz S. et. al.: Expansion of a Trolleybus Infrastructure towards a 100% Renewable Energy Usage. 2021. IEEE 48. konferencija specijalista za fotonaponske sustave (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. br. 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. br. 211
- Trocker F. et. al.: Procjena na razini grada za stacionarnu pohranu energije koja podržava završne stanice za brzo punjenje za različite razine elektrifikacije flote autobusa. „Journal of Energy Storage” 2020. br. 32
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Města Brna, Brno 2021.

Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Ostrava, Ostrava 2021.

Wołek M. et. al.: Omogućavanje održivog razvoja urbanog javnog prijevoza: Studija slučaja sustava trolejbusa u Gdyniji i Sopotu (Poljska). „Journal of Cleaner Production” 2021. br. 279

Wołek M. et. al.: Omogućavanje održivog razvoja urbanog javnog prijevoza: Studija slučaja sustava trolejbusa u Gdyniji i Sopotu (Poljska). „Journal of Cleaner Production” 2021. br. 279

Wołek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformacija prijevoza trolejbusom u Poljskoj. Je li (tehnologija) punjenja u pokretu važna? „Održivost” 2020. br. 12

Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: Pristup uzastopnom upravljanju energijom za komercijalna opterećenja koja sadrže VPP i parkirališna mjesta za električna vozila integrirana sa solarnim fotonaponskim jedinicama i sustavima za pohranu energije [In:]: 2019. 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019.

Internetske poveznice:

<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=EAlalQobChMlw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD\\_BwE](https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlalQobChMlw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE)



# OTKRIJTE VIŠE EfficienCE



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

Obratite nam se



+49 341 123 59 10

Glavni partner: Grad Leipzig, Njemačka



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)



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



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



[@Int\\_EfficienCE](https://twitter.com/Int_EfficienCE)



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

