



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



TRANSZNACIONÁLIS KÉZIKÖNYV A KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRÁBAN ALKALMAZOTT ENERGIAHATÉKONY TECHNOLOGIÁK BEVEZETÉSÉHEZ

(1) Energiahatékonyság a telephelyeken

IMPRINT

Projektszám:

CE1537 EfficienCE Energiahatékonyság Közép-Európa közösségi közlekedési infrastruktúrájában.

Finanszírozó:

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

Megvalósítandó feladat címe:

D.T2.3.2 Transnational Handbooks for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment
(Transznacionális kézikönyvek a közösségi közlekedési infrastruktúra energiahatékony technológiáinak bevezetéséhez)

Összeállította:

EfficienCE konzorcium

Szerzők:

Marcin Wołek (Gdanski Műszaki Egyetem)

Elrendezés és szerkesztés:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Dátum:

2022. június

Az EfficienCE projektről

Az EfficienCE az Interreg CENTRAL EUROPE program keretében finanszírozott együttműködési projekt volt, amelynek célja a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése volt a régióban. A legtöbb közép-európai város kiterjedt közösségi közlekedési rendszerrel rendelkezik, amely az alacsony szén-dioxid-kibocsátású mobilitási szolgáltatások alapját képezheti. A régióban az ingázók több mint 63%-a veszi igénybe a közösségi közlekedést. Ezért azok az intézkedések, amelyek az energiahatékonyságot és a megújuló energiaforrások részarányát növelik a közösségi közlekedési infrastruktúrában különösen nagy hatással lehetnek a CO₂-kibocsátás csökkentésére. Ezt a helyi hatóságok, a közösségi közlekedési hatóságok és az üzemeltetők támogatásával, tervezési stratégiák és cselekvési tervek kidolgozásával, kísérleti intézkedések végrehajtásával, az alacsony szén-dioxid-kibocsátású infrastruktúra tervezéséhez és működtetéséhez szükséges eszközök és képzések kidolgozásával, valamint az energiahatékony intézkedésekkel kapcsolatos ismeretek és legjobb gyakorlatok közép-európai régiók közötti átadásával érték el.

Tizenkét partner, köztük hét ország hét közösségi közlekedési hatósága/vállalkozása dolgozott együtt három éven keresztül, hogy kihozzák a legtöbbet az ágazatban rejlő kiaknázatlan lehetőségeket, és hozzájáruljanak az EU „Fehér Könyvében” megfogalmazott azon célokhoz, hogy 2050-ig 60 százalékkal csökkentsék a közlekedésből származó kibocsátást, és 2030-ig felére csökkentsék a hagyományos üzemanyaggal működő személygépkocsik használatát a városi közlekedésben.

Vezetői összefoglaló.....	5
1. Bevezető.....	6
1.1 Irodalmi áttekintés	6
1.2 Az esettanulmányok kiválasztásának folyamata	7
2. Használati eset	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 A telephelyek általános jellemzői	11
3. Használati esetek elemzése	13
3.1 Épületek	14
3.1.1 Szigetelés	14
3.1.2 Intelligens mérés	14
3.1.3 Kisebb épületfejlesztések	15
3.1.4 Egyéb kisléptékű tevékenységek	15
3.2 Fűtés	16
3.3 Megújuló energiaforrások.....	16
3.4 Világítás	18
3.5 Festőműhely	19
4. Következtetések.....	20
Hivatkozások	21

Vezetői összefoglaló



Fotó: Lipcse városa

Bár a nem vontatási célú energia kisebb kiadást jelent, az energiaátalakításra irányuló környezeti és geopolitikai nyomás miatt meg kell találnunk a telephelyek fejlesztésének módját.

A telephelyek elektromos energiát, de gázt, olajat és távfűtést is fogyasztanak. Ezek összetétele az adott esettől, míg a felhasználás olyan tényezőktől függ, mint az épületek műszaki állapota, a megújuló energiaforrások elérhetősége, a berendezések (festőberendezések, világítás), valamint az energiafogyasztás megtakarítására alkalmazott eljárások.

A szakirodalmi áttekintés csak részleges választ adott a telephelyek energiahatékonyságának kérdéskörében. A tanulmányok többsége a megújuló energiaforrások felhasználására összpontosított. A szakirodalomban alig esik szó a közösségi közlekedési szolgáltatók műszaki létesítményeinek energia- és hőhatékonyságáról.

A kiválasztott hat közép-európai közösségi közlekedési szolgáltató esettanulmányainak felhasználásával mélyreható elemzést végeztünk, amelyből kiderült, hogy rengeteg erőfeszítést tesznek a telephelyek energiahatékonyságának növelésére. Ezek mértéke nemcsak a gazdasági szereplő méretétől, hanem a helyi körülményektől és a nemzeti jogszabályi környezettől is függ.

Ezeket az intézkedéseket öt fő csoportba soroltuk, beleértve az épületeket, a fűtést, a megújuló energiaforrásokat, a világítást és a festőműhelyeket, mivel ezek a mindennapi használat nagyon specifikus területét képviselik.

A telephelyek energiafelhasználásának optimalizálása szerves részét képezi a közösségi közlekedési vállalatok energiahatékonyságának és gazdaságosságának javítása irányába tett intézkedéseknek. Ez különösen fontos, amikor a fosszilis tüzelőanyagok és a villamos energia árai az egekbe szöknek és soha nem látott mértékben kiszámíthatatlanok.

1. Bevezető

A telephelyek energiahatékonyságának növelése sok éven át másodlagos vagy harmadlagos kihívás volt az üzemeltetők többsége számára. Az elmúlt években a villamosítás jegyében tömegesen szereztek be modern gördülőállományt. Napjainkban világszerte több mint félmillió elektromos járművet használnak a városi közlekedésben, és a villamosítás mértéke egyre nő. Becslések szerint 2040-re az elektromos buszok világszerte a városi közlekedési flottának több mint 2/3-át fogják kitenni. Ezzel párhuzamosan egyre nagyobb szerepet kapnak a hidrogénüzemű járművek, amelyek 2040-ben a városi közlekedésben használt járművek 6%-át tehetik ki¹. A fő hangsúlyt a járművekben lévő energiatároló rendszerekre helyezték. Úgy tűnik, hogy a három rendelkezésre álló technológia (akkumulátor, szuperkondenzátor, lendkerék) közül² az akkumulátor a vezető technológia, amely maga mögé utasítja a szuperkondenzátorokat és a lendkerekeket. A menet közbeni töltési technológia új lehetőségként merült fel a trolibuszok esetében, de a technológiai érettsége miatt is³.

Bár a nem vontatási célú energia kisebb kiadást⁴ jelent, az energiaátalakításra irányuló környezeti és geopolitikai nyomás miatt meg kell találnunk a telephelyek fejlesztésének módját.

A telephelyek elektromos energiát, de gázt, olajat és távfűtést is fogyasztanak. Ezek összetétele az adott esettől, míg a felhasználás olyan tényezőktől függ, mint az épületek műszaki állapota, a megújuló energiaforrások elérhetősége, a berendezések (festőberendezések, világítás), valamint az energiafogyasztás megtakarítására alkalmazott eljárások.

1.1 Irodalmi áttekintés

Jelenleg a technológiai fejlődés elsősorban az akkumulátorok különböző generációi által képviselt villamosenergia-tárolási megoldásokra összpontosít⁵.

M. Bartłomiejczyk tanulmányában javaslatot tett az első olyan fotovoltaikus (PV) rendszerre, amely energiával látja el a gdyniai (Lengyelország) trolibuszrendszert. A változó mértékű napsugárzásból és a trolibuszok egyenetlen energiafelvételéből (forgalmi torlódás) eredő egyenetlen terhelés a vontatási áramellátásban lehetővé teszi, hogy az 500 kW-os PV-berendezésből előállítható energia több mint 70%-át felhasználják. A kétoldali tápegység telepítésével növelhető az energiafelhasználás. A napelemes rendszer optimális teljesítménye nagy mértékben függ a helyi energiarendszer szerkezetétől és a forgalmi viszonyoktól. A nagy állomások esetében ajánlott 400-500 kW teljesítményű, a kisebbeknél pedig 100-150 kW teljesítményű PV-berendezéseket kialakítani. A gyenge pontokon a vontatási felsővezetékhez csatlakoztatott PV-rendszerek esetében legfeljebb 50 kW PV-teljesítmény ajánlott⁶.

"Egy költséghatékony energiagazdálkodási rendszer", amelyet egy másik tanulmányban elemeztek, az energiatároló rendszer által támogatott PV technikával termelt energiával számolt. Az ilyen megoldás elsődleges akadályai a magas kezdeti tőkeköltések, a különleges műszaki követelmények (pl. nagy területigény, kapcsolódó kivitelezés) és az időszakosság, amelyet a PV-rendszer fő problémájaként emeltek ki. Másrészt "a PV és az energiatároló rendszer hatékony integrációja és energiagazdálkodása a telephelyi töltés ökoszisztémájában az időszakosság hatásának kiegyenlítését eredményezheti"⁷, amellett, hogy csökkenti a csúcsterhelést az elosztóhálózaton⁸ és a telephely tulajdonosának energiaköltségeit⁹.

1 Elektromos Járművek Tanácsa (Electric Vehicle Council). Az elektromos járművek jövője 2020-ig. Vezetői összefoglaló; Elektromos Járművek Tanácsa: Sydney, Ausztrália, 2020.

2 Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (A technika jelenlegi állása és szakértői értékelés az közösségi közlekedési infrastruktúra energiahatékony technológiáinak bevezetésére vonatkozóan.) Energiatárolás a közösségi közlekedési infrastruktúrában. Redmint, készült az EfficienCE projekt keretében, 2022.

3 Wótek M. et. al.: A városi közösségi közlekedés fenntartható fejlődésének biztosítása: Esettanulmány a gdyniai és sopoti (Lengyelország) trolibuszrendszerről. "Journal of Cleaner Production" 2021., 279. sz.

4 Például az egyik lengyelországi közösségi közlekedési üzemeltető által 2017-ben vásárolt nem vontatási célú energia a teljes vásárolt energia mintegy 5 százalékát tette ki. Mégis több mint 1 millió zlotyit (kb. 213 000 EUR 2022.05.12-i értéken) ért.

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

6 Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. „Energies” 2018., 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., 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, 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

A Sanghajra vonatkozóan elvégzett szimuláció alapján bebizonyosodott, hogy a fotovoltaikus akkumulátoros energiatároló rendszer a legköltséghatékonyabb megoldás¹⁰. Másrészt egy szingapúri esettanulmány alapján elemzést végeztek annak érdekében, hogy csökkentsék a csúcsidőszaki igényekben tapasztalható változásokat a helyhez kötött energiatároló egységekkel támogatott gyorsított állomásokkal felszerelt buszvégállomásokon. A tanulmány megállapította, hogy a költségcsökkentési potenciál csökken a buszvonalak villamosításának növekvő szintjével¹¹. Egy másik tanulmány az energiatároló rendszerek vegyítését emelte ki, akkumulátorok és szuperkondenzátorok együttes felhasználásával, amelyek különböző megújuló energiarendszerekben, különösen a PV-rendszerekben használhatók¹².

A TROLLEY 2.0 projekt keretében végzett kutatáson alapuló, nemrégiben megjelent tanulmány megállapította, hogy a megújuló forrásokból származó energiatermelés és az időszakos buszmenetrendek nincsenek összehangolva. Ennek eredményeként a jelentős energiafelesleg miatt az egész rendszer gazdasági szempontból nem megvalósítható. Arnhem városának (Hollandia egyetlen trolibuszrendszert működtető városa) esettanulmánya alapján modelleztek egy PV- és szélenergiát vizsgáló tanulmányt. A legjobb ajánlás az volt, hogy a teljes hálózathoz tartozó termelést vonják össze. A legjobb eredményt akkor érték el, amikor egy energiatároló rendszer telepítésével támogatott hibrid megoldást (53% fotovoltaikus és 47% szélenergia) alkalmaztak. Ennek oka, hogy a szélenergia-termelés jobban követi a buszkereslet alakulását éves szinten¹³.

A szakirodalmi áttekintés csak részleges választ adott a telephelyek energiahatékonyágának kérdéskörében. A tanulmányok többsége a megújuló energiaforrások felhasználására összpontosított. A szakirodalomban alig esik szó a közösségi közlekedési szolgáltatók műszaki létesítményeinek energia- és hőhatékonyágáról.

1.2 Az esettanulmányok kiválasztásának folyamata

Az esettanulmány alapú módszertan alkalmazásának célja a szakirodalmi áttekintés során azonosított kutatási hiányosságok pótlása. Az egyes esettanulmányok kiválasztása a város mérete, az üzemeltető mérete, a különböző közlekedési eszközök és a megújuló energiaforrások használatának fejlődése alapján történt. Az 1. táblázat a további elemzésre kiválasztott esettanulmányokat mutatja be. A tanulmány elsődlegesen nem a teljes közösségi közlekedési rendszerekkel, hanem a közép-európai üzemeltetőkkel, vállalatokkal foglalkozott. Ennek köszönhetően az adatgyűjtés pontosabb volt, és a további kutatás vált lehetővé az érintett piaci szereplők képviselőivel folytatott egyéni interjúk formájában.

1. táblázat. Az elemzésre kiválasztott esettanulmányok főbb jellemzői

Üzemeltető	Ország	Buszok	Trolibuszok	Villamosok	Ellátás [millió járműkilométer]	PV
DPMB Brno	Csehország	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Csehország	298	68	239	30,7	N
MPK Wrocław	Lengyelország	328	0	285	22,2	Y
MZA Warszawa	Lengyelország	1422	0	0	89	Y
PKT Gdynia	Lengyelország	0	100	0	5,3	P
SZKT Szeged	Magyarország	0	61	43	Nincs adat	P

Y - igen, N - nem, P - tervezett

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., 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, 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, 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, 352

2. Használati eset

2.1 DPMB Brno

A DPMB kizárólagos tulajdonosa Brno városa. 2020-ban az éves utasforgalom meghaladta a 272 millió utazást, ami 2019-hez képest 25%-os csökkenést jelent¹⁴. 2020-ban Brnóban a közösségi közlekedés 52%-át az elektromos vontatás teszi ki. A DPMB a trolibuszrendszer fejlesztését tervezi, ezzel jobban kihasználva a menet közbeni töltés előnyeit¹⁵.



1. ábra: Skoda Solaris trolibusz a kétszintes trolibuszok telephelyén Brnóban (Fotó: Marcin Wolek)

2.2 DPO Ostrava

A Dopravní Podnik Ostravy a.s. az ostravai közösségi közlekedés üzemeltetője, amely Ostrava város tulajdonában van. A DPO járművei 30,7 millió járműkilométert tettek meg. 2020-ban Ostrava közösségi közlekedési kínálatának 46%-át az elektromos vontatás biztosította,¹⁶ de ez az arány 2022-től várhatóan bevezetésre kerülő akkumulátoros elektromos buszok miatt növekedni fog. Ostravában tervezik továbbá, hogy hidrogéntöltő állomást telepítsenek a Hranecnik telephelyen.



2. ábra: Az ostravai trolibuszrendszer a város egy részét szolgálja ki, és a teljes közösségi közlekedési kínálatban 10%-os részesedéssel bír (Fotó: Marcin Wolek)

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

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

¹⁶ Dopravní Podnik Ostrava, Výroční Zpráva 2020. Ostrava 2021

2.3 MPK Wrocław



3. ábra: Az MPK Wrocław nagy villamosflottát üzemeltet (Fotó: Marcin Wolek)

Az MPK Wrocław 1995-ben alakult, és teljes egészében Wrocław város (640 000 lakos) tulajdonában van. Az MPK járművei 2019-ben 22,2 millió járműkilométert tettek meg. Az elektromos buszok vásárlására 2022-ben írtak ki pályázatot, amelynek eredményeként 11 darab Mercedes e-Citaro G csuklós autóbusz fog érkezni. Az Obornicka utcai telephelyen 5x60 kW-os és 6x60 kW-os hibrid töltőket, valamint egy nagy teljesítményű töltőt (400 kW) fognak telepíteni a hurokra.

2.4 MZA Warszawa

Az MZA a legjelentősebb közösségi közlekedési szolgáltató Lengyelországban, mintegy 4500 alkalmazottat foglalkoztat. Az MZA járművei 2019-ben mintegy 89 millió járműkilométert tettek. A rendelkezésre álló 1422 járműből 160 elektromos busz. Ezzel Varsó a lengyelországi elektromobilitásban vezető szerepet tölt be, mivel az elektromos flotta aránya 11%-os.



4. ábra: Az MZA Warszawa üzemelteti a legnagyobb buszflottát Lengyelországban (Fotó: Marcin Wolek)

2.5 PKT Gdynia

A PKT Gdynia a Gdynia és a szomszédos Sopot várost kiszolgáló városi trolibusz-üzemeltető. 2020-ban a trolibuszok kb. 5,3 millió járműkilométert tettek meg, és a járműpark közel 100 járműből állt. A közelmúltban két dízel buszjáratot menet közbeni töltésű trolibuszokra cseréltek. Ezenkívül az üzemeltető folyamatosan vezeti be a menet közbeni töltési modellt. 2019-ben a trolibuszok járműkilométereik közel 10%-át felsővezeték nélkül tették meg¹⁷. Ez a tendencia nagyon ígéretes, mivel az olajárak magasak és gyorsan változnak.



5. ábra: A PKT Gdynia egyik trolibusza menet közbeni töltés üzemmódban Gdyniában (Fotó: Marcin Wolek)

2.6 SZKT Szeged



6. ábra: Az SZKT átalakított trolibusza Szegeden [Fotó: SZKT Szeged]

A trolibuszokat és a villamosokat a Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT) üzemelteti, amely a szegedi önkormányzat kizárólagos tulajdonában van. Szeged egyike annak a négy magyar városnak, ahol villamosok közlekednek, és egyike annak a háromnak, ahol trolibuszok is közlekednek. A szegedi közösségi közlekedés tervezése során cél a meglévő elektromos közlekedési infrastruktúra további bővítése, hogy a helyi közösségi közlekedés minél több területét lefedje. A jelenlegi dízel buszokat a jövőben le fogják cserélni. A szegedi felsővezetéki infrastruktúra 1979 óta létezik, és azóta folyamatosan bővült.

¹⁷ Wolek M. et. al.: A városi közösségi közlekedés fenntartható fejlődésének biztosítása: Esettanulmány a gdyniai és sopoti (Lengyelország) trolibuszrendszerről. "Journal of Cleaner Production" 2021., 279. sz.



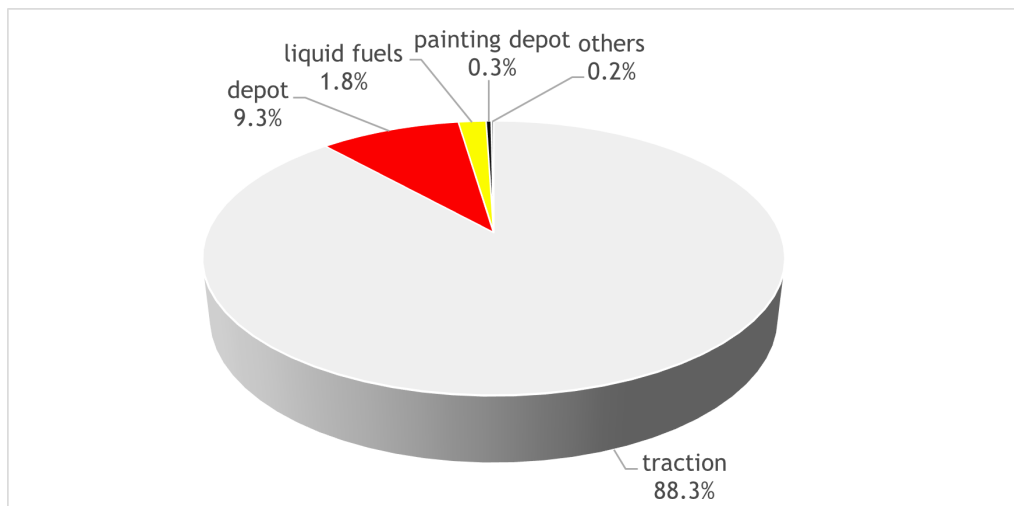
Fotó: Lipcse városa

2.7 A telephelyek általános jellemzői

A közösségi közlekedési telephelyek általános jellemzői a következők:

- a telephelyek területe nagy, magas kapukkal vannak körbe véve, amelyeket gyakran kinyitnak;
- a telephelyek különböző szintű műszaki berendezésekkel és kiegészítő létesítményekkel (pl. festőműhely) rendelkeznek;
- az épületen belül nagy teret kell fűteni, és sok fényre van szükség;
- a telephelyek gyakorlatilag megállás nélkül, éjjel és nappal is üzemelnek, a dolgozók kényelmére és biztonságára vonatkozó egyedi követelményeknek megfelelően;
- a fűtési rendszerek telephelyenként eltérőek;
- a villamosenergia-rendszernek a fentiek miatt könnyen karbantarthatónak kell lennie.

A PKT Gdynia (Lengyelország) teljes energiafogyasztásának szerkezete azt mutatja, hogy az üzemeltető által felhasznált összes energia (elektromosáram, üzemanyag és fűtés) kb. 9,3%-át a telephely fogyasztja. A festőműhely önmagában minimálisan járul hozzá a teljes energiafogyasztáshoz (7. ábra).

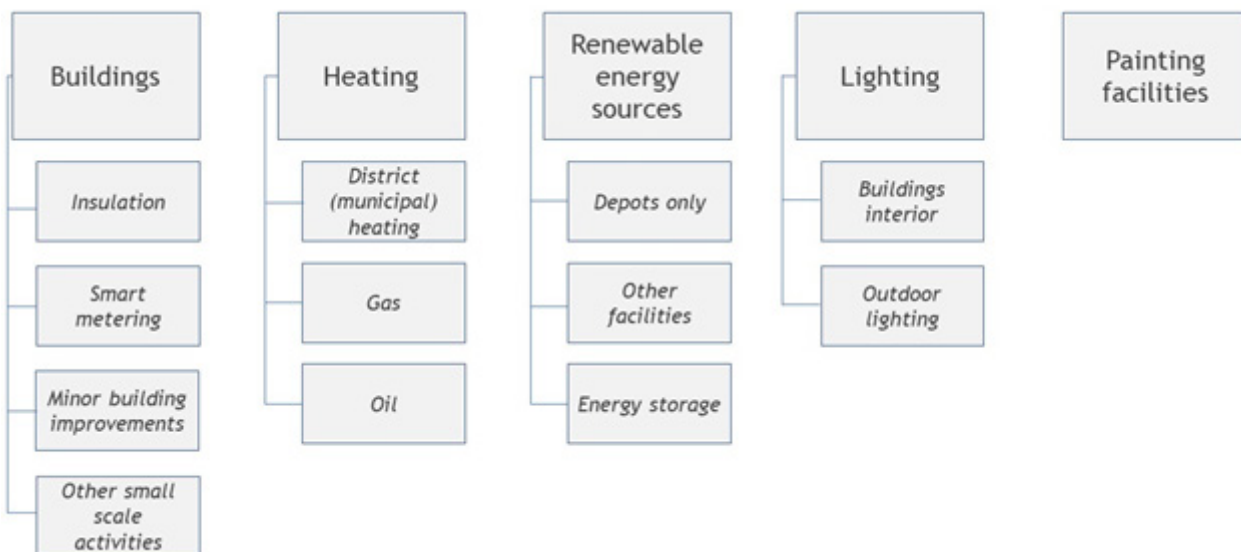


7. ábra: A PKT Gdynia teljes energiafogyasztása 2020-ban

Forrás: a PKT Gdynia energetikai auditja alapján

3. Használati esetek elemzése

A kiválasztott és az adott érintettekkel készített interjúk által alátámasztott használati esetek részletes elemzése segítségével meghatároztuk az energiahatékonyság növeléséhez vezető leggyakoribb tevékenységeket. Általánosságban elmondható, hogy az azonosított tevékenységeket több különböző csoportokba lehetett sorolni (8. ábra). Bizonyos telephelyek járműtöltő infrastruktúrája nem került bele az elemzésbe.



8. ábra: A közösségi közlekedési telephelyek nagyobb energiahatékonysága érdekében végzett tevékenységek csoportosítása



Fotó: Rupprecht Consult

3.1 Épületek

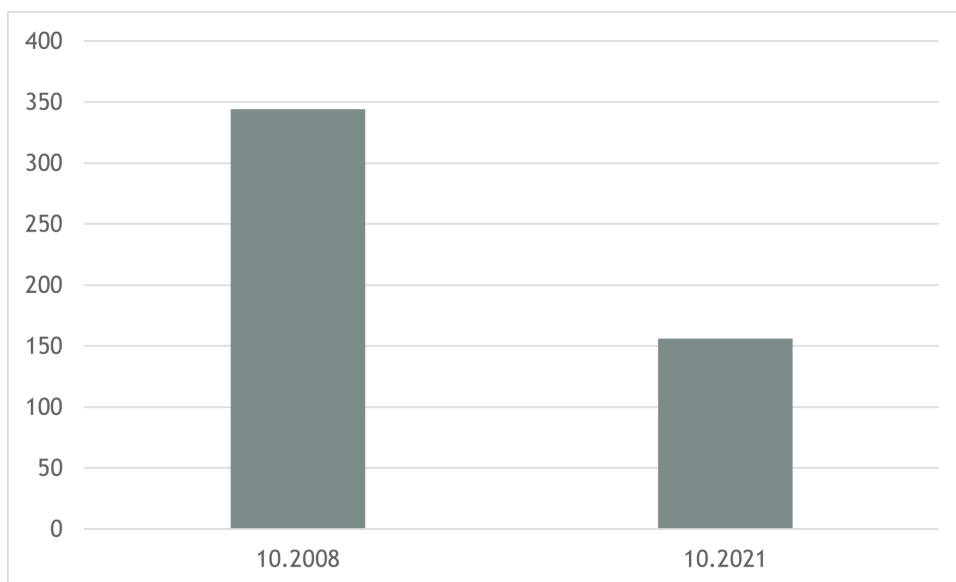
3.1.1 Szigetelés

Sok telephelyépület a múlt században épült, néhány még a 20. század elejéről származik. Ezért számos technikai körülmény teszi egyes eseteket egyedivé és különbözővé tesz. Az épületek teljes szigetelése meglehetősen gyakori tevékenység, amelyet kisléptékű intézkedésekkel támogatnak. Ostravában (Csehország) például a trolibuszállomás korszerűsítési projektje keretében javasolt volt a szigetelésnek, a tetőszerkezetek javításának, a tetőablakok cseréjének és a belső világítási rendszer rekonstrukciójának az elvégzése. A fenti intézkedések végrehajtása a kiindulási állapothoz képest kb. 37%-os fűtési energia-megtakarítást eredményezne.

3.1.2 Intelligens mérés

A DSO Ostrava rendelkezésére álló valamennyi létesítményben valamennyi közmű (áram, hő, víz) fogyasztását mérik. A cseh AYISIS cég szoftvere segítségével egy adott helyszínen az összes közmű valós idejű nyomon követése lehetséges, például óránkénti villamosenergia-fogyasztási profilok készítésével. Többek között lehetővé teszi, hogy az épületek belső hőmérsékletét az adott pillanatban uralkodó időjárási viszonyok (az adatokat a vállalat időjárási állomásáról kapja) figyelembe vételével szabályozzák.

A PKT Gdynia raktárépületében épületkezelő rendszer (BMS - Building Management System) került telepítésre. A vállalat meghatározta, hogy az első fázisban mely közművek kerüljenek bele a rendszerbe. A PKT-nál a hőenergiát kapott kiemelt szerepet, és kicserélték a kapcsolóberendezést és 13 fűtőberendezést, valamint a vezetékeket és a vezérlőrendszert. A fűtőberendezések mindhárom telephelyzónában (ellenőrzés, tisztítás, karbantartás) hőmérséklet-érzékelőkkel vannak összekötve.



9. ábra: A PKT Gdynia trolibusztelephelyének hőfogyasztása 2008 októberében és 2021 októberében [GJ]

Forrás: a PKT Gdynia sp. z o. o. által szolgáltatott adatok alapján.

A BMS telepítése után a téli hónapokban a hőfogyasztás körülbelül 200 GJ-lal kevesebb volt, ami körülbelül 12 000 zlotyi megtakarítást jelent. A hőfogyasztás 2008 októberében 344 GJ volt, 2021 októberében pedig jelentősen, 156 GJ-ra csökkent (9. ábra). A rendszert a külső hőmérséklet figyelése támogatja.

Ez lehetővé tette a megrendelt energia csökkentését is, ami évente mintegy 18 000 zlotyi (3840 euró) megtakarítást eredményezett.

3.1.3 Kisebb épületfejlesztések

A PKT Gdynia (Lengyelország) telephelyének épületét a villamos- és trolibusztelephelyeknél szokásos megoldást alkalmazták, azaz tetőablakokkal és felsővezetékhez szükséges ablakokkal tervezték. A telephelyen az épület hőenergiájának legjobb kihasználása érdekében van egy hőközpontvezérlés. A tetőn lévő szigetelőrétegek cseréjével a tető hőszigetelése azonnal javult.



10. ábra: A PKT Gdynia trolibusztelephelye (Fotó: Marcin Wolek)

Amikor a PKT Gdynia telephelyén kicserélték a tetőablakokat, megnövelték a felületüket. Most a tetőfelület 1/3-át foglalják el (11. ábra). Az új tetőablakok magasabb tűzállósági tulajdonsággal és magasabb hőszigetelési paraméterekkel is rendelkeznek.



11. ábra: A tetőablakok cseréje a PKT Gdynia telephelyén (Fotó: Marcin Wolek)

3.1.4 Egyéb kisléptékű tevékenységek

A napi kiszolgálócsarnokokban az üzemeltetési rendszer sajátos jellege miatt (beleértve a nagyfelületű ajtók gyakori nyitását) meg kell fontolni a légkeverő berendezések (mennyezeti ventilátor) beszerelését. A felmelegített levegő hideg napokon felfelé emelkedik, a tető alatt összegyűlik, és így a dolgozó által a talajszinten érzékelt hőmérséklet alacsonyabb. A levegő hőmérsékletének egyenletes eloszlása érdekében ezekben a helyiségekben légkeverő berendezéseket használnak, amelyek fő feladata a levegő hőmérsékletének egyensúlyban tartása a tető alatt és az épület talaján. Így a fűtési költségek csökkenthetők. Ilyen megoldást sikeresen alkalmaztak az MZA Warszawa (Lengyelország) egyik telephelyén.

A szelepek és karimás csatlakozások hőszigetelése a hőveszteségek csökkentése érdekében szintén alacsony költségű, rövid megtérülési idővel járó intézkedés lehet. Az MPK Wrocław esetében ennek a mért mennyiségnek a becsült költsége kb. 1 300 zlotyi, és 4 841 kWh éves megtakarítást eredményez. Ez kevesebb mint két év után megtérül.

A DPMB Brno (Csehország) bevezette az ISO 50001 nemzetközi energiagazdálkodási szabványt. A szabvány rendelkezéseinek célja a vállalkozások energiahatékonyságának javítása, függetlenül a vállalkozás méretétől, a tevékenysége szerinti iparágtól vagy alkalmazottainak számától. Ezen szabvány bevezetésével az DPMB-nek nem kell energetikai auditot végeznie. Az egyéb előnyök közé tartozik többek között a jövőbeli energiaellátással kapcsolatos kockázatok azonosítása és kezelése, az energiafelhasználás mérése és nyomon követése a hatékonyságnövelésre alkalmas területek azonosítása érdekében, valamint a környezetvédelmi gondosság bizonyítása a pályázati követelményeknek való megfelelés érdekében.

3.2 Fűtés

Az MZA három varsói telephelye távfűtést (Veolia) vesz igénybe. Az egyik telephely gázüzemanyaggal működik. Az MZA néhány éve elkészült új festékraktárral rendelkezik, amelybe kettős szellőzőrendszert és porelszívást szereltek. Mindkét festőműhely a telephely energetikai rendszerébe van integrálva.

Az MPK Wrocław összes telephelye távfűtésre van csatlakoztatva. A hőszivattyúk beépítését nem tervezik a közeljövőben, mivel az épületek különböző időpontokban épültek, és a hőszivattyúk esetleges telepítése céljából átépítésük nem indokolt.

Az SZKT esetében a vállalat épületei meglehetősen vegyes képet mutatnak. Vannak 100 éves, alig karbantartott és a jelenlegi szabványoknak már nem megfelelő épületek, valamint modern, a legújabb építészeti és energetikai követelményeknek megfelelő új épületek. A legtöbb épületet rendeltetésének megfelelően tervezték, azaz nagy csarnoktípusú műhelyek, kis kompakt állomásépületek és kiszolgáló épületek, fűtött és fűtetlen épületek, valamint légkondicionált épületek.

Ezért az épületek fűtése is igen változatos. A legtöbb üzemcsarnok sugárzó vagy termoventilátoros fűtéssel rendelkezik. A nagyobb épületekben melegvizet központi fűtést használnak, részben kondenzációs kazánokkal. A régebbi és leromlott állapotú kis épületekben egyedi gázkonvektoros fűtést használnak, de vannak elektromos fűtőtestekkel felszerelt helyiségek is. A használati melegvízellátás a villamos- és trolibusztelephelyek területén központosított, megfelelő tárolókapacitással, míg a többi épületben többnyire átfolyós elektromos vízmelegítők vannak¹⁸.

3.3 Megújuló energiaforrások

Varsó (Lengyelország) volt az első lengyelországi város, amely nagy mennyiségben szerelte fel a buszok tetejére fotovoltaiikus paneleket. Ezek lehetővé teszik a járművek energiamérlegének javítását és akár öt százalékos üzemanyag-megtakarítást. Ezenkívül a „Woronicza” telephely tetejére telepített naperőmű lehetővé tette az üzem rendes működéséhez szükséges igények kielégítését. Az energiahatékonyságot növeli az is, hogy a telephelyeken elhelyezett több száz lámpaoszlopot energiatakarékos LED-es világításra cserélték.

Az MZA Warszawa Włociańska utca 52. szám alatt található napi kiszolgálócsarnokára kb. 65 kW teljesítményű fotovoltaiikus paneleket telepítettek. Ehhez több kötelezettségnek kellett eleget tenni. Az elektromos buszok bevezetése után a központ villamosenergia-fogyasztása annyira megnőtt, hogy nincs tényleges energiaeladás kifelé. Egy másik PV-berendezéshez tartozik a Woronicza utcai telephely (74 kW).

Az MPK Wrocławhoz tartozó két busztelephelyen (a Powstańców Śląskich utcai villamostelephelyen és az Obornicka utcai busztelephelyen) az elmúlt években egyenként kb. 50 kW teljesítményű fotovoltaiikus berendezéseket telepítettek. Ennek köszönhetően az egyik csarnok, amelyben többek között buszokat mosnak és javítanak, nagyrészt önellátó lesz. A tetőn elhelyezett napelemes berendezés a csarnok igényeinek felét fedezi majd, ami évi 30 000 zlotyi megtakarítást tesz lehetővé. A beruházás költsége nettó 212 000 zlotyi (45 211 euró) volt. Az MPK becslése szerint a pénz 8 éven belül megtérül energiában.

¹⁸ Energetikai audit az SZKT-nál, Szeged, 2019.

Az MPK Wrocław sp. z o.o. tulajdonában lévő összes épület tetején tervezik a fotovoltaikus telepítések további fejlesztését. Jelenleg egy másik, 50 kW-os fotovoltaikus létesítményt építenek az Obornicka utcában lévő telephelyen (12. ábra).

Mivel az MPK Wrocław nem rendelkezik fedett parkolóhelyekkel, az üzemeltető telephelyén lévő létesítményekből származó fotovoltaikus energia nem lesz jelentős a vontatás szempontjából.

Az SZKT Szeged (Magyarország) egyik telephelyére tervezett 150 kW-os kapacitású fotovoltaikus parkra vonatkozó számítások hosszabb megtérülési idővel kalkulálnak. Az éves villamosenergia-termelés becslést mértéke 174 000 kWh. Külső társfinanszírozás nélkül a megtérülési idő 12,7 év, a beruházási költségek 30%-os társfinanszírozásával pedig kevesebb mint 9 év. A háború és instabilitás miatt megnövekedett energiaárak miatt a várható megtérülési ráta lerövidül.



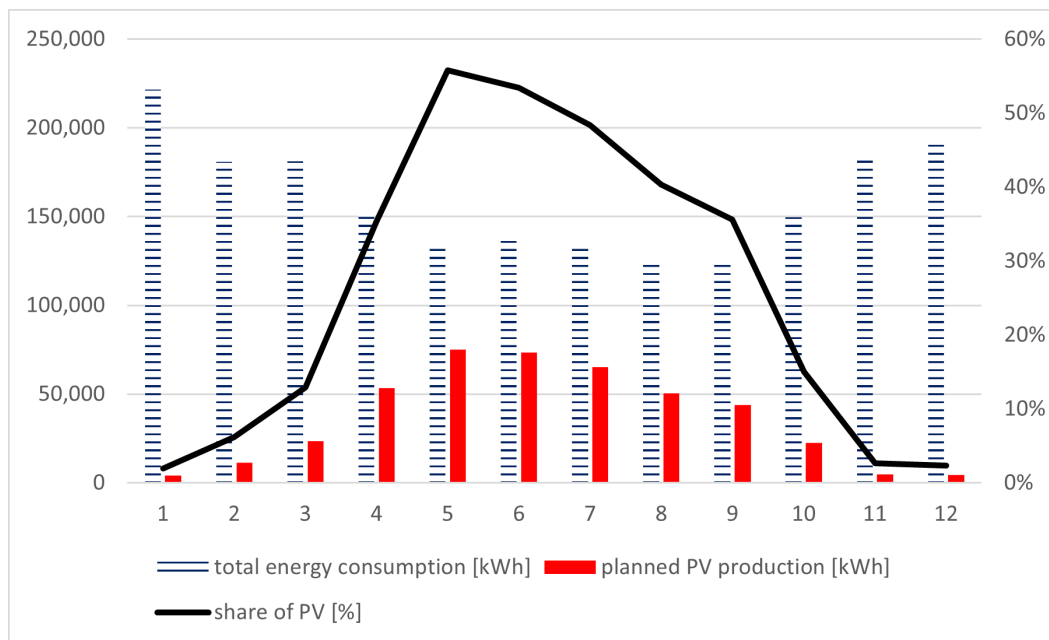
12. ábra: PV-berendezés az MPK Wrocław villamostelephelyének a tetején (Fotó: Marcin Wolek)

A Brno központi részén található egyik trolibusztelephelyen van egy napelempark, de a bérlő (azaz a város) csak a park infrastruktúrájának használatáért számít fel díjat.

A PKT Gdynia (Lengyelország) egy napelempark (kb. 500 kW) kialakítását tervezi a telephelye tetején (kb. 5000 m²), amely a trolibuszok által felhasznált energia 5%-át fedezné. Egy energiatároló rendszer hozzáadása növelné ezt az arányt. A nagy hatásfokú monokristályos napelemes panelek használatával a berendezés maximális teljesítménye 499,8 kWp. A PKT Sp. z o. o. egy hasonló paraméterekkel rendelkező napelemes létesítmény részletes adatai alapján számításokat végzett a napenergia-hozamra vonatkozóan. A becslést éves hozam: 431 391 kWh/év¹⁹.

19 A PKT Gdynia energetikai auditja, PKT Gdynia, 2021. szeptember

Amennyiben a napelemes létesítményt a Grabówek alállomáshoz csatlakoztatják, annak éves energiaszükségletének több mint 22,5%-át képes lesz fedezni, bár nagyon erős havi ingadozással (13. ábra). Az átlagos éves primerenergia-megtakarítás 431,39 MWh, azaz 37,09 toe/év lesz. Ezáltal fedezni lehetne a telephely teljes villamosenergia-fogyasztását (406,7 MWh). Ezenkívül lehetőség van arra, hogy a PKT Gdynia más létesítményein is paneleket helyezzenek el, ami további 99,5 MWh termelését jelentheti²⁰.

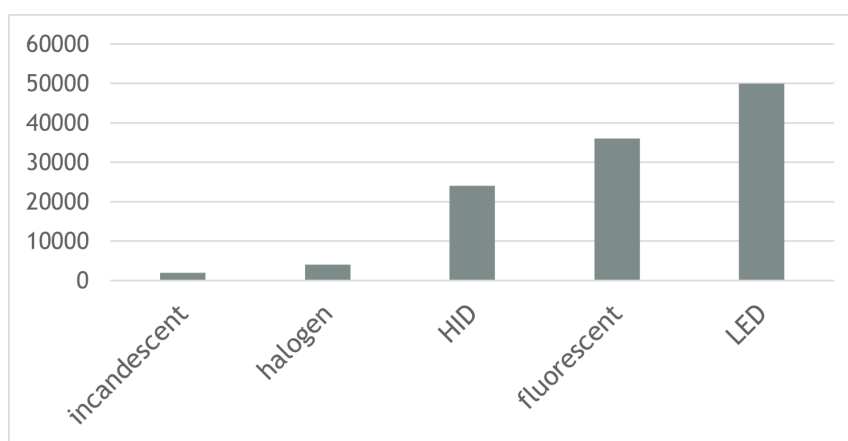


13. ábra: A Grabówek alállomás havi energiafogyasztása és a napelemekkel tervezett energia, PKT Gdynia (Lengyelország)

Forrás: a PKT Gdynia energetikai auditja alapján, 2021. szeptember

3.4 Világítás

A modern LED-es lámpák nemcsak kevesebb energiát igényelnek, de becsült élettartamuk is sokkal hosszabb, mint az izzóké vagy akár a fénycsöveké (14. ábra).



14. ábra: A különböző izzótípusok jellemző átlagos névleges élettartama [óra]

²⁰ A PKT Gdynia energetikai auditja, PKT Gdynia, 2021. szeptember

A lámpatestek átfogó cseréje gyorsan megtérülő befektetés. Ezek külön-külön vagy egy épületkorszerűsítési és szigetelési projekt részeként is megvalósíthatók.



15. ábra: Az MPK Wrocław sp. o. o. csarnok előtti tér világítása

A világítás korszerűsítésének költségei 314 000 zlotyit tettek ki. Az éves villamosenergia-megtakarítás 258 939 kWh volt, ami 112 000 zlotyi megtakarítást, és a CO₂-kibocsátásban 186 tonna csökkenést eredményezett. Ebben az esetben a befektetés kevesebb mint 3 év múlva megtérül²¹. A világítás korszerűsítése kültéren is megtörtént (15. ábra).

Az SZKT Szeged (Magyarország) energetikai audit hasonló következtetéseket tartalmaz. A világítás LED-esre történő cseréjét célzó beruházás esetében (5,12 millió forint = 13 600 euró) a megtérülési idő kevesebb mint 3 év²².

3.5 Festőműhely

A PKT Gdynia sp. z o.o.-ban a festőműhely fűtőolajat használ, mivel ideiglenesen nagy hőenergiára van szükség. A távfűtés helyett folyékony tüzelőanyagot használnak, mivel a hőelosztótól megrendelt áram magas költségekkel járt. Az éves üzemanyag-fogyasztás kb. 3 440 liter olajnak felel meg²³.

Az MZA Warszawa néhány éve elkészült új festőműhelye dupla szellőzőrendszerrel és porelszívóval van felszerelve. Mindkét festőműhely a telephely energetikai rendszerébe van integrálva.

²¹ Energetikai audit az MPK Wrocław sp. z o.o.-nál. 2. melléklet: Épületek. Audytel, Wrocław 2021, 89. és következő o.

²² Energetikai audit az SZKT-nál, Szeged, 2019.

²³ A PKT Gdynia energetikai auditja, PKT Gdynia, 2021. szeptember

4. Következtetések

Bár a legtöbb villamos energiát a vontatáshoz használják, a telephelyek elektromos és hőenergiát is fogyasztanak. A telephelyek energiafelhasználásának optimalizálása szerves része a közösségi közlekedési vállalatok energiahatékonyságának és gazdaságosságának javítása irányába tett intézkedéseknek.

A közösségi közlekedési vállalatok telephelyei nagyon változatos képet mutatnak. Eltérnek egymástól az építés évében, az általuk üzemeltetett közlekedési eszközökben, valamint a korszerűsítés és a felszerelés mértékében. Mindez hatással van az energiafogyasztásra és más közművekre (pl. víz).

A kiválasztott példák áttekintésekor bizonyos szabályszerűségeket tapasztaltunk abban, ahogy az üzemeltetők igyekeznek a létesítményeket energiahatékonyabbá tenni.

Az alapvető beruházási tevékenységek között nagyon gyakran szerepel az épületek korszerűsítése a hőtechnikai paraméterek javítása érdekében. Az ilyen intézkedéseket gyakran épületszintű mérők felszerelése kíséri. A rendszer lehet teljes körű és magában foglalhatja az összes közművet (energia, hő és víz), vagy fokozatosan megvalósított, ekkor mindig a legmagasabb költséget termelő közművekre irányul. Az épület műszaki korszerűsítése olyan tevékenységeket is magában foglalhat, amelyeknek a hatása ugyan kicsi, de kényelmesebbé teszik a járműszervizcsarnokban végzett munkát, és egyúttal javítják a tűzbiztonságot (pl. a tetőablakok cseréje és bővítése).

Jó megoldás lehet a napelemek telepítése a telephelyek tetejére. Az így termelt villamos energiát általában a telephely saját szükségleteinek kielégítésére használják fel. A napelemek telepítését villamosenergia-tároló berendezések telepítésének kell kísérnie.

Egy nagyobb egész részeként az alacsony költségű intézkedések alapvető szerepet játszanak. Bár nem eredményez jelentős megtakarítást az egész vállalat számára, a világítás utólagos átalakításába történő beruházás rövid megtérülési idővel jár. Fokozatosan, akár alapvető beruházási források nélkül is megvalósítható.

Hivatkozások

- 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, 199
- Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. „Energies” 2018., 11(4)
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: Multiaspect measurement analysis of breaking energy recovery. „Energy Conversion Management” 2016, 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, 216
- Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. (A technika jelenlegi állása és szakértői értékelés az közösségi közlekedési infrastruktúra energiahatékony technológiáinak bevezetésére vonatkozóan.) Energiatárolás a közösségi közlekedési infrastruktúrában. Redmint, készült az EfficienCE projekt keretében, 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., 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, 352
- Elektromos Járművek Tanácsa (Electric Vehicle Council). Az elektromos járművek jövője 2020-ig. Vezetői összefoglaló; Elektromos Járművek Tanácsa: Sydney, Ausztrália, 2020
- Energetikai audit az MPK Wrocław sp. z o.o.-nál. 2. melléklet: Épületek. Audytel, Wrocław 2021
- A PKT Gdynia energetikai auditja, PKT Gdynia, 2021. szeptember
- Energetikai audit az SZKT-nál, Szeged, 2019.
- Gao Z.et. al.: Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. „Energy” 2017, 122
- Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Misak S., Stýskala V.: Energy recovery effectiveness in trolleybus transport. „Electric Power Systems Research” 2014, 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, 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, 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, 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, 32
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Města Brna, Brno 2021
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Ostrava, Ostrava 2021
- Wołek M. et. al.: A városi közösségi közlekedés fenntartható fejlődésének biztosítása: Esettanulmány a gdyniai és sopoti (Lengyelország) trolibuszrendszerről. "Journal of Cleaner Production" 2021., 279. sz.
- Wołek M.et. al.: A városi közösségi közlekedés fenntartható fejlődésének biztosítása: Esettanulmány a gdyniai és sopoti (Lengyelország) trolibuszrendszerről. "Journal of Cleaner Production" 2021., 279. sz.

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

Internetes linkek:

<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

MÉG TÖBB EfficienCE



Látogasson el weboldalunkra:
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Kapcsolat



+49 341 123 59 10

Vezető partner: Lipcse, Németország



Projektmenedzserek:

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



Faculty of Civil Engineering,
Transportation Engineering
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

