



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**

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

(3) Skladování energie v infrastruktuře veřejné  
dopravy

## VÝTISK

**Číslo projektu:**

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

**Financováno:**

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

**Název výstupu:**

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

**Vydavatel:**

Konzorcium EfficienCE

**Autoři:**

Anja Seyfert, Gabriele Grea (Redmint Impresa Sociale)

**Uspořádání a návrh:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

**Datum:**

Červen 2022

## O projektu EfficienCE

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

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

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

Shrnutí .....	5
1. Úvod .....	6
1.1 Příslušné technologie .....	6
1.2 Skladování energie a EfficienCE - pilotní projekty a mezinárodně osvědčené postupy .....	8
2. Případy využití EfficienCE v oblasti skladování energie a integrace obnovitelné energie .....	16
2.1 Energeticky účinné depo .....	16
2.2 Lineární infrastruktura .....	17
2.3 Inteligentní uzel .....	18
3. Poučení a závěry .....	19
4. Odkazy .....	20

# Shrnutí



Fotografie poskytnuté městem Lipsko

Evropská unie se zaměřuje na urychlení dekarbonizace odvětví dopravy na základě obnovitelných zdrojů energie. Elektrická vozidla (EV), elektrická vozidla s palivovými články (FCEV) a skladování energie mohou toto úsilí výrazně podpořit a zároveň podpořit také nákladovou efektivnost a stabilizaci sítě pro infrastrukturu veřejné dopravy.

Úloha infrastruktury veřejné dopravy (VD) silně závisí na její schopnosti podporovat účinné využívání elektřiny v sítích a umožnit integraci obnovitelných zdrojů energie (OZE). V tomto procesu hrají skladovací technologie velmi důležitou roli, používají se v depech, stanicích a zastávkách nebo podél linek, které tvoří dopravní síť.

Příručka EfficienCE o skladování energie v infrastruktuře veřejné dopravy uvádí hlavní povolené funkce a technologie pro skladování energie, které lze použít na infrastrukturu veřejné dopravy a zkoumá jejich uplatňování jak v pilotních akcích projektu, tak v mezinárodně osvědčených postupech. Výsledky jsou shrnuty ve třech případech využití (energeticky účinné depo, inteligentní uzel, lineární infrastruktura), které popisují typický fond, který má být vytvořen s cílem zvýšit energetickou účinnost infrastruktury VD a pokrýt hlavní technologie umožňující vyšší energetickou účinnost, vyšší integraci obnovitelných zdrojů a účinnější příspěvek infrastruktury veřejné dopravy do sítě.

Případy využití mají v úmyslu upozornit na hlavní klíčové prvky, očekávané přínosy, výzvy a překážky, které je třeba zvážit při plánování integrace technologií ukládání do infrastruktury VD a poskytnout přímé odkazy na pilotní projekty a osvědčené postupy analyzované v rámci projektu pro další pokyny a referenční srovnávání.

# 1. Úvod

Přítomnost elektrifikovaných vozidel a infrastruktury ve veřejné dopravě představuje významnou příležitost pro dekarbonizaci dopravy, a zároveň stanoví příslušné technické výzvy související se stabilitou rozvodné sítě, zejména v přítomnosti rostoucího podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE), které mají být integrovány a využívány.

Skladování energie může mít různé funkce v infrastruktuře veřejné dopravy v závislosti na příslušných rámcových podmínkách a potřebách.

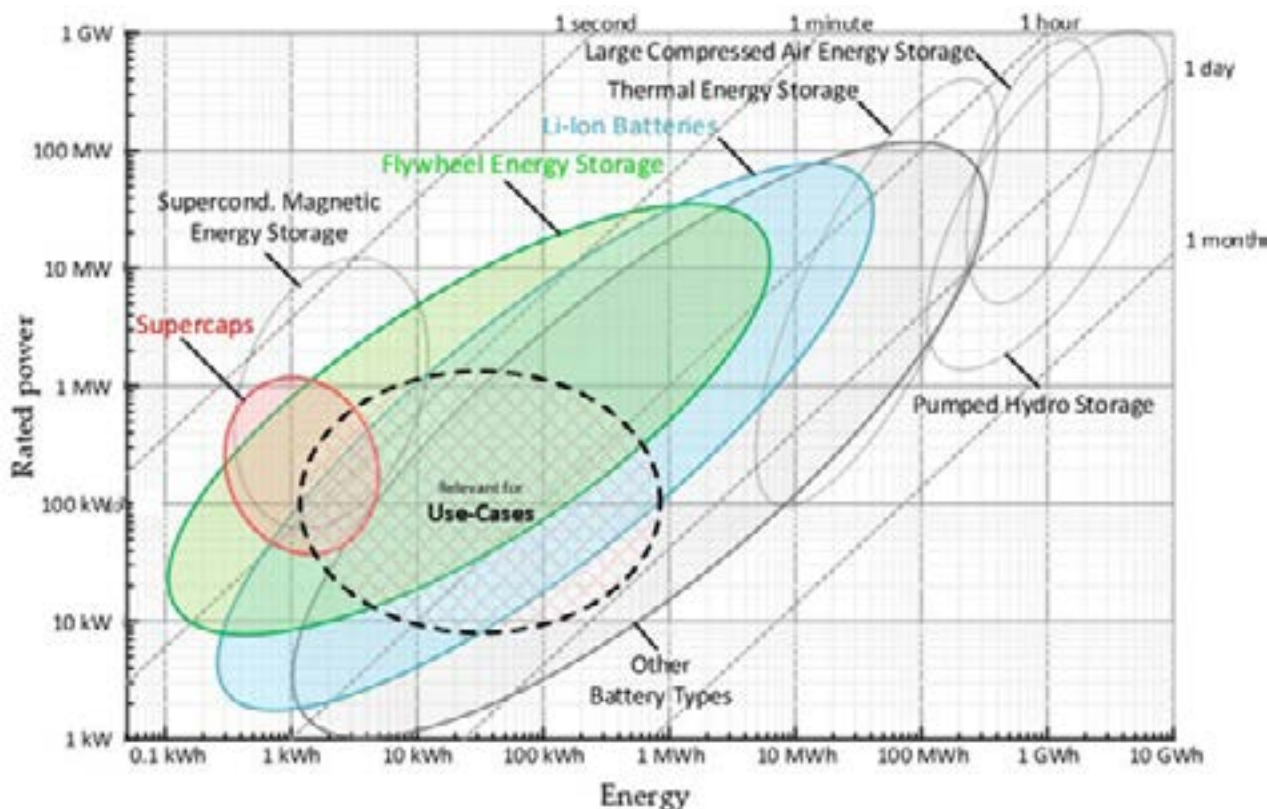
Optimalizace spotřeby - Technologie skladování mohou přispět k minimalizaci poplatků za odběr vyrovnáváním potřeb mezi špičkami a obdobími s nízkou poptávkou, podpořit integraci obnovitelných zdrojů energie s cílem maximalizovat vlastní spotřebu, například z FV elektráren, nebo zlepšit energetickou účinnost rekuperací a opětovným využitím brzděné energie vozidel zajistit stabilitu sítě při krátkodobých ztrátách energie nebo změnách frekvence a napětí.

Funkce systému - Systémy skladování energie mohou poskytovat doplňkové služby primární reakci sítě ke stabilizaci změn frekvence a napětí v síti, sekundární reakci na nápravu nerovnováhy mezi zatížením a výrobou a nahrazení špičkových spotřeb, aby byla zajištěna dostatečná výrobní kapacita během období špičkové poptávky

Prosumerismus/integrace obnovitelných zdrojů - Technologie skladování energie mohou lépe integrovat a maximalizovat podíl využití energie z obnovitelných zdrojů. V závislosti na nákladech na skladování a navrhovaných úsporách energie/nákladů může být nutné zahrnout i další možnosti, jako je poskytování nabíjecí infrastruktury externím stranám a aktivní zapojení do místních energetických sítí pro mobilitu (spojení s víceúčelovým využitím infrastruktury atd.); Pro producenta a zároveň spotřebitele (prosumer) s dostupnými skladovacími kapacitami je také možná energetická arbitráž, a tedy zisk z nákupu energie za nízkou cenu, kterou lze prodat v obdobích s vysokou cenou.

## 1.1 Příslušné technologie

Pro účely analýzy a zvážení popsanych případů použití byly v příručce vybrány nejrelevantnější technologie skladování pro použití ve veřejné dopravě. Technologie se liší v závislosti na energetické kapacitě, hustotě a době vybíjení (obr. 1) a proto mají různé úrovně vhodnosti, funkcí a oblastí použití ve veřejné dopravě.



Obrázek 1: Jmenovitý výkon, energetická kapacita a doba vybíjení různých systémů skladování energie pro stacionární a mobilní systémy. (Haidl et al. 2019)

Baterie lze používat buď na vozidlech pro pohon, nebo na jiných službách ve vozidle (jako pomocná zařízení, rekuperace brzděné energie atd.), nebo jako stacionární úložiště. U stacionárních baterií jsou požadavky na nízkou hmotnost a bezpečnost nižší, umožňují širší rozsah bateriových technologií.

Mezi bateriemi umožňují lithium-iontové technologie vysokou energetickou hustotu, nižší náklady na energetickou kapacitu a nízké samovybíjení, ale také nižší hustotu výkonu a vysoké náklady na energetickou kapacitu, a proto se většinou používají v systémech citlivých na hmotnost, které vyžadují větší kapacitu, např. v automobilovém průmyslu a spotřební elektronice.

Systémy skladování baterií s druhotnou životností mohou snížit špičkovou spotřebu energie a související náklady ze sítě pro rychlé nabíjení, umožnit nabíjení v oblastech s omezeními sítě a podporovat další služby, například integraci obnovitelných zdrojů energie. Použití baterií druhé životnosti se zdá být slibné, protože lépe podporuje síť, integruje obnovitelné zdroje energie a přidává prvky oběhového hospodářství.

Superkapacity mohou být vyráběny v různých velikostech pro různé použití. Díky velmi krátké době dobíjení umožňují superkapacity dodávat energii při vysokých a častých energetických špičkách. Hlavní použití je spojeno s opětovným využitím brzděné energie na železnici a v různých dalších vozidlech, s integrací obnovitelných zdrojů energie a s náhradou baterií v elektrických vozidlech.

Setrvačnickové systémy skladování energie (SSSE) jsou mechanická zařízení pro krátkodobé skladování kinetické energie. Malé setrvačníky lze použít jako skladovací zařízení v nepřerušitelných napájecích zdrojích (UPS) i ve vozidlech. Hlavními charakteristikami jsou dlouhá životnost bez ztrát kapacity (velmi vysoký počet cyklů nabíjení a vybíjení), vysoká kvalita elektrické energie, závislost na teplotě, přesné ověření stavu nabití / zdraví, žádné hluboké problémy s vybíjením, minimální dopad na životní prostředí.

V následující tabulce jsou shrnuty hlavní očekávané přínosy a překážky přezkoumaných technologií, aby bylo možné posoudit jejich možnosti použití v souladu s případy použití v příručce.



Technologie	Očekávané přínosy	Možné technické překážky	Možné právní překážky
Lithium iontové baterie	vysoká hustota energie, nízké samovybití	degradace, teplotní citlivost, bezpečnostní standardy	související s opětovným použitím v druhém cyklu životnosti
Baterie s druhým cyklem životnosti	prodloužení životnosti baterií	chybějící standardizace, také pro zbývající kapacitu a nabíjení	žádný právní rámec, fiskální pravidla, energetické daně
Superkapacitor	bez ztráty kapacity, dlouhá životnost, velmi krátké doby nabíjení, vysoké napětí	vysoké investiční náklady, nízká energetická hustota, velké a těžké systémy pro vysokou energetickou kapacitu	není relevantní
Setrvačníky	žádné ztráty kapacity, dlouhá životnost, krátké doby nabíjení, vysoké napětí, dodatečné vybavení	vysoké investiční náklady, nízká energetická hustota	možné bezpečnostní předpisy

Obrázek 2: Technologie skladování, výhody a překážky (EfficienCE, 2021)

## 1.2 Skladování energie a EfficienCE - pilotní projekty a mezinárodně osvědčené postupy

V této části jsou pilotní projekty EfficienCE a osvědčené postupy distribuovány napříč různými technologickými kategoriemi (baterie, setrvačníky, superkapacity) a mezi stacionárními a palubními. V následující tabulce je uvedena kategorie funkcí (optimalizace spotřeby versus provoz systému) a hlavní zdroj energie.

	Baterie	Setrvačník	Superkapacitor	Stacionární	Na palubě	Funkce systému	Optimalizace spotřeby	Integrace obnovitelných zdrojů energie	Rekuperace brzd
Londýn (UK) Bus2Grid	V2G				x	x		x	
Londýn (UK) Depo Walworth	x			x		x	x		
Solingen (DE) Chytrý trolejbusový systém	x			x	x		x	x	x
Hanover (DE) Rozvodná stanice usměrňovače	2. DRUHÝ ŽIVOT			x			x		x
Hamburk (DE) na elektřinu	x				x		x	x	
Madrid (ES) Projekt eLobster	x			x		x			x
Los Angeles (US) Metro WESS		x		x			x		x
Graz (AT) Výzkumný projekt FlyGrid									
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkapacity pro veřejnou dopravu			x		x		x		x
Varšava (PL) Tramvaje se superkapacity			x		x	x	x		x
La Spezia (IT) Smartbus			x		x		x		x
Nice (FR) Dvouřímová tramvaj			x		x		x		x
Gdyně (PL)*	2. DRUHÝ ŽIVOT						x	x	x
Píseň (CZ)*	x			x		x			
Viedeň (AT)*				x			x	x	

Obrázek 3: Klasifikace pilotních projektů a osvědčených postupů (EfficienCE, 2022)



### 1.2.1. Pilotní projekty EfficienCE

Tyto příklady, i když se zaměřují na různé specifické účely (rekuperace brzděné energie, víceúčelové využití nabíjecí infrastruktury, ukládání energie v trolejbusové síti), se vyznačují využitím technologií skladování v depech, podél tratí, ve stanicích.

#### Maribor (SI) - Víceúčelové využití veřejné infrastruktury pro nabíjení elektrobuses

Cílem pilotní akce Maribor bylo zavést rychlonabíječky pro elektrobusey ve víceúčelových nabíjecích zařízeních umístěných u stávající stanice lanovky a u vlakového nádraží. Infrastruktura pro víceúčelové nabíjení je umístěna v koncových stanicích autobusové linky.

Řešení určené pro analyzovanou trasu podle územního plánování, technické proveditelnosti a analýzy ekonomické životaschopnosti předpokládá zavedení dvou rychlonabíječek (150 kW a 300 kW) a pořízení dvou 12metrových elektrobuses s 73 kWh LTO bateriemi.

Modernizace se zaměřuje na stanici lanovky a zahrnuje integraci rychlonabíječky pro víceúčelové využití stávající infrastruktury veřejné dopravy (VD). Výkon rozvodny lanovky používané pro provoz lanovky může být také sdílen pro nabíjení e-busu, stejně jako pro e-auta. Rozvodna má kapacitu 630 kVA a vzhledem k proudovým zatížením a kapacitě jedné nabíjecí stanice by 230 kVA stačilo k vybudování dvou nabíjecích stanic.



Obrázek 4: Rychlonabíječka pro e-busy na stanici lanovky (Obec Maribor)

#### Plzeň (CZ) - Vyrovnávací úložná stanice v trolejové síti pro energetickou účinnost

Zavedení velkého počtu dynamicky nabíjených bateriových trolejbusů vede k vyšší spotřebě elektrické energie v úsecích, kde se vozidla pohybují a nabíjejí (dosud 8 kloubových a 22 12metrových bateriových vozidel), což může vést ke snížení napájecího napětí při vyšších zatíženích a tím i ke krátkodobým výpadkům stejnosměrné napájecí sítě případně k poruchám pohonných jednotek trolejbusu.

Aby se zabránilo vysokým investičním nákladům a dlouhodobé přípravě nutné pro výstavbu nové měnárny nebo posílení kabelů, provozovatel veřejné dopravy se rozhodl pro instalaci vyrovnávací bateriové stanice podél trati jako alternativního technického řešení.

Zvolená vyrovnávací úložná stanice založená na vysoce výkonných bateriích a inteligentním počítačovým řízení a galvanicky odděleném trakčním pohonu (DC 600 V / DC 600 V) zajišťuje bezpečný a spolehlivý přenos energie do a z trake.

Možná budoucí modernizace může zahrnovat použití vysokokapacitních baterií (eventuálně druhotné využití trakčních baterií z trolejbusů) a/nebo integraci malé fotovoltaické elektrárny pro lokální výrobu elektrické energie.



Obrázek 5: [Bateriová vyrovnávací úložná stanice v Plzni](#)(PMDP)

## Gdyně (PL) - Rekuperovaná brzdňá energie a OZE pro napájení budovy trolejbusového depa a použití trakčního napájecího systému pro nabíjení elektromobilů

Pilotní akce v Gdyni se zaměřila na optimalizaci energetických zdrojů v budově trolejbusového depa prostřednictvím mixu technologických aplikací.

Depo je vybaveno 0,5MW špičkovou fotovoltaickou elektrárnou na střeše, která ročně vyrobí zhruba 450 MWh vedených přímo do trolejbusové sítě (5 % celkového využití). Brzdňá energie z trolejbusů se navíc rekuperuje díky měniči energie, který umožňuje přivádění jinak promarněné energie přímo do energetického systému budovy.

Zařízení také řídí úroveň spotřeby energie v trakční síti, detekuje nevyužitou energii a důkladně řídí spotřebu energie budovy depa, čímž dále posiluje svůj již existující energetický monitorovací systém (EMS).

Měničový systém je vybaven inovačním systémem skladování energie, který může akumulovat nevyužitou rekuperační energii v případě, že na výstupu střídavého proudu není žádné zatížení. Za tímto účelem se používá jeden modul baterie z trakční baterie trolejbusu (aplikace druhého cyklu životnosti).

Mobilní nabíjecí stanice pro elektromobily, která byla zřízena jako součást projektu CAR (Creating Automotive Renewal - INTERREG South Baltic) městem Gdyně a umožňuje nabíjení s různými rozsahy výkonu a elektrického proudu, může být napojena na trakční síť trolejbusů kdekoli ve městě a umožňuje součinnost mezi těmito dvěma projekty.

Výhody kombinovaného systému oproti tradičním řešením:

- připojení stanice nevyžaduje dodatečné náklady na instalaci a zkracuje dobu investice
- žádný dlouhý formální proces související s jeho výstavbou,
- trakční síť s rozsáhlým prostorovým rozsahem a širokou dostupností umožňuje nasazení nabíjecí stanice tam, kde je problém s připojením ke střídavé síti, např. kvůli potřebě stavebních prací.



Obrázek 6: Mobilní nabíjecí stanice pro elektrická vozidla napájená trolejbusovou sítí (PKT)

V rámci pilotního projektu v Gdyni byla připojena mobilní nabíječka pro elektrická vozidla, aby se ověřilo, jak nabíjení elektrických vozidel ovlivňuje stabilitu sítě, její parametry nebo běžný provoz trolejbusů.

## Vídeň (AT) - Integrovaný fotovoltaický systém stanice metra pro napájení pomocných systémů budovy OZE

Společnost Wiener Linien GmbH & CO KG testovala na stanici metra Ottakring nový typ fóliového fotovoltaického systému, který je pětikrát lehčí než běžné fotovoltaické systémy a umožnil instalaci na stávajících stanicích, které nejsou připraveny na zatížení dodatečnou hmotností konvenčních fotovoltaických systémů.

Další zvláštností byl paralelní provoz stejnosměrného drážního systému a fotovoltaické výroby energie, pro který musely zvolené fotovoltaické moduly splňovat zvláštní technické požadavky (a další). Jednou z hlavních výzev bylo umístit technické vybavení, jako je frekvenční měnič, na vhodné místo v rámci stanice a naplánovat vedení kabelu přesně tak, aby se zkrátila vzdálenost mezi technickou místností a nízkonapětovou hlavní rozvodnou místností.



Obrázek 7: Zahájení akce s místními orgány, listopad 2019 (Wiener Linien)





Fotografie poskytnuté městem Lipsko

Fotovoltaické moduly jsou instalovány na střeše a kabely jsou upevněny v kanále. Po připojení nízkonapětového hlavního rozvaděče k technické místnosti byly měřicí komponenty nakonec nainstalovány na hlavním vypínači.

Technické podrobnosti: Fotovoltaická elektrárna má rozlohu 360 m<sup>2</sup>, jmenovitý výkon 60,3 kWp a roční výkon přibližně 60 000 kWh, který pokrývá podíl energie 6 % roční spotřeby energie celé stanice metra (včetně parkovací haly pro vlaky metra). Maximální podíl energie za měsíc činil 13 % spotřeby, za slunečného letního dne je až 50 % potřeby energie stanice pokryto fotovoltaickým systémem. Měření se provádí v intervalech 15 minut. Jako měřicí zařízení se používá Siemens PAC 3200 a získaná data se automaticky přenášejí do systému řízení energie.



Obrázek 8: FV-fólie na střeše stanice metra (Wiener Linien)

### 1.2.2. Aplikace pro skladování energie v infrastruktuře VD – osvědčené postupy

V této části navrhujeme revizi osvědčených postupů v oblasti aplikací pro skladování energie v infrastruktuře veřejné dopravy, v některých případech integraci již přezkoumaných přístupů s funkcemi, jakými je „z vozidla do sítě“ (V2G, Vehicle-to-Grid), drážní systémy pro akumulaci rekuperované energie, integrace obnovitelných zdrojů energie.

## Londýn - Bus2Grid

Bus2Grid odkazuje na ambiciózní projekt, který propojuje 28 dvoupodlažních autobusů s rozvodnou sítí a provádí testy V2G. Autobusy vybavené lithium-železnými fosfátovými bateriemi o výkonu 382 kWh se nabíjejí přes noc v době nízké poptávky a jsou schopné dodávat zpět 1,1 MW do londýnské sítě, pokud je vysoká poptávka pro zajištění vyvážení spotřeby.

Depo je vybaveno střídavým napájením s 2 x 40 kW zabudovanými nabíječkami, mobilním vybíjecím zařízením. Velmi důležité: Většina projektů V2G používá stejnosměrné nabíjení (CHAdemo), proto vyžaduje, aby byl certifikován pouze ChargePoint a přidružený měnič - který se nepohybuje - spíše než vozidlo. Samozřejmě, náklady na infrastrukturu jsou nižší.

### Abellio London, Depo Walworth

„Společnost Abellio naplánovala nasazení 34 elektrických autobusů na trasy TfL z depa Walworth. Ty vyžadovaly financování baterií a nabíjecí služby infrastruktury, jakož i řešení omezené kapacity pro import do sítě a prostorová omezení. Společnost Zenobē financovala 34 baterií pro elektrobuses s řízenou službou a nainstalovala stacionární baterii na podporu sítě při nabíjení elektrobuses ve špičce. Baterie, která poskytuje služby pro národní síť během dne, generuje další příjem a snižuje poplatky pro společnost Abellio. Nabíjecí infrastruktura obsahuje více nabíječek stejnosměrného proudu schopných nabíjet vozidla o výkonu > 80 kW, přičemž spotřeba energie je monitorována vlastnickým softwarem společnosti Zenobē. Z ekonomického hlediska se jedná o jedinečný přístup, který ukazuje, že skladování v baterii připojené k dopravní infrastruktuře by se mohlo stát zajímavým obchodním případem při jednání se specializovanými třetími stranami, jako je společnost Zenobē.“



Obrázek 9: [Autobusové depo Abellio, Londýn](#) (Zenobē)

### Solingen - Projekt BOB

BOB je součástí systému Inteligentního trolejbusu a dalšího rozvoje stávající trolejbusové sítě do inteligentní infrastruktury, která je integrována do městské elektrické sítě. Síť trolejového vedení je spojena se sítí středního napětí a brzdnou energii lze vrátit zpět. Fotovoltaické systémy podél trolejového vedení mohou bez ztráty dodávat přímo do sítě. Baterie nainstalované v rozvodnách mohou ukládat elektřinu a dodávat ji v případě potřeby. Budou integrovány nabíjecí body pro elektromobily.



Obrázek 10: <https://www.bob-solingen.de/>

### Hanover - Rozvodná stanice usměrňovače s bateriemi 2. cyklu životnosti

V Hannoveru poskytuje dvacet autobusových bateriových systémů 2. cyklus životnosti, což znamená přibližně 500 kWh kapacity připojené k nové rozvodné stanici usměrňovače pro napájení elektrických autobusů a tramvají provozovaných společností ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. Energetické skladovací jednotky slouží jako tlumící člen umožňující účinné využití rekuperované energie v tramvajových provozech pro stabilizaci sítě, zejména pro kompenzaci vrcholů zatížení, jakož i podporu v případě výpadku napájení a poskytování elektrické energie pro veřejnou nabíjecí infrastrukturu.



Obrázek 11: [Udržitelný autobus](#)



## Hamburk na elektřinu

Vdepu v Hamburku Alsterdorfu byly dva ze šesti přístřešků pro auta vybaveny inteligentní infrastrukturou pro nabíjení elektrobuse, která se skládá ze 96 nabíjecích míst a 240 parkovacích míst.

Koncepce nabíjení je modulární a proto rozšiřitelná, dodávka elektrické energie je připojena k hamburské elektrické síti přes rozvodnu. Standardní modulární transformátory (1 600 KVA) dodávají napájení až do 16 autobusů.

Autobusy se budou dobíjet přes noc s maximální kapacitou nabíjení 150 kW na autobus a průměrnou dobou nabíjení 4-5 hodin, přičemž se také využívá přebytek generované větrné energie, což zvyšuje integraci obnovitelných zdrojů do sítě.



Obrázek 12: Zdroj: © INIT | Ulrike Kabel

## Madrid - eLobster (H2020)

Cílem projektu eLobster je zlepšit součinnost mezi lehkou železniční infrastrukturou a distribučními sítěmi elektrické energie, snížit ztráty elektřiny a zvýšit stabilitu sítě, zejména v situacích, kdy je možná vysoká integrace obnovitelných zdrojů energie.

Řešení je založeno na integrovaném systému správy železnic a sítí, který bude analýzou energetických ztrát v reálném čase schopen optimalizovat vzájemnou výměnu elektřiny mezi sítěmi a maximalizovat tak vlastní spotřebu energie z obnovitelných zdrojů.



Fotografie poskytnuté městem Lipsko

Systém E-LOBSTER je představen ve stanici metra de Madrid, protože její podzemní dráha je napojena na místní rozvodnou síť s vysokým podílem OZE.

### Los Angeles, Spojené státy - Systém skladování energie podél trasy (WESS)

Projekt Way Side Energy Storage System (Systém skladování energie podél cesty WESS) integroval systém VYCON REGEN na bázi setrvačnicku do trakční napájecí rozvodné stanice Red and Purple Line (TPSS) na nádraží Westlake/McArthur Park.

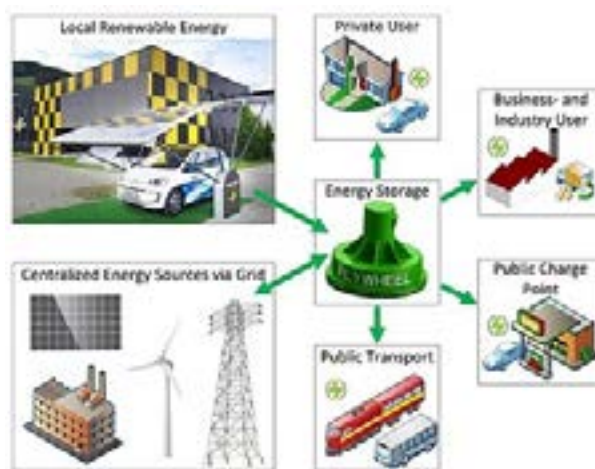
Systém shromažďuje brzdovou energii metra v obloucích nebo při vjezdu do osobní stanice v blízkosti WESS TPSS, ukládá ji a poskytuje ji dalšímu vlaku, který ji potřebuje. Proto snižuje špičkový odběr energie a dosahuje 10-18% snížení spotřeby trakční energie. Systém je v provozu v každodenním plném provozu od srpna 2014. Roční úspory se odhadují na přibližně 541 MWh, což odpovídá dodávce energie pro 100 průměrných domů v Kalifornii.



Obrázek 13: Copyright © 2022 | Metro - Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority; [Zdroj](#), Autor: Dave Sotero, 3. října 2014

### Výzkumný projekt „FlyGrid“, Rakousko

SSSE je vyvinut pro plně automatizovanou nabíjecí stanici EV, která umožňuje, aby v nízkonapěťové rozvodné síti dosáhla vysokého výkonu nabíjení a zároveň stabilizovala síť. Systém je vhodný pro integraci místních obnovitelných zdrojů, které přispívají ke zvýšení podílu čisté energie ve skladbě zdrojů elektrické energie. Vynikající životnost zařízení pro skladování energie, schopnost přivádět vysoký výkon zpět do sítě, stejně jako snadná přeprava ve formě mobilní „rychle nabíjecí skříně“ (pro elektrické stavební stroje nebo podobné), to jsou další charakteristiky koncepce FlyGrid. Jako referenční případ bude použit jeden modul tohoto prototypu a bude dodávat 5 kWh při špičkovém výkonu 100 kW. (Haidl et al. 2019).



Obrázek 14: [TU Štýrský Hradec](#)



## Huai'an, Jiangsu: Technologie superkapacitorů v popředí zájmu veřejné dopravy

Použití superkapacitorů ve veřejné dopravě je možné především na palubách vozidel.

Na 20 km dlouhé trase s 23 zastávkami zavedl Huai'an nejdelší jezdící elektrické tramvaje s použitím superkapacitorů.

Technologie superkapacitorů s velmi krátkou dobou nabíjení kolem 30 sekund a dlouhou životností, která nahrazuje 30 % soukromých vozidel a přepravuje 7 milionů osob v oblasti s hustou dopravou, ročně ušetří 4 900 tun emisí CO<sub>2</sub>.

## Varšava



Podobný přístup byl přijat ve Varšavě, kde ultrakapacitorové systémy vyráběné v Estonsku společností Skeleton Technologies rekuperují brzdovou energii a znovu ji používají ke zrychlení, čímž se výrazně snižuje celková spotřeba energie, stejně jako se snižují energetické špičky, čímž stabilizují infrastrukturu sítě ve Varšavě, a tedy výrazně zvyšují energetickou účinnost. S 1 milionem nabíjecích cyklů představují superkapacitory ve srovnání s Li-ion bateriemi pro specifické aplikace technicky vylepšené řešení.

Obrázek 15: [sustainable-bus.com/](https://sustainable-bus.com/)

## La Spezia (IT) SmartBUS



V autobusech La Spezia vybavených ultrakapacitory (32 kWh) byly testovány na 17 km dlouhé trati s nabíjecí stanicí střídavého/stejnosměrného proudu 150 kW na autobusovém terminálu. Doba nabíjení SmartBUSu je 5 až 7 minut. Inovace spočívá především ve snížené hmotnosti a velikosti autobusu a možnosti využití brzděné energie až do 40 %.

Společný podnik E-CO, Chariot, Prometeon a Politecnico Milano ukázal, že ultrakapacitory s různými kapacitami v modelech SmartBUS (8, 12 a 18 metrů), které se používají místo baterií, mohou na jedno nabití zvládnout vzdálenosti větší než 40 km.

Obrázek 16: [udržitelný autobus](#)



## 2. Případy využití EfficienCE v oblasti skladování energie a integrace obnovitelné energie

V této kapitole jsou tři relevantní případy použití určeny na základě analýzy funkcí a technologií a na základě kontroly osvědčených postupů uvedených v předchozích kapitolách. Tyto případy spočívají v koncepcích pro a) energeticky účinné depo, b) inteligentní uzel a c) lineární infrastrukturu, v níž je provedeno zavádění technologií pro ukládání energie umožňujících integraci obnovitelných zdrojů energie a podporu systémových operací. Tyto tři případy použití shrnují typické vybavení, které je třeba vyvinout za účelem zvýšení energetické účinnosti infrastruktury VD.

	Energeticky účinné depo	Inteligentní uzel	Lineární infrastruktura
Londýn (UK) Bus2Grid	x		
Londýn (UK) Depo Walworth	x		
Solingen (DE) Chytrý trolejbusový systém			x
Hanover (DE) Rozvodná stanice usměrňovače			x
Hamburk (DE) na elektřinu	x		
Madrid (ES) Projekt eLobster		x	
Los Angeles (US) Metro WESS		x	
Graz (AT) Výzkumný projekt FlyGrid		x	
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkapacity pro veřejnou dopravu			x
Varšava (PL) Tramvaje se superkapacity			x
La Spezia (IT) Smartbus			x
Maribor (SI)* Víceúčelové využití veřejné infrastruktury		x	
Gdyně (PL)* Rekuperovaná brzděná energie a OZE	x	x	x
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací úložná stanice v trolejbusové síti			x
Viedeň (AT)* FV systém integrovaný do stanice metra	x	x	

\*Pilotní projekty EfficienCE

Obrázek 17: Pilotní projekty, mezinárodní osvědčené postupy a případy použití (EfficienCE, 2022)

Rámcový plán je zastoupen v kontextu města Bergamo, kde plnění SUMP předpokládá rekonstrukci důležitého uzlu mobility pro dopravní síť, výstavbu nové lehké železnice a eBRT (Metrobus) linky a rozvoj víceúčelové dobíjecí sítě pro elektrická vozidla.

Případ Bergama, kde je v rámci projektu EfficienCE vypracován akční plán pro lepší integraci obnovitelných energií a systémů ukládání do infrastruktury veřejné dopravy, představuje vhodný rámec představující modelový kontext pro vznik skladovacích zařízení pro různé účely a pro různé typy infrastruktury.

### 2.1 Energeticky účinné depo

Případ použití se zaměřuje na zvýšení energetické účinnosti depa VD (rekonstruovaného nebo nově navrženého) prostřednictvím lepšího využití obnovitelných zdrojů, pokud jsou k dispozici (včetně brzdění), jakož i účinnější spotřeby a na příspěvek k energetické samostatnosti sítě (např. elektrobus fungující jako V2G, Vehicle-to-Grid).

Plánování energeticky účinného depa může zahrnovat širokou škálu zúčastněných stran, jako je samospráva, provozovatelé veřejné dopravy a další poskytovatelé (např. sdílení elektromobilů), provozovatelé přenosových soustav a provozovatelé distribučních soustav energie, jakož i občané.

Návrh a implementace řešení energetické účinnosti pro depo založené na skladování energie je řešena především skladováním v bateriích (nových a i v rámci druhého cyklu životnosti) a investice zahrnují také fotovoltaic-

ké systémy a další řešení pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů, nabíjecí zařízení (také V2G), monitorovací systémy atd.

Hlavní očekávané dopady souvisejí s vyšší energetickou účinností prostřednictvím vlastní výroby a snížení ztrát, lepší integrace obnovitelných zdrojů a s tím spojených environmentálních a ekonomických přínosů.

#### *Výzvy/překážky*

Zavedení řešení skladování pro energeticky účinná depa může čelit různým výzvám a v některých případech překážkám, zejména v souvislosti s regulačním kontextem, v případě V2G a energetickém dispečinku, souvisejícím s hodnocením nákladů a přínosů potřebných investic. Sociální akceptace navíc představuje důležitý prvek, který je třeba vzít v úvahu při plánování nové infrastruktury v hustě obydlených oblastech, výzvy spojené se skladováním a V2G mohou přinést výhody, které je třeba zvážit.

#### *Odkazy:*

Londýn (UK) Bus2Grid
Londýn (UK) Depo Walworth
Hamburk (DE) na elektřinu
Gdyně (PL)* Rekuperovaná brzděná energie a OZE
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací úložná stanice v trolejbusové síti
Vídeň (AT)* FV systém integrovaný do stanice metra

## 2.2 Lineární infrastruktura

V tomto případě se analyzuje možné využití technologií ukládání do lineární infrastruktury, zejména s cílem podpořit a vyvážit síť, přičemž se zohlední jak přístupy stacionární, tak mobilní.

Za účelem prozkoumání rozsahu výhod, které mohou být generovány pro síť pomocí technologií skladování, a jejich omezení se zváží použití stacionárních a mobilních baterií, jakož i setrvačníků a superkapacitorů.

Zapojení zúčastněných stran se zaměří zejména na technickou stránku, pokud jde o mobilitu (provozovatelé veřejné dopravy a další poskytovatelé) a energetiku (provozovatelé přenosových soustav a provozovatelé distribučních soustav).

Hlavní očekávané dopady souvisejí s podporou sítě, aby se zlepšila provozní účinnost a tím se zlepšila environmentální a hospodářská výkonnost infrastruktury prostřednictvím ekonomicky schůdných řešení. Rozsah použití se liší v závislosti na typu stávající nebo vyvíjené infrastruktury: Z tohoto důvodu jsou zde uvedeny příklady trolejbusů, autobusů a tramvají.

#### *Výzvy/překážky*

Zavádění řešení skladování pro lineární infrastrukturu může čelit zejména hospodářským problémům souvisejícím s potřebnými investicemi, ale zároveň může představovat příležitosti pro odklad příslušných investic do sítě a pro nalezení flexibilnější řešení stabilizace sítě. V některých případech mohou být pro různé technologické aplikace zavedeny specifické regulační překážky (např. bezpečnostní předpisy pro setrvačníky).

Odkazy:

Solingen (DE) Chytrý trolejbusový systém
Hanover (DE) Rozvodná stanice usměrňovače
Huai'an, Jiangsu (CN) Superkapacity pro veřejnou dopravu
Varšava (PL) Tramvaje se superkapacity
La Spezia (IT) Smartbus
Gdyně (PL)* Rekuperovaná brzděná energie a OZE
Plzeň (CZ)* Vyrovnávací úložná stanice v trolejbusové síti

## 2.3 Inteligentní uzel

Poslední případ použití se zaměřuje na návrh inteligentního uzlu jako stanice, zastávky nebo multimodálního uzlu, kde lze instalovat úložiště, aby bylo možné efektivně využívat obnovitelných zdrojů a také víceúčelového využití nabíjecí infrastruktury. Lze uvažovat o různých přístupech, od čistého zlepšení energetické účinnosti a výkonnosti infrastruktury až po aktivní příspěvek vozidel a výroby ke stabilitě sítě.

Zapojení zúčastněných stran se zaměří zejména na technickou stránku, pokud jde o mobilitu (provozovatelé veřejné dopravy a další poskytovatelé) a energetiku (provozovatelé přenosových soustav a provozovatelé distribučních soustav).

Výběr řešení pro inteligentní uzly na základě skladování zvaží řadu technologických možností, včetně baterií, setrvačnicků a superkapacitorů a posoudí jejich potenciál podle charakteristik uzlů a systémů.

Hlavní očekávané dopady souvisejí s integrací obnovitelných zdrojů, podporou sítě a energetickou účinností, s cílem zlepšit provozní účinnost a tím zvýšit environmentální a ekonomickou výkonnost infrastruktury. Určení optimálního rozsahu pro integraci technologií skladování a obnovitelných zdrojů energie na úrovni uzlů s ohledem na koexistenci a vzájemné působení mezi různými (lineárními a uzlovými) infrastrukturami je pro zajištění účinnosti a ekonomické udržitelnosti aplikací zásadní.

### Výzvy/překážky

Implementace řešení úložišť pro inteligentní uzly může čelit zejména výzvám a technickým překážkám v důsledku složitosti a interakcí mezi různými systémy. Zejména zavedení víceúčelových systémů nabíjení a výměny energie mezi různými službami může vyžadovat hloubkové analýzy právních a obchodních modelů.

Odkazy:

Madrid (ES) Projekt eLobster
Los Angeles (US) Metro WESS
Graz (AT) Výzkumný projekt FlyGrid
Maribor (SI)* Víceúčelové využití veřejné infrastruktury
Gdyně (PL)* Rekuperovaná brzděná energie a OZE
Vídeň (AT)* FV systém integrovaný do stanice metra

### 3. Poučení a závěry

Kombinace energeticky účinných dep, inteligentních uzlů a lineární infrastruktury pro veřejnou dopravu zdůrazňuje potenciál rozvoje inovativních řešení při optimalizaci vztahu mezi mobilitou a energetickou sítí.

Pokud jde o efektivní depo, z analýzy vyplývá ponaučení, že rozsah infrastruktury obnovitelných zdrojů energie je zásadní pro určení možností skladování. Jednou z možností je i nastavení sítě VD jako sběrače energie z obnovitelných zdrojů vícero subjektů, aby využití takto skladované energie bylo účinné a ekonomicky schůdné.

Použití úložiště na lineární infrastruktuře může být z hlediska integrace obnovitelných zdrojů energie zvažováno jako zbytkové, ale poskytuje dobré a pružné reakce při řešení doplňkových funkcí, např. regulace napětí. Kromě toho může být v některých případech využití skladovacích zařízení příležitostí k odkladu příslušných investic do distribuční soustavy.

Hlavní ponaučení z používání inteligentních uzlů doplňuje předchozí: proces plánování musí brát v úvahu složitost a vzájemné působení mezi různými systémy, zejména zavedení víceúčelových nabíjecích systémů a výměny energie mezi různými subjekty může vyžadovat důkladné analýzy právních a obchodních modelů.

## 4. Odkazy

Ahmad Arabkoohsar, Meisam Sadi, 2021: Flywheel energy storage, in Mechanical Energy Storage Technologies, (<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/gyrobus>)

BloombergNEF, 2020: Battery Price Survey <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>

Jimena Castro-Gutiérrez, Alain Celzard and Vanessa Fierro, 2020: Energy Storage in Supercapacitors: Focus on Tannin-Derived Carbon Electrodes, *Front. Mater.*, 22 July 2020 <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00217>

Circular Energy Storage, research and consulting, 2021: Prices for used batteries are higher than for new batteries - this is why <https://circularenergystorage.com/articles/2021/1/15/prices-for-used-batteries-are-higher-than-for-new-batteries-this-is-why>

Circular Energy Storage, research and consulting, 2021: The lithium-ion battery life cycle report <https://static1.squarespace.com/static/587657ddbe659497fb46664c/t/5fdaa991dc2ddb6396c30fa6/1608165783527/The+lithium-ion+battery+life+cycle+report+sample.pdf>

EASE European Association for Storage of Energy, 2020: Energy Storage and Transport: What's the Connection? <https://ease-storage.eu/news/energy-storage-and-transport-whats-the-connection/>

Sarah George, 2021: 'UK's first' grid-scale battery storage system comes online in Oxford <https://www.euractiv.com/section/electricity/news/uks-first-grid-scale-battery-storage-system-comes-online-in-oxford/>

Philipp Glücker, Klaus Kivekäs, Jari Vepsäläinen, Panagiotis Mouratidis, Maximilian Schneider, Stephan Rinderknecht, Kari Tammi: Prolongation of Battery Lifetime for Electric Buses through Flywheel Integration; *Energies* 2021, 14, 899. <http://doi.org/10.3390/en14040899>

M.A. Guerrero, E. Romero, F. Barrero, M. I. Milanés, E. González Supercapacitors: Alternative Energy Storage Systems <http://peandes.unex.es/archives%5CP126.pdf>

Peter Haidl, Armin Buchroithner, Bernhard Schweighofer, Michael Bader, Hannes Wegleiter, 2019: Lifetime Analysis of Energy Storage Systems for Sustainable Transportation, sustainability file

IEA 2021: Prospects for electric vehicle deployment, Global EV Outlook 2021 <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/prospects-for-electric-vehicle-deployment>

Fabian Meishner, Dirk Uwe Sauer, 2019: Wayside energy recovery systems in DC urban railway grids. Elsevir, *eTransportation* 1 (2019) <https://d-nb.info/1226855962/34>

Craig Morris, 2015: how batteries can stabilize the grid; Energy Transition - The global Energiewende, <https://energytransition.org/2015/06/batteries-stabilize-the-grid/#menuopen>

Kaushik Patowary, 2019: Gyrobus: The Flywheel-Powered Public Transportation <https://www.amusingplanet.com/2019/02/gyrobus-flywheel-powered-public.html>

Abraham Alem Kebede, Thierry Coosemans, Maarten Messagie, Towfik Jemal, Henok Ayele Behabtu, Joeri Van Mierlo, Maitane Berecibar, 2021: Techno-economic analysis of lithium-ion and lead-acid batteries in stationary energy storage application, *Journal of Energy Storage* Volume 40, August 2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21004783#!>

Robert Rapier, 2020: Why Vanadium Flow Batteries may be the future of utility - scale energy storage, *Forbes*, <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/10/24/why-vanadium-flow-batteries-may-be-the-future-of-utility-scale-energy-storage/?sh=6faaca6f2305>

Schmidt et al., 2019: Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies, *Joule* 3, 81-100 January 16, 2019, 2018 Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.12.008>

Octavio Solis, Frank Castro, Leonid Bukhin, Kinh Pham, David Turner, Gary Thompson, 2015: SAVING MONEY EVERY DAY: LA METRO SUBWAY WAYSIDE ENERGY STORAGE SUBSTATION, Proceedings of JRC 2015 Joint Rail Conference <https://vyconenergy.com//wp-content/uploads/2018/06/Saving-Money-Every-Day-LA-Metro->

Subway-Wayside-Energy-Storage-Substation-March-2015.pdf

Xiaojun Li, Alan Palazzolo, 2021: A review of flywheel energy storage systems: state of the art and opportunities (arXiv:2103.05224v3 [eess.SY] 13 Jun 2021) <https://arxiv.org/pdf/2103.05224.pdf>

Odkazy na projekty

eLobster - H2020 <https://www.e-lobster.eu/project-brief/>

BOB - Solingen (DE) <https://www.bob-solingen.de/>

BUS2GRID - Londýn (UK) <https://www.sseenergysolutions.co.uk/distributed-energy-infrastructure/our-solutions/bus2grid>

# ZJISTĚTE VÍCE O EfficienCE



Navštivte naši webovou stránku: [//www.interreg-central.eu/efficiency](http://www.interreg-central.eu/efficiency)

## Kontaktujte nás



+49 341 123 59 10



Manažeři projektu:

Sebastian Graetz  
[sebastian.graetz2@leipzig.de](mailto:sebastian.graetz2@leipzig.de)

Marlene Damerau  
[m.damerau@rupprecht-consult.eu](mailto:m.damerau@rupprecht-consult.eu)



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



[www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/](https://www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/)



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

TAKING  
COOPERATION  
FORWARD



City of Leipzig



WIENER LINIEN

Plzeňské městské  
dopravní podniky

PMDP



Faculty of Civil Engineering,  
Transportation Engineering  
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

