



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# NADNÁRODNÍ PŘÍRUČKA PRO ZAVÁDĚNÍ ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH TECHNOLOGIÍ V INFRASTRUKTUŘE VEŘEJNÉ DOPRAVY

(1) Energetická účinnost pro depa

## VÝTISK

**Číslo projektu:**

CE1537 Projekt energetické účinnosti EfficienCE pro infrastrukturu veřejné dopravy ve střední Evropě.

**Financováno:**

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

**Název výstupu:**

D.T2.3.2 Nadnárodní příručky pro zavádění energeticky účinných technologií infrastruktury VD

**Vydavatel:**

Konzorcium EfficienCE

**Autoři:**

Marcin Wołek (Gdaňská technická univerzita)

**Uspořádání a návrh:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

**Datum:**

Červen 2022

## O projektu EfficienCE

EfficienCE byl projekt spolupráce financovaný z programu Interreg CENTRAL EUROPE, jehož cílem bylo snížit uhlíkovou stopu v regionu. Většina středoevropských měst má rozsáhlé systémy veřejné dopravy, které mohou tvořit základ nízkouhlíkových služeb pro mobilitu. Více než 63 % osob v regionu dojíždějících využívá veřejnou dopravu. Opatření ke zvýšení energetické účinnosti a podílu obnovitelných zdrojů energie na infrastruktuře veřejné dopravy tak mohou mít obzvláště velký dopad na snižování CO<sub>2</sub>.

Toho bylo dosaženo podporou místních orgánů, provozovatelů veřejné dopravy a objednatelů tím, že se vypracovaly strategie plánování a akční plány, prováděly pilotní akce, vyvíjely nástroje a školení pro plánování a provoz nízkouhlíkové infrastruktury a předávaly znalosti a osvědčené postupy týkající se energeticky účinných opatření napříč středoevropskými regiony.

Dvanáct partnerů, včetně sedmi provozovatelů veřejné dopravy/společností ze sedmi zemí, spolupracovalo tři roky na využití nevyužitých potenciálů v tomto odvětví a na přispění k cílům „Bílé knihy“ EU snížit do roku 2050 emise z dopravy o 60 % a snížit používání „konvenčně poháněných“ automobilů v městské dopravě na polovinu do roku 2030.

Shrnutí .....	5
1. Úvod .....	6
1.1 Přehled literatury .....	6
1.2 Proces výběru případové studie .....	7
2. Případ použití .....	8
2.1 DPMB Brno .....	8
2.2 DPO Ostrava .....	8
2.3 MPK Wrocław .....	9
2.4 MZA Warszawa .....	9
2.5 PKT Gdyně .....	10
2.6 SZKT Szeged .....	10
2.7 Obecné vlastnosti dep .....	11
3. Analýza případů použití .....	13
3.1 Budovy .....	14
3.1.1 Izolace .....	14
3.1.2 Inteligentní měření .....	14
3.1.3 Drobná stavební zlepšení .....	15
3.1.4 Jiné činnosti malého rozsahu .....	15
3.2 Vytápění .....	16
3.3 Obnovitelné zdroje energie .....	16
3.4 Osvětlení .....	18
3.5 Lakovna .....	19
4. Závěry .....	20
Odkazy .....	21

# Shrnutí



Fotografie poskytnuté městem Lipsko

I když je netrakční energie drobným výdajem, environmentální a geopolitický tlak na transformaci energie přináší argumenty pro hledání inovací v depech.

Depo spotřebovává elektrickou energii, ale také plyn, ropu a teplo. Struktura závisí na konkrétním případě a využití na takových faktorech, jako je technický stav budov, dostupnost obnovitelných zdrojů energie, zařízení (lakýrnická zařízení, osvětlení), jakož i na postupech prováděných za účelem úspory spotřeby energie.

Přehled literatury přinesl na téma energetické účinnosti pro depa pouze částečnou odpověď. Většina dokumentů se zaměřovala na využívání obnovitelných zdrojů energie. Problematika energetické a tepelné účinnosti technických zařízení provozovatelů veřejné dopravy je v literatuře zmíněna jen vzácně.

Na základě vybraných šesti případových studií různých provozovatelů veřejné dopravy ze střední Evropy byla provedena důkladná analýza. Ukázalo se, že existuje celá řada různých činností zaměřených na zvýšení energetické účinnosti dep. Jejich rozsah závisí nejen na velikosti provozovatele, ale také na místních okolnostech a vnitrostátním právním rámci.

Tyto akce byly seskupeny do pěti hlavních skupin, které zahrnovaly budovy, vytápění, obnovitelné zdroje energie, osvětlení a lakovny, neboť představují velmi specifickou oblast každodenního využívání.

Optimalizace spotřeby energie v depu je nedílnou součástí zlepšování energetické a hospodářské účinnosti podniků veřejné dopravy. To je obzvláště důležité v době, kdy ceny fosilních paliv a elektřiny prudce stoupají a jsou nepředvídatelné jako nikdy předtím.

# 1. Úvod

Po mnoho let je zajištění energetické účinnosti dep pro většinu provozovatelů druhořadým nebo terciárním problémem. V posledních letech došlo pod vlajkou elektrifikace k hromadnému pořizování moderního vozového parku. V současné době se v městské dopravě po celém světě používá více než půl milionu elektromobilů a rozsah elektrifikace se zvyšuje. Odhaduje se, že do roku 2040 mohou elektrické autobusy celosvětově překročit 2/3 vozového parku městské dopravy. Souběžným trendem je rostoucí úloha vodíkových vozidel, která mohou v roce 2040 tvořit 6 % vozidel městské dopravy<sup>1</sup>. Hlavní důraz byl kladen na systémy skladování energie ve vozidlech. Zdá se, že mezi třemi dostupnými technologiemi (baterie, superkapacitor, setrvačnický)<sup>2</sup> patří k hlavní technologii baterie, za kterou následují superkapacity a setrvačnické. Pro použití trolejbusů se technologie nabíjení za pohybu považuje za novou příležitost, a to i kvůli své technologické zralosti<sup>3</sup>.

I když je netrakovní energie drobným výdajem<sup>4</sup>, environmentální a geopolitický tlak na transformaci energie přináší argumenty pro hledání inovací v depech.

Depo spotřebovává elektrickou energii, ale také plyn, ropu a teplo. Struktura závisí na každém případě a využití na takových faktorech, jako je technický stav budov, dostupnost obnovitelných zdrojů energie, zařízení (lakýrnická zařízení, osvětlení), jakož i na postupech prováděných za účelem úspory spotřeby energie.

## 1.1 Přehled literatury

V současné době se technologický pokrok zaměřuje především na skladování elektrické energie představované různými generacemi baterií<sup>5</sup>.

V dokumentu M. Bartłomiejczyka byl navržen první fotovoltaický systém pro dodávku energie pro trolejbusový systém v Gdyni (Polsko). Nerovnoměrné zatížení při trakčním napájení, které je důsledkem odlišného slunečního záření a nerovnoměrného příjmu energie z trolejbusů (stání v kongescích), umožňuje využití více než 70 % energie, kterou lze vyrobit z fotovoltaické instalace o výkonu 500 kW. Zavedení bilaterálního napájení zvyšuje schopnost využívat energii. Optimální výkon solární soustavy závisí ve velké míře na místní struktuře napájecího systému a provozních podmínkách. U velkých rozvodů se doporučuje vystavět FV s výkonem 400-500 kW, u menších potom 100 až 150 kW. U fotovoltaického systému připojeného k trakčním vedením ve slabých bodech se doporučuje maximální výkon FV do 50 kW<sup>6</sup>.

„Nákladově efektivní systém řízení energie“ analyzovaný v jiném dokumentu, uvažuje výrobu energie z fotovoltaiky a její ukládání v bateriích. Hlavními překážkami tohoto řešení byly vysoké počáteční kapitálové náklady, specifické technické požadavky (tj. potřeba velké plochy, příslušná výstavba) a přerušovaný provoz, což bylo zdůrazněno jako hlavní problém fotovoltaického systému. Na druhé straně „účinná integrace a řízení energie fotovoltaiky a ukládání energie (ESS) v ekosystému pro nabíjení depa může vést k vyhlazení dopadu přerušování“<sup>7</sup>, snížení špičkového zatížení distribuční sítě<sup>8</sup> a snížení nákladů na energii pro vlastníka depa<sup>9</sup>.

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 základě simulace provedené pro Šanghaj bylo prokázáno, že fotovoltaický systém skladování energie v bateriích je nákladově nejefektivnějším řešením<sup>10</sup>. Na druhé straně byla na základě případové studie v Singapuru provedena analýza s cílem snížit změny špičkové poptávky na konečných zastávkách autobusů vybavených rychlými nabíjecími stanicemi podporovanými stacionárními jednotkami pro skladování energie. Studie ukázala, že potenciál snížení nákladů se snižuje s rostoucí úrovní elektrifikace autobusové linky<sup>11</sup>. Další studie poukázala na hybridizaci skladovacích energetických systémů s využitím baterií a superkapacitorů, které mohou být použity v různých systémech obnovitelné energie, zejména fotovoltaických systémech<sup>12</sup>.

Nedávná studie založená na výzkumu provedeném v rámci projektu TROLLEY 2.0 odhalila nesoulad mezi výrobou energie z obnovitelných zdrojů a neorvnoměrnými autobusovými jízdními řády. V důsledku toho činí značný přebytek energie celý systém z ekonomického hlediska neproveditelným. Studie týkající se fotovoltaické a větrné energie byla modelována na základě případové studie města Arnhem (jediné město v Nizozemsku, které provozuje trolejbusový systém). Nejlepším doporučením bylo seskupit výrobu z celé sítě. Nejlepších výsledků bylo dosaženo, když bylo nasazeno hybridní řešení (53 % FV a 47 % větru) za podpory instalace systému skladování energie. Je tomu tak proto, že výroba větrné energie lépe sleduje roční trend spotřeby autobusů<sup>13</sup>.

Přehled literatury přinesl na téma energetické účinnosti pro depa pouze částečnou odpověď. Většina dokumentů se zaměřovala na využívání obnovitelných zdrojů energie. Problematika energetické a tepelné účinnosti technických zařízení provozovatelů veřejné dopravy je v literatuře zmíněna jen vzácně.

## 1.2 Proces výběru případové studie

Metoda případové studie byla zvolena tak, aby vyplnila mezery ve výzkumu zjištěné v rámci přehledu literatury. Výběr konkrétních případových studií byl proveden podle velikosti města, velikosti provozovatele, různých dopravních prostředků a pokroku směrem k využívání obnovitelných zdrojů energie. Tabulka 1 uvádí vybrané případové studie pro další analýzu. Studie se zaměřila na provozovatele ze střední Evropy - společnosti, místo na celý systém veřejné dopravy. To umožnilo větší přesnost při získávání údajů a další výzkum v podobě individuálních rozhovorů se zástupci příslušných operátorů.

Tabulka 1. Hlavní charakteristiky případových studií vybraných pro analýzu

Provozovatel	Země	Autobusy	Trolejbusy	Tramvaje	Dodávka energie [mil. vozidlo-km]	FV
DPMB Brno	Česká republika	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Česká republika	298	68	239	30,7	N
MPK Wrocław	Polsko	328	0	285	22,2	A
MZA Warszawa	Polsko	1422	0	0	89	A
PKT Gdyně	Polsko	0	100	0	5,3	P
SZKT Szeged	Maďarsko	0	61	43	Žádné údaje	P

A – ano, N – ne, 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 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. Příklad použití

### 2.1 DPMB Brno

Jediným vlastníkem DPMB je město Brno. Roční cestování v roce 2020 překročilo 272 milionu jízd a ve srovnání s rokem 2019 se snížilo o 25 %<sup>14</sup>. Celkově vykonala v roce 2020 elektrická trakce v Brně 52 % celkového výkonu městské dopravy. DPMB plánuje vyvinout trolejbusový subsystém, který více využije výhod nabíjení za jízdy<sup>15</sup>.



Obrázek 1: Trolejbus Škoda Solaris ve dvoupodlažním trolejbusovém depu v Brně (Foto: Marcin Wolek)

### 2.2 DPO Ostrava

Dopravní podnik Ostravy a.s. je provozovatelem veřejné dopravy v Ostravě a je ve vlastnictví města Ostrava. Výkon městské dopravy činil 30,7 mil. vozokm. Elektrická trakce poskytla v roce 2020 v Ostravě 46 % dodávky energie pro veřejnou dopravu<sup>16</sup>, ale kvůli očekávanému zavedení elektrických bateriových autobusů se od roku 2022 zvýší. Navíc v Ostravě existuje plán na výstavbu čerpací stanice na vodík v depu Hranečník.



Obrázek 2: Trolejbusová soustava v Ostravě zajišťuje obslužnost části města a na celkových dodávkách veřejné dopravy má podíl 10 % (Foto: 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



Obrázek 3: Společnost MPK Wrocław provozuje velký vozový park tramvají (Foto: Marcin Wolek)

Společnost MPK Wrocław byla založena v roce 1995 a je zcela ve vlastnictví města Wrocław (640 000 obyvatel). V roce 2019 dosáhl výkon městské dopravy MPK 22,2 milionu vozidlo-km. V roce 2022 bylo vypsáno výběrové řízení na dodávku elektrických autobusů, dodáno bude 11 kloubových autobusů Mercedes e-Citaro G. Hybridní nabíječky 5 x 60 kW a 6 x 60 kW budou instalovány v depu v ulici Obornická, stejně jako jedna nabíječka s vysokým výkonem na smyčce (400 kW).

## 2.4 MZA Warszawa

MZA je nejvýznamnějším provozovatelem veřejné dopravy v Polsku, který zaměstnává přibližně 4500 zaměstnanců. Vozidla MZA v roce 2019 najela přibližně 89 milionů vozokm, a to v počtu 1422 vozidel včetně 160 elektrických autobusů. To staví Varšavu s podílem elektrického parku na úrovni 11 % do pozice vůdce v oblasti elektromobility v Polsku.



Obrázek 4: Společnost MZA Warszawa provozuje největší autobusový park v Polsku (Foto: Marcin Wolek)

## 2.5 PKT Gdyně

Společnost PKT Gdynia je městský provozovatel trolejbusů, který zajišťuje obslužnost v Gdyni a sousedních Sopotech. V roce 2020 ujely trolejbusy cca 5,3 milionů vozokm a vozový park zahrnoval téměř 100 vozidel. V nedávné době byly dvě linky naftových autobusů nahrazeny trolejbusy s nabíjením za jízdy. Provozovatel navíc neustále zavádí další nabíjení vozidel v pohybu. V roce 2019 bylo téměř 10 % trolejbusových vozokm ujeto bez trolejového vedení<sup>17</sup>. Tento trend je velmi slibný, protože ceny ropy jsou vysoké a nestabilní.



Obrázek 5: Trolejbus společnosti PKT Gdynia v provozním režimu nabíjení za jízdy v Gdyni (Foto: Marcin Wolek)

## 2.6 SZKT Szeged



Obrázek 6: Konvertovaný trolejbus SZKT v Szegedu [Foto: SZKT Szeged]

Trolejbusy a tramvaje provozuje společnost Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT), která je ve 100% vlastnictví obce Szeged. Jedná se o jedno ze čtyř maďarských měst s tramvajemi a jedno ze tří, které provozuje trolejbusy. Cílem plánování městské hromadné dopravy v Szegedu je dále rozšířit stávající infrastrukturu elektrické dopravy tak, aby pokryla co nejvíce oblastí místní veřejné dopravy. Současné naftové autobusy je třeba v budoucnu nahradit. Infrastruktura trolejového vedení v Szegedu existuje od roku 1979 a od té doby je neustále rozšiřována.

<sup>17</sup> 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





Fotografie poskytnuté městem Lipsko

## 2.7 Obecné vlastnosti dep

Mezi obecné rysy dep veřejné dopravy patří následující:

budova depa je obvykle velká, s velkými bránami, které jsou často otevírány;

depa mají různé úrovně technického vybavení a dalších zařízení (tj. zařízení pro lakování);

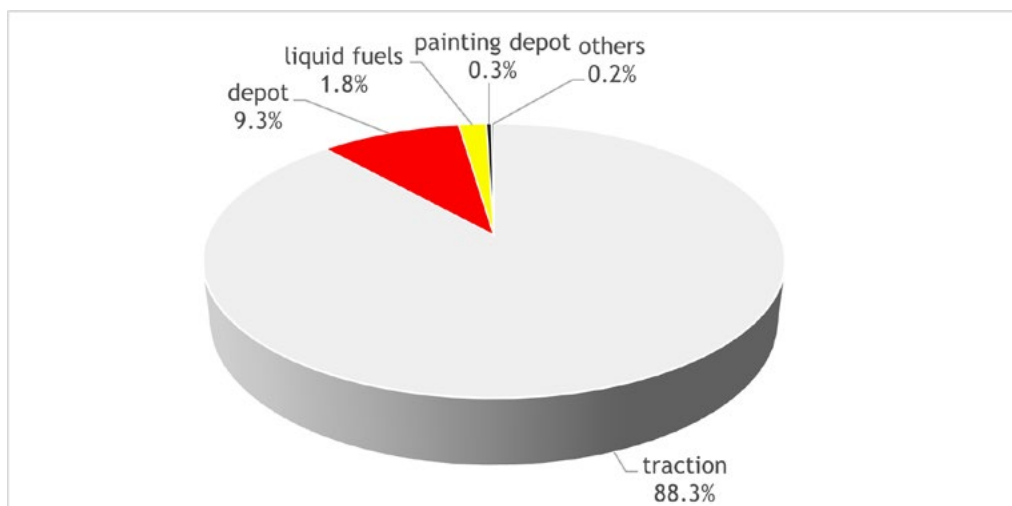
uvnitř budovy je velký prostor pro vytápění a je třeba hodně světla;

depa pracují prakticky non-stop, během dne a v noci se zvláštními požadavky na pohodlí a bezpečnost zaměstnanců;

systémy vytápění se v jednotlivých depech liší;

z důvodu uvedeného výše musí být napájecí systém snadno udržovatelný.

Struktura celkové spotřeby energie ve společnosti PKT Gdynia (Polsko) ukazuje, že depo spotřebuje přibližně 9,3 % celkové energie, kterou provozovatel využívá (elektrická energie, paliva a topení). Samotná lakovna má na celkové spotřebě energie okrajový podíl (obr. 7).



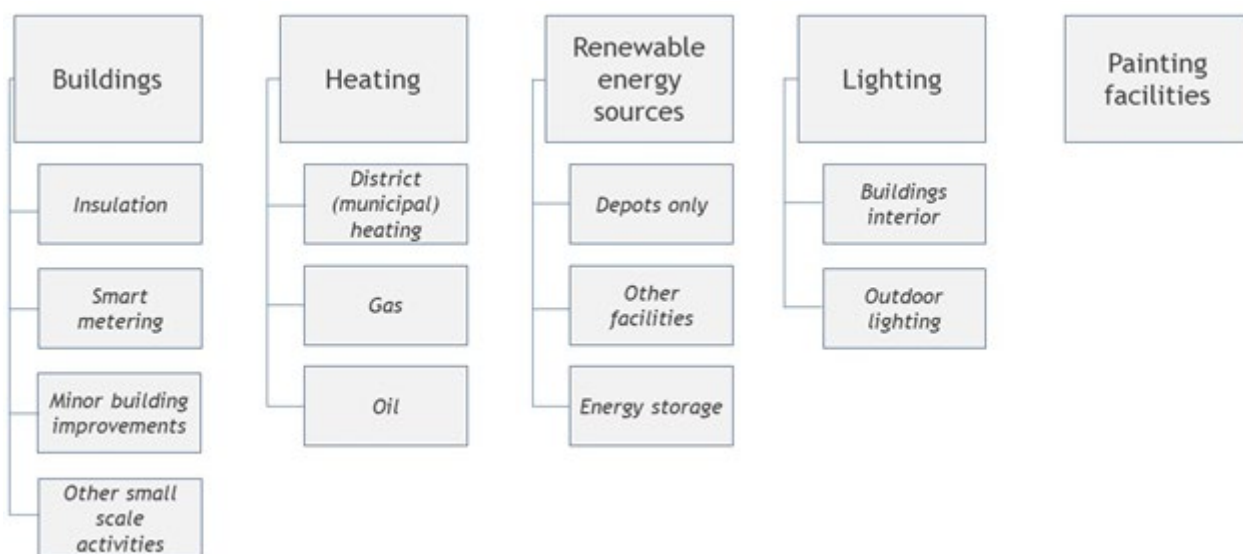
Obrázek 7: Celková spotřeba energie společnosti PKT Gdynia v roce 2020

*Zdroj: na základě Energetického auditu společnosti PKT Gdynia*



### 3. Analýza případů použití

Důkladná analýza vybraných případů využití, podpořená rozhovory s příslušnými zúčastněnými stranami, umožnila výběr nejběžnějších činností vedoucích ke zvýšení energetické účinnosti. Obecně lze všechny identifikované činnosti seskupit do několika společných skupin (obr. 8). Infrastruktura nabíjení vozidel umístěných v jednotlivých depech byla z analýzy vyloučena.



Obrázek 8: Seskupování činností za účelem vyšší energetické účinnosti pro depe veřejné dopravy



Fotografie od společnosti Rupprecht Consult

## 3.1 Budovy

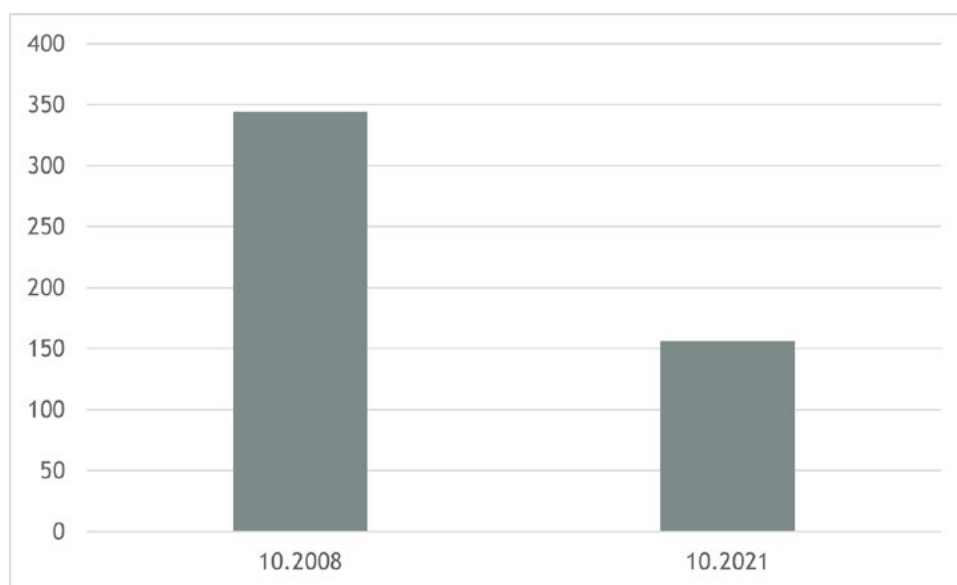
### 3.1.1 Izolace

Mnoho budov dep bylo postaveno v minulém století, některé pocházejí dokonce z jeho počátku. Proto se vyskytují různé technické podmínky, kvůli kterým je každý případ specifický a odlišný. Komplexní izolace budov je poměrně běžnou praxí podporovanou drobnými stavebními akcemi. Například v Ostravě (Česká republika) byl projekt modernizace depa trolejbusů založen na doporučení provést izolaci, střešní konstrukce, výměnu střešních světlíků a rekonstrukci osvětlovacího systému interiéru. Provedení výše uvedených opatření by ušetřilo energii na vytápění v porovnání s počátečním stavem přibližně o 37 %.

### 3.1.2 Inteligentní měření

Ve všech objektech, které má DPO Ostrava k dispozici, se měří spotřeba všech služeb spojených s užíváním (elektrina, teplo, voda). Software české společnosti AYISIS umožňuje sledování všech služeb spojených s užíváním v reálném čase na konkrétním místě. Vytváří se například profily hodinové spotřeby elektrické energie. Umožňuje to mimo jiné regulovat teplotu uvnitř budov s ohledem na povětrnostní podmínky v daném okamžiku (údaje jsou získány z meteorologické stanice společnosti).

V budově depa společnosti PKT Gdynia byl instalován systém BMS (Building Management System - Systém managementu budov). Společnost se v první fázi zabývala tím, které služby by měly být do systému zahrnuty. V PKT byla upřednostněna tepelná energie a byl vyměněn rozvaděč a 13 topných těles spolu s kabeláží a řídicím systémem. V každé ze tří zón depa (kontrola, čištění, údržba) jsou topná tělesa spojena se snímači teploty.



Obrázek 9: Spotřeba tepla v depu trolejbusů společnosti PKT Gdynia v říjnu 2008 a v říjnu 2021 [GJ]

*Zdroj: Na základě údajů poskytnutých společností PKT Gdynia sp. z o. o.*

Po instalaci BMS byl rozdíl ve spotřebě tepla v zimních měsících asi 200 GJ, což znamená úsporu asi 12 000 PLN. Spotřeba tepla v říjnu 2008 činila 344 GJ a v říjnu 2021 byla podstatně snížena na 156 GJ (obr. 9). Systém je podporován monitorováním venkovní teploty.

To také umožnilo snížit objednanou energii, což vedlo k úsporám ve výši přibližně 18 000 PLN (3840 EUR) ročně.



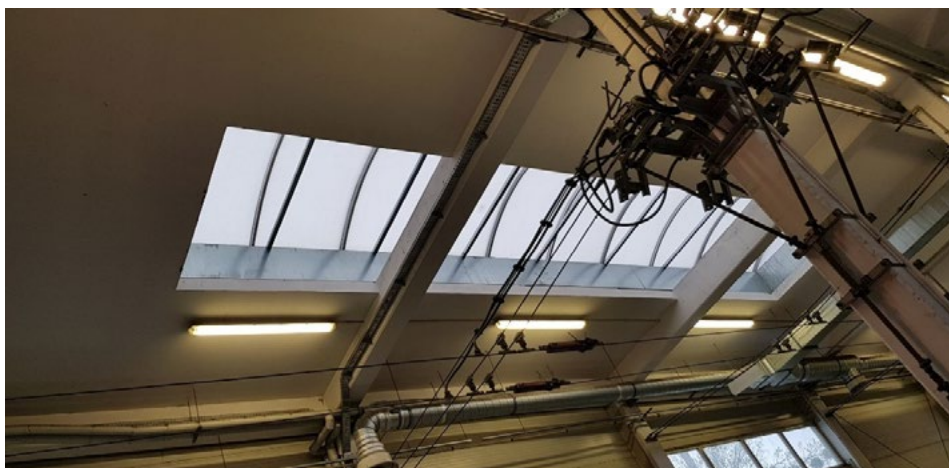
### 3.1.3 Drobná stavební zlepšení

Budova depa společnosti PKT Gdynia (Polsko) byla navržena se světlíky a okny pro trolejová vedení, což je standardní řešení pro tramvajová a trolejbusová depa. V depu je ovládání tepelného centra, aby byla co nejlépe využita tepelná energie budovy. Výměnou izolačních vrstev na střeše se okamžitě zlepšila tepelná izolace střechy.



Obrázek 10: Trolejbusové depo společnosti PKT Gdynia (Foto: Marcin Wolek)

Při výměně světlíků v depu společnosti PKT Gdynia se zvýšila jejich plocha. Nyní zabírají 1/3 střešní plochy (obr. 11). Nové světlíky mají také vyšší standard požární odolnosti a vyšší tepelně izolační parametry.



Obrázek 11: Střešní světlíky vyměněné v depu společnosti PKT Gdynia (Foto: Marcin Wolek)

### 3.1.4 Jiné činnosti malého rozsahu

V denních servisních halách by vzhledem ke specifické povaze jejich provozního režimu (včetně častého otevírání velkých dveří) měla být zvážena instalace vzduchových směšovacích zařízení (vzdušných ventilátorů). Ohřátý vzduch stoupá v chladných dnech nahoru, sbírá se pod střechou a teplota vnímaná pracovníkem na úrovni podlahy je tedy nižší. Pro rovnoměrné rozložení teploty vzduchu v těchto místnostech se používají směšovací zařízení, jejichž hlavním úkolem je udržovat rovnováhu teploty vzduchu pod střechou a na podlaze budovy. Tímto způsobem lze snížit náklady na vytápění. Takové řešení bylo úspěšně implementováno v jednom z dep společnosti MZA Warszawa (Polsko).

Nízkonákladovým opatřením s krátkou dobou návratnosti může být také tepelná izolace ventilů a přírubových spojů pro snížení tepelných ztrát. V případě společnosti MPK Wrocław činí odhadované náklady na toto opatření přibližně 1300 PLN s ročními úsporami ve výši 4841 kWh. Výsledná návratnost je tedy po méně než dvou letech.

Dopravní podnik města Brna (Česko) implementoval mezinárodní standard managementu hospodaření s energií ISO 50001. Cílem těchto standardů je zlepšit energetickou účinnost podniků bez ohledu na jejich velikost, výrobní odvětví nebo počet zaměstnanců. V důsledku zavádění této normy nemusí DPMB provádět energetický audit. Mezi další výhody patří mimo jiné určení a řízení rizik spojených s budoucími dodávkami energie, měření a monitorování spotřeby energie za účelem určení oblastí pro zlepšení účinnosti a prokázání environmentální péče za účelem splnění požadavků výběrového řízení.

### 3.2 Vytápění

Tři depa MZA ve Varšavě jsou napojena na dálkové vytápění (Veolia). Jedno depo je vytápěno plynem. Společnost MZA má nové lakýrnické depo, které bylo dokončeno před několika lety, vybavené systémem dvojité ventilace a odsáváním prachu. Obě lakovny jsou integrovány do energetického systému depa.

Všechna depa společnosti MPK Wrocław jsou napojena na dálkové vytápění. Instalace tepelných čerpadel se v dohledné době nepředpokládala, protože budovy byly postaveny v různých obdobích, a neexistuje žádné odůvodnění pro jejich úpravu tak, aby bylo možné instalovat tepelná čerpadla.

V případě SZKT jsou budovy společnosti spíše smíšeným obrazem. Existují zde budovy, které jsou 100 let staré, sotva udržované a již dávno neodpovídají současným standardům, ale jsou tu i moderní nové budovy, které splňují nejnovější architektonické a energetické požadavky. Většina budov je navržena pro jejich zamýšlený účel, tj. velké halové dílny, malé kompaktní staniční budovy a servisní budovy, vytápěné a nevytápěné budovy, ale i klimatizované budovy.

Proto je vytápění budov také poměrně pestré. Většina hal závodu má sálavé nebo termoventilátorové vytápění. Ve větších budovách se používá teplovodní ústřední topení, částečně s kondenzačními kotli. Ve starších a zchátralejších malých budovách se používá individuální plynové konvektorové topení, ale jsou zde také místnosti s elektrickými topnými tělesy. Zásobování užitkovou teplotou vodou je v prostorách tramvajových a trolejbusových dep centralizováno a má přiměřenou skladovací kapacitou, zatímco v ostatních budovách jsou většinou elektrické průtokové ohřívače vody<sup>18</sup>.

### 3.3 Obnovitelné zdroje energie

Varšava (Polsko) byla prvním městem v Polsku, které ve velkém měřítku vybavilo autobusy fotovoltaickými panely na střechách. Umožňují zlepšit energetickou bilanci vozidel a ušetří až pět procent paliva. Kromě toho instalace solární elektrárny na střeše depa „Woronicza“ umožnila uspokojit potřeby běžného provozu podniku. Energetická účinnost se zvyšuje i nahrazením několika set sloupových lamp instalovaných v depech energeticky úspornými LED svítidly.

Na denní servisní hale společnosti MZA Warszawa v ulici Włociańska 52 byly nainstalovány fotovoltaické panely o výkonu cca 65 kW. Muselo se však splnit několik předpokladů. Po zavedení elektrických autobusů se spotřeba elektrické energie na základně zvýšila natolik, že de facto nedochází k odprodeji energie. Další instalace FV zahrnuje depo v ulici Woronicza (74 kW).

Na dvou autobusových depech (tramvajová depo v ulici Powstańców Śląskich a autobusové depo v ulici Obornicka) patřících společnosti MPK Wrocław byla v posledních letech instalována fotovoltaická zařízení o výkonu cca 50 kW. Díky tomu bude jedna z hal, ve kterých dochází mimo jiné k mytí a opravám autobusů, z velké části soběstačná. Instalace solárních panelů na střeše pokryje polovinu spotřeby haly, což umožní ušetřit 30 tisíc PLN ročně. Investiční náklady činily 212 000 PLN netto (45 211 EUR). MPK odhaduje, že se peníze v energiích vrátí do 8 let.

Další rozvoj fotovoltaiky je plánován na všech střechách budov patřících společnosti MPK Wrocław sp. z o.o. V současné době se v depu na ulici Obornicka staví další fotovoltaická instalace s výkonem 50 kW (obr. 12).

<sup>18</sup> Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

Jelikož společnost MPK Wrocław nemá kryté parkovací plochy, nebude fotovoltaická energie ze zařízení v prostorách provozovatele pro trakční účely významná.

Při výpočtech pro fotovoltaickou farmu pro jedno z dep SZKT Szeged (Maďarsko) s plánovanou kapacitou 150 kW bylo dosaženo delší doby návratnosti. Roční výroba elektřiny byla odhadnuta na 174 000 kWh. Bez vnějšího spolufinancování bylo období návratnosti 12,7 let, se 30% spolufinancováním investičních nákladů pak necelých 9 let. Očekávanou míru návratnosti zkracuje zvýšení cen energie v důsledku války a nestabilita.



Obrázek 12: Instalace FV na střeše tramvajového depa MPK Wrocław (foto Marcin Wolek)

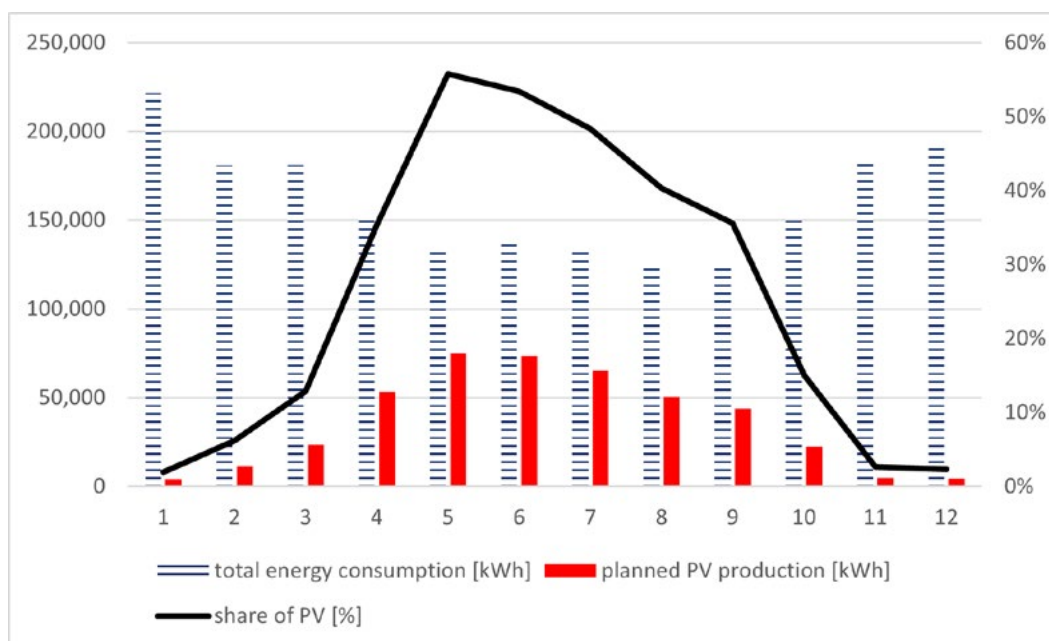
U jednoho z trolejbusových dep nacházejícího se v centrální části Brna je solární farma, ale nájemce (tj. město) účtuje farmě poplatek pouze za využití infrastruktury.

Společnost PKT Gdynia (Polsko) plánuje rozvoj solární farmy (cca 500 kW) na střeše svého depa (cca 5000 m<sup>2</sup>), což by pokrylo až 5 % energie spotřebované trolejbusy. Přidáním systému skladování energie by se podíl zvýšil. Pomocí vysoce účinných monokrystalických fotovoltaických panelů byl maximální výkon instalace stanoven na 499,8 kWp. Na základě podrobných údajů získaných z fotovoltaické instalace s podobnými parametry provedla společnost PKT SP. z o. o. výpočty výtěžnosti sluneční energie. Odhadovaná roční výtěžnost byla: 431 391 kWh/rok<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021



Za předpokladu, že fotovoltaické panely budou připojeny k rozvodně Grabówek, bude schopna pokrýt její roční spotřebu energie z více než 22,5 %, i když bude docházet k velmi silné proměnlivosti mezi jednotlivými měsíci (obr. 13). Průměrná roční úspora primární energie bude 431,39 MWh, tj. 37,09 tun ropného ekvivalentu/rok. Bylo by tedy možné pokrýt celou spotřebu elektřiny depa (406,7 MWh). Kromě toho zde existuje možnost nainstalovat panely na jiná zařízení patřící společnosti PKT Gdynia, čímž by se mohlo vyrobit dalších 99,5 MWh<sup>20</sup>.

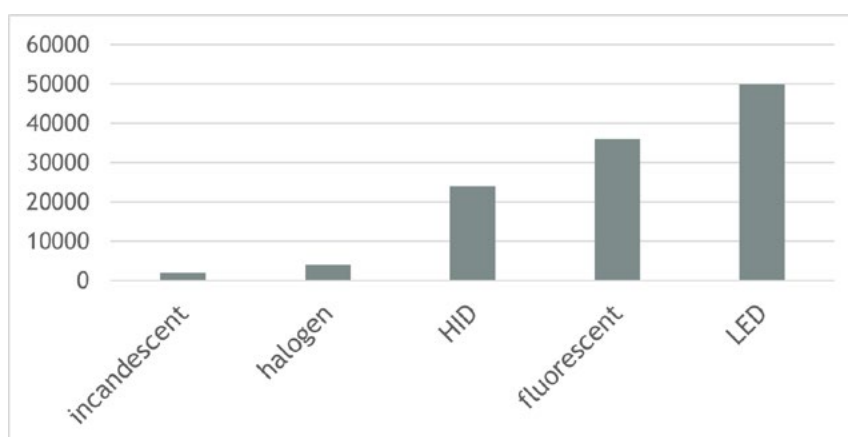


Obrázek 13: Měsíční spotřeba energie a plánovaná energie z FV do rozvodny Grabówek, PKT Gdynia (Polsko)

Zdroj: na základě Energetického auditu společnosti PKT Gdynia, září 2021

### 3.4 Osvětlení

Moderní LED svítidla potřebují nejen méně energie, ale jejich odhadovaná životnost je mnohem delší než životnost žárovek, nebo dokonce zářivek (obr. 14).



Obrázek 14: Typická průměrná jmenovitá životnost pro různé typy žárovek [hodiny]

<sup>20</sup> Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

Komplexní výměna svítidel přináší rychlou návratnost investic. Tyto investice mohou být realizovány samostatně nebo jako součást projektu modernizace a izolace budovy.



Obrázek 15: Osvětlení náměstí před halou v MPK Wrocław sp. o. o.

Náklady na modernizaci osvětlení činily 314 000 PLN. Roční úspory elektrické energie činily 258 939 kWh, což vedlo k úsporám ve výši 112 000 PLN a snížení emisí CO<sub>2</sub> o 186 tun. V tomto případě bude návratnost investic dosažena za méně než 3 roky<sup>21</sup>. Modernizace osvětlení byla realizována i venku (obr. 15).

Energetický audit společnosti SZKT Szeged (Maďarsko) obsahuje podobné závěry. S investicí do nahrazení osvětlení za LED (5,12 milionů HUF = 13 600 EUR) bude doba návratnosti kratší než 3 roky<sup>22</sup>.

### 3.5 Lakovna

V PKT Gdynia sp. z o.o. používá lakovna z důvodu občasné potřeby vysoké teploty topný olej. Od dálkového vytápění bylo opuštěno ve prospěch kapalného paliva, kvůli vysokým nákladům na energii objednávanou od distributora tepla. Roční spotřeba paliva se rovná přibližně 3440 litrům oleje<sup>23</sup>.

Společnost MZA Warszawa má novou lakovnu, která byla dokončena před několika lety a je vybavena dvojitým ventilačním systémem a odsáváním prachu. Obě lakovny jsou integrovány do energetického systému depa.

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

<sup>22</sup> Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

<sup>23</sup> Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

## 4. Závěry

Ačkoli se většina elektřiny používá pro trakci, depa také spotřebovávají elektrickou a tepelnou energii. Optimalizace spotřeby energie v depu je nedílnou součástí zlepšování energetické a hospodářské účinnosti podniků veřejné dopravy.

Depa ve společnostech veřejné dopravy představují velmi rozmanitý obraz. Liší se v letech výstavby, provozovaném dopravním prostředku i rozsahu modernizace a vybavení. To vše ovlivňuje spotřebu energie a dalších médií (např. vody).

Přehled vybraných příkladů ukazuje určité obvyklé metody hledání způsobů, jak zlepšit energetickou účinnost zařízení ze strany provozovatelů.

Mezi základními investičními aktivitami je velmi často modernizace budov s cílem zlepšit jejich tepelné parametry. Taková opatření často doprovází měření budov. To může být kompletní a pokrývat všechny veřejné služby (energie, teplo a voda) nebo být prováděno postupně a se zaměřením na veřejné služby generující nejvyšší náklady. Rozsah technické modernizace budovy může zahrnovat i činnosti s nízkým dopadem, ale také zlepšení komfortu práce v servisní hale vozidel a zároveň zlepšení požární bezpečnosti (např. výměna a rozšíření střešních světlíků).

Dobrým postupem je instalace FV na střechách dep. Takto vyrobená elektřina se obvykle používá pro vlastní potřeby depa. Instalaci fotovoltaických panelů by měla doprovázet instalace zařízení pro skladování elektrické energie.

V rámci většího celku hrají zásadní roli nízkonákladová opatření. Ačkoli to nevede k významným úsporám pro celou společnost, investice do dovybavení osvětlení má krátkou dobu návratnosti. Může být prováděna postupně, i bez nezbytných investičních zdrojů.



## Odkazy

- 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 Zpráva 2020. 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
- 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., 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., Muttqi 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-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](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)

# ZJISTĚTE VÍCE EfficienCE



Navštivte naši webovou stránku:  
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

## Kontaktujte nás



+49 341 123 59 10

Hlavní partner: Město Lipsko, Německo



Manažeri projektu:

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)

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

