



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



MIĘDZYNARODOWY PODRĘCZNIK WDRAŻANIA ENERGOOSZCZĘDNYCH TECHNOLOGII DLA INFRASTRUKTURY TRANSPORTU PUBLICZNEGO

(2) Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury
transportu publicznego

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:

Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Uniwerytet Mariborski)

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. Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury transportu publicznego	6
1.1 Podsumowanie istotnych technologii	6
1.1.1 Technologia A - Zastosowanie multimodalne infrastruktury TP.....	7
1.1.2 Technologia B - Zastosowanie wielofunkcyjne infrastruktury transportu publicznego.....	10
1.1.3 Technologia C - Innowacyjne ładowanie w ruchu w przypadku transportu publicznego.....	14
1.2 Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury transportu publicznego na świecie	17
2. Przykład zastosowania w Mariborze - dostosowanie stacji kolejki linowej do wielofunkcyjnej infrastruktury transportu publicznego.....	23
3. Wnioski.....	27
Referencje	28

Streszczenie



Zdjęcie dostarczone przez miasto Lipsk

Systemy transportu stoją przed wyzwaniami związanymi z postępującą urbanizacją. Starzejąca się infrastruktura transportowa stara się sprostać dzisiejszym wymaganiom, podczas gdy osobiste wybory dotyczące transportu publicznego uległy takim zmianom, że dawne strategie transportu nastawione na samochody nie pasują już do rzeczywistości.

W niniejszym podręczniku przedstawiono podstawy wielofunkcyjnego zastosowania infrastruktury transportu publicznego dla miast, w których taka infrastruktura nie jest priorytetem planowania, a także dla miast, które posiadają zaawansowaną kulturę planowania w tej dziedzinie.

Wielofunkcyjne zastosowanie infrastruktury transportu publicznego łączy aspekty energii, mobilności i logistyki w celu zmniejszenia emisji CO₂ i zwiększenia efektywności energetycznej w działalności transportowej dzięki różnym technologiom.

Energooszczędne, wielofunkcyjne technologie infrastrukturalne dla transportu publicznego dzielą się zazwyczaj na rozwiązania do zastosowania multimodalnego, wielofunkcyjnego i innowacyjne podejścia do opracowywanych technologii ładowania w ruchu.

Każda z technologii ma kilka zalet i korzyści. Mogą być one techniczne, finansowe lub związane z bezpieczeństwem.

Niemniej jednak każda z prezentowanych technologii ma również bariery techniczne i regulacyjne, np. brak norm technicznych, kompatybilność między różnymi producentami, ograniczenia związane z bezpieczeństwem, niska efektywność energetyczna, dodatkowe koszty, standaryzacja infrastruktury i systemów.

Przegląd obecnych praktyk związanych z różnymi rozwiązaniami dla multimodalnego wykorzystania infrastruktury transportu publicznego oraz studium przypadku z projektu pilotażowego EfficienCE przedstawiają nowe technologie w działaniu wraz z ich korzyściami, doświadczeniami i możliwościami transferu.

1. Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury transportu publicznego

Elektromobilność staje się coraz ważniejszym tematem dla transportu publicznego (TP) w miastach. Elektryczność jest źródłem energii do zasilania różnych pojazdów elektrycznych.

Główna różnica między technologiami wykorzystania wielofunkcyjnej infrastruktury TP polega na tym, że są one stosowane w zależności od:

- modalności, dla których zastosowanie wielofunkcyjne jest istotne (w oparciu o istniejącą infrastrukturę transportu publicznego) oraz
- funkcjonalności przekazania energii pomiędzy źródłem energii, infrastrukturą TP oraz pojazdami elektrycznymi należącymi do TP.

1.1 Podsumowanie istotnych technologii

Klasyfikacja technologii wielofunkcyjnej infrastruktury transportu publicznego opiera się na istniejącym multimodalnym i wielofunkcyjnym wykorzystaniu tej infrastruktury.

Technologia A - Multimodalne wykorzystanie istniejącej infrastruktury transportu publicznego, takiej jak metro, tramwaj, kolej lub kolejka linowa, w ramach której dodatkowo ładowane są autobusy elektryczne, (hybrydowe) trolejbusy i inne modele elektryczne (samochody elektryczne, rowery elektryczne, elektryczne pojazdy dostawcze).

Technologia B - Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury TP, wykorzystanie istniejącej infrastruktury TP do bardziej wydajnego wykorzystania energii odzyskiwanej z hamowania, dwukierunkowego ładowania (inteligentna sieć) i lokalnie wytwarzanej energii z OZE (energia fotowoltaiczna, wiatr).

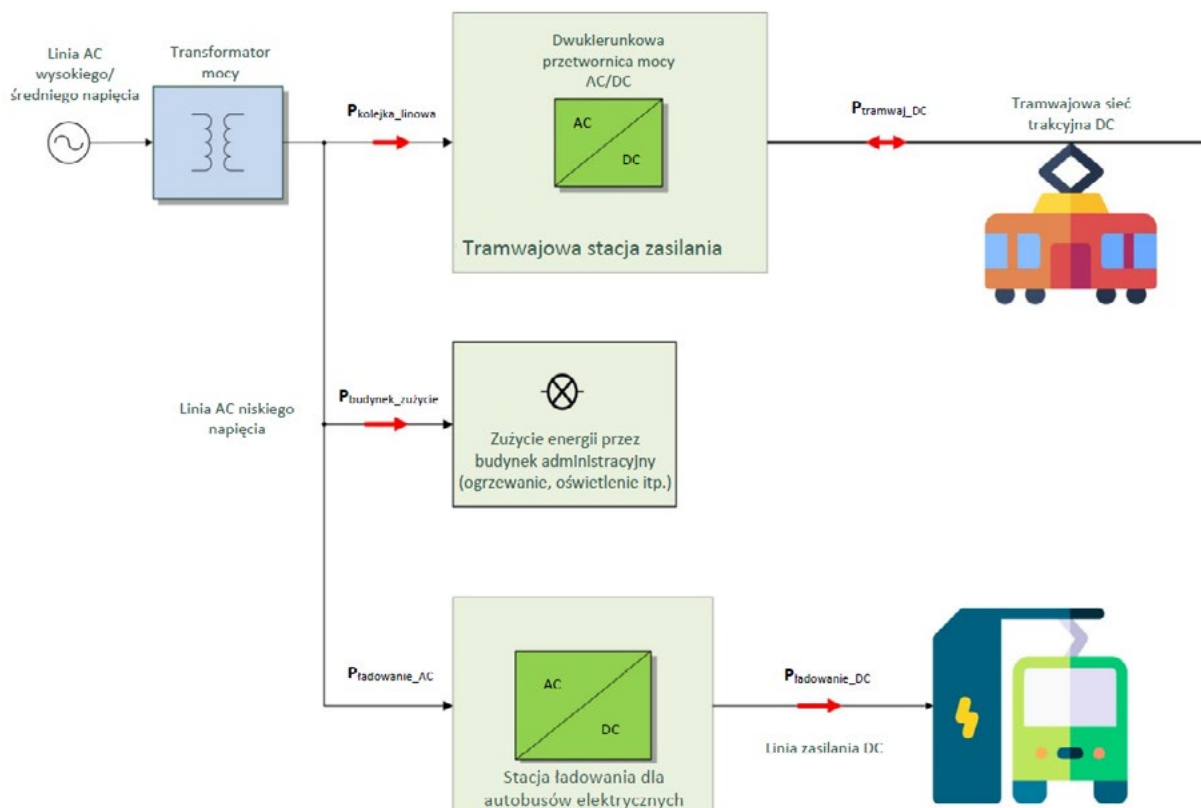
Technologia C - Innowacyjny, multimodalny i wielofunkcyjny system drogowy ładowania w ruchu (IMC): Ładowanie na podłożu indukcyjnym, ładowanie na powierzchni przewodzącej na autostradach i ładowanie na podłożu przewodzącym.

1.1.1 Technologia A - Zastosowanie multimodalne infrastruktury TP

Technologia A nawiązuje do koncepcji ładowania różnych typów pojazdów elektrycznych energią z istniejącej sieci TP, takiej jak metro, tramwaje, linie kolejowe czy kolejki linowe.

Rozwiązanie 1 - Energia elektryczna z istniejących sieci TP do zasilania punktów ładowania autobusów elektrycznych

Technologia nawiązuje do koncepcji ładowania autobusów elektrycznych energią z istniejących sieci TP, takich jak metro, tramwaje, trolejbusy, linie kolejowe czy kolejki linowe.



Rysunek 1: Podłączenie stacji ładowania pojazdów elektrycznych do istniejącej infrastruktury transportu publicznego

Oczekiwane korzyści:

Główną korzyścią płynącą z tej koncepcji technologicznej jest wspieranie szybkiej, wydajnej i opłacalnej elektryfikacji autobusów należących do transportu publicznego dzięki zapewnieniu podstaw infrastruktury.

Dzięki zintegrowaniu solidnej infrastruktury (sieci) tramwajowej/metra z elektryfikacją flot autobusów elektrycznych istnieje możliwość przyspieszenia tej elektryfikacji. Sieć tramwajowa/metra stanowi realną alternatywę dla publicznej sieci dystrybucji energii, bez potrzeby stosowania dodatkowych stacji energetycznych do zasilania autobusów elektrycznych.

Główne zalety techniczne znajdują się w następujących obszarach:

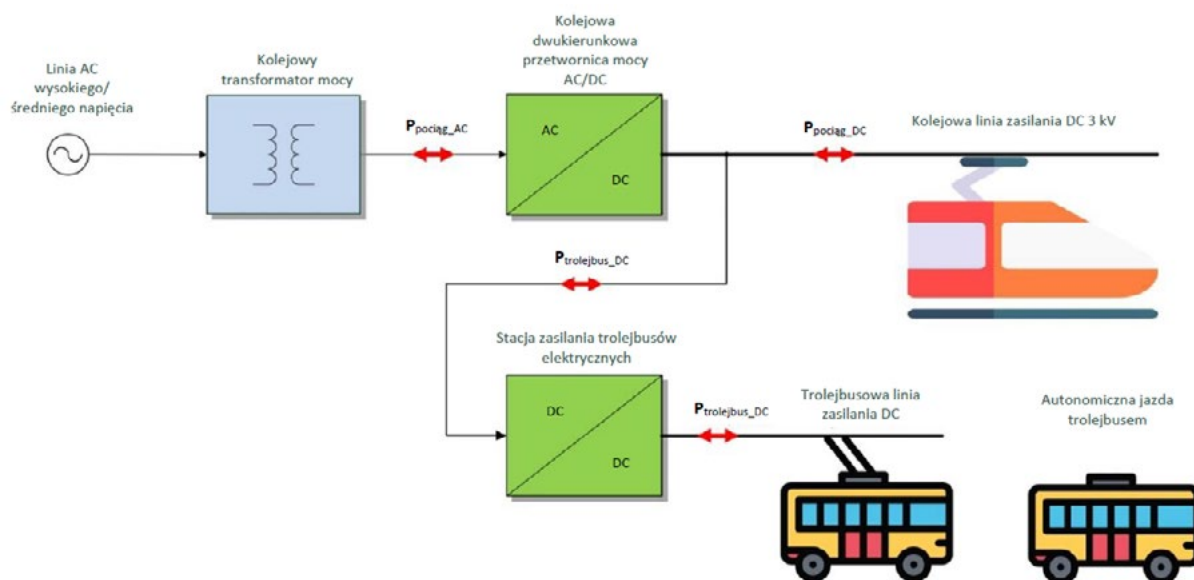
- Odpowiedzialność za miejsce i czas, niezawodność w przypadku przerw w zasilaniu,
- Wydajna i zrównoważona dystrybucja mocy

Główna korzyść finansowa to:

- Uzyskanie niższej ceny zakupu energii (ogółem dla metra/tramwajów i autobusów elektrycznych).

Rozwiązanie 2 - Energia elektryczna z istniejącej sieci TP (tramwajowej lub metra) do zasilania pojazdów elektrycznych lub hybrydowych trolejbusów

Połączenia między istniejącą siecią kolejową, tramwajową lub metrem a siecią trolejbusową można zmodernizować, wyposażając trolejbusy w dodatkowy akumulator trakcyjny, umożliwiając jazdę w sieci trakcyjnej, jak również bez połączenia do sieci trakcyjnej (autonomicznie). Głównym celem tego zbioru rozwiązań jest rozbudowa miejskich i regionalnych linii autobusów elektrycznych, zastępując w ten sposób obecne linie autobusowe z silnikiem Diesla bez konieczności budowy dodatkowej infrastruktury napowietrznej. Aby obniżyć koszty wdrożenia, można połączyć sieć (hybrydowych) trolejbusów z systemem szynowym.



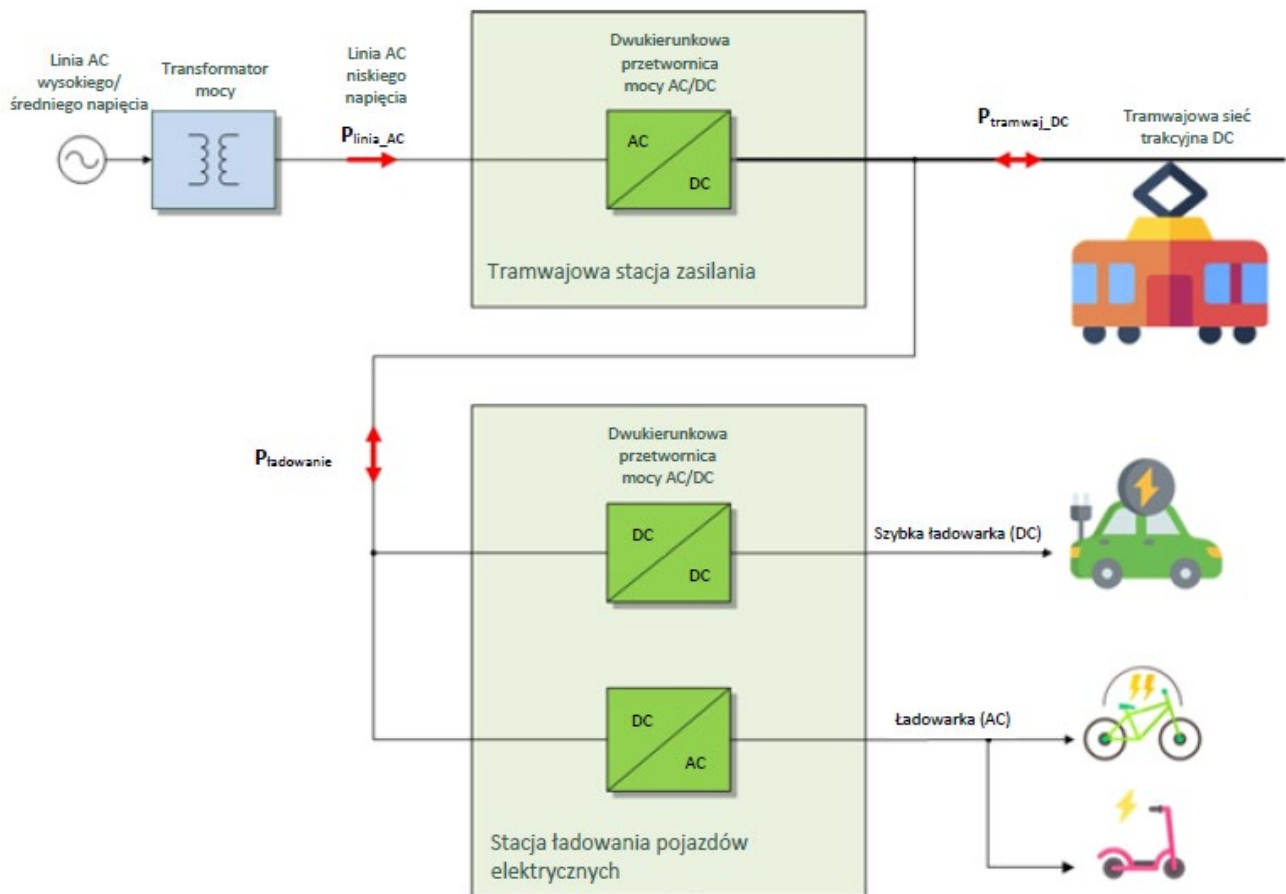
Rysunek 2: Połączenie trolejbusów ładujących w ruchu z systemem szynowym

Oczekiwane korzyści:

Technologia hybrydowych trolejbusów jest wystarczająco dojrzała i dostępna w handlu. Ponadto pojazdy elektryczne dorównują pojazdom z silnikiem Diesla lub przewyższają je pod względem dostępności, wydajności i niezawodności, a jednocześnie wymagają mniej konserwacji. Stwierdzono drobne niedociągnięcia w zarządzaniu, wymiarowaniu i kompatybilności akumulatorów litowo-jonowych w starszych pojazdach, ale można je szybko rozwiązać w miarę rozwoju technologii akumulatorów.

Rozwiązanie 3 - Energia elektryczna z istniejącej sieci TP (tramwajowej lub metra) do zasilania multimodalnego węzła ładowania

Odnosi się do koncepcji technologicznej, która umożliwia wielofunkcyjne wykorzystanie elektrycznych sieci TP (metra, tramwajowej lub trolejbusowej) do zasilania innych typów pojazdów elektrycznych, w tym na przykład pojazdów użytkowych, samochodów osobowych i taksówek. Pojazdy elektryczne brane pod uwagę w tym rozwiązaniu różnią się w zależności od przykładu zastosowania i obejmują samochody elektryczne, rowery i furgonetki.



Rysunek 3: Szybkie ładowanie pojazdów elektrycznych z tramwajowej sieci trakcyjnej

Oczekiwane korzyści:

Po pierwsze, należy wyjaśnić, czy możliwe jest wykorzystanie sieci energetycznej, aby zaspokoić zapotrzebowanie na energię elektryczną infrastruktury ładowania, zwłaszcza w miejscach, które są podłączone do zwykłej sieci energetycznej.

Technologia A	Bariery technologiczne	Bariery prawne
Zastosowanie multimodalne	<ul style="list-style-type: none"> Brak standardów technologicznych dla ładowania okazjowego. Zgodność pomiędzy różnymi producentami. Konieczne zmiany w aktualnym rozkładzie jazdy. Obciążenie w sieci - ograniczone możliwości ładowania. 	<ul style="list-style-type: none"> Sprzedaż lub dystrybucja energii do operatorów zewnętrznych (autobusów). Wykorzystanie korzyści środowiskowych do przedłużenia linii trakcyjnych (nie jest to proste).

1.1.2 Technologia B – Zastosowanie wielofunkcyjne infrastruktury transportu publicznego

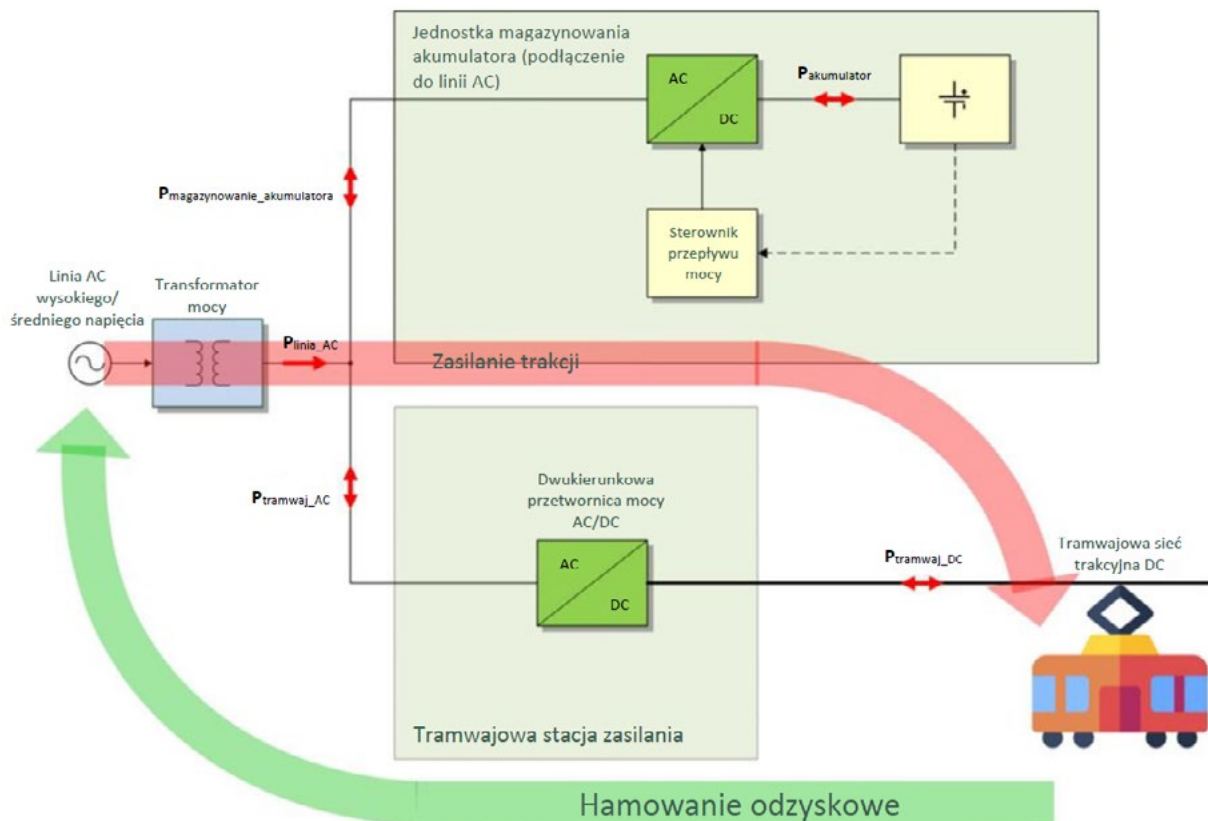
Technologia nawiązuje do bardziej efektywnego wykorzystania infrastruktury ładowania istniejącej sieci TP, takiej jak metro, tramwajowej, trolejbusowej, linii kolejowej czy kolejki linowej.

Rozwiązanie 4 - Zintegrowana odzyskana energia hamowania

Technologia grupuje różne środki i systemy techniczne, które zwiększają wykorzystanie odzyskanej energii hamowania w pojazdach szynowych (metro, tramwaje) i autobusach (trolejbusy). Głównym celem tego zbioru jest zwiększenie efektywności energetycznej systemu transportu publicznego dzięki bardziej efektywnemu wykorzystaniu odzyskanej energii hamowania swoich pojazdów.

Można określić trzy rodzaje zastosowania:

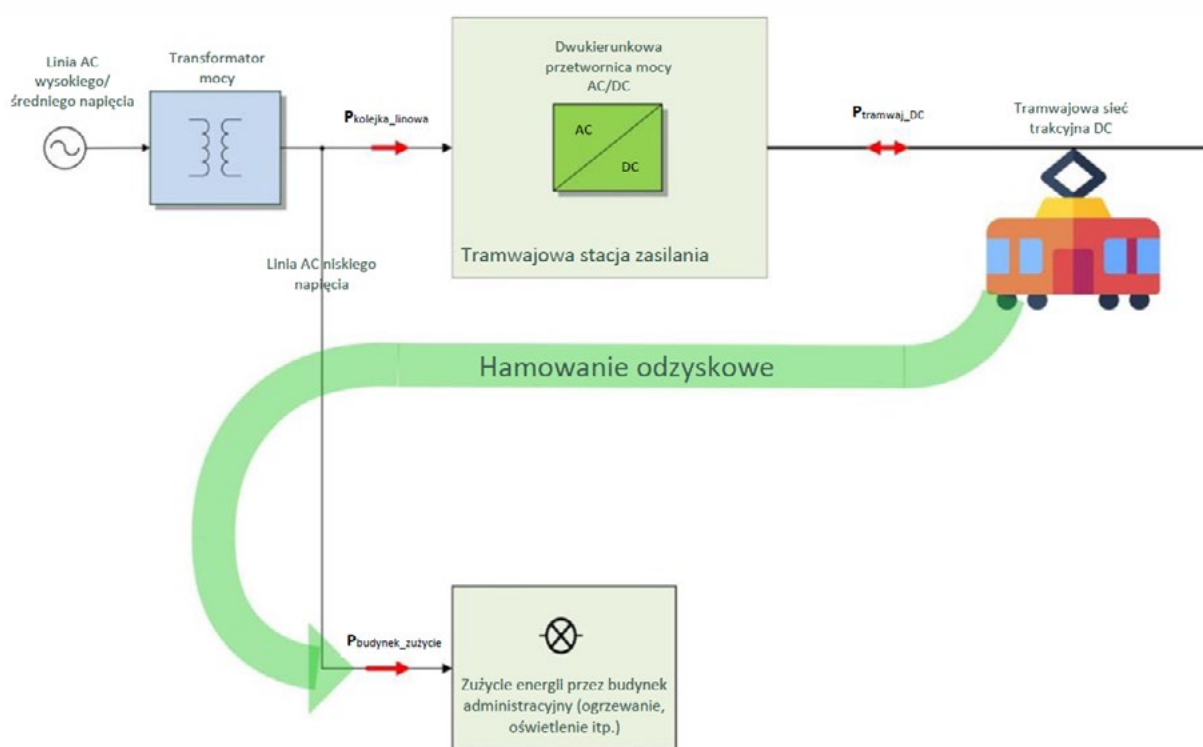
- Zastosowanie mobilnego magazynowania energii
- Zastosowania stacjonarnego magazynowania energii
- Zastosowanie stacjonarne typu „z powrotem do sieci”.



Rysunek 4: Zastosowania stacjonarnego magazynowania energii



Zdjęcie dostarczone przez miasto Lipsk



Rysunek 5: Zastosowanie stacjonarne typu „z powrotem do sieci”

Oczekiwane korzyści:

Oczekiwane korzyści płynące z zastosowania można podkreślić w następujących punktach (François-Olivier Devaux (STIB), marzec 2011 r.):

Mobilne magazynowanie:

- Wysoka wydajność dzięki zmniejszeniu strat napowietrznych, ponieważ energia jest magazynowana w pojeździe.
- Możliwość eksploatacji pojazdu bez linii napowietrznych na niektórych odcinkach linii.
- Stabilizacja napięcia dzięki łagodzeniu zapadów napięcia.
- Zmniejszenie szczytowego zapotrzebowania na moc dzięki uśrednieniu obciążeń w danym okresie.
- Możliwe zmniejszenie oporów hamowania w pojeździe.

Zastosowania stacjonarnego magazynowania energii:

- Może być wykorzystywane przez wszystkie pojazdy danej linii, stabilizacja napięcia dzięki łagodzeniu zapadów napięcia.
- Zmniejszenie szczytowego zapotrzebowania na moc dzięki uśrednieniu obciążeń w danym okresie.
- Zmniejszenie liczby trakcyjnych stacji energetycznych lub umożliwienie dodawania pojazdów bez unowocześniania systemu zasilania.
- Zmniejszenie ciepła odpadowego dzięki unikaniu ogrzewania tuneli i stacji.
- Możliwe zmniejszenie przytorowych oporów hamowania.
- Mniejsze ograniczenia w zakresie bezpieczeństwa w porównaniu z systemami pokładowymi.
- Wdrożenie, konserwacja i naprawa nie wpływają na eksploatację (tryb wyłączenia).

Zastosowanie stacjonarne typu „z powrotem do sieci”:

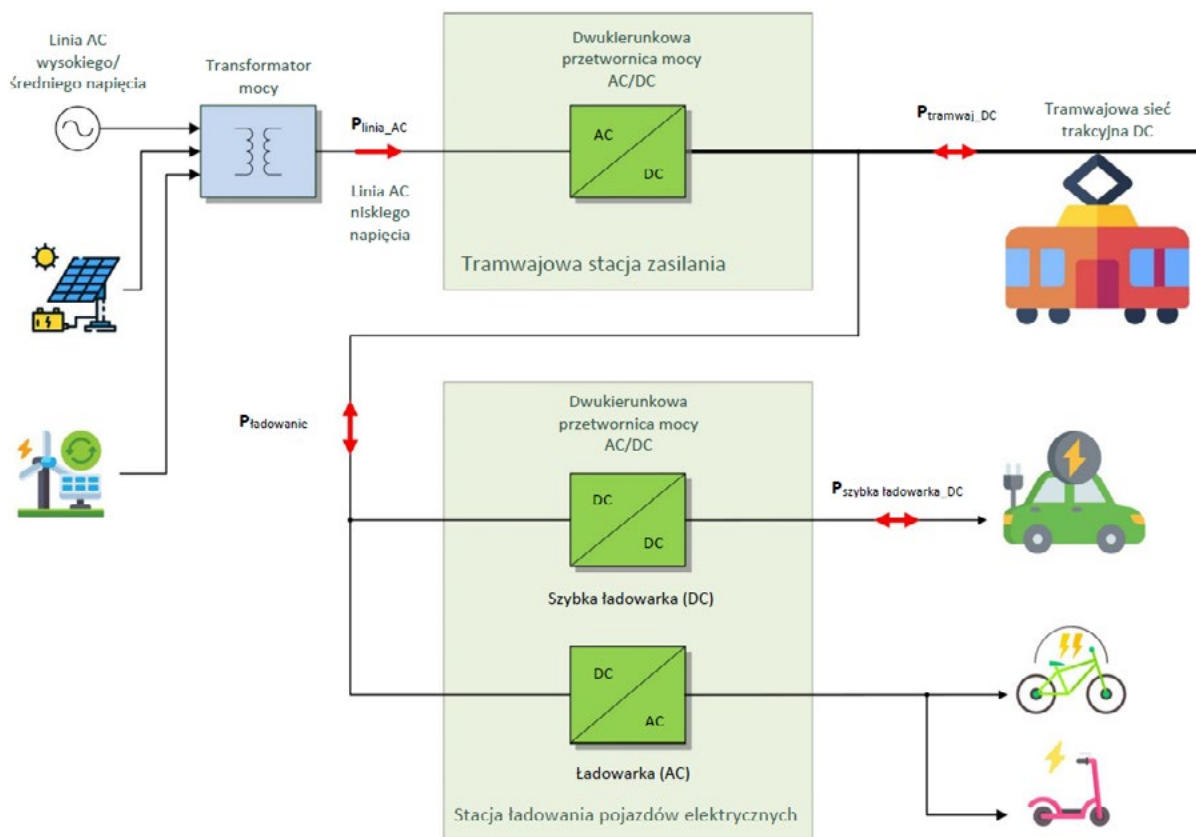
- Może być wykorzystywane przez wszystkie pojazdy na linii.
- Bardzo energooszczędne dzięki mniejszym stratom podczas transformacji niż w przypadku zastosowań magazynowania energii.
- W porównaniu do zastosowań magazynowania energii zmniejszenie ciepła odpadowego (unikanie ogrzewania tuneli itd.).
- Możliwe zmniejszenie przytorowych oporów hamowania.
- Mniejsze wymagania w zakresie bezpieczeństwa w porównaniu z systemami pokładowymi.
- Wdrożenie, konserwacja i naprawa nie wpływają na eksploatację (tryb wyłączenia).

Rozwiązanie 5 - Inteligentna sieć (fotowoltaika, OZE, Mobility 2 Grid, Vehicle 2 Grid)

Energia odnawialna i elektromobilność dla inteligentnego środowiska miejskiego. Dzięki rosnącej elektromobilności istnieje szansa na rozwój zintegrowanego systemu energetycznego i transportowego. Opracowywanie i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań zapewniających przystępne i bezpieczne dostawy energii elektrycznej, ciepła i transportu w całości oparte na energii odnawialnej.

Oczekiwane korzyści (Massink, 14 stycznia 2019 r.):

- Zmniejszenie całkowitego kosztu własności flot, akumulatorów, fotowoltaiki itd.
- Producenci samochodów (OEM) są w stanie sprzedawać pojazdy z wartością dodaną.
- Podmioty na rynku energii mogą handlować i optymalizować swój bilans.
- Operatorzy sieci mogą optymalizować inwestycje i stabilizować sieć.



Rysunek 6: Podłączanie stacji ładowania pojazdów elektrycznych do istniejącej infrastruktury transportu publicznego



Zdjęcie dostarczone przez miasto Lipsk

Technologia B	Bariery technologiczne	Bariery prawne
Zastosowanie multimodalne	<ul style="list-style-type: none"> Wysokie ograniczenia w zakresie bezpieczeństwa w przypadku zastosowania mobilnego magazynowania energii (pasażerowie na pokładzie); Straty linii napowietrznej (ze względu na duże odległości między pojazdami/stacjami); Brak stabilizacji napięcia dla systemów typu „z powrotem do sieci”. 	<ul style="list-style-type: none"> Bardziej rygorystyczne zasady i egzekwowanie mogą skutkować wyższymi kosztami lub zaniechaniem projektu; Standardy dwukierunkowego transferu mocy między różnymi trybami przy użyciu normy ISO 15118-20.

1.1.3 Technologia C – Innowacyjne ładowanie w ruchu w przypadku transportu publicznego

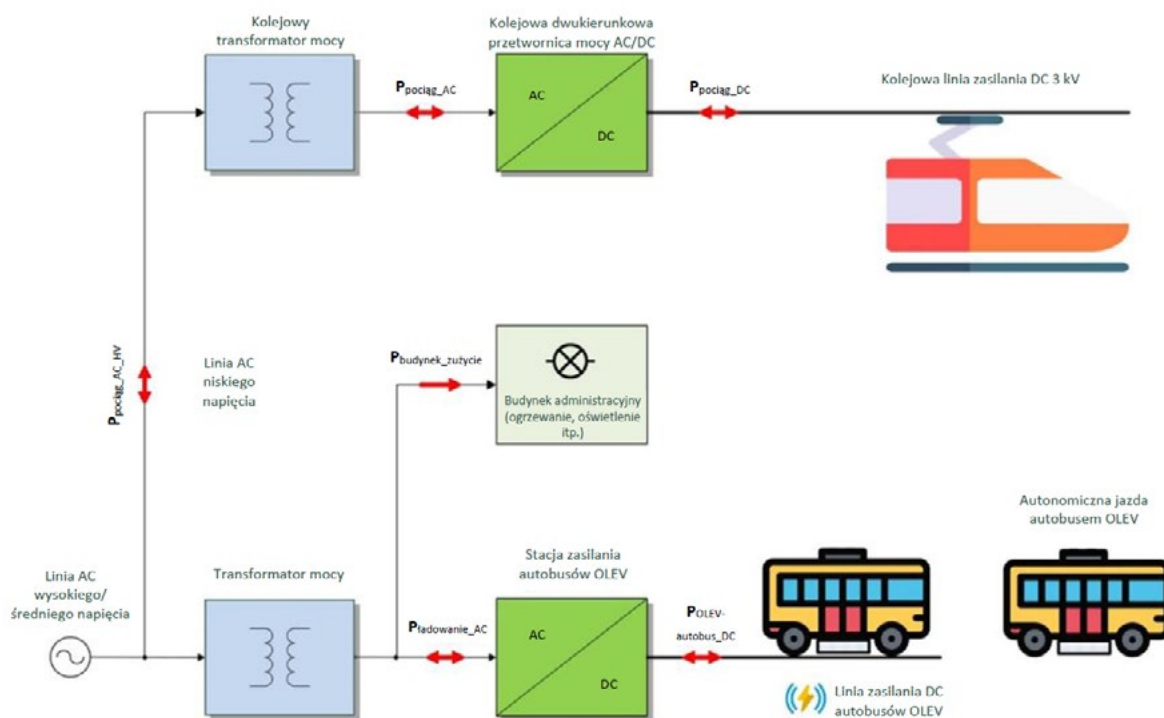
Technologia nawiązuje do koncepcji ładowania pojazdów TP podczas jazdy po drogach (w ruchu), z nowymi innowacyjnymi rozwiązaniami mogącymi pozwolić na multimodalne i wszechstronne zastosowanie w przyszłym TP.

Rozwiązanie 6 - Ładowanie w ruchu na podłożu przewodzącym (OLEV)

Istnieje kilka metod budowy dróg zelektryfikowanych. W technologii indukcyjnej przesyłana jest energia magnetyczna.

Należy zauważyć, że wszystkie opracowane koncepcje OLEV działają z częstotliwością 20 kHz.

Należy zwrócić uwagę, że obecnie opracowywana jest szósta generacja tej technologii. Głównym celem jest zapewnienie zgodności z nową normą SAE J2954 dotyczącą stacjonarnego ładowania indukcyjnego pojazdów elektrycznych. Wskazuje się zatem, że szósta generacja technologii OLEV będzie oparta na szynach bezrdzeniowych bez sztywnej struktury magnetycznej w drodze.



Rysunek 7: Ładowanie w ruchu na podłożu przewodzącym

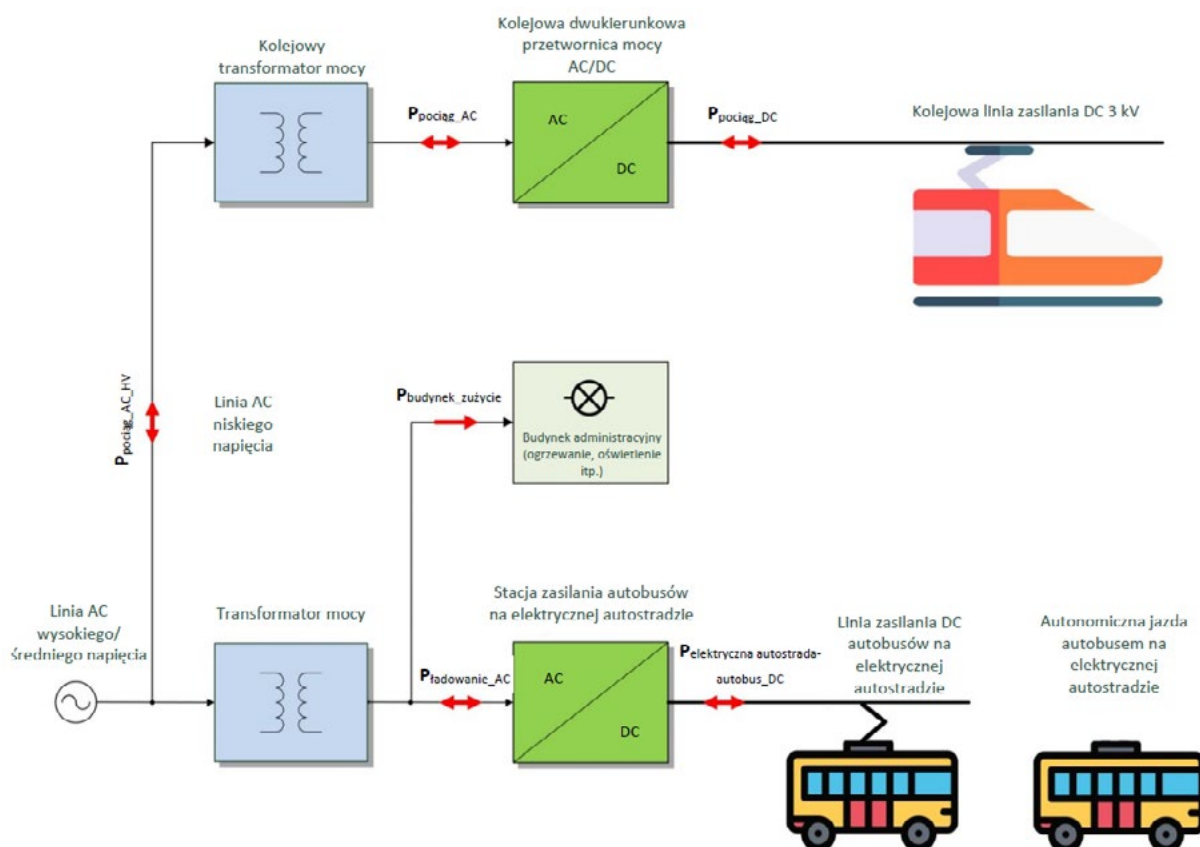
Oczekiwane korzyści:

Oczekuje się, że systemy stacjonarnego i dynamicznego transferu mocy indukcyjnej do elektrycznych pojazdów drogowych będą kompatybilne. Standard stacjonarnego ładowania indukcyjnego wymaga częstotliwości roboczej wynoszącej 85 kHz, co również wymaga poważnych rozważań i kompromisów w porównaniu z istniejącymi systemami OLEV działającymi z częstotliwością wynoszącą 20 kHz.

Rozwiązanie 7 - Ładowanie w ruchu z przewodzącej linii trakcyjnej na autostradzie (elektryczne autostrady)

Za najbardziej dojrzałą można uznać technologię opartą na liniach napowietrznych, ponieważ opiera się ona na doświadczeniach z eksploatacji linii napowietrznych do zasilania pociągów, tramwajów czy trolejbusów.

Główna różnica między infrastrukturą pojazdów drogowych a pociągami lub tramwajami polega na tym, że systemy szynowe wymagają tylko jednego przewodu przewodzącego ze stykiem ślizgowym, ponieważ szyny są zwykle drogą powrotną dla prądu, podczas gdy dynamiczne i przewodzące przenoszenie mocy do pojazdów drogowych wymaga dwóch oddzielnych przewodów. Kluczym elementem systemu jest nowo opracowany pantograf. Zapewnia bezpieczeństwo podczas sprzęgania i rozprzęgania z napowietrzną siecią trakcyjną w zakresie prędkości wynoszącym od 0 do 90 km/h (Akerman, 2015 r.).



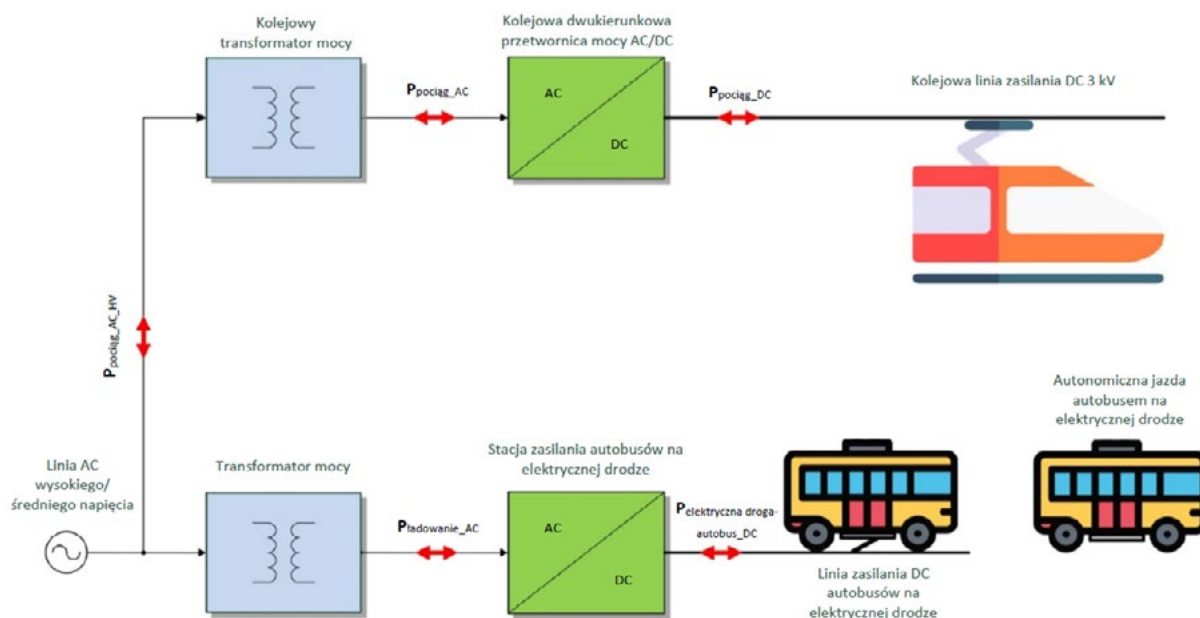
Rysunek 8: Ładowanie w ruchu z przewodzącej linii trakcyjnej na autostradzie

Oczekiwane korzyści:

Oczekuje się, że ciężarówki i prawdopodobnie autobusy korzystające z linii napowietrznych będą miały bardzo podobne interfejsy między systemem pantografu a pokładowym systemem napędowym, chociaż z pewnymi dostosowaniami zależnie od producenta. Przewiduje się, że pojazdy będą wyposażone w akumulatorowy system magazynowania energii na pokładzie o napięciu znamionowym wynoszącym od 400 do 900 V. Najprawdopodobniej przetwornica prądu stałego DC/DC będzie interfejsem do układu napędowego, zapewniającym regulację napięcia i kontrolę prądu z linii napowietrznych.

Rozwiązanie 8 - Ładowanie w ruchu na podłożu przewodzącym (multimodalne)

Druga technologia przewodząca umożliwia dostarczanie energii od dołu za pomocą przewodów na ulicy. Takie systemy wdrożono już w tramwajach miejskich, aby uniknąć wizualnego efektu słupów i przewodów napowietrznych wymaganych w systemach trakcyjnych. Jedną z opracowywanych koncepcji opiera się na dostosowaniu technologii dla tramwajów, podczas gdy inne systemy są opracowywane specjalnie dla pojazdów drogowych.



Rysunek 9: Ładowanie w ruchu na podłożu przewodzącym

Oczekiwane korzyści:

- Możliwość korzystania z infrastruktury przez pojazdy różnej wielkości.
- Unikanie układania napowietrznych linii zasilania i związanego z tym efektu wizualnego.

Technologia C	Bariery technologiczne	Bariery prawne
Innowacyjne ładowanie w ruchu	<ul style="list-style-type: none"> Niska wydajność transferu energii w warunkach rzeczywistych; Ładowanie bezprzewodowe wymaga zintegrowania z pojazdem dodatkowej ładowarki (dodatkowy koszt); Projekt, działanie i koszt systemu dystrybucji energii; Brak wyraźnej wizji w zakresie multimodalności. 	<ul style="list-style-type: none"> Standaryzacja infrastruktury i systemów pokładowych; Interoperacyjność między różnymi koncepcjami.

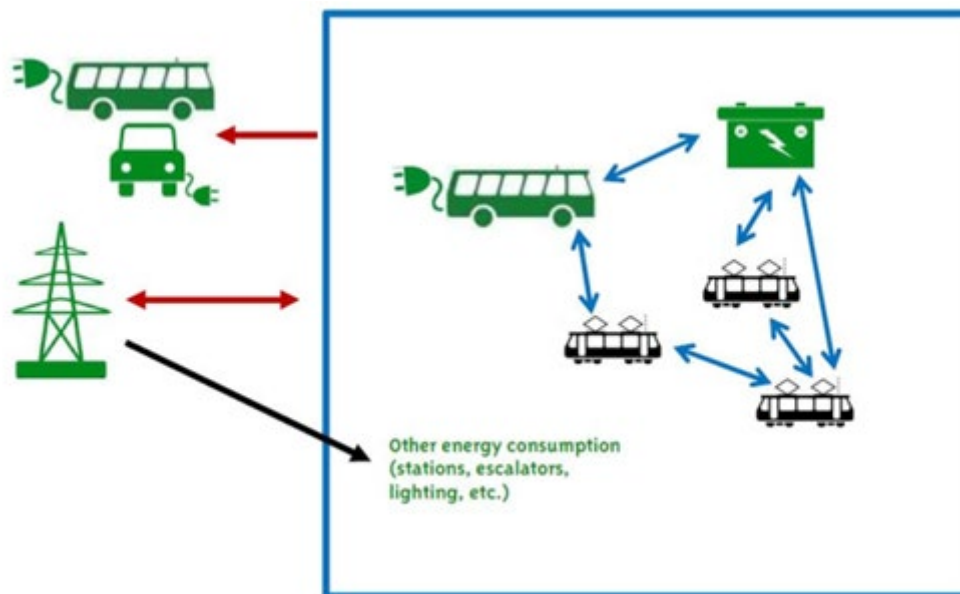
1.2 Wielofunkcyjne wykorzystanie infrastruktury transportu publicznego na świecie

Oberhausen: Technologia A (Rozwiązanie 1) - Wykorzystanie tramwajów do szybkiego ładowania autobusów elektrycznych

Pojazdy z silnikiem Diesla były wykorzystywane głównie w systemach autobusów miejskich. Autobusy elektryczne wprowadzono w mieście po to, aby zmniejszyć zależność od paliw kopalnych oraz ograniczyć zanieczyszczenie tlenkiem azotu, cząstkami stałymi i hałasem na obszarze miejskim. Energia ładowania jest przekształcana z linii napowietrznej tramwajów na przystanku autobusowym lub pobierana ze stacji energetycznej na przystanku autobusowym, dzięki czemu autobusy elektryczne nie muszą być doładowywane w zajezdni podczas normalnej eksploatacji.

Lipsk: Technologia A (Rozwiązanie 1) - Wykorzystanie tramwajów do pełnego ładowania miejskich autobusów elektrycznych

Energia z istniejących sieci TP (tramwaju lub metra) do zasilania multimodalnego węzła ładowania. Wykorzystanie sieci tramwajowej do (ponownego) ładowania pojazdów elektrycznych. Głównym celem było określenie barier prawnych i podstaw prawnych związanych z wielofunkcyjnym wykorzystaniem istniejącej infrastruktury tramwajowej do sprzedaży energii z sieci tramwajowej stronom trzecim.



Rysunek 10: Słup A (Do)ładowanie okazyjne autobusów elektrycznych z wykorzystaniem infrastruktury tramwajowej

Barcelona: Technologia A (Rozwiązanie 1) - Korzystanie z metra do szybkiego ładowania 18-metrowych autobusów elektrycznych

Stacja szybkiego ładowania okazjonalnego w Barcelonie - w tym modelu działają dwa autobusy elektryczne. Pojemność akumulatora tych pojazdów wynosi 125 kWh, a ich długość 18 m. Podstawowy fakt - mniejsza pojemność to mniej czasu i energii przy każdym ładowaniu, ale więcej doładowań.



Rysunek 11: Ładowanie pantografu w Barcelonie w ramach ambitnego planu elektryfikacji. Źródło: TMB.

Szeged: Technologia A (Rozwiązanie 2) - Energia elektryczna z istniejącej sieci TP do zasilania hybrydowych trolejbusów

- Doładowywanie autobusów elektrycznych „w drodze”.
- Modernizacja sieci trolejbusowej dzięki autobusom z akumulatorami.
- Automatyczne nakładanie/usuwanie przewodów.
- Korzyści również dla obywateli.
- Wykonalność finansowa i prawna.
- Nieistotna technologia dla ruchu o małej gęstości / ruchu peryferyjnego (przegubowe autobusy elektryczne).

Eberswalde: Technologia A (Rozwiązanie 2) - Wykorzystanie hybrydowych trolejbusów

Doładowanie magazynu energii podczas przejazdu autobusów pod przewodami napowietrznymi. Po opuszczeniu przez autobusy sieci napowietrznej cała energia i moc elektryczna są dostarczane tylko przez urządzenia magazynujące energię w pojazdach. Skutkuje to koniecznością zmniejszenia magazynowania energii i uniknięcia strat w przepustowości pasażerów.

Oberhausen: Technologia A (Rozwiązanie 3) - Węzły multimodalne

Energia elektryczna z istniejących sieci TP (tramwaju lub metra) do zasilania multimodalnego węzła ładowania. Istniejąca infrastruktura tramwajowa na prąd stały może być również wykorzystywana do szybkiego ładowania innych pojazdów elektrycznych, takich jak prywatne samochody elektryczne i lekkie pojazdy elektryczne.

- Energia elektryczna z istniejących sieci TP do zasilania multimodalnych węzłów ładowania.
- Tramwajowa sieć trakcyjna służąca do szybkiego ładowania autobusów elektrycznych i samochodów elektrycznych (Oberhausen).
- Energia elektryczna z sieci trakcyjnej 750 V DC jest zamieniana dla stacji szybkiego ładowania o mocy 50 kW do wykorzystania przez samochody osobowe i lekkie pojazdy elektryczne.
- Z systemem ochrony przeciwprzepięciowej.

- Niejasne ramy prawne i ryzyko dla uzasadnienia biznesowego.

Barcelona: Technologia A (Rozwiązanie 3) - Wykorzystanie kolei do ładowania multimodalnego

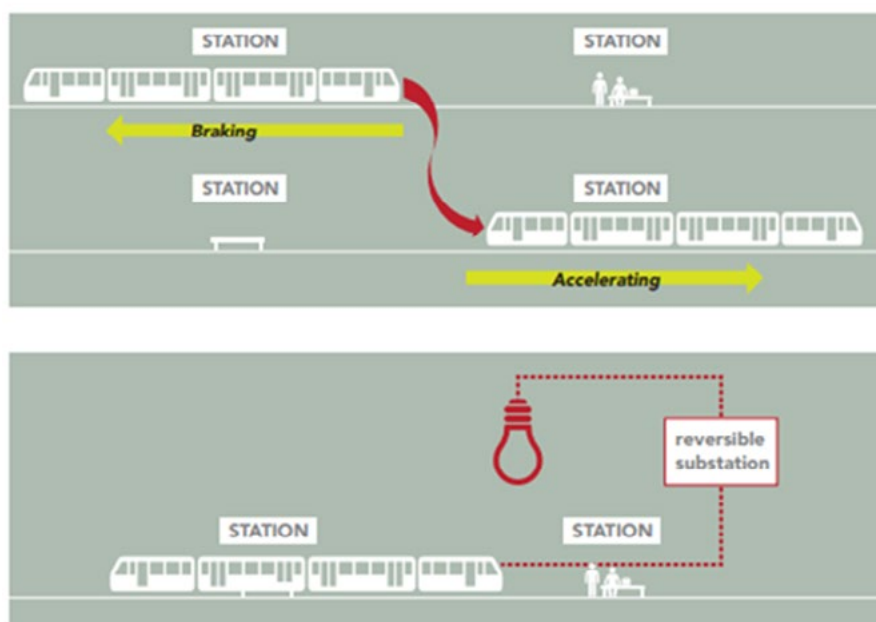
Energia dostarczana z sieci elektrycznej instalacji kolejowych, która nie jest zużywana przez trakcję elektryczną, może być wykorzystana do ładowania floty pojazdów elektrycznych w Barcelonie.

- Określenie przedziałów czasowych, dostępnych parkingów i sieci elektrycznej infrastruktury szynowej (tramwaje, metro) w celu rozmieszczenia punktów ładowania.
- Wykorzystanie niezużytej energii dostarczonej do sieci elektrycznej.
- Zaangażowane zainteresowane strony: operator transportu publicznego, operator parkingu i użytkownik końcowy.
- Różne schematy zarządzania ładowaniem dla pojazdów prywatnych i floty publicznej:
- Operator TP do floty publicznej operatora parkingu (OP), operator TP do prywatnego użytkownika pojazdu elektrycznego, operator TP do OP do floty publicznej/prywatnej.
- Bariery prawne.

Rotterdam: Technologia B (Rozwiązanie 4) - Infrastruktura TP ze zintegrowaną odzyskaną energią hamowania

Wszystkie pociągi metra używane w sieci w Rotterdamie miały zdolność hamowania elektrycznego przy użyciu technik hamowania odzyskowego. Odzyskiwanie energii hamowania może być świetną okazją do zmniejszenia zużycia energii przez system metra.

- Odzyskana energia kinetyczna z hamowania do zasilania urządzeń pomocniczych pojazdu; pozostała energia jest przesyłana do sieci elektrycznej w celu przyspieszenia pobliskich pociągów.
- W innym przypadku napięcie w sieci wzrasta z powodu nadwyżki energii, a ta dodatkowa energia jest rozpraszana w rezystorach hamowania.
- Sprawdzone rozwiązania: systemy magazynowania superkondensatorów wzdłuż sieci tramwajowej - brak znaczących korzyści, koła zamachowe?
- Nie ma potrzeby magazynowania, wystarczą falowniki.
- Symulacja dla optymalnego umiejscowienia (na 2 stacjach energetycznych).



Rysunek 12: System odzyskiwania energii hamowania w sieci metra w Rotterdamie (Źródło: Virgil Grot, Regie & Ontwikkeling, 2014)

Turyn: Technologia B (Rozwiązanie 5) - technologia „Vehicle 2 Grid” uzupełniona o OZE

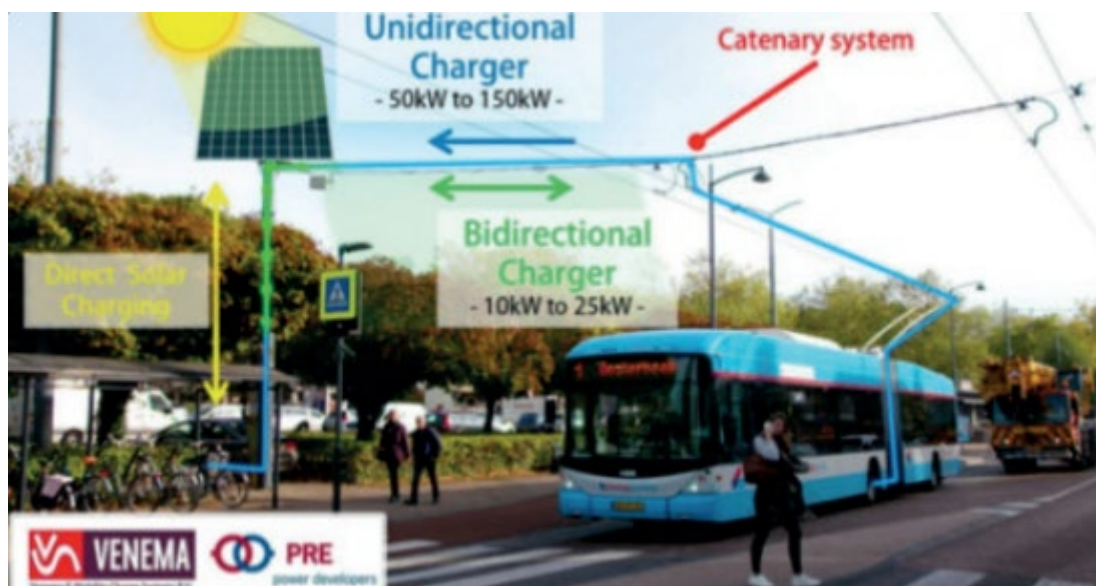
Technologia dwukierunkowa - która zarówno ładuje samochód, jak i zwraca energię do sieci.

- Przemysł samochodowy (FCA) + dostawcy elektromobilności i technologii (ENGIE EPS) oraz operator sieci (TERNA).
- Technologia dwukierunkowa - która zarówno ładuje samochód, jak i zwraca energię do sieci.
- Wykorzystanie akumulatorów do stabilizacji sieci - optymalizacja kosztów eksploatacji użytkowników samochodów.
- Montaż 32 kolumn V2G z możliwością podłączenia 64 pojazdów (docelowo 700 pojazdów).
- Moc paneli słonecznych wynosi 5 MW (dla 8 500 domów).

Arnhem: Technologia B (Rozwiązanie 5) - Wielofunkcyjne wykorzystanie inteligentnych sieci trolejbusów

Wielofunkcyjne ładowanie innych pojazdów elektrycznych z sieci trolejbusowej:

- Infrastruktura trakcyjnych sieci trolejbusowych może stanowić opłacalne rozwiązanie.
- Elastyczna usługa na żądanie uzupełniająca i rozszerzająca regularne usługi transportu publicznego.
- Zainstalowana szybka ładowarka dla pojazdów jest obsługiwana przez trolejbusowo-tramwajową sieć DC. Ze względu na to, że jest to system DC/DC, ma mniejsze straty energii niż konwencjonalne systemy ładowania.
- Stacja do ładowania nie wymaga podłączenia do konwencjonalnej sieci zasilania, gdy jest podłączona do sieci trolejbusowo-tramwajowej.
- Sieć trolejbusowo-tramwajowa może mieć korzystny wpływ na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, stwarzając obciążenie podstawowe dla odnawialnego źródła energii, zamiast wprowadzać je do sieci.



Rysunek 14: Rysunek koncepcyjny wielofunkcyjnej ładowarki (Źródło: VENEMA/PRE Power; trolley:2.0)

Rozwiązanie branżowe: Technologia C (Rozwiązanie 6)

Główne zastosowania to stacjonarne ładowanie okazyjne systemów transportu publicznego, takich jak tramwaje, autobusy i ciężarówki (tor 800 m w Augsburgu firmy Bombardier).

- Transfer 200 kW do pojazdu.
- Izolacja powietrzna 6 cm (tramwaje), ciężarówki 10 cm.
- Możliwa integracja ze stacjonarnym (okazyjnym) ładowaniem autobusów.



Rysunek 15: Autobus elektryczny z indukcyjnym ładowaniem w Brunshwiku. Źródło: Rupprecht Consult.

Kraj związkowy Hesja, Niemcy: Technologia C (Rozwiązanie 7) - Innowacyjne podejście do infrastruktury TP do zasilania elektrycznych dróg (autostrad)

Projekt ELISA ma na celu proaktywne wspieranie wizji jazdy neutralnej dla klimatu w ramach logistycznych łańcuchów wartości przy jednoczesnym utrzymaniu zdolności transportowych. Celem partnerów projektu jest realizacja systemu ruchu elektrycznego wraz z infrastrukturą linii napowietrznej.

- Elektryczna autostrada w Hesji została zbudowana na odcinku około dziesięciu kilometrów na autostradzie A5.
- Została zatwierdzona i zbudowana w ciągu zaledwie dwóch lat. To pokazało, że ten rodzaj drogi elektrycznej można zbudować w krótkim czasie, nawet na ruchliwych drogach.
- Interoperacyjność z TP?



Rysunek 16: Pas testowy elektrycznej autostrady ELISA 2020. Źródło: M. Werner (TU Dresden)

Szwecja: Technologia C (Rozwiązanie 8) - Droga elektryczna ARLANDA-SE

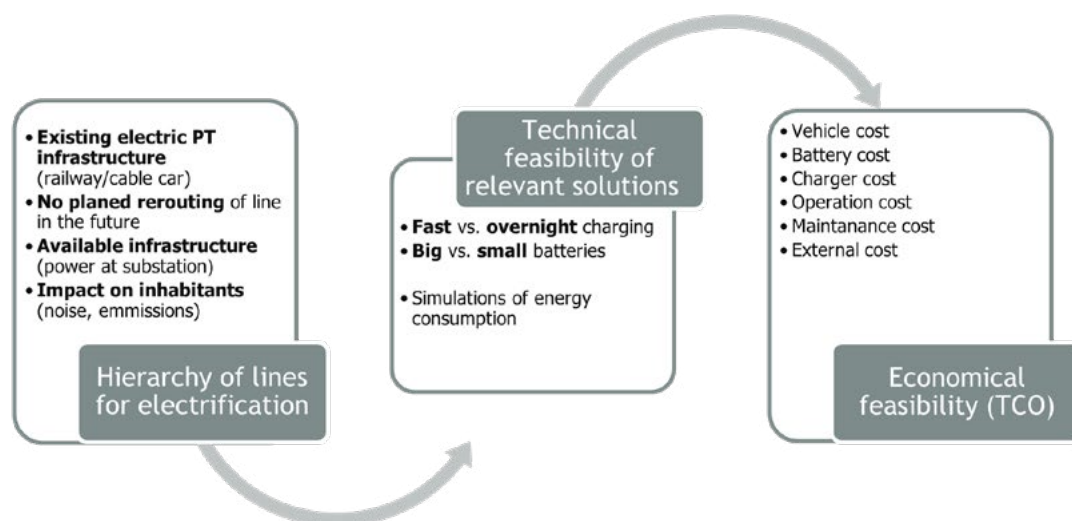
Innowacyjne ładowanie w ruchu transportu publicznego; styki ślizgowe podłoża przewodzącego. Innowacyjne techniki opierają się na technologii przewodzącej, która wykorzystuje szynę elektryczną zainstalowaną na drogach do zasilania i ładowania pojazdów podczas ich przejazdu. System zaprojektowano z myślą o obsłudze poważniejszego ruchu, np. ciężarówek, ale działa również dla samochodów osobowych i autobusów. Może również zapewnić pomoc podczas jazdy pod górę.

- Technologia przewodząca wykorzystująca szynę elektryczną zainstalowaną na drogach do zasilania i ładowania pojazdów podczas ich przejazdu.
- Ładowanie przy zastosowaniu „ruchomego ramienia”.
- Cel Szwecji na 2030 r. w zakresie transportu wolnego od paliw kopalnych.
- Pierwotnie przeznaczona dla samochodów ciężarowych, ale odpowiednia również dla samochodów osobowych i autobusów.
- Pas testowy 10 km - ciężarówki 18 t, zelektryfikowane 2 km.

2. Przykład zastosowania w Mariborze - dostosowanie stacji kolejki linowej do wielofunkcyjnej infrastruktury transportu publicznego

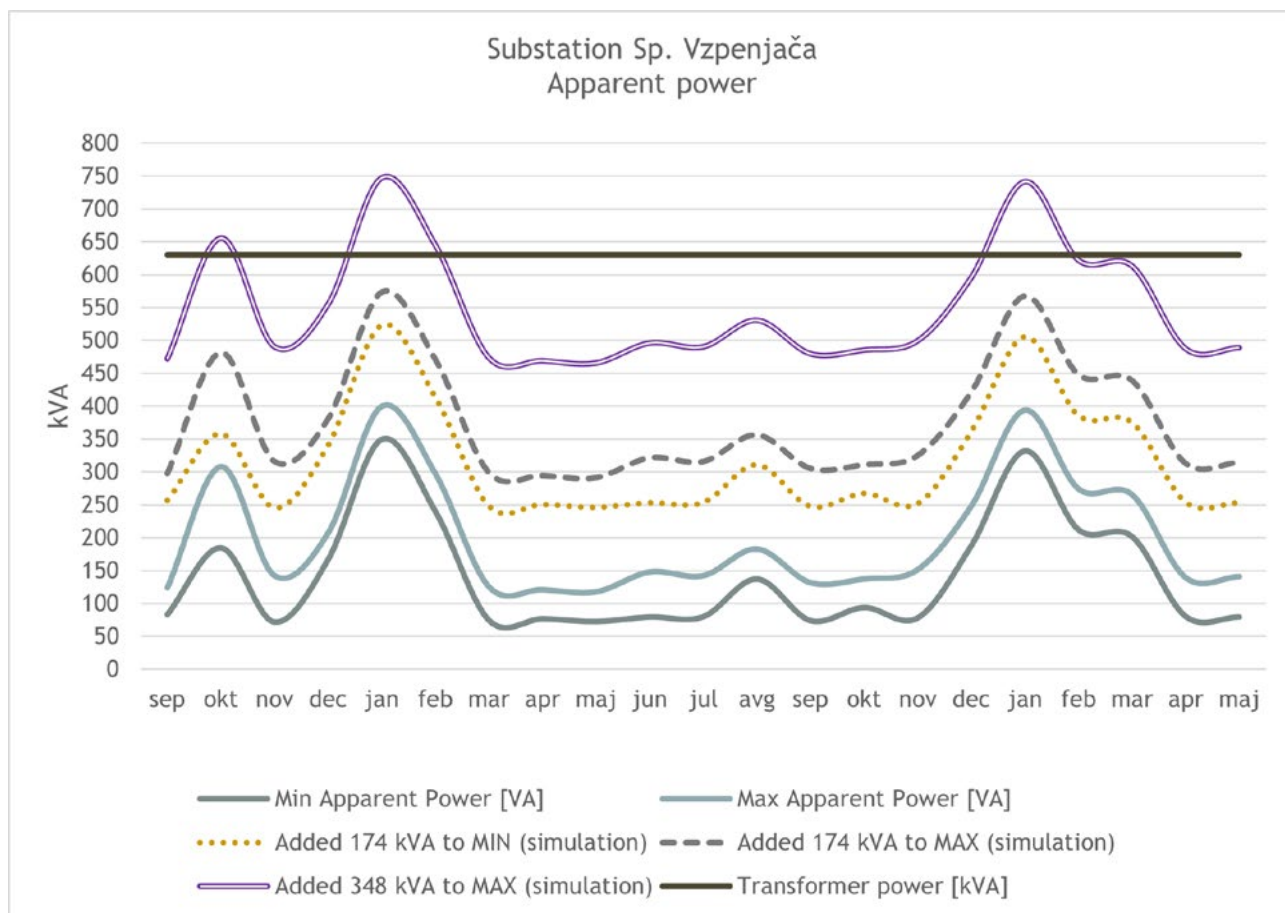
Technologię A wykorzystano w ramach projektu pilotażowego. Projekt pilotażowy koncentruje się na wielofunkcyjnym szybkim ładowaniu autobusów elektrycznych, przy czym stacja energetyczna służy obecnie jako stacja ładowania kolejek linowych i do udostępniania samochodów elektrycznych. Ponieważ planowana jest elektryfikacja linii autobusowej nr 6, stacja szybkiego ładowania dla autobusów elektrycznych mieści się na stacji Vzpenjača, gdzie znajduje się również stacja kolejki linowej. Głównym wyzwaniem projektu pilotażowego było wdrożenie stacji szybkiego ładowania dla autobusów elektrycznych do wielofunkcyjnego zastosowania, a także pomiar stabilności sieci w różnych warunkach. Pomiary stabilności sieci przed wdrożeniem i po wdrożeniu stacji ładowania dla autobusów elektrycznych mierzyły zużycie energii przez dotychczasowych odbiorców (stacja kolejki linowej, udostępnianie samochodów elektrycznych), innych odbiorców okazjonalnych (odbiorcy podczas dużych imprez - np. kampery podczas zjazdów rowerowych i w sezonie zimowym) oraz nową innowacyjną stację ładowania dla autobusów elektrycznych (w zależności od różnych sytuacji codziennego ładowania).

Przygotowano wybór koncepcji ładowania, który przeprowadzono w trzech etapach. W pierwszej kolejności określono trasę, w przypadku której elektryfikacja miałaby największy wpływ na zmniejszenie hałasu i emisji dla ludności, sąsiadującej z wybudowaną już infrastrukturą transportu publicznego, i która nie powinna znacząco się zmienić w przyszłości. Następnie przeanalizowano różne opcje ładowania dla wybranej trasy i ustalono, które opcje są technicznie wykonalne. W oparciu o rozwiązania techniczne wybrano następnie koncepcję ładowania, opierając się na analizie kosztów cyklu eksploatacji.



Rysunek 17: Metodologia elektryfikacji transportu publicznego w Mariborze

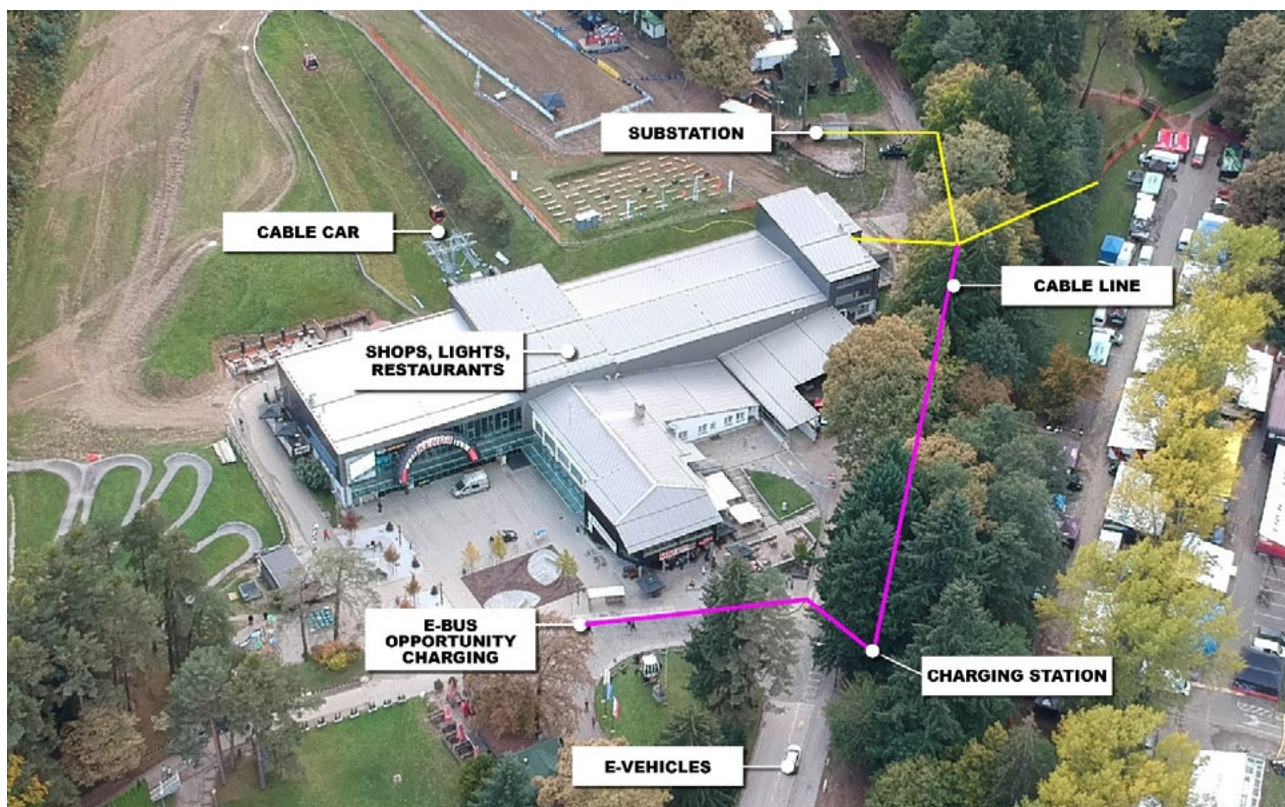
Wdrożenie i instalację urządzenia pomiarowego w stacji energetycznej Vzpenjača zakończono pod koniec września 2020 r. Urządzenie pomiarowe służy do pomiaru mocy, prądu, temperatury i innych parametrów w stacji energetycznej. Jest skonfigurowane do monitorowania całkowitego zużycia energii przez kolejkę linową Pohorje. Po uruchomieniu stacji szybkiego ładowania będą dokonywane dwa pomiary: jeden dla stacji ładowania, a drugi dla wszystkich pozostałych odbiorców razem. Jednak suma ich wyników będzie reprezentować całkowite obciążenie stacji energetycznej. Lokalne zapisywanie danych dotyczących zużycia energii będzie przekazywane przez sieć LTE na serwer w Uniwersytecie w Mariborze. Na poniższym wykresie przedstawiono zużycie energii elektrycznej w VA w okresie od września 2020 r. do maja 2022 r.



Rysunek 18: Moc pozorna

Maksymalne obciążenie szczytowe podczas tego okresu wynosiło 399 kVA w styczniu 2021 r. i podobny szczyt miał miejsce w styczniu 2022 r. W tym czasie (weekend) ośrodek narciarski Pohorje uruchomił armatki śnieżne, aby przygotować się na nowy sezon zimowy. Biorąc pod uwagę maksymalne obciążenie szczytowe w oparciu o powyższy wykres i stację ładowania 150 kW (174 kVA), moc pozorna wyniosłaby 573 kVA, co odpowiada istniejącemu transformatorowi 630 kVA. Jeżeli moc stacji ładowania ma zostać zwiększona o 300 kW, tj. do maksymalnej pozornej mocy stacji ładowania wynoszącej 348 kVA, obciążenie szczytowe może wynosić 747 kVA. Istniejący transformator 630 kVA byłby niewystarczający i musiałby zostać zastąpiony nowym transformatorem 1000 kVA.

Mając na uwadze dostępne na rynku rozwiązania techniczne, gmina zdecydowała się na dwie szybkie ładowarki oraz zestaw akumulatorów litowo-tytanowych. Gmina Maribor ogłosiła przetarg publiczny na przygotowanie dokumentacji projektowej dla stacji szybkiego ładowania pod kolejką linową Pohorje, na głównym dworcu autobusowym oraz w warsztacie Marprom w Mariborze. Spotkanie koordynacyjne z wybranym oferentem odbyło się we wrześniu 2020 r. Przedstawiciele gminy Maribor i Uniwersytetu Maribor szczegółowo przedstawili projekt EfficienCE oraz warunki projektu dotyczące przygotowania dokumentacji fachowej.



Rysunek 19: Zdjęcie lotnicze stacji szybkiego ładowania na stacji Vzpenjača

Na początku lutego 2022 roku na głównym dworcu autobusowym w Mariborze pomyślnie zainstalowano pierwszy pantograf do szybkiego ładowania autobusów elektrycznych o mocy 300 kW. Drugi pantograf o mocy 150 kW zainstalowano w połowie lutego 2022 r. na stacji kolejki linowej, gdzie zastosowano integrację ładowania innych pojazdów elektrycznych i kolejek linowych.



Rysunek 20: Montaż pantografu z szybką ładowarką na stacji kolejki linowej w Mariborze



Rysunek 21: Zainstalowany pantograf testowany z zakupionym autobusem



Rysunek 22: Przedstawienie działania pantografu

3. Wnioski

Technologie istotne dla wykorzystania wielofunkcyjnej infrastruktury transportu publicznego wykazują szeroki zakres opcji i rozwiązań, które są dostępne u dostawców i wdrażane w różnych miastach. Ze względu na to, że technologie ewoluują, ich wpływ znajduje się jeszcze na wczesnym etapie (zwłaszcza w zakresie wielofunkcyjnego wykorzystania transportu publicznego w sposób dynamiczny/w ruchu). Na pierwszym etapie zaprezentowano 8 rozwiązań technicznych, wraz z opisem dla każdej technologii, a następnie przedstawiono kluczowe korzyści, ogólne inwestycje oraz bariery techniczne i prawne. Na drugim etapie przedstawiono najlepsze praktyki dla każdej technologii, gdzie po opisie stanu techniki przedstawiono stan wdrożenia, a następnie potencjał do rozszerzenia wykorzystania. Każda technologia ma zarówno wady, jak i zalety, a wdrożenie jej jest dostosowane do miejscowych warunków. Na podstawie raportu widać, że miasta i dostawcy unowocześniają istniejącą lokalną infrastrukturę transportu publicznego do wielofunkcyjnego zastosowania, podczas gdy nowe technologie ładowania (zwłaszcza) mobilnego są na wczesnym etapie.

W odniesieniu do integracji energii, mobilności i logistyki w wielofunkcyjnym wykorzystaniu infrastruktury transportu publicznego można stwierdzić, że integracja jest powiązana z popytem oraz dostępnym miejscem i energią, podczas gdy węzły mobilności i logistyki zwykle nie mają zintegrowanych miejsc dla swoich sieci dystrybucyjnych z przestrzennego punktu widzenia, dlatego też integracja jest trudna, ale należy ją rozważyć w przyszłości.

Referencje

- Akerman, P., (2015). Ppmc-transport. Von eHighway - Electrifying Heavy Duty Road Freight Transport: <http://www.ppmc-transport.org/ehighway-electrifying-heavy-duty-road-freight-transport/> abgerufen
- Arriaga D.S., (Siemens), D. G. (1 June 2015). ELIPTIC; Deliverable 3.5 - Technological Viability Evaluation. EU: ELIPTIC Electrification of public transport in cities. Abgerufen am EBRUARY 2021 von <http://www.eliptic-project.eu/>
- Bloomberg, (14. September 2020). Bloomberg - The Vehicle-to-Grid Pilot Project Has Been Inaugurated at Mirafiori. Von www.bloomberg.com/: <https://www.bloomberg.com/press-releases/2020-09-14/the-vehicle-to-grid-pilot-project-has-been-inaugurated-at-mirafiori> abgerufen
- Bode, A. (MAY 2014). Ticket to KYOTO Bielefeld. Von INVESTMENT SHEETS Bielefeld: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- CENIT, T. a., & SM/CENIT. (25-11-15). Barcelona Use case set up report. ELIPTIC.
- Devaux F.O., (STIB), X. T. (March 2011). T2K - Overview of braking energy recovery technologies in the public transport field. The "TICKET TO KYOTO" project - www.tickettokyoto.eu.
- eHighway, (2021). Field trial eHighway Schleswig-Holstein. Von eHighway.SH: <https://www.ehighway-sh.de/de/projektbeschreibung.html> abgerufen
- eRoadArlanda, (February 2021). eRoadArlanda -SE. Von eroadarlanda.com: <https://eroadarlanda.com/the-technology/> abgerufen
- Freudenberg B., (BBG), T. K., (June 2015). Eberswalde Final Use Case Report. Von www.eliptic-project.eu: <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- Greater, A. L., (May 2012). Ticket to Kyoto - Economic Expertise in the Carbon Market - Optimising policies and regulations for CO2 reduction in the public transport sector.
- Grot V., (May 2014). Regie & Ontwikkeling, R., T2K Rotterdam - Braking energy recovery. Von Ticket to KYOTO Investment sheet: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- Hegazy O., V. C.-O., (June 2015). Brussels Final Use Case Report. Von [eliptic-project.eu](http://www.eliptic-project.eu): <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- House, T. M., (2019). White paper: Smart Charging for Electric Buses. The Mobility House GmbH.
- Hub, V., V2G - A Global Roadtrip. Von Vehicle to grid Hub: <https://www.v2g-hub.com/report> abgerufen
- Klemenčič M., A. I., (2017). Review of electric e-bus technologies. University of Maribor.
- Knote T.(Fraunhofer), E. N., (11/2015). Leipzig Use Case set-up Report. Thoralf Knote, F. A. (15/06/2018). Leipzig Final Use Case Report.
- Mackinger G., L. E., (May 2019). UITP My Library. Von <https://mylibrary.uitp.org/>: <https://mylibrary.uitp.org/> abgerufen
- Massink, R., (January 14, 2019). Integrated and Replicable Solutions for CoCreation in Sustainable Cities, FINAL PROJECT FACT SHEET. EUROPEAN UNION CO-FUNDED PROJECT; IRIS project HORIZION 2020.
- Náday A., S. D., (June 2015). Szeged Final Use Cases Report. Von <http://www.eliptic-project.eu>: <http://www.eliptic-project.eu> abgerufen
- Reh, S., (22. June 2016). Siemens World's first eHighway opens in Sweden. Von SIEMENS Press Release: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/worlds-first-ehighway-opens-sweden> abgerufen

Roca J., C. F., (22/06/2018). Barcelona Final Use Case Report. ELIPTIC.

Sue, D. A., (28.10.2020). Decarbonisation of Heavy Goods Vehicles with a Catenary System: The „eHighway“. Von ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20201028_eu-hgv-workshop_sue_public.pdf abgerufen

Suul J.A., G. G., (2018). Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles. Electric Infrastructure for Goods Transport. Von www.elingo.no abgerufen

T2K, (May 2014). T2K Brussels, Braking energy recovery on the metro network. Von www.tickettokyoto.eu: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen

Talbot D., T. D., (1. June 2015). London Final Use Case Report. Von <http://www.eliptic-project.eu/>: <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen

Thurm S., S. J., (15/06/2018). Oberhausen Final Use Case Report.

Waldeyer, L., (January 2017). Project ELISA - electrified, innovative heavy traffic on highways. Von Interreg Europe: <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/item/3455/project-elisa-electrified-innovative-heavy-traffic-on-highways/> abgerufen

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

