



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



**NADNÁRODNÁ PRÍRUČKA PRE
ZAVÁDZANIE ENERGETICKY
ÚČINNÝCH TECHNOLOGÍÍ
V INFRAŠTRUKTÚRE
VEREJNEJ DOPRAVY
(1) Energetická účinnosť dep**

IMPRINT

Číslo projektu:

CE1537 EfficienCE Energetická účinnosť infraštruktúry verejnej dopravy v strednej Európe.

Financované:

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

Názov výstupu:

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

Editor:

Konzorcium EfficienCE

Autori:

Marcin Wołek (Technická univerzita v Gdansku)

Grafická úprava a dizajn:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Dátum:

jún 2022

O projekte EfficienCE

EfficienCE bol projekt spolupráce financovaný z programu Interreg CENTRAL EUROPE, ktorého cieľom bolo znížiť uhlíkovú stopu v regióne. Väčšina stredoeurópskych miest disponuje rozsiahlymi systémami verejnej dopravy, ktoré môžu tvoriť základ služieb nízkouhlíkovej mobility. Viac ako 63 % cestujúcich v tomto regióne využíva verejnú dopravu. Opatrenia na zvýšenie energetickej účinnosti a podielu obnoviteľných zdrojov energie v infraštruktúre verejnej dopravy tak môžu mať mimoriadne veľký vplyv na zníženie emisií CO₂.

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

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

Zhrnutie	5
1. Úvod	6
1.1 Prehľad literatúry	6
1.2 Proces výberu prípadovej štúdie	7
2. Príklad použitia	8
2.1 DPMB Brno	8
2.2 DPO Ostrava	8
2.3 MPK Wrocław	9
2.4 MZA Warszawa	9
2.5 PKT Gdynia	10
2.6 SZKT Szeged	10
2.7 Všeobecné charakteristiky dep	11
3. Analýza príkladov použitia	13
3.1 Budovy	14
3.1.1 Zateplovanie	14
3.1.2 Inteligentné meranie	14
3.1.3 Menšie stavebné úpravy	15
3.1.4 Ostatné činnosti malého rozsahu	15
3.2 Vykurovanie	16
3.3 Obnoviteľné zdroje energie	16
3.4 Osvetlenie	18
3.5 Lakovňa	19
4. Závery	20
Odkazy	21

Zhrnutie



Foto: mesto Lipsko

Hoci netraková energia predstavuje zanedbateľné náklady, environmentálny a geopolitický tlak na transformáciu energie prináša argumenty na hľadanie zlepšení v depách.

Depo potrebuje na svoju prevádzku elektrickú energiu, ako aj plyn, olej a diaľkové vykurovanie. Štruktúra závisí od konkrétneho prípadu a využitie závisí od faktorov, ako je technický stav budov, dostupnosť obnoviteľných zdrojov energie, vybavenie (lakovacie zariadenia, osvetlenie), ako aj postupy zavedené na úsporu spotreby energie.

Preskúmanie literatúry prinieslo len čiastočnú odpoveď na tému energetickej účinnosti dep. Väčšina prác sa zameriavala na využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Problematika energetickej a tepelnej účinnosti technických zariadení prevádzkovateľov verejnej dopravy sa v literatúre takmer vôbec nespomína.

Na základe vybraných šiestich prípadových štúdií rôznych prevádzkovateľov verejnej dopravy zo strednej Európy bola vykonaná podrobná analýza. Ukázalo sa, že existuje mnoho rôznych činností zameraných na zvyšovanie energetickej účinnosti dep. Ich rozsah závisí nielen od veľkosti prevádzkovateľa, ale aj od miestnych podmienok a vnútroštátneho právneho rámca.

Tieto opatrenia boli zoskupené do piatich hlavných skupín vrátane budov, vykurovania, obnoviteľných zdrojov energie, osvetlenia a lakovní, pretože predstavujú veľmi špecifickú oblasť každodenného využívania.

Optimalizácia využívania energie v depe je neoddeliteľnou súčasťou zlepšovania energetickej a ekonomickej účinnosti podnikov verejnej dopravy. Je to dôležité najmä v čase, keď ceny fosílnych palív a elektrickej energie prudko rastú a sú nepredvídateľné ako nikdy predtým.

1. Úvod

Energetická účinnosť dep bola pre väčšinu prevádzkovateľov dlhé roky sekundárnou alebo terciárnou výzvou. V posledných rokoch sme boli svedkami hromadného nákupu moderných koľajových vozidiel pod vlajkou elektrifikácie. V súčasnosti sa v mestskej doprave na celom svete používa viac ako pol milióna elektrických vozidiel a rozsah elektrifikácie sa zvyšuje. Odhaduje sa, že do roku 2040 môžu elektrické autobusy tvoriť viac ako 2/3 vozového parku mestskej dopravy na celom svete. Súbežným trendom je rastúca úloha vodíkových vozidiel, ktoré môžu v roku 2040 predstavovať 6 % vozidiel mestskej dopravy¹. Hlavný dôraz sa kládol na systémy skladovania energie vo vozidlách. Z troch dostupných technológií (batéria, superkondenzátor, zotrvačnik)² sa batéria javí ako vedúca technológia a za ňou nasledujú superkondenzátory a zotrvačníky. Technológia nabíjania v pohybe sa považuje za novú možnosť, ktorú možno používať v trolejbusoch, a to aj vzhľadom na jej technologickú vyspelosť³.

Hoci netrakčná energia predstavuje zanedbateľné náklady⁴, environmentálny a geopolitický tlak na transformáciu energie prináša argumenty na hľadanie zlepšení v depách.

Depo potrebuje na svoju prevádzku elektrickú energiu, ako aj plyn, olej a diaľkové vykurovanie. Štruktúra závisí od prípadu a využitie závisí od takých faktorov, ako je technický stav budov, dostupnosť obnoviteľných zdrojov energie, vybavenie (lakovacie zariadenia, osvetlenie), ako aj postupy zavedené na úsporu spotreby energie.

1.1 Prehľad literatúry

V súčasnosti sa technologický pokrok zameriava predovšetkým na skladovanie elektrickej energie v rôznych generáciách batérií⁵.

V článku M. Bartłomiejczyka bol navrhnutý prvý fotovoltický systém na zásobovanie trolejbusového systému v Gdyni (Poľsko) energiou. Nerovnomerné zaťaženie trakčného napájania v dôsledku rozdielneho slnečného žiarenia a nerovnomerného príjmu energie z trolejbusov (pretiaženie ciest) umožňuje využiť viac ako 70 % energie, ktorú možno vyrobiť z fotovoltickej inštalácie s výkonom 500 kW. Zavedenie obojstranného napájania zvyšuje schopnosť využívať energiu. Optimálny výkon solárneho systému do značnej miery závisí od miestnej štruktúry energetického systému a od dopravných podmienok. Pre veľké rozvodne sa odporúča vyvinúť fotovoltický systém s výkonom 400 až 500 kW, pre menšie 100 až 150 kW. V prípade fotovoltického systému pripojenému k trakčnému vedeniu sa v slabých miestach odporúča maximálny výkon do 50 kW⁶.

„Nákladovo efektívny systém riadenia energie“ analyzovaný v inom dokumente uvažoval o energii vyrobenej z fotovoltických článkov s podporou systému skladovania energie. Hlavnými prekážkami takéhoto riešenia boli vysoké počiatočné kapitálové náklady, špecifické technické požiadavky (t. j. potrebná veľká plocha, príslušná konštrukcia) a prerušovanosť, ktorá bola zdôraznená ako hlavný problém fotovoltického systému. Na druhej strane, „efektívna integrácia a riadenie energie z fotovoltiky a ESS v ekosystéme nabíjania v depách môže viesť k zmierneniu vplyvu prerušovanej prevádzky“⁷, zníženiu zaťaženia distribučnej siete počas špičky⁸ a zníženiu nákladov na energiu pre vlastníka depa⁹.

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

2 Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (Najnovšie poznatky a partnerské hodnotenie v oblasti zavádzania energeticky účinných technológií PT infraštruktúry.) Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, pripravené v rámci projektu EfficienCE, 2022

3 Wołek M. a kol.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Časopis „Journal of Cleaner Production“ 2021 č. 279

4 Napríklad netrakčná energia nakúpená v roku 2017 jedným z prevádzkovateľov verejnej dopravy v Poľsku predstavovala približne 5 % celkovej nakúpenej energie. Napriek tomu mala hodnotu viac ako 1 mil. zlotých (cca 213 tis. EUR k 12. 5. 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 č. 12

6 Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. „Energies“ 2018 č. 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 č. 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 č. 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 základe simulácie vykonanej pre Šanghaj sa preukázalo, že fotovoltický batériový systém skladovania energie je nákladovo najefektívnejším riešením¹⁰. Na druhej strane, na základe prípadovej štúdie v Singapure bola vypracovaná analýza na zníženie zmien spotreby počas špičky na koncových staniciach autobusov vybavených rýchlonabíjacími stanicami s podporou stacionárnych zásobníkov energie. Štúdia ukázala, že potenciál znižovania nákladov sa znižuje so zvyšujúcou sa úrovňou elektrifikácie autobusových liniek¹¹. Ďalšia štúdia poukázala na hybridizáciu systémov skladovania energie pomocou batérií a superkondenzátorov, ktoré možno použiť v rôznych systémoch obnoviteľnej energie, najmä vo fotovoltických systémoch¹².

V nedávnom dokumente, ktorý vychádzal z výskumu uskutočnenom v rámci projektu TROLLEY 2.0, bol diagnostikovaný nesúlad medzi výrobou energie z obnoviteľných zdrojov a nepravidelnými autobusovými grafikonmi. Výsledkom je značný prebytok energie, ktorý spôsobuje, že celý systém je z ekonomického hľadiska nerealizovateľný. Na základe prípadovej štúdie mesta Arnhem (jediné mesto v Holandsku, ktoré prevádzkuje trolejbusový systém) bola vypracovaná štúdia zahŕňajúca fotovoltickú a veternú energiu. Najlepším odporúčaním bolo agregovať výrobu z celej siete. Najlepší výsledok sa dosiahol pri použití hybridného riešenia (53 % fotovoltika a 47 % vietor), ktoré bolo podporené inštaláciou systému skladovania energie. Je to preto, že výroba veternej energie lepšie kopíruje trend dopytu po autobusoch na ročnej báze¹³.

Preskúmanie literatúry prinieslo len čiastočnú odpoveď na tému energetickej účinnosti dep. Väčšina prác sa zameriavala na využívanie obnoviteľných zdrojov energie. Problematika energetickej a tepelnej účinnosti technických zariadení prevádzkovateľov verejnej dopravy sa v literatúre takmer vôbec nespomína.

1.2 Proces výberu prípadovej štúdie

Metóda prípadovej štúdie bola zvolená na vyplnenie medzier vo výskume identifikovaných v rámci prehľadu literatúry. Výber konkrétnych prípadových štúdií sa uskutočnil podľa veľkosti mesta, veľkosti prevádzkovateľa, rôznych dopravných prostriedkov a pokroku vo využívaní obnoviteľných zdrojov energie. V tabuľke 1 sú uvedené vybrané prípadové štúdie na ďalšiu analýzu. Štúdia sa zamerala na prevádzkovateľov zo strednej Európy - podniky, a nie na celé systémy verejnej dopravy. To umožnilo väčšiu presnosť pri získavaní údajov a ďalší výskum vo forme individuálnych rozhovorov s príslušnými zástupcami prevádzkovateľov.

Tabuľka 1. Hlavné charakteristiky prípadových štúdií vybraných na analýzu

Prevádzko- vateľ	Krajina	Autobusy	Trolejbusy	Elek- tričky	Dodávanie energie [mil. vozokm]	Fotovol- tika
DPMB Brno	Česká republika	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Česká republika	298	68	239	30,7	N
MPK Wroclaw	Poľsko	328	0	285	22,2	Á
MZA Warszawa	Poľsko	1422	0	0	89	Á
PKT Gdynia	Poľsko	0	100	0	5,3	P
SZKT Szeged	Maďarsko	0	61	43	Žiadne údaje	P

Á – áno, N – nie, P – plánované

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 č. 11 (7) 1973.

11 Trocker F. a kol.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. „Journal of Energy Storage“ 2020 č. 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 č. 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 č. 352

2. Prípád použitia

2.1 DPMB Brno

Jediným vlastníkom DPMB je mesto Brno. Ročný počet jazd v roku 2020 prekročil 272 miliónov ciest, pričom v porovnaní s rokom 2019 klesol o 25 %¹⁴. Celkovo elektrická trakcia v roku 2020 zabezpečovala 52 % služieb verejnej dopravy v Brne. DPMB plánuje rozvoj subsystém trolejbusovej dopravy, pričom bude viac využívať výhody nabíjania v pohybe¹⁵.



Obrázok 1: Trolejbus Škoda Solaris v dvojposchodovom trolejbusovom depe v Brne (foto: Marcin Wolek)

2.2 DPO Ostrava

Dopravní podnik Ostrava a.s. je prevádzkovateľom verejnej dopravy v Ostrave a je vo vlastníctve mesta Ostrava. DPO zrealizoval 30,7 mil. vozokilometrov. Celkovo v roku 2020 elektrická trakcia zabezpečovala 46 % služieb verejnej dopravy v Ostrave.¹⁶ Od roku 2022 sa však bude zvyšovať vzhľadom na očakávané zavedenie elektrických autobusov na batérie. Okrem toho sa v Ostrave v depe Hranečník plánuje vybudovanie vodíkovej čerpacej stanice.



Obrázok 2: Trolejbusový systém v Ostrave obsluhuje časť mesta a má 10-percentný podiel na celkových službách verejnej dopravy (foto: Marcin Wolek)

¹⁴ Výročná 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, Výročná zpráva 2020. Ostrava 2021

2.3 MPK Wrocław



Obrázok 3: Spoločnosť MPK Wrocław prevádzkuje veľký vozový park električiek (foto: Marcin Wolek)

Spoločnosť MPK Wrocław bola založená v roku 1995 a je v úplnom vlastníctve mesta Wrocław (640 000 obyvateľov). MPK v roku 2019 najazdila 22,2 milióna vozokilometrov. V roku 2022 bola vyhlásená verejná súťaž na dodávku elektrických autobusov, v rámci ktorej bude dodaných 11 kĺbových autobusov Mercedes e-Citaro G. V depe na Obornickej ulici budú nainštalované hybridné nabíjačky $5 \times 60 \text{ kW}$ a $6 \times 60 \text{ kW}$, ako aj jedna vysokovýkonná nabíjačka na slučke (400 kW).

2.4 MZA Warszawa

Spoločnosť MZA je najvýznamnejším prevádzkovateľom verejnej dopravy v Poľsku, ktorý zamestnáva približne 4 500 zamestnancov. Vozidlá MZA v roku 2019 najazdili približne 89 miliónov vozokilometrov, pričom spoločnosť mala k dispozícii 1 422 vozidiel vrátane 160 elektrických autobusov. Varšava sa tak dostala na pozíciu lídra v oblasti elektromobility v Poľsku s podielom elektrického vozového parku na úrovni 11 %.



Obrázok 4: Spoločnosť MZA Warszawa prevádzkuje najväčší autobusový park v Poľsku (foto: Marcin Wolek)

2.5 PKT Gdynia

Spoločnosť PKT Gdynia je mestský prevádzkovateľ trolejbusovej dopravy v Gdyni a v susednom meste Sopot. V roku 2020 najazdili trolejbusy približne 5,3 mil. vozokilometrov, pričom vozový park zahŕňal takmer 100 vozidiel. Nedávno boli dve dieselové autobusové linky nahradené trolejbusmi s nabíjaním v pohybe. Okrem toho prevádzkovateľ neustále zavádza model nabíjania v pohybe. V roku 2019 bolo takmer 10 % trolejbusových vozokilometrov najazdených bez trolejového vedenia¹⁷. Tento trend je veľmi sľubný, keďže ceny ropy sú vysoké a nestabilné.



Obrázok 5: Trolejbus spoločnosti PKT Gdynia s režimom nabíjania v pohybe v Gdyni (foto: Marcin Wolek)

2.6 SZKT Szeged



Obrázok 6: Prestavaný trolejbus spoločnosti SZKT v Szegede [Foto: SZKT Szeged]

Trolejbusy a električky prevádzkuje spoločnosť Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT), ktorej 100-percentným vlastníkom je mesto Szeged. Je jedným zo štyroch maďarských miest s električkami a jedným z troch, ktoré prevádzkujú trolejbusy. Cieľom plánovania verejnej dopravy v Szegede je ďalej rozšíriť existujúcu infraštruktúru elektrickej dopravy tak, aby pokrývala čo najviac oblastí miestnej verejnej dopravy. Súčasné dieselové autobusy sa majú v budúcnosti nahradiť. Infraštruktúra nadzemného vedenia v Szegede existuje od roku 1979 a odvtedy sa neustále rozširuje.

¹⁷ Wolek M. a kol.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Časopis „Journal of Cleaner Production“ 2021 č. 279



Foto: mesto Lipsko

2.7 Všeobecné charakteristiky dep

Všeobecné charakteristiky dep verejnej dopravy sú nasledovné:

budova depa je zvyčajne veľká, s vysokými bránami, ktoré sa často otvárajú;

depá majú rôznu úroveň technického vybavenia a ďalších zariadení (napr. lakovňa);

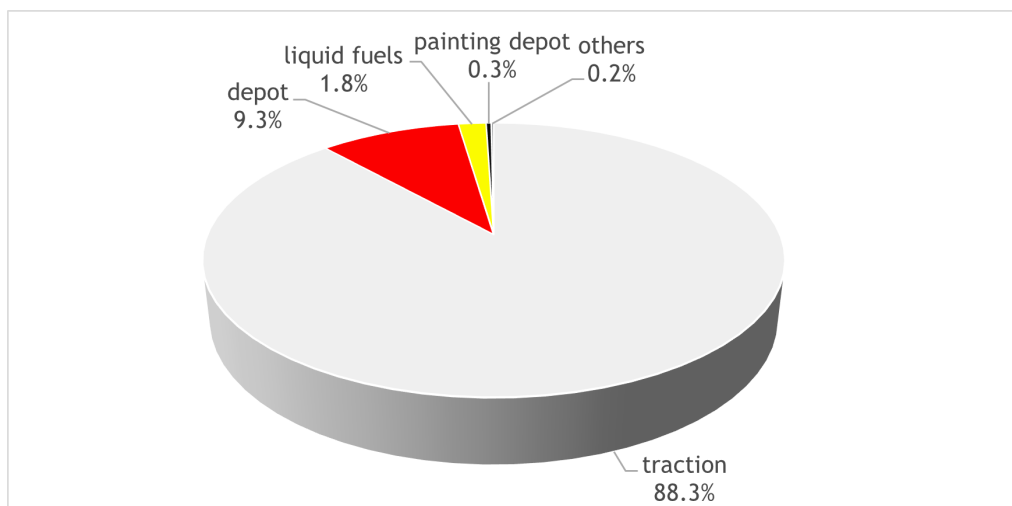
vo vnútri budovy je veľký priestor na vykurovanie a vysoké požiadavky na osvetlenie;

depá pracujú prakticky nepretržite, cez deň aj v noci, pričom osobitné požiadavky sa kladú na pohodlie a bezpečnosť zamestnancov;

vykurovacie systémy sa v jednotlivých depách líšia;

energetický systém musí byť z predtým uvedených dôvodov ľahko udržiavateľný.

Štruktúra celkovej spotreby energie v PKT Gdynia (Poľsko) ukazuje, že depo spotrebuje približne 9,3 % celkovej energie, ktorú využíva prevádzkovateľ (elektrická energia, palivá a vykurovanie). Samotná lakovňa má na celkovej spotrebe energie len okrajový podiel (obr. 7).

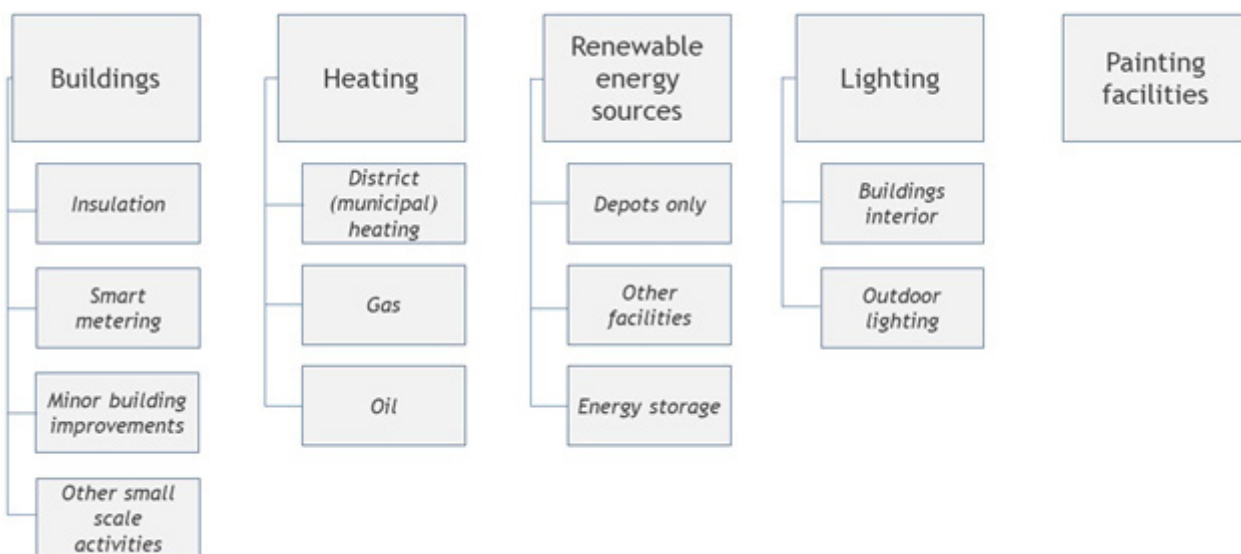


Obrázok 7: Celková spotreba energie v PKT Gdynia v roku 2020

Zdroj: energetický audit spoločnosti PKT Gdynia

3. Analýza príkladov použitia

Dôkladná analýza vybraných príkladov použitia podporená rozhovormi s príslušnými zainteresovanými stranami umožnila vybrať najbežnejšie činnosti, ktoré vedú k zvýšeniu energetickej účinnosti. Vo všeobecnosti možno všetky identifikované činnosti zoskupiť do niekoľkých spoločných skupín (obr. 8). Infraštruktúra na nabíjanie vozidiel umiestnených v konkrétnych depách bola z analýzy vylúčená.



Obrázok 8: Zoskupenie činností pre vyššiu energetickú účinnosť dep verejnej dopravy



Foto: Rupprecht Consult

3.1 Budovy

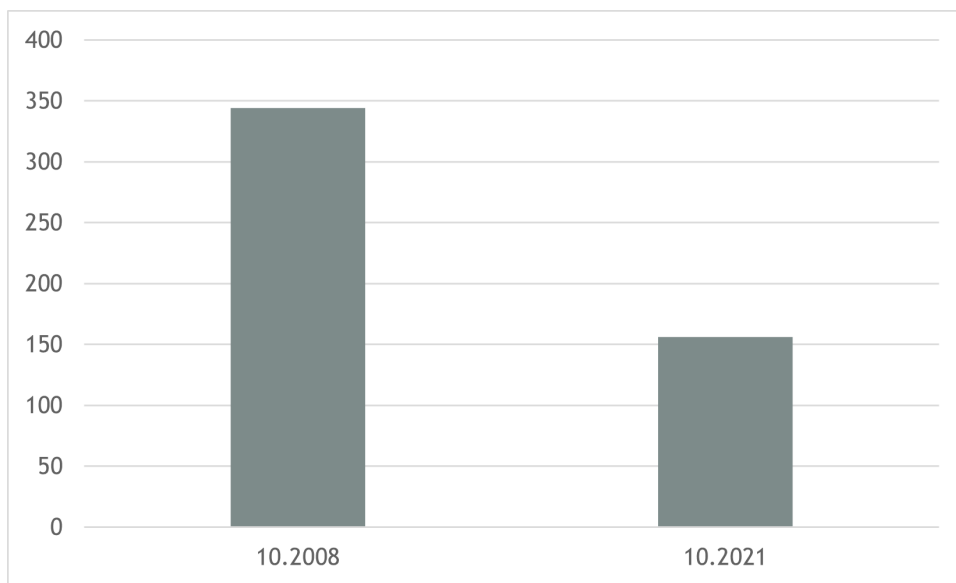
3.1.1 Zatepl'ovanie

Mnohé budovy dep boli postavené v minulom storočí, niektoré pochádzajú dokonca zo začiatku 20. storočia. Z tohto dôvodu sa stretávame s rôznymi technickými podmienkami, ktoré robia každý prípad špecifickým a odlišným. Komplexné zatepl'ovanie budov je pomerne bežnou činnosťou podporovanou opatreniami malého rozsahu. Napríklad v Ostrave (Česká republika) bol projekt modernizácie trolejbusového depa založený na odporúčaní vykonať zateplenie, zrekonštruovať strešnú konštrukciu, vymeniť strešné okná a zrekonštruovať systém osvetlenia interiéru. V porovnaní s pôvodným stavom by realizácia uvedených opatrení viedla približne k 37-percentnej úspore energie na vykurovanie.

3.1.2 Inteligentné meranie

Vo všetkých objektoch, ktoré má DPO Ostrava k dispozícii, sa meria spotreba všetkých médií (elektrina, teplo, voda). Softvér českej spoločnosti AYISIS umožňuje monitorovať všetky inžinierske siete v reálnom čase na konkrétnom mieste. Ide napríklad o generovanie hodinových profilov spotreby elektrickej energie. Okrem iného umožňuje regulovať teplotu v budovách s ohľadom na poveternostné podmienky v danom okamihu (údaje sa získavajú z meteorologickej stanice spoločnosti).

V budove depa spoločnosti PKT Gdynia bol nainštalovaný systém riadenia budov (BMS). Spoločnosť v prvej fáze určila, ktoré služby by mal systém pokrývať. Spoločnosť PKT uprednostnila tepelnú energiu a vymenila rozvádzač a 13 vykurovacích telies spolu s elektroinštaláciou a radiacím systémom. Ohrievače sú prepojené so snímačmi teploty vo všetkých troch zónach depa (kontrola, čistenie, údržba).



Obrázok 9: Spotreba tepla v trolejbusovom depe PKT Gdynia v októbri 2008 a októbri 2021 [GJ]

Zdroj: údaje poskytnuté spoločnosťou PKT Gdynia sp. z o. o.

Po zavedení systému riadenia budov bol rozdiel v spotrebe tepla počas zimných mesiacov približne 200 GJ, čo predstavuje úsporu približne 12 000 PLN. Spotreba tepla v októbri 2008 predstavovala 344 GJ a v októbri 2021 sa výrazne znížila na 156 GJ (obr. 9). Systém je podporovaný externým monitorovaním teploty.

Umožnilo to aj zníženie objednanej energie, čo prinieslo úsporu približne 18 000 PLN (3 840 EUR) ročne.

3.1.3 Menšie stavebné úpravy

Budova depa spoločnosti PKT Gdynia (Poľsko) bola navrhnutá so strešnými oknami a oknami pre trakčné vedenie, čo je štandardné riešenie pre depá električiek a trolejbusov. V depe sa nachádza regulácia tepelného centra, aby sa čo najlepšie využila tepelná energia budovy. Výmenou izolačných vrstiev na streche sa okamžite zlepšila tepelná izolácia strechy.



Obrázok 10: Trolejbusové depo spoločnosti PKT Gdynia (foto: Marcin Wolek)

Pri výmene strešných okien v depe PKT Gdynia sa zväčšila ich plocha. Teraz zaberajú 1/3 plochy strechy (obr. 11). Nové strešné okná majú aj vyššiu normu požiarnej odolnosti a vyššie tepelnoizolačné parametre.



Obrázok 11: Vymenené strešné okná v depe spoločnosti PKT Gdynia (foto: Marcin Wolek)

3.1.4 Ostatné činnosti malého rozsahu

V halách s dennou prevádzkou by sa vzhľadom na špecifický charakter ich prevádzkového režimu (vrátane častého otvárania dverí s veľkou plochou) mala zväžiť inštalácia zariadení na zmiešavanie vzduchu (odstrediviek). V chladných dňoch stúpa ohriaty vzduch nahor, zhromažďuje sa pod strechou, a preto je teplota, ktorú pracovník vníma na úrovni zeme, nižšia. Na rovnomerné rozloženie teploty vzduchu v týchto miestnostiach sa používajú zariadenia na zmiešavanie vzduchu, ktorých hlavnou úlohou je udržiavať rovnováhu teploty vzduchu pod strechou a na zemi budovy. Týmto spôsobom možno znížiť náklady na vykurovanie. Takéto riešenie bolo úspešne zavedené v jednom z dep spoločnosti MZA Warszawa (Poľsko).

Tepelná izolácia ventilov a prírubových spojov na zníženie tepelných strát môže byť tiež lacným opatrením s krátkou dobou návratnosti. V prípade spoločnosti MPK Wrocław predstavujú odhadované výdavky na toto meranie približne 1 300 PLN, pričom ročné úspory predstavujú 4 841 kWh. Návratnosť sa tak dosiahne po menej ako dvoch rokoch.

Spoločnosť DPMB Brno (Česká republika) zaviedla ISO 50001, medzinárodnú normu týkajúcu sa systému energetického manažérstva. Cieľom ustanovení normy je zlepšiť energetickú účinnosť podnikov bez ohľadu na ich veľkosť, odvetvie alebo počet zamestnancov. Po zavedení tejto normy nemusí spoločnosť DPMB vykonávať energetický audit. Medzi ďalšie výhody patrí okrem iného identifikácia a riadenie rizík spojených s budúcimi dodávkami energie, meranie a monitorovanie spotreby energie s cieľom identifikovať oblasti, v ktorých je potrebné zlepšiť účinnosť, a preukázanie starostlivosti o životné prostredie s cieľom splniť požiadavky verejnej súťaže.

3.2 Vykurovanie

Tri depá spoločnosti MZA Warsaw sú napojené na diaľkové vykurovanie (Veolia). Jedno depo je napojené na plynové palivo. Spoločnosť MZA disponuje novou lakovňou, ktorá bola dokončená pred niekoľkými rokmi. Je vybavená dvojitém ventilačným systémom a odsávaním prachu. Obe lakovne sú integrované s energetickým systémom.

Všetky depá spoločnosti MPK Wrocław sú napojené na diaľkové vykurovanie. S inštaláciou tepelných čerpadiel sa v dohľadnom čase nepočítalo, pretože budovy boli postavené v rôznych obdobiach a ich rekonštrukcia na prípadnú inštaláciu tepelných čerpadiel nemá opodstatnenie.

Budovy spoločnosti SZKT sú rôznorodé. Spoločnosť disponuje 100-ročnými budovami, ktoré sa takmer neudržiavajú a už nezodpovedajú súčasným normám, ako aj modernými novostavbami, ktoré spĺňajú najnovšie architektonické a energetické požiadavky. Väčšina budov je navrhnutá na svoj účel, t. j. veľké haly s dielňami, malé kompaktné staničné budovy a servisné budovy, vykurované a nevykurované budovy, ako aj klimatizované budovy.

Preto je aj vykurovanie budov pomerne rôznorodé. Väčšina hál je vykurovaná sálavým alebo termoventilátorovým vykurovaním. Väčšie budovy sú vykurované teplovodným ústredným kúrením, čiastočne s kondenzačnými kotlami. V starších a schátraných malých budovách sa používa individuálne vykurovanie plynovými konvektormi, ale sú tu aj miestnosti s elektrickými ohrievačmi. Zásobovanie teplou úžitkovou vodou je centralizované v priestoroch depa električiek a trolejbusov s dostatočnou kapacitou zásobníkov, zatiaľ čo v ostatných budovách sú väčšinou elektrické prietokové generátory teplej vody¹⁸.

3.3 Obnoviteľné zdroje energie

Varšava (Poľsko) ako prvé mesto v Poľsku vybavila svoje autobusy fotovoltickými panelmi na strechách vo veľkom meradle. Umožňujú zlepšiť energetickú bilanciu vozidiel a ušetriť až päť percent paliva. Okrem toho inštalácia solárnej elektrárne na streche depa „Woronicza“ umožnila pokryť potreby bežnej prevádzky závodu. Energetická účinnosť sa zvyšuje aj výmenou niekoľkých stoviek stĺpov svietidiel namontovaných na depách za energeticky úsporné LED diódy.

Fotovoltické panely s výkonom približne 65 kW boli nainštalované na hale denných liniek MZA Warszawa na ulici Włociańska 52. Vyžadovalo si to však splnenie niekoľkých povinností. Po zavedení elektrických autobusov sa spotreba elektrickej energie na základni zvýšila natolko, že de facto nedochádza k predaju energie smerom von. Ďalšie fotovoltické zariadenie bolo nainštalované na budove depa na ulici Woronicza (74 kW).

Na dvoch autobusových depách (depo električiek na ulici Powstańców Śląskich a autobusové depo na ulici Obornicka) patriacich spoločnosti MPK Wrocław boli v posledných rokoch nainštalované fotovoltické zariadenia s výkonom približne 50 kW na zariadenie. Vďaka tomu bude jedna z hál, v ktorej sa okrem iného umývajú a opravujú autobusy, do značnej miery sebestačná. Solárna inštalácia na streche pokryje polovicu spotreby haly, čo umožní ušetriť 30 tisíc PLN ročne. Investičné náklady boli 212 000 PLN netto (45 211 EUR). Spoločnosť MPK odhaduje, že investícia sa vráti v podobe elektrickej energie do 8 rokov.

¹⁸ Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

Na všetkých strechách budov patriacich spoločnosti MPK Wrocław sp. z o.o. sa plánuje ďalší rozvoj fotovoltiky. V súčasnosti sa buduje ďalšie fotovoltická inštalácia s výkonom 50 kW v depe na Obornickej ulici (obr. 12).

Keďže spoločnosť MPK Wrocław nemá kryté parkovacie plochy, fotovoltická energia zo zariadení v priestoroch prevádzkovateľa nebude mať pre trakčné účely význam.

Dlhšia doba návratnosti bola dosiahnutá vo výpočtoch pre fotovoltickú farmu pre jedno z dep spoločnosti SZKT Szeged (Maďarsko) s plánovaným výkonom 150 kW. Ročná výroba elektrickej energie sa odhaduje na 174 000 kWh. Bez externého spolufinancovania bola doba návratnosti 12,7 roka, avšak pri 30 % spolufinancovaní investičných nákladov necelých 9 rokov. Zvýšenie cien energií v dôsledku vojny a nestability skracaie očakávanú mieru návratnosti.



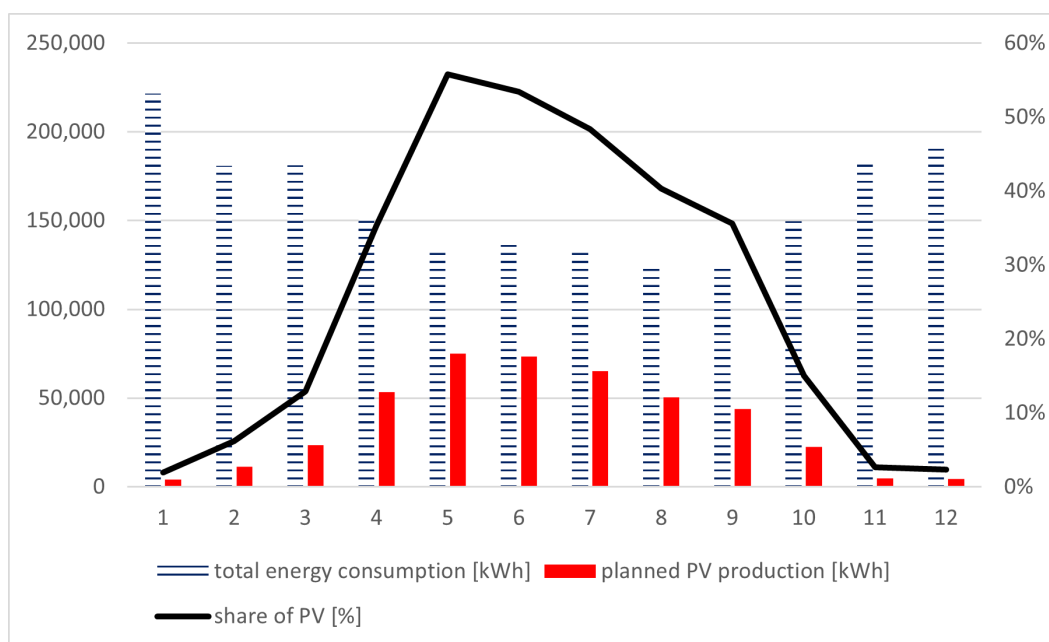
Obrázok 12: Fotovoltická inštalácia na streche depa električiek MPK Wrocław (foto: Marcin Wolek)

V jednom z trolejbusových dep v centrálnej časti Brna sa nachádza fotovoltická farma, ale nájomca (t. j. mesto) si účtuje len poplatok za používanie infraštruktúry pre farmu.

Spoločnosť PKT Gdynia (Poľsko) plánuje vybudovať fotovoltickú farmu (cca 500 kW) na streche svojho depa (cca 5 000 m²), ktorá by pokryla až 5 % energie spotrebovanej trolejbusmi. Pridaním systému skladovania energie by sa tento podiel ešte zvýšil. Pri použití monokryštalických fotovoltických panelov s vysokou účinnosťou bol maximálny výkon zariadenia stanovený na 499,8 kWp. Na základe podrobných údajov získaných z fotovoltického zariadenia s podobnými parametrami spoločnosť PKT Sp. z o. o. vykonala výpočty výnosu slnečnej energie. Odhadovaný ročný výnos bol: 431 391 kWh/rok¹⁹.

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

Za predpokladu, že fotovoltické zariadenie bude pripojené k rozvodni Grabówek, bude schopné pokryť svoju ročnú potrebu energie na viac ako 22,5 %, aj keď bude dochádzať k veľmi výrazným mesačným odchýlkam (obr. 13). Priemerná ročná úspora primárnej energie bude 431,39 MWh, t. j. 37,09 toe/rok. Týmto spôsobom by teda bolo možné pokryť celú spotrebu elektrickej energie depa (406,7 MWh). Okrem toho existuje možnosť nainštalovať panely na ďalšie zariadenia patriace spoločnosti PKT Gdynia, čo by mohlo znamenať výrobu ďalších 99,5 MWh²⁰.

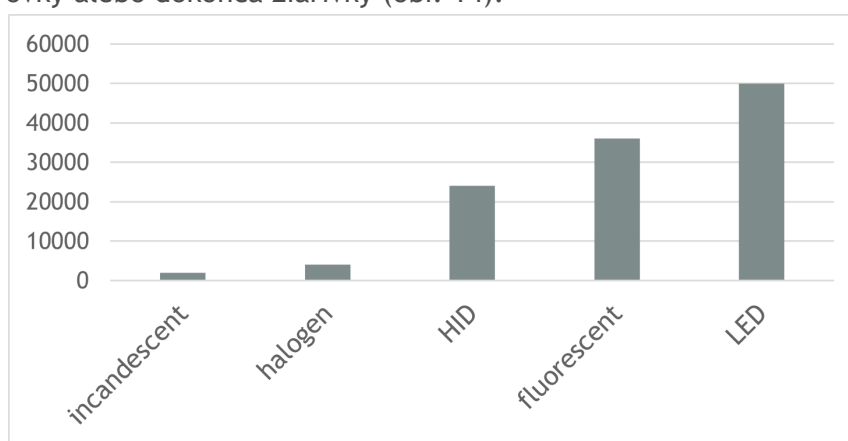


Obrázok 13: Mesačná spotreba energie a plánovaná energia z fotovoltiky pre rozvodňu Grabówek, PKT Gdynia (Poľsko)

Zdroj: energetický audit spoločnosti PKT Gdynia, september 2021

3.4 Osvetlenie

Moderné LED žiarovky nielenže potrebujú menej energie, ale ich odhadovaná životnosť je oveľa dlhšia ako životnosť žiarovky alebo dokonca žiarivky (obr. 14).



Obrázok 14: Typická priemerná menovitá životnosť rôznych typov žiaroviek [v hodinách]

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

Komplexná výmena svietidiel prináša rýchlu návratnosť investícií. Môže sa realizovať samostatne alebo ako súčasť projektu modernizácie a zateplenia budovy.



Obrázok 15: Osvetlenie námestia pred halou v MPK Wrocław sp. o. o.

Náklady na modernizáciu osvetlenia predstavovali 314 000 PLN. Ročné úspory elektrickej energie dosiahli 258 939 kWh, čo znamenalo úsporu 112 000 PLN a zníženie emisií CO₂ o 186 ton. V tomto prípade sa návratnosť investície dosiahne za menej ako 3 roky²¹. Modernizácia osvetlenia prebehla aj v exteriéri (obr. 15).

Záver energetického auditu spoločnosti SZKT Szeged (Maďarsko) sú podobné. Pri investícii do výmeny osvetlenia za LED (5,12 mil. HUF = 13 600 EUR) bude doba návratnosti kratšia ako 3 roky²².

3.5 Lakovňa

V lakovni spoločnosti PKT Gdynia sp. z o.o. sa používa vykurovací olej z dôvodu potreby dočasne vysokej tepelnej energie. Od diaľkového vykurovania sa upustilo v prospech používania kvapalného paliva z dôvodu vysokých nákladov na energiu objednanú od distribútora tepla. Ročná spotreba paliva predstavuje približne 3 440 litrov oleja²³.

Spoločnosť MZA Warszawa disponuje novou lakovňou, ktorá bola dokončená pred niekoľkými rokmi. Je vybavená dvojitém ventilačným systémom a odsávaním prachu. Obe lakovne sú integrované s energetickým systémom.

²¹ Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Príloha 2: Budovy Audytel, Wrocław 2021, s. 89 a ďalšie

²² Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

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

4. Závery

Hoci sa väčšina elektrickej energie využíva na trakciu, depá takisto spotrebúvajú elektrickú a tepelnú energiu. Optimalizácia využívania energie v depe je neoddeliteľnou súčasťou zlepšovania energetickej a ekonomickej účinnosti podnikov verejnej dopravy.

Depá, ktoré verejné dopravné podniky používajú, sú veľmi rôznorodé. Líšia sa rokom výstavby, prevádzkovanými dopravnými prostriedkami a rozsahom modernizácie a vybavenia. To všetko má vplyv na spotrebu energie a iných médií (napr. vody).

Prehľad vybraných príkladov poukazuje na určité zákonitosti pri hľadaní spôsobov zlepšenia energetickej účinnosti zariadení zo strany prevádzkovateľov.

Medzi základné investičné aktivity patrí veľmi často modernizácia budov s cieľom zlepšiť ich tepelno-technické parametre. Takéto opatrenia často sprevádza meranie v budovách. Môže byť úplné a zahŕňať všetky médiá (energiu, teplo a vodu) alebo sa môže zavádzať postupne a zameriavať sa na médiá s najvyššími nákladmi. Rozsah technickej modernizácie budovy môže zahŕňať aj činnosti s nízkym vplyvom, avšak zlepšujúce komfort práce v hale určenej na servis vozidiel a zároveň zvyšujúce požiaru bezpečnosť (napr. výmena a zväčšenie strešných okien).

Dobрым riešením je inštalácia fotovoltických zariadení na strechách dep. Takto vyrobená elektrická energia sa zvyčajne používa na vlastné potreby depa. Inštaláciu fotovoltických panelov by mala sprevádzať inštalácia zariadení na uskladnenie elektrickej energie.

Nízkonákladové opatrenia ako súčasť väčšieho celku zohrávajú zásadnú úlohu. Hoci neprinášajú výrazné úspory pre celú spoločnosť, investície do modernizácie osvetlenia majú krátku dobu návratnosti. Môžu sa zavádzať postupne, aj bez nevyhnutných investičných zdrojov.

Referencie

- 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 č. 199
- Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. „Energies“ 2018 č. 11(4)
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: Multiaspect measurement analysis of breaking energy recovery. „Energy Conversion Management“ 2016 č. 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 č. 216
- Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (Najnovšie poznatky a partnerské hodnotenie v oblasti zavádzania energeticky účinných technológií PT infraštruktúry.) Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, pripravené v rámci projektu EfficienCE, 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 č. 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 č. 352
- Electric Vehicle Council. Electric Vehicle Outlook 2020. Executive Summary; Electric Vehicle Council: Sydney, Austrália, 2020
- Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Příloha 2: Budovy Audytel, Wrocław 2021
- Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021
- Energy audit for the SZKT, Szeged 2019
- Gao Z. a kol.: Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. „Energy“ 2017 č. 122
- Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Misak S., Stýskala V.: Energy recovery effectiveness in trolleybus transport. „Electric Power Systems Research“ 2014 č. 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 č. 22 (1)
- Kratz S. a kol.: Expansion of a Trolleybus Infrastructure towards a 100% Renewable Energy Usage. 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference
- Munoz P. a kol.: Comparative analysis of cost, emissions and fuel consumption of diesel, natural gas, electric and hydrogen urban buses. „Energy Conversion Management“ 2022 č. 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 č. 211
- Trocker F. a kol.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. „Journal of Energy Storage“ 2020 č. 32
- Výroční zpráva 2020. Dopravní podnik města Brna, Brno 2021
- Výroční zpráva 2020. Dopravní podnik Ostrava, Ostrava 2021
- Wotek M. a kol.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Časopis „Journal of Cleaner Production“ 2021 č. 279
- Wotek M. a kol.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Časopis „Journal of Cleaner Production“ 2021 č. 279

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

Internetové odkazy:

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

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

[https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-](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)

[Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%20](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)

[50001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMlw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE](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)

ZISTITE VIAC O EfficienCE



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

Kontaktujte nás



+49 341 123 59 10

Vedúci partner: Mesto Lipsko, Nemecko



Projektoví manažéri:

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)



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

