



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



MIĘDZYNARODOWY PODRĘCZNIK WDRAŻANIA ENERGOOSZCZĘDNYCH TECHNOLOGII DLA INFRASTRUKTURY TRANSPORTU PUBLICZNEGO

(1) Efektywność energetyczna dla zajezdni

IMPRINT

Numer projektu:

CE1537 EfficienCE - Efektywność energetyczna dla infrastruktury transportu publicznego w Europie Środkowej.

Finansowanie:

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

Tytuł dokumentu:

D.T2.3.2 Międzynarodowy podręcznik wdrażania energooszczędnych technologii dla infrastruktury transportu publicznego

Redakcja:

Konsorcjum EfficienCE

Autorzy:

Marcin Wołek (Politechnika Gdańska)

Układ i projekt:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Data:

czerwiec 2022 r.

O projekcie EfficienCE

EfficienCE to projekt współpracy finansowany z programu Interreg EUROPA ŚRODKOWA, którego celem było zmniejszenie śladu węglowego w regionie. Większość miast Europy Środkowej posiada rozbudowane systemy transportu publicznego, które mogą stanowić podstawę dla usług niskoemisyjnej mobilności. Ponad 63% osób dojeżdżających do pracy w regionie korzysta z transportu publicznego. Przedsięwzięcia mające na celu zwiększenie efektywności energetycznej i udziału odnawialnych źródeł energii w infrastrukturze transportu publicznego mogą zatem mieć szczególnie duży wpływ na zmniejszenie emisji CO₂.

Osiągnięto to dzięki wspieraniu władz lokalnych, zarządów transportu publicznego i operatorów poprzez opracowywanie strategii planowania i planów działania, wdrażanie działań pilotażowych, rozwijanie narzędzi i szkoleń w zakresie planowania i obsługi infrastruktury niskoemisyjnej, a także poprzez transfer wiedzy i najlepszych praktyk w zakresie energooszczędnych przedsięwzięć w regionach Europy Środkowej.

Dwunastu partnerów, w tym siedem zarządów/firm transportu publicznego z siedmiu krajów, współpracowało przez trzy lata, aby zużytkować niewykorzystany potencjał w tym sektorze i przyczynić się do realizacji celów „Białej Księgi” UE dotyczących ograniczenia emisji z transportu o 60% do 2050 r. i zmniejszenia o połowę liczby samochodów napędzanych paliwem konwencjonalnym, z jakich korzysta transport miejski, do 2030 r.

Spis treści

Streszczenie	5
1. Wprowadzenie	6
1.1 Przegląd literatury	6
1.2 Proces wyboru studium przypadku	7
2. Przykład zastosowania	8
2.1 DPMB Brno	8
2.2 DPO Ostrawa	8
2.3 MPK Wrocław	9
2.4 MZA Warszawa	9
2.5 PKT Gdynia	10
2.6 SZKT Szeged	10
2.7 Ogólne cechy zajezdni	11
3. Analiza przykładów zastosowania	13
3.1 Budynki	14
3.1.1 Izolacja	14
3.1.2 Inteligentne pomiary	14
3.1.3 Drobne ulepszenia budynków	15
3.1.4 Inne działania na małą skalę	15
3.2 Ogrzewanie	16
3.3 Odnawialne źródła energii	16
3.4 Oświetlenie	18
3.5 Lakiernia	19
4. Wnioski	20
Referencje	21

Streszczenie



Zdjęcie dostarczone przez miasto Lipsk

Chociaż energia nietrakcyjna to niewielki wydatek, presja środowiskowa i geopolityczna na transformację energetyczną dostarcza argumentów za poszukiwaniem ulepszeń w zajezdniach.

Zajezdnia zużywa energię elektryczną, ale także gaz, ropę i ciepło z sieci miejskiej. Struktura zużycia zależy od szczególnego przypadku, a użytkowanie uzależnione jest od takich czynników, jak stan techniczny budynków, dostępność odnawialnych źródeł energii, wyposażenie (lakiernie, oświetlenie) oraz wdrożone procedury oszczędzania energii.

Przegląd literatury przyniósł tylko częściową odpowiedź na temat efektywności energetycznej zajezdni. Większość istniejących artykułów skupia się na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Zagadnienie dotyczące efektywności energetycznej i cieplnej urządzeń technicznych operatorów transportu publicznego jest rzadko poruszane w literaturze.

Dlatego też przeprowadzono dokładną analizę, korzystając z wybranych sześciu studiów przypadków różnych operatorów transportu publicznego z Europy Środkowej. W analizie wykazano, że istnieje wiele różnych działań skoncentrowanych na zwiększeniu efektywności energetycznej zajezdni. Ich skala uzależniona jest nie tylko od wielkości operatora, ale także od lokalnych uwarunkowań i krajowych ram prawnych.

Działania te podzielono na pięć głównych grup obejmujących budynki, ogrzewanie, odnawialne źródła energii, oświetlenie i lakiernie, ponieważ stanowią one bardzo specyficzny obszar codziennej eksploatacji.

Optymalizacja zużycia energii w zajezdni stanowi integralną część poprawy efektywności energetycznej i ekonomicznej przedsiębiorstw transportu publicznego. Jest to szczególnie ważne, gdy ceny paliw kopalnych i energii elektrycznej rosną i są nieprzewidywalne, jak nigdy dotąd.

1. Wprowadzenie

Przez wiele lat efektywność energetyczna zajezdni była dla większości operatorów kwestią drugorzędą a nawet trzeciorzędą. W ostatnich latach obserwuje się masowe nabywanie nowoczesnego taboru pod sztandarem elektryfikacji. Obecnie w transporcie miejskim na całym świecie wykorzystywanych jest ponad pół miliona pojazdów elektrycznych, a skala elektryfikacji rośnie. Szacuje się, że do 2040 roku autobusy elektryczne mogą przekroczyć 2/3 floty transportu miejskiego na świecie. Równoległym trendem jest rosnąca rola pojazdów wodorowych, które mogą stanowić 6% pojazdów transportu miejskiego w 2040 roku¹. Główny nacisk położono na systemy magazynowania energii w pojazdach. Wśród trzech dostępnych technologii (akumulatory, superkondensatory, koła zamachowe)² akumulator wydaje się wiodącą technologią, pozostawiając w tyle superkondensatory i koła zamachowe. Technologia ładowania w ruchu jest postrzegana jako nowa możliwość wykorzystania trolejbusów, również ze względu na jej dojrzałość technologiczną³.

Chociaż energia nietrakcyjna to niewielki wydatek⁴, presja środowiskowa i geopolityczna na transformację energetyczną dostarcza argumentów za poszukiwaniem ulepszeń w zajezdniach.

Zajezdnia zużywa energię elektryczną, ale także gaz, ropę i ciepło z sieci miejskiej. Struktura zużycia zależy od danego przypadku, a użytkowanie uzależnione jest od takich czynników, jak stan techniczny budynków, dostępność odnawialnych źródeł energii, wyposażenie (lakiernie, oświetlenie) oraz wdrożone procedury oszczędzania energii.

1.1 Przegląd literatury

Obecnie postęp technologiczny koncentruje się przede wszystkim na magazynowaniu energii elektrycznej, które jest reprezentowane przez różne generacje akumulatorów⁵.

W pracy M. Bartłomiejczyka zaproponowano pierwszy system fotowoltaiczny do zasilania w energię systemu trolejbusowego w Gdyni (Polska). Nierównomierne obciążenie zasilania trakcji, wynikające z różnego promieniowania słonecznego i nierównomiernego odbioru energii z trolejbusów (zatłoczenie dróg), umożliwia wykorzystanie ponad 70% energii, którą można wyprodukować dzięki instalacji fotowoltaicznej o mocy 500 kW. Wprowadzenie dwustronnego zasilania zwiększa możliwości wykorzystania energii. Optymalna moc systemu solarnego zależy w szerokim zakresie od lokalnej struktury systemu elektroenergetycznego i warunków ruchu. Dla dużych stacji energetycznych zaleca się rozwój systemów fotowoltaicznych o mocy 400-500 kW, dla mniejszych - od 100 do 150 kW. W przypadku systemu fotowoltaicznego podłączonego do sieci trakcyjnej w słabych punktach zalecana jest maksymalna moc fotowoltaiczna do 50 kW⁶.

„Efektywny kosztowo system zarządzania energią”, analizowany w innej pracy, dotyczył energii wytwarzanej przez system fotowoltaiczny wspierany przez system magazynowania energii. Głównymi barierami takiego rozwiązania były wysokie początkowe koszty kapitałowe, specyficzne wymagania techniczne (tj. wymagana duża powierzchnia, odpowiednia konstrukcja) oraz nieciągłość, która została wskazana jako główny problem systemu fotowoltaicznego. Z drugiej strony „skuteczna integracja i zarządzanie energią fotowoltaiczną i systemem magazynowania energii w ekosystemie ładowania zajezdni może przyczynić się do złagodzenia wpływu nieciągłości”⁷, zmniejszenia obciążenia szczytowego w sieci dystrybucyjnej⁸ i zmniejszenia kosztów energii dla właścicieli zajezdni⁹.

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 podstawie symulacji przeprowadzonej dla Szanghaju udowodniono, że system magazynowania energii w akumulatorach fotowoltaicznych jest najbardziej opłacalnym rozwiązaniem¹⁰. Z drugiej strony, w oparciu o studium przypadku z Singapuru przeprowadzono analizę w celu ograniczenia zmian zapotrzebowania szczytowego na stacjach końcowych autobusów wyposażonych w stacje szybkiego ładowania wspierane przez stacjonarne magazyny energii. W tym studium przypadku wykazano, że możliwość redukcji kosztów zmniejsza się wraz ze wzrostem poziomu elektryfikacji linii autobusowych¹¹. W innym studium przypadku wskazano na hybrydyzację systemów magazynowania energii z wykorzystaniem akumulatorów i superkondensatorów, które mogą być stosowane w różnych systemach energii odnawialnej, a zwłaszcza w systemach fotowoltaicznych¹².

W niedawno opublikowanym artykule, opartym na badaniach naukowych przeprowadzonych w ramach projektu TROLLEY 2.0, rozpoznano rozbieżność pomiędzy wytwarzaniem energii ze źródeł odnawialnych a nieregularnymi rozkładami jazdy autobusów. W efekcie ze względu na znaczny nadmiar energii cały system jest niewykonalny z ekonomicznego punktu widzenia. Badanie dotyczyło energii fotowoltaicznej oraz wiatrowej i opierało się na studium przypadku miasta Arnhem (jedynego miasta w Holandii obsługiwanego przez system trolejbusowy). Najlepszą rekomendacją było gromadzenie wytwarzania z całej sieci. Najlepszy wynik osiągnięto, gdy wdrożono rozwiązanie hybrydowe (53% energii fotowoltaicznej i 47% wiatrowej) wsparte instalacją systemu magazynowania energii. Jest to związane z tym, że wytwarzanie energii wiatrowej lepiej odzwierciedla trend popytu na autobusy w ujęciu rocznym¹³.

Przegląd literatury przyniósł tylko częściową odpowiedź na temat efektywności energetycznej zajezdni. Większość istniejących artykułów skupia się na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Zagadnienie dotyczące efektywności energetycznej i cieplnej urządzeń technicznych operatorów transportu publicznego jest rzadko poruszane w literaturze.

1.2 Proces wyboru studium przypadku

Metoda studium przypadku została wybrana w celu wypełnienia luk badawczych stwierdzonych w przeglądanej literaturze. Wyboru poszczególnych studiów przypadków dokonano w zależności od wielkości miasta, rozmiarów operatora, różnych środków transportu oraz stopnia zaawansowania w zakresie korzystania z odnawialnych źródeł energii. W tabeli 1 przedstawiono wybrane studia przypadków do dalszej analizy. Badanie skoncentrowało się na operatorach z Europy Środkowej - firmach, a nie na całych systemach transportu publicznego. Pozwoliło to na większą precyzję w pozyskiwaniu danych i dalsze badania w postaci indywidualnych rozmów z odpowiednimi przedstawicielami operatorów.

Tabela 1. Główne cechy studiów przypadków wybranych do analizy

Operator	Kraj	Autobusy	Trolejbusy	Tramwaje	Podaż [mln wozokm]	PV
DPMB Brno	Czechy	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrawa	Czechy	298	68	239	30,7	N
MPK Wrocław	Polska	328	0	285	22,2	T
MZA Warszawa	Polska	1422	0	0	89	T
PKT Gdynia	Polska	0	100	0	5,3	P
SZKT Szeged	Węgry	0	61	43	Brak danych	P

T – tak, N – nie, P – planowane

- 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. Przykład zastosowania

2.1 DPMB Brno

Jedynym właścicielem DPMB jest miasto Brno. W 2020 r. roczna liczba pasażerów przekroczyła 272 mln wyjazdów i spadła o 25% w porównaniu z 2019 r.¹⁴. Łącznie trakcja elektryczna zapewniła 52% podaży transportu publicznego w Brnie w 2020 r. DPMB planuje rozwój podsystemu trolejbusowego, lepiej wykorzystującego zalety ładowania w ruchu¹⁵.



Rysunek 1: Trolejbus Skoda Solaris w dwupiętrowej zajezdni trolejbusowej w Brnie (fot. Marcin Wolek)

2.2 DPO Ostrawa

Firma Dopravní Podnik Ostravy a.s. jest operatorem transportu publicznego w Ostrawie i jej właścicielem jest miasto Ostrawa. Podaż firmy DPO wyniosła 30,7 mln wozokilometrów. Łącznie trakcja elektryczna zapewniła 46% podaży transportu publicznego w Ostrawie w 2020 r.,¹⁶ ale ulegnie zwiększeniu ze względu na oczekiwane wprowadzenie autobusów elektrycznych z akumulatorami, począwszy od 2022 r. Ponadto w Ostrawie planowana jest budowa stacji tankowania wodoru w zajezdni Hranecnik.



Rysunek 2: System trolejbusowy w Ostrawie obsługuje część miasta i ma 10% udział w całkowitej podaży transportu publicznego (fot. 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



Rysunek 3: MPK Wrocław obsługuje dużą flotę tramwajów (fot. Marcin Wolek)

MPK Wrocław zostało założone w 1995 roku i jest w całości własnością miasta Wrocławia (640 000 mieszkańców). MPK wykonało w 2019 roku 22,2 mln wozokilometrów. Przetarg na dostawę autobusów elektrycznych został rozstrzygnięty w 2022 roku, co zaowocuje dostawą 11 autobusów przegubowych Mercedes e-Citaro G. Stacje do ładowania hybryd 5x60 kW i 6x60 kW zostaną zainstalowane w zajezdni przy ul. Obornickiej, podobnie jak jedna stacja ładowania dużej mocy na pętli (400 kW).

2.4 MZA Warszawa

MZA jest największym operatorem transportu publicznego w Polsce, zatrudniającym ok. 4 500 pracowników. Pojazdy MZA wykonały w 2019 roku około 89 mln wozokilometrów, dysponując 1422 pojazdami, w tym 160 autobusami elektrycznymi. Stawia to Warszawę na pozycji lidera elektromobilności w Polsce z udziałem floty elektrycznej na poziomie 11%.



Rysunek 4: MZA Warszawa posiada największą flotę autobusów w Polsce (fot. Marcin Wolek)

2.5 PKT Gdynia

PKT Gdynia jest miejskim operatorem trolejbusów obsługującym Gdynię i sąsiednie miasto Sopot. W 2020 r. trolejbusy wykonały ok. 5,3 mln wozokilometrów, a flota liczyła blisko 100 pojazdów. W ostatnim czasie dwie linie autobusów z silnikiem diesla zastąpiono trolejbusami ładowanymi w ruchu. Ponadto operator stale wprowadza model ładowania w ruchu. W 2019 r. prawie 10% wozokilometrów trolejbusów wykonywanych było bez sieci trakcyjnej¹⁷. Tendencja ta jest bardzo obiecująca, ponieważ ceny ropy są wysokie i niestabilne.



Rysunek 5: Trolejbus PKT Gdynia w trybie ładowania w ruchu w Gdyni (fot. Marcin Wolek)

2.6 SZKT Szeged



Rysunek 6: Przerobiony trolejbus SZKT w Szegedzie [fot. SZKT Szeged]

Trolejbusy i tramwaje są obsługiwane przez firmę Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT), która w 100% jest własnością gminy miejskiej Szeged. Jest to jedno z czterech węgierskich miast, w którym jeżdżą tramwaje, i jedno z trzech, w którym jeżdżą trolejbusy. Planowanie transportu publicznego w Szegedzie ma na celu dalszą rozbudowę istniejącej infrastruktury transportu elektrycznego, aby objąć nim jak najszerszy obszar lokalnego transportu publicznego. Obecne autobusy z silnikiem diesla mają zostać w przyszłości zastąpione. Infrastruktura linii napowietrznej w Szegedzie istnieje od 1979 roku i od tego czasu jest stale rozbudowywana.

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



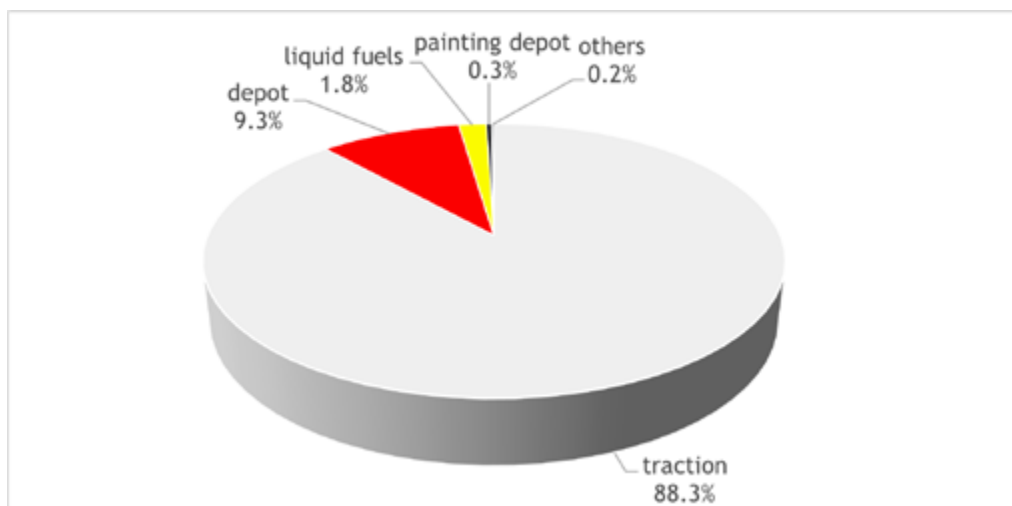
Zdjęcie dostarczone przez miasto Lipsk

2.7 Ogólne cechy zajezdni

Ogólne cechy zajezdni transportu publicznego są następujące:

budynek zajezdni jest zwykle duży, z wysokimi, często otwieranymi bramami,
zajezdnie mają różny poziom wyposażenia technicznego i dodatkowych obiektów (takich jak lakiernia),
wewnątrz budynku istnieje duża przestrzeń do ogrzewania i potrzeba dużo światła,
zajezdnie działają praktycznie non stop, w dzień i w nocy, ze szczególnymi wymaganiami dotyczącymi komfortu i bezpieczeństwa pracowników,
systemy grzewcze różnią się w zależności od zajezdni,
ze względu na powyższe cechy system elektroenergetyczny musi być łatwy w utrzymaniu.

Ze struktury łącznego zużycia energii dla PKT Gdynia (Polska) wynika, że zajezdnia zużywa ok. 9,3% całkowitej energii wykorzystywanej przez operatora (uwzględniono energię elektryczną, paliwową i ogrzewanie). Sama lakiernia ma marginalny udział w całkowitym zużyciu energii (rys. 7).

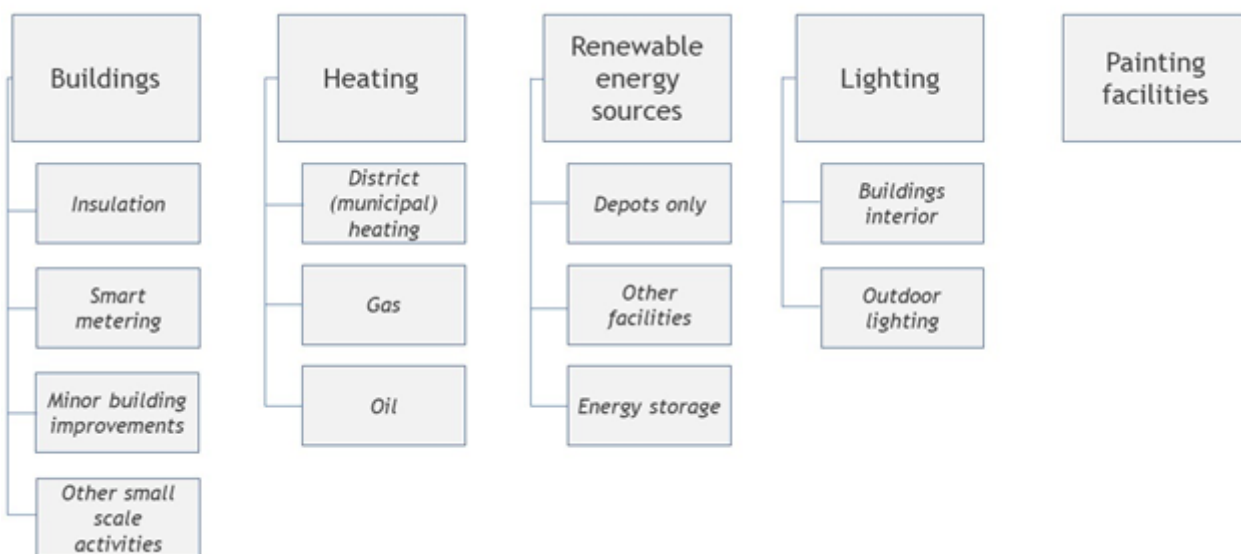


Rysunek 7: Całkowite zużycie energii przez PKT Gdynia w 2020 roku

Źródło: na podstawie Audytu energetycznego dla PKT Gdynia

3. Analiza przykładów zastosowania

Dokładna analiza wybranych przykładów zastosowania poparta rozmowami przeprowadzonymi z odpowiednimi interesariuszami umożliwiła wybór najczęstszych działań prowadzących do zwiększenia efektywności energetycznej. Ogólnie biorąc, wszystkie zaobserwowane działania można podzielić na kilka grup (rys. 8). Z analizy wyłączono infrastrukturę ładowania pojazdów znajdujących się w poszczególnych zajezdniach.



Rysunek 8: Grupy działań na rzecz zwiększenia efektywności energetycznej dla zajezdni transportu publicznego



Fot. Rupprecht Consult

3.1 Budynki

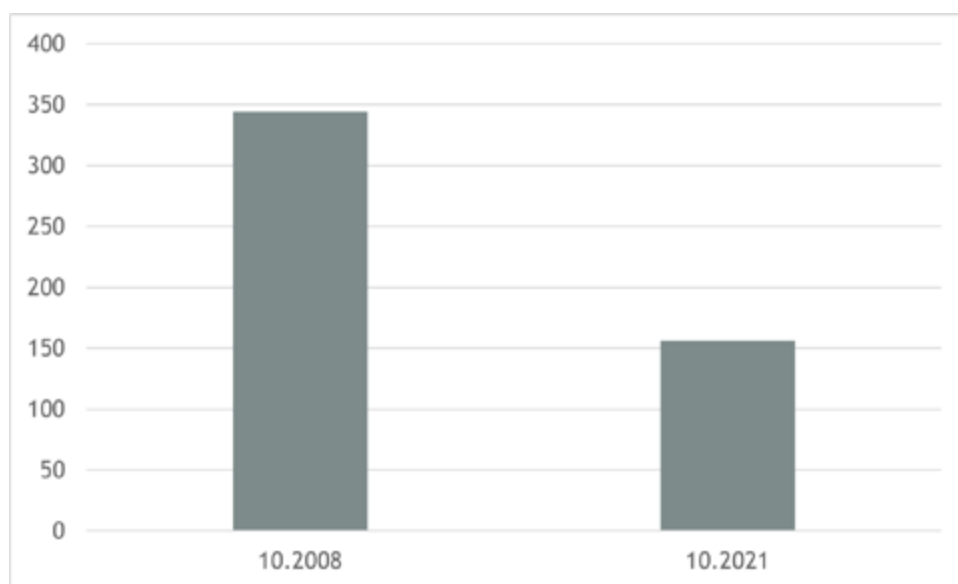
3.1.1 Izolacja

Wiele budynków zajezdni powstało w ubiegłym wieku, a niektóre z nich pochodzą nawet z początku XX wieku. W związku z tym istnieje wiele warunków technicznych, które sprawiają, że każdy przypadek jest specyficzny i inny. Kompleksowe ocieplanie budynków jest dość powszechnym działaniem wspieranym operacjami na małą skalę. Na przykład w Ostrawie (Czechy) projekt modernizacji zajezdni trolejbusowej opierał się na zaleceniu wykonania izolacji, konstrukcji dachu, wymiany świetlików dachowych oraz przebudowy oświetlenia wnętrza. Wdrożenie powyższych działań pozwoliłoby zaoszczędzić energię na ogrzewanie o ok. 37% w stosunku do stanu wyjściowego.

3.1.2 Inteligentne pomiary

Wszystkie obiekty będące do dyspozycji DPO Ostrava mają opomiarowane zużycie wszystkich usług komunalnych (prąd, ciepło, woda). Oprogramowanie czeskiej firmy AYISIS umożliwia monitorowanie w czasie rzeczywistym wszystkich usług komunalnych w określonym miejscu. Jest na przykład możliwe tworzenie godzinowych profili zużycia energii elektrycznej. Pozwala to m.in. na kontrolowanie temperatury wewnątrz budynków z uwzględnieniem warunków pogodowych w danym momencie (dane pozyskiwane są z firmowej stacji pogodowej).

W budynku zajezdni PKT Gdynia zainstalowano system zarządzania budynkiem (ang. Building Management System, BMS). Firma ustaliła, jakie usługi komunalne powinny zostać objęte systemem w pierwszej fazie. W PKT priorytetowo potraktowano energię cieplną, wymieniono rozdzielnicę i 13 grzejników wraz z okablowaniem i systemem sterowania. Grzejniki są połączone z czujnikami temperatury w każdej z trzech stref zajezdni (kontrola, czyszczenie, konserwacja).



Rysunek 9: Zużycie ciepła w zajezdni trolejbusowej PKT Gdynia w październiku 2008 r. i październiku 2021 r. [GJ]

Źródło: na podstawie danych przekazanych przez PKT Gdynia sp. z o.o.

Po zainstalowaniu systemu BMS różnica w zużyciu ciepła w miesiącach zimowych wynosiła około 200 GJ, co przekłada się na oszczędności rzędu 12 000 zł. Zużycie ciepła w październiku 2008 r. wyniosło 344 GJ, a w październiku 2021 r. uległo znacznemu zmniejszeniu do 156 GJ (rys. 9). System jest obsługiwany przez zewnętrzny monitoring temperatury.

Umożliwiło to również zmniejszenie zamówionej mocy, co dało oszczędności rzędu około 18 000 zł (3840 EUR) rocznie.

3.1.3 Drobne ulepszenia budynków

Budynek zajezdni PKT Gdynia (Polska) zaprojektowano ze świetlikami i oknami do sieci trakcyjnej, co jest standardowym rozwiązaniem dla zajezdni tramwajowych i trolejbusowych. W zajezdni znajduje się sterowanie węzłem cieplnym, aby jak najlepiej wykorzystać energię ciepłą budynku. Dzięki wymianie warstw izolacyjnych na dachu natychmiast poprawiono jego izolację termiczną.



Rysunek 10: Zajezdnia trolejbusowa PKT Gdynia (fot. Marcin Wolek)

Po wymianie świetlików w zajezdni PKT Gdynia zwiększono ich powierzchnię. Zajmują teraz 1/3 powierzchni dachu (rys. 11). Nowe świetliki mają również wyższy standard odporności ogniowej oraz wyższe parametry termoizolacyjne.



Rysunek 11: Wymienione świetliki dachowe w zajezdni PKT Gdynia (fot. Marcin Wolek)

3.1.4 Inne działania na małą skalę

W halach obsługi daytimej, ze względu na specyfikę ich reżimu pracy (m.in. częste otwieranie drzwi o dużej powierzchni), należy rozważyć montaż urządzeń mieszających powietrze (destryfikatorów). Ogrzane powietrze w chłodne dni unosi się w górę, gromadząc się pod dachem, dlatego temperatura odczuwana przez pracownika na poziomie gruntu jest niższa. Do równomiernego rozłożenia temperatury powietrza w tych pomieszczeniach stosuje się urządzenia mieszające powietrze, których głównym zadaniem jest utrzymanie równowagi temperatury powietrza pod dachem i przy gruncie budynku. Dzięki temu można obniżyć koszty ogrzewania. Takie rozwiązanie zostało z powodzeniem wdrożone w jednej z zajezdni MZA Warszawa (Polska).

Izolacja termiczna zaworów i połączeń kołnierzowych w celu zmniejszenia strat ciepła może być również tanim środkiem o krótkim okresie amortyzacyjnym. W przypadku MPK Wrocław szacunkowe nakłady dla tej zmierzonej kwoty wyniosą ok. 1 300 zł, przy rocznych oszczędnościach 4 841 kWh. Daje to zwrot z inwestycji po niecałych dwóch latach.

Firma DPMB Brno (Czechy) wdrożyła ISO 50001 - międzynarodową normę w zakresie zarządzania energią. Przepisy normy mają na celu poprawę efektywności energetycznej przedsiębiorstw niezależnie od ich wielkości, branży czy liczby pracowników. Dzięki wdrożeniu tej normy DPMB nie musi przeprowadzać audytu energetycznego. Inne korzyści obejmują między innymi identyfikację i zarządzanie ryzykiem związanym z przyszłymi dostawami energii, pomiar i monitorowanie zużycia energii w celu zidentyfikowania obszarów wymagających poprawy efektywności oraz wykazanie troski o środowisko w celu spełnienia wymagań przetargowych.

3.2 Ogrzewanie

Trzy zajezdnie MZA Warszawa są podłączone do sieci ciepłowniczej (Veolia). Jedna zajezdnia zasilana jest paliwem gazowym. MZA posiada nową, ukończoną kilka lat temu zajezdnię do lakierowania, wyposażoną w podwójny system wentylacji i odpylania. Obie lakiernie są zintegrowane z systemem energetycznym zajezdni.

Wszystkie zajezdnie MPK Wrocław są podłączone do sieci ciepłowniczej. Instalacji pomp ciepła nie przewidziano w najbliższym czasie, ponieważ budynki powstawały w różnym czasie i nie ma uzasadnienia dla ich przebudowy w celu ewentualnego zainstalowania pomp ciepła.

W przypadku SZKT budynki firmy przedstawiają dość mieszany obraz. Istnieją budynki, które mają 100 lat, są z trudem utrzymywane i nie spełniają już aktualnych standardów, a także nowoczesne, nowe budynki, które spełniają najnowsze wymagania architektoniczne i energetyczne. Większość budynków zaprojektowano zgodnie z ich przeznaczeniem, tj. duże warsztaty typu halowego, małe zwarte budynki stacji i usługowe, budynki ogrzewane i nieogrzewane, a także budynki klimatyzowane.

Dlatego też ogrzewanie budynków jest dość zróżnicowane. Większość hal zakładowych posiada ogrzewanie promiennikowe lub termowentylatorowe. W większych budynkach stosuje się centralne ogrzewanie na ciepłą wodę, częściowo z kotłami kondensacyjnymi. W starszych i bardziej zaniedbanych małych budynkach stosuje się indywidualne ogrzewanie konwektorowe na gaz, ale są też pomieszczenia z grzejnikami elektrycznymi. Podaż ciepłej wody użytkowej jest scentralizowana w obszarach zajezdni tramwajowej i trolejbusowej, o odpowiedniej pojemności magazynowej, natomiast w pozostałych budynkach znajdują się w większości natychmiastowe elektryczne wytwornice ciepłej wody użytkowej¹⁸.

3.3 Odnawialne źródła energii

Warszawa (Polska) jako pierwsza w Polsce wyposaża autobusy w panele fotowoltaiczne na dachach na dużą skalę. Umożliwiają one poprawę bilansu energetycznego pojazdów i oszczędność paliwa nawet do pięciu procent. Dodatkowo instalacja elektrowni solarnej na dachu zajezdni „Woronicza” pozwoliła na zaspokojenie potrzeb typowej eksploatacji elektrowni. Efektywność energetyczną zwiększa również wymiana kilkuset słupów oświetleniowych montowanych na zajezdniach i wykorzystujących energooszczędne diody LED.

W hali obsługi dziennej MZA Warszawa przy ul. Włociańskiej 52 zainstalowano panele fotowoltaiczne o mocy wynoszącej ok. 65 kW. Wymagało to spełnienia kilku warunków. Po wprowadzeniu autobusów elektrycznych zużycie energii elektrycznej w bazie wzrosło tak bardzo, że de facto nie ma sprzedaży energii na zewnątrz. Kolejna instalacja fotowoltaiczna znajduje się w zajezdni przy ul. Woronicza (74 kW).

Na dwóch zajezdniach autobusowych (zajezdnia tramwajowa przy ul. Powstańców Śląskich i zajezdnia autobusowa przy ul. Obornickiej) należących do MPK Wrocław zainstalowano w ostatnich latach instalacje fotowoltaiczne o mocy wynoszącej ok. 50 kW każda. Dzięki temu jedna z hal, w których m.in. myje się i naprawia autobusy, będzie w dużej mierze samowystarczalna. Instalacja solarna na jej dachu pokryje połowę zapotrzebowania hali, co pozwoli zaoszczędzić 30 tys. zł rocznie. Koszt inwestycji wyniósł 212 000 zł netto (45 211 EUR). MPK szacuje, że pieniądze zwrócą się w postaci energii w ciągu 8 lat.

Planowany jest dalszy rozwój fotowoltaiki na wszystkich dachach budynków należących do MPK Wrocław sp. z o.o. Obecnie w zajezdni przy ul. Obornickiej budowana jest kolejna instalacja fotowoltaiczna o mocy 50 kW (rys. 12).

¹⁸ Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

MPK Wrocław nie posiada krytych parkingów, dlatego też energia fotowoltaiczna z instalacji na terenie operatora nie będzie miała znaczenia dla celów trakcyjnych.

Dłuższy okres zwrotu uzyskano w obliczeniach dla farmy fotowoltaicznej dla jednej z zajezdni SZKT Szeged (Węgry) o planowanej mocy 150 kW. Roczną produkcję energii elektrycznej oszacowano na 174 000 kWh. Bez dofinansowania zewnętrznego okres zwrotu wyniósł 12,7 lat, a przy 30% dofinansowaniu kosztów inwestycji - niecałe 9 lat. Wzrost cen energii spowodowany wojną i niestabilnością powoduje, że oczekiwana stopa zwrotu jest krótsza.



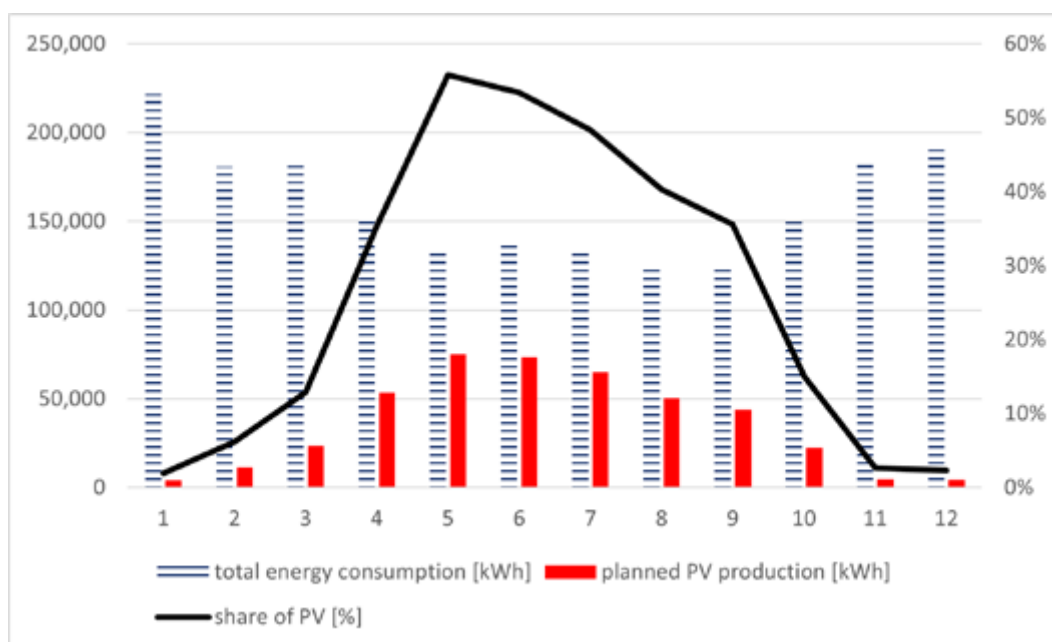
Rysunek 12: Instalacja fotowoltaiczna na dachu zajezdni tramwajowej MPK Wrocław (fot. Marcin Wolek)

W jednej z zajezdni trolejbusowych mieszczących się w centralnej części Brna znajduje się farma fotowoltaiczna, ale dzierżawca (tj. miasto) pobiera jedynie opłatę za korzystanie z infrastruktury farmy.

PKT Gdynia (Polska) planuje budowę farmy fotowoltaicznej (ok. 500 kW) na dachu swojej zajezdni (ok. 5000 m²), która pokryłaby do 5% energii zużywanej przez trolejbusy. Dodanie systemu magazynowania energii zwiększyłoby ten udział. Przy zastosowaniu wysokosprawnych monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych maksymalną moc instalacji określono na 499,8 kWp. PKT Sp. z o.o. wykonało obliczenia produkcji energii słonecznej na podstawie szczegółowych danych uzyskanych z instalacji fotowoltaicznej o podobnych parametrach. Szacowana roczna produkcja wyniosła: 431 391 kWh/rok¹⁹.

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

Przy założeniu, że instalacja fotowoltaiczna będzie podłączona do stacji energetycznej Grabówek, będzie w stanie pokryć swoje roczne zapotrzebowanie na energię w ponad 22,5%, chociaż będzie istnieć bardzo duża zmienność miesięczna (rys. 13). Średnia roczna oszczędność energii pierwotnej wyniesie 431,39 MWh, czyli 37,09 ton oleju ekwiwalentnego rocznie. Dzięki temu możliwe byłoby pokrycie całego zużycia energii elektrycznej zajezdni (406,7 MWh). Dodatkowo istnieje możliwość zainstalowania paneli na innych obiektach należących do PKT Gdynia, co może przełożyć się na produkcję dodatkowych 99,5 MWh²⁰.

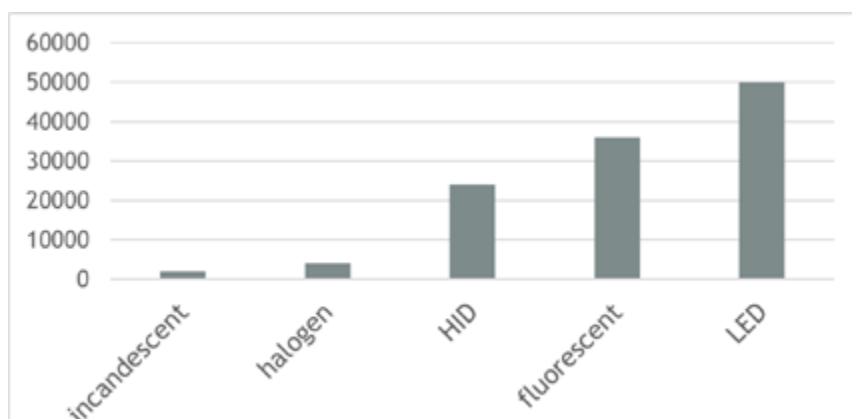


Rysunek 13: Miesięczne zużycie energii i energia planowana z systemu fotowoltaicznego dla stacji energetycznej w Grabówku, PKT Gdynia (Polska)

Źródło: na podstawie Audytu energetycznego PKT Gdynia, wrzesień 2021 r.

3.4 Oświetlenie

Nowoczesne lampy diodowe (LED) nie tylko zużywają mniej energii, ale ich szacowany czas eksploatacji jest znacznie dłuższy niż w przypadku żarówek czy nawet świetlówek (rys. 14).



Rysunek 14: Typowa średnia trwałość znamionowa dla różnych typów żarówek [godz.]

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

Kompleksowa wymiana opraw oświetleniowych zapewnia szybki zwrot z inwestycji. Takie wymiany mogą być realizowane samodzielnie lub w ramach projektu modernizacji i docieplenia budynku.



Rysunek 15: Oświetlenie placu przed halą w MPK Wrocław Sp. z o.o.

Koszty poniesione na modernizację oświetlenia wyniosły 314 000 zł. Roczne oszczędności energii elektrycznej wyniosły 258 939 kWh, co zaowocowało oszczędnościami wynoszącymi 112 000 zł i redukcją emisji CO₂ o 186 ton. W takim przypadku zwrot z inwestycji zostanie osiągnięty po niespełna 3 latach²¹. Modernizację oświetlenia przeprowadzono również na zewnątrz (rys. 15).

Podobne wnioski zawiera audyt energetyczny SZKT Szeged (Węgry). Wraz z inwestycją w wymianę oświetlenia na oświetlenie LED (5,12 mln HUF = 13 600 EUR) okres zwrotu będzie krótszy niż 3 lata²².

3.5 Lakiernia

W PKT Gdynia Sp. z o.o. lakiernia używa oleju opałowego ze względu na potrzebę chwilowej wysokiej energii cieplnej. Zrezygnowano z sieci ciepłowniczej na rzecz paliwa płynnego ze względu na wysoki koszt energii zamówionej u dystrybutora ciepła. Roczne zużycie paliwa wynosi ok. 3 440 litrów oleju²³.

MZA Warszawa posiada nową, ukończoną kilka lat temu, lakiernię, wyposażoną w podwójny system wentylacji i odpylania. Obie lakiernie są zintegrowane z systemem energetycznym zajezdni.

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

²² Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

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

4. Wnioski

Chociaż większość energii elektrycznej jest wykorzystywana do trakcji, zajezdnie zużywają również energię elektryczną i ciepłą. Optymalizacja zużycia energii w zajezdni to integralna część poprawy efektywności energetycznej i ekonomicznej przedsiębiorstw transportu publicznego.

Zajezdnie należące do spółek transportu publicznego przedstawiają bardzo zróżnicowany obraz. Różnią się rokiem budowy, eksploatowanymi środkami transportu oraz zakresem wykonanych modernizacji i wyposażenia. Wszystko to wpływa na zużycie energii i pozostałe usługi komunalne (np. wodne).

Przegląd wybranych przykładów wskazuje na pewne prawidłowości w poszukiwaniu przez operatorów sposobów poprawy efektywności energetycznej obiektów.

Wśród podstawowych działań inwestycyjnych bardzo często znajduje się modernizacja budynków w celu poprawy ich parametrów cieplnych. Opomiarowanie budynków często towarzyszy takim środkom. Może być kompletne i obejmować wszystkie usługi komunalne (energię, ciepło i wodę) lub być wdrażane stopniowo z ukierunkowaniem na usługi komunalne wytwarzające najwyższe koszty. Zakres modernizacji technicznej budynku może obejmować również działania o niewielkim wpływie, ale poprawiające komfort pracy w hali obsługi pojazdów, a jednocześnie poprawiające bezpieczeństwo przeciwpożarowe (np. wymiana i powiększenie świetlików dachowych).

Właściwym sposobem działania jest instalacja systemów fotowoltaicznych na dachach zajezdni. Wytworzona w ten sposób energia elektryczna jest zwykle wykorzystywana na potrzeby własne zajezdni. Instalacji paneli fotowoltaicznych powinna towarzyszyć instalacja magazynów energii elektrycznej.

Jako część większej całości zasadniczą rolę odgrywają niskokosztowe środki. Choć nie przynosi to znaczących oszczędności dla całej firmy, inwestycja w modernizację oświetlenia ma krótki okres amortyzacyjny. Może być wdrażana stopniowo, nawet bez niezbędnych środków inwestycyjnych.

Referencje

- 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

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

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

Łącza internetowe:

<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-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMIw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE

DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ NA TEMAT EfficienCE



Odwiedź naszą stronę internetową:
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Skontaktuj się z nami



+49 341 123 59 10

Główny partner: Miasto Lipsk, Niemcy



Kierownicy projektu:

Sebastian Graetz
sebastian.graetz2@leipzig.de

Marlene Damerau
m.damerau@rupprecht-consult.eu



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



www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/



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

TAKING
COOPERATION
FORWARD



BUDAPESTI
KÖZLEKEDÉSI
KÖZPONT



redmint



GDAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY



Leipziger
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



University of Maribor
Faculty of Civil Engineering,
Transportation Engineering
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

