



via vita

POSVET DRUŠTVA ZA CESTE SEVEROVZHODNE SLOVENIJE

**RAZVOJ JAVNEGA POTNIŠKEGA PROMETA V SLOVENIJI SKOZI NALOŽBE V  
PROMETNO INFRASTRUKTURO**

## **Elektrifikacija javnega mestnega potniškega prometa**

Mitja Klemenčič

Mestna občina Maribor, UKPP

Maribor, 25. 5. 2023



## Vsebina

- **JPP v Mariboru**
- **Elektrifikacija proge 6 – Planiranje in izvedba**
- **Pridobljene izkušnje**
- **Multifunkcijske površine za polnjenje**
- **Prihodnost**

# ELEKTRIFIKACIJA JPP v Mariboru

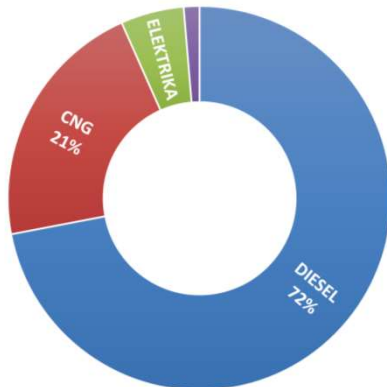
**21 mestnih linij** uporablja **230 km cest**

**3,57 mio km** na letni ravni (Marprom)

**75 avtobusov/162 voznikov**



Struktura voznega parka - pogonsko gorivo



## Otvoritvena slovesnost (Junij 2022)



**Fast charging station for e-buses in Maribor as part of the European project EfficienCE – Youtube video**

# TIMELINE

## Od ideje do izvedbe – 8 let (2014 – 2022)

Ločena razpisa za polnilnici in nakup e-avtobusov (večnamenski in večfunkcionalni vidik)

### E-polnilnice

**2016** - Potenciali elektrifikacije JPP v Mariboru (Eliptic)

**2018** – DIIP za e-polnilnice (investment documentation)

**2021** (februar, marec)- začetek JN (call for tender), soglasje (Elektro)

**2021** (september) – nakup e-polnilnic (z izdelavo tehnične dokumentacije)

**2022** (Maj) – dobava in izgradnja



### Sofinanciranje e-polnilnice

105.000 € - EfficienCE, 0 % RS

# TIMELINE

## Od ideje do izvedbe – 8 let (2014 – 2022)

Ločena razpisa za polnilnici in nakup e-avtobusov (večnamenski in večfunkcionalni vidik)

### E-busi

**2016** - Potenciali elektrifikacije JPP v Mariboru (Eliptic)

**2019** – DIIP za e-buse (investment documentation)

**2021** (Marec)- začetek JN (call for tender/ S Procurement)

**2021** (september) – pogodba za nakup

**2022** (Maj) – dobava in izgradnja



### Sofinanciranje e-busi

80 % od neto vrednosti - RS - Ekosklad

# ENERGETSKO UČINKOVITA INFRASTRUKTURA ZA JAVNI POTNIŠKI PROMET V MARIBORU



Mestna občina Maribor  
Univerzitetno mesto



## Metodologija za izbor koncepta polnjenja za posamezno linijo



# Izbor linije za elektrifikacijo

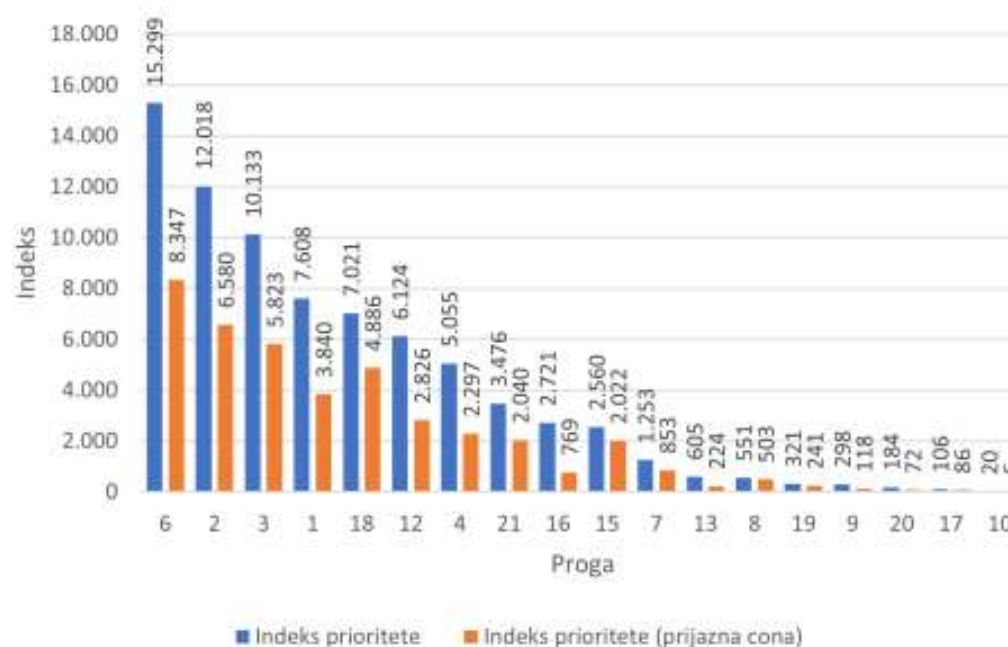


Mestna občina Maribor  
Univerzitetno mesto



Kriterij za izbor linije za elektrifikacijo :

- **Obstoječa** električna infrastruktura JPP (železnica/žičnica)
- **Nespreminjanje** linije v prihodnosti
- **Razpoložljiva** infrastruktura (moč na transformatorju)
- **Število ljudi**, ki živijo ob trasi linij (negativni izpusti, Eurostandard)



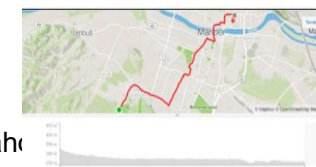
## Linija 6





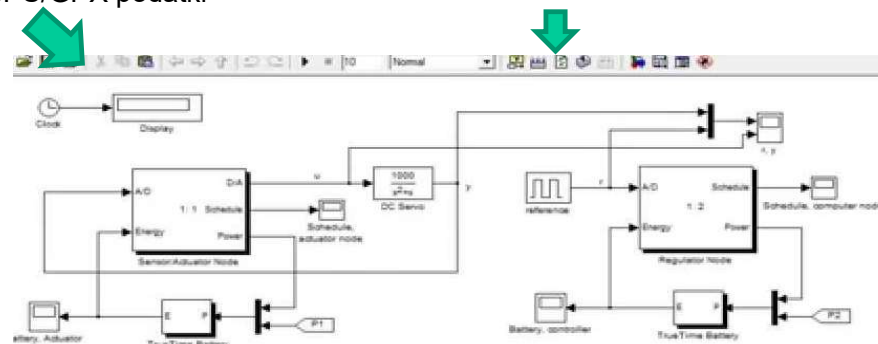
# Analiza porabe energije na liniji 6 – simulacija

- **7,7 km** v eno smer
- Višinska razlika 55 m
  - **Diesel** (30 kWh (3 l diesel) - 36 l/100 km)
  - **Električen (brez naprav za gretje):**
    - 5 kWh (83 kWh/100 km).
  - **Električen (z 10 kW napravo za gretje):**
    - 8,5kWh (141 kWh/100 km)
- **worst case scenarij 2,4kWh/km**



Vozni cikel (Tah)

GPS/GPX podatki



Matlab Simulacija

Podatki o vozilu



Moč, upori



Masa preznega busa	15.000 kg
Radij koles	0,6 m
Maximalna hitrost	100 km/h
Zračni koeficient	0,8
Čelna površina	6 m <sup>2</sup>

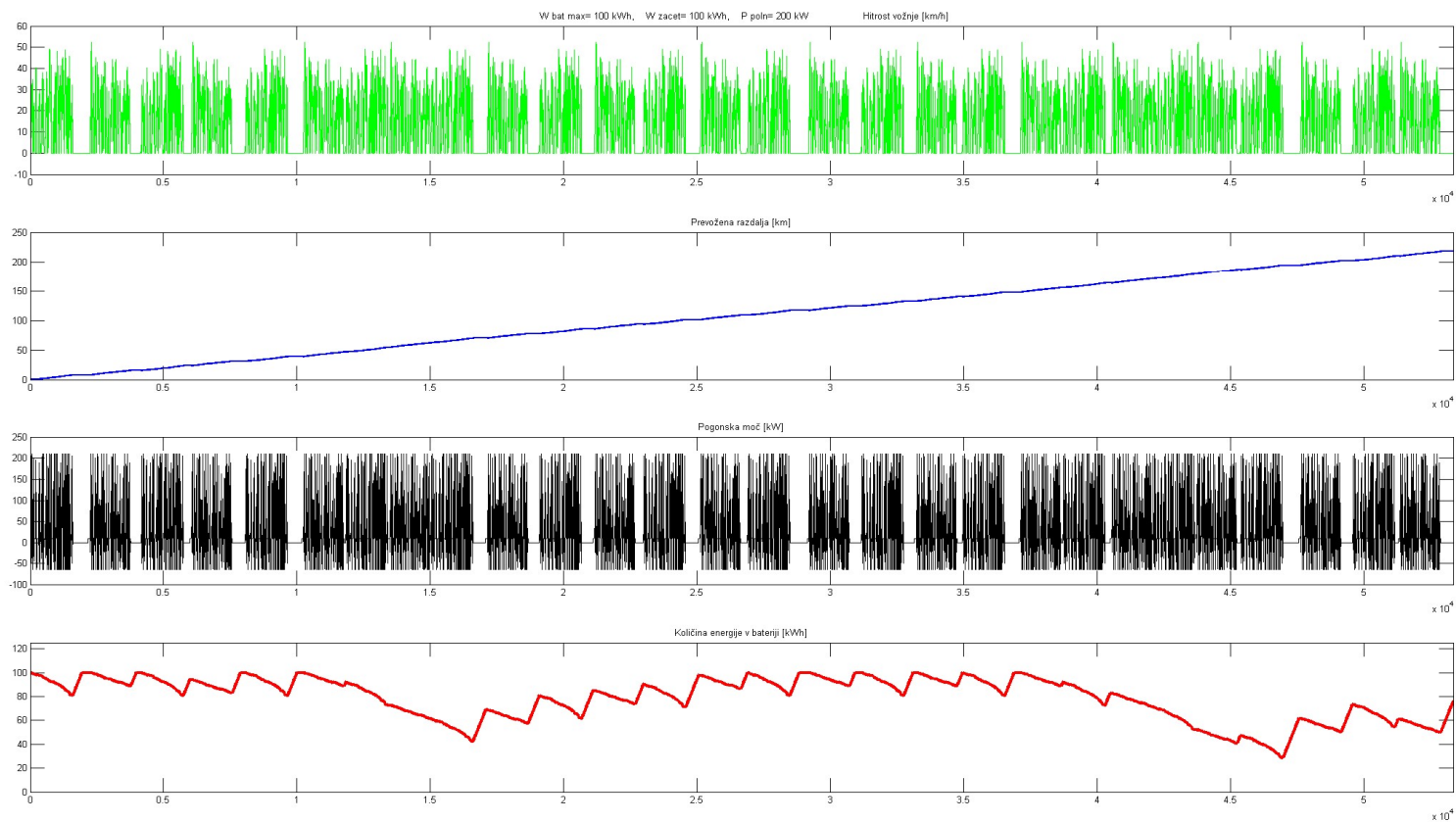
# SIMULACIJA VOZNEGA CIKLA LINIJE 6



Mestna občina Maribor  
Univerzitetno mesto



## Baterija velikosti 100 kWh in polnilnici moči 200 kW



# Glavne razlike med nočnim in priložnostnim polnjenjem



Mestna občina Maribor  
Univerzitetno mesto



Strategija polnjenja	Počasno (v delavnici)	Priložnostno polnjenje (v delavnici in čez dan)
Tip polnjenja	Delavnica: od 35 do 150 kW	Delavnica: od 35 do 150 kW Priložnostno: od 150 do 600 kW
Čas polnjenja	Delavnica: od 3 do 10 ur	Delavnica: od 3 do 10 ur Priložnostno: do 10 minut (na postaji)
Profil polnjenja (poenostavljeno)		
Doseg	100-200 km na dan	200-500 km na dan
Stroški	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Višji stroški baterije</li> <li>2 Cenejša polnilna infrastruktura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Nižji stroški baterije</li> <li>2 Dražja polnilna infrastruktura</li> <li>3 Višji stroški vzdrževanja</li> </ul>

# Izbor tehnologije polnjenja



Invertni pantograf (Panto down)	Pantograf na busu (Panto up)
<p>1 Teža kontaktnih sani na e-busu ~7kg</p> <p>2 Manj stroškov vzdrževanja avtobusa, vzdrževanja pantografov zunanji izvajalec</p> <p>3 Cenejši avtobus, dražja polnilnica (170-210k€)</p> <p>4 Ob nedelovanju pantografa, se avtobus polni na bližnjem pantografu</p> <p>5 Kontaktne sani na e-busu so lahko katerekoli znamke/proizvajalca</p>	<p>1 Teža pantografa na e-busu ~60kg</p> <p>2 Večji stroški vzdrževanja avtobusov, vzdrževanje pantografov v delavnici</p> <p>3 Cenejša polnilna postaja (130-160k€), dražji avtobus</p> <p>4 Ob nedelovanju pantografa je avtobus neuporaben.</p> <p>5 Pantograf na avtobus mora biti kompatibilen z infrastrukturo</p>

# Izračun najoptimalnejšega koncepta polnjenja



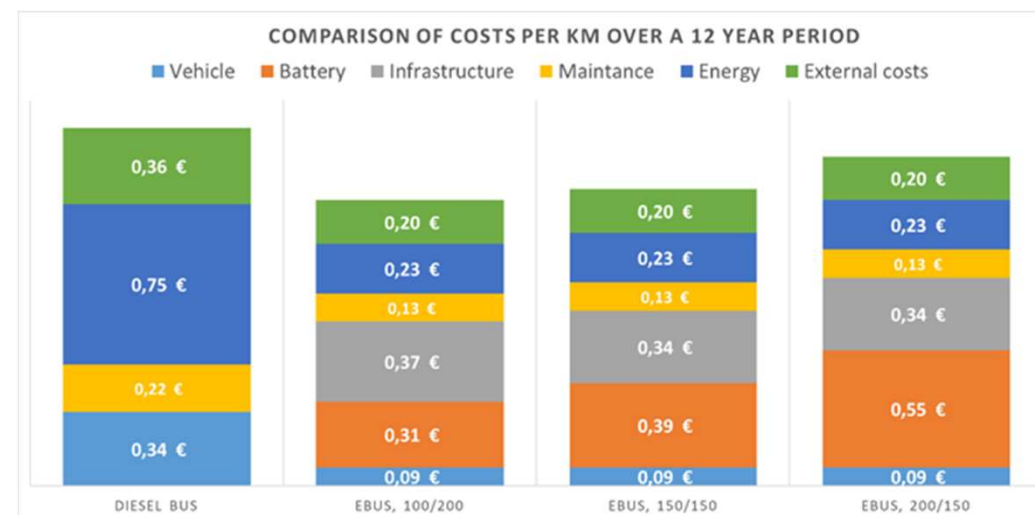
Mestna občina Maribor  
Univerzitetno mesto



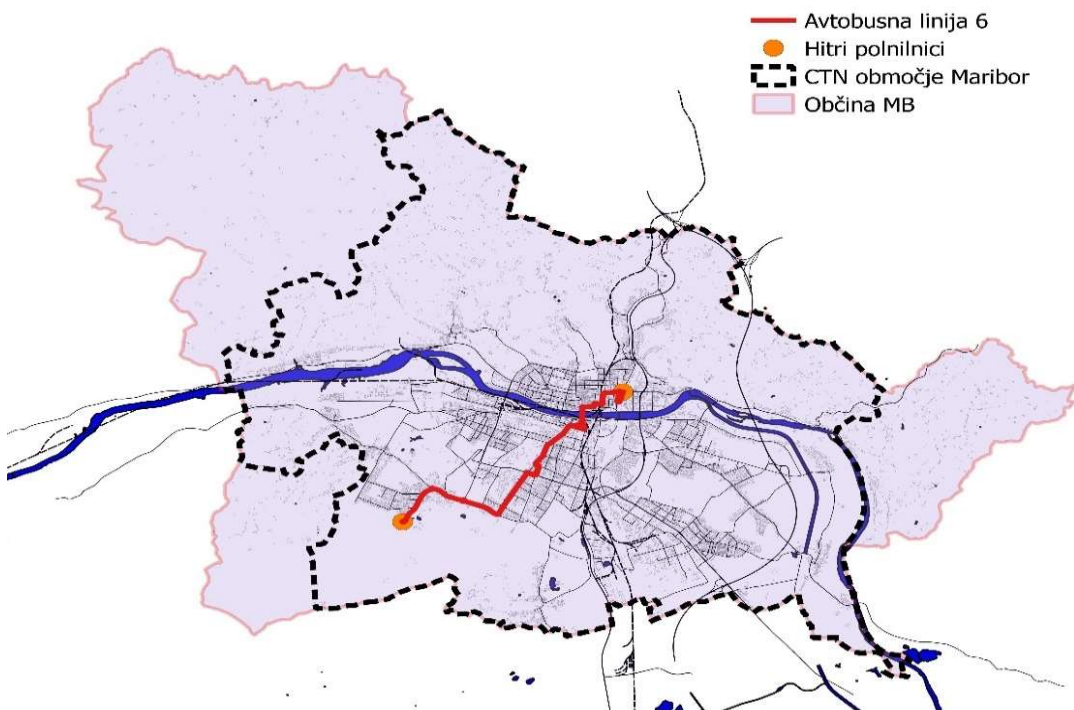
Pogoj:

**Nespreminjanje** voznega reda – najti tehnično sprejemljive rešitve za zamenjavo 4 dizlov

- Polnjenje čez noč – 7 e-busov ali
- Hitro polnjenje – 2 hitri polnilnici in 4 ebusi
- Vrsta baterij (LTO vs. NMC)



# Končna odločitev



## Odločitve:

2 12 m e-busa - fast charge

(73 kWh baterija + 2 hitri polnilnici (150 kW/300 kW))

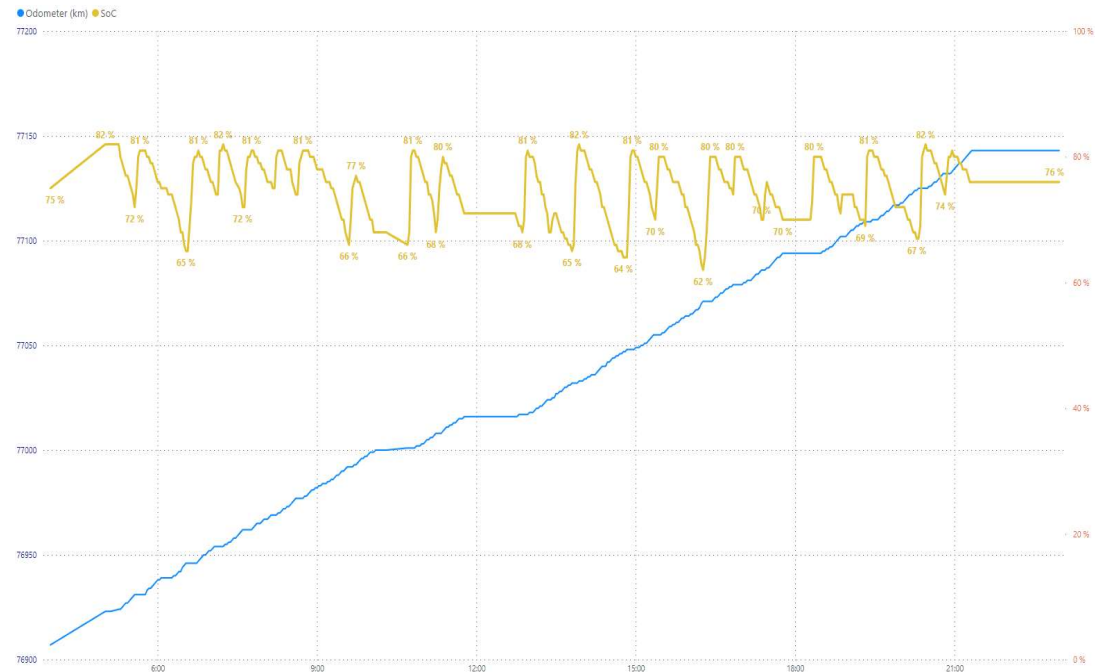
Vrsta baterij (LTO)

## Primerjava teorije in prakse

Kategorija	Indikator	Enota	Teorija/Simulacija	Realnost – dizel bus	Realnost – linija 6
Energija	Velikost baterij	KWh	100	-	77
	Moč na hitrih polnilnicah	KW	2*200 kW	-	150/300 kW
	Povprečna poraba	KWh/km	1,6 (za analize TCO) 1,4 (worst case – brez gretja)	3,9	<b>1,2</b>
Obratovanje	Časi postankov avtobusov (povprečni časi terminusa)	Sekunde	426	426	323
	Čas polnjenja (povprečni)	Sekunde	<b>320</b>	-	<b>255</b>
	Število polnjenj	Število polnjenje/dan	29	-	29
	Kapaciteta potnikov na avtobusu	Število	100	32 + 72 (104)	(32 + 72) 104
	Zanesljivost delovanje opreme	% napak / skupno število polnjenj	-	-	<b>11,1%</b>
Okolje	Emisije	CO2 (t/leto) na linijo	<b>192</b>	<b>380</b>	
Stroški	Poraba energije na avtobus (povprečje)	€/km	0,23	0,75	0,22

## PRIDOBLEJENE IZKUŠNJE

- **Pomembni parametri za zanesljivo obratovanje:**
  - čas postankov (terminus), uporaba regenerativnega zaviranja, čas polnjenja v koničnih urah
- Polnjenje se začne, ko je baterija pod 74 % in se polni do 80 % - **podaljšanje življenjske dobe**
- Regenerativno zaviranje - Potencial of 5 kWh (eko vožnja)
- **Izzivi pri polnjenju:**
  - napake pri povezovanju,
  - izgube pri prenosu (10 %),
  - polnjenje pri VT/MT – 50 % razlika (€),
  - pravilno pozicioniranje vozila





# Primerjava stroškov porabe goriva (Februar 2023)



	Cena energenta	POVPREČNI STROŠEK PORABE
ELEKTRIKA	0,25 EUR/kWh	<b>29,00 €/100 km</b>
CNG	2.6 EUR z DDV/kg	<b>95 €/100km</b>
DIZEL	1.483 EUR z DDV/liter	<b>47,5 €/100km</b>
HIBRID	1.483 EUR z DDV/liter	<b>43,5 €/100km</b>

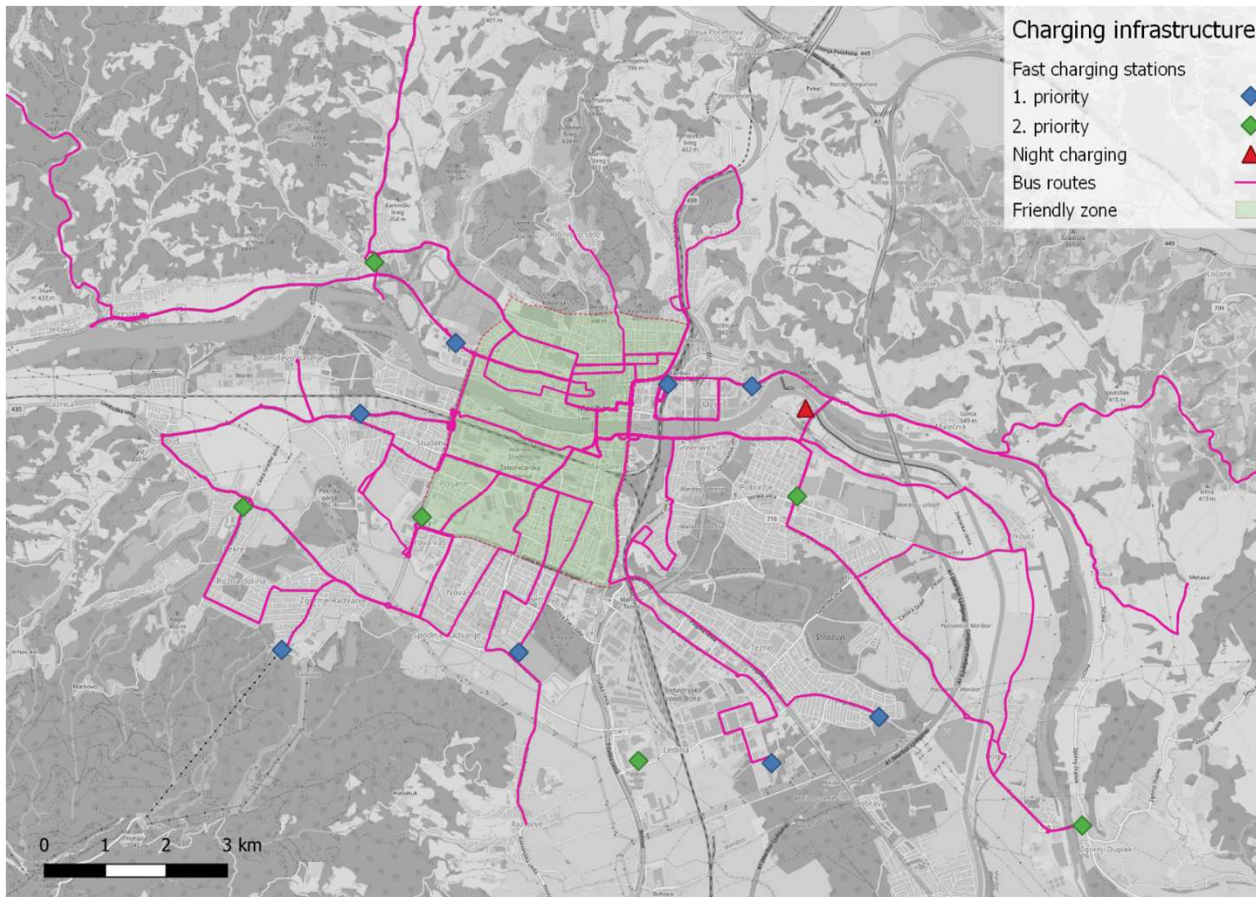




## Cilji večnamenske polnilne infrastrukture

- Povečati delež okolju prijaznih vozil javnega potniškega prometa iz 1 % v letu 2019 na 25 % v letu 2027, **50 % okolju prijaznih vozil do leta 2030** (zahteva EU).
- **100 % okolju prijazen pogon v prijazni coni (centru) do leta 2030.**
- Vzpostaviti **99 % stabilnost** električnega omrežja za javni potniški promet (Elektro)
- **Zmanjšati stroške obratovanja** (energije) JPP za 25 % glede na leto 2021 do leta 2028.
- Zmanjšati **nivo hrupa** in emisij od JPP za 20 % glede na leto 2021 do leta 2028.
- **Povečati delež obnovljivih virov** energije za potrebe JPP iz 18 % v letu 2021 na 25 % v letu 2028.
- Povečati **stopnjo zasedenosti** avtobusov za 20 % do leta 2028.

# Akcijski načrt



- Nova **multimodalna vozlišča** (polnjenje e-busov na končnih /začetnih postajah), polnjenje ostalih e-vozil);
- **Hitre polnilnice za avtobuse - 10 kom**
- **Nadgradnja transformatorjev**
- Polnjenje čez noč – **35 kom (delavnice Marprom)**

Elektrifikacija linij do 2027:  
6, 8, 18, 1, 2, 21, 3 in 12

# Tehnični ukrepi - Infrastruktura

**Tabela 4:** Predlogi tehničnih konfiguracij polnjenj in tipov baterij za avtobuse za posamezne linije

Prioriteta	Linija	Dnevno število prevoženih km na bus	Priporočena tehnologija polnjenja in tip baterije	Kapaciteta baterije	Število hitrih polnilnic	Število avtobusov
1	1	218	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	5
2	6	246	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	4
3	2	250	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	3
4	18	320	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	3
5	12	307	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	3
6	3	306	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	/	3
7	15	311	Hitro, LTO baterija	150 - 200 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	2
8	21	184	Nočno, NiHM baterija	200 - 250 kWh	/	3
9	4	452	Hitro, LTO baterija	150 - 200 kWh	1	2
10	16	363	Hitro, LTO baterija	150 - 200 kWh	2 (na začetni in končni postaji)	2
11	7	211	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	1	2
12	8	108	Nočno, NiHM baterija	200 - 250 kWh	/	4
13	19	256	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	1	2
14	13	178	Nočno, NiHM baterija	100 - 150 kWh	/	1
15	9	390	Hitro, LTO baterija	150 - 200 kWh	1	1
16	20	510	Hitro, LTO baterija	100 - 150 kWh	1	1
17	17	150	Nočno, NiHM baterija	200 - 250 kWh	/	1
18	10	135	Nočno, NiHM baterija	200 - 250 kWh	/	1

## Akcijski načrt



## Investicije v teku:

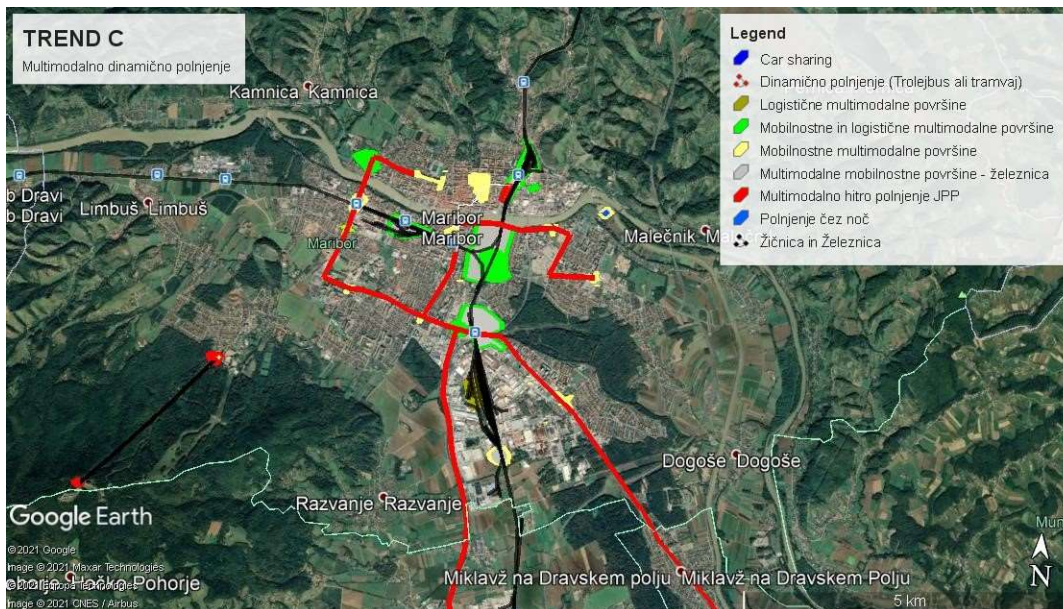
Število	Velikost	Leto dobave
2	12 m	2023
2	10 m	2023/2024
2	8,5 m	2025
2	E-kombi	2023

Strategija nabave okolju prijaznih avtobusov in možnosti sofinanciranja

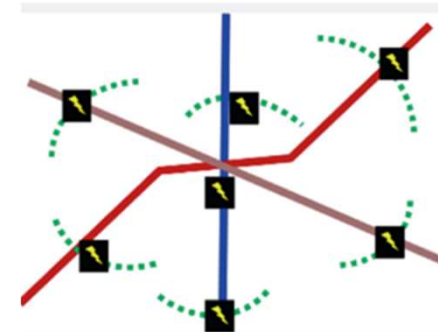
**25 električnih avtobusov do leta 2030 - 12,5 mil €**

# E-BRT (2030)

- E-BRT (Electric Bus Rapid Transit)
- Elektrifikacija in poudarek na planiranju kvalitetnega JPP
- Think Tram – Use Bus
- Sistem BUS KONCEPT (planiranje mestne infrastrukture po meri potnika, bus ≠ avto)

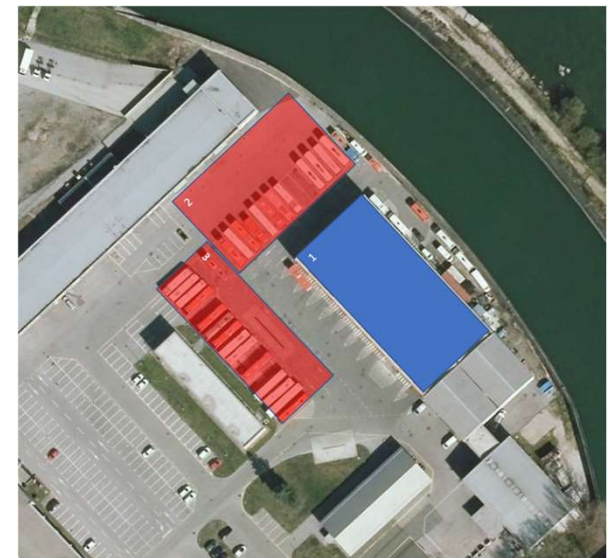
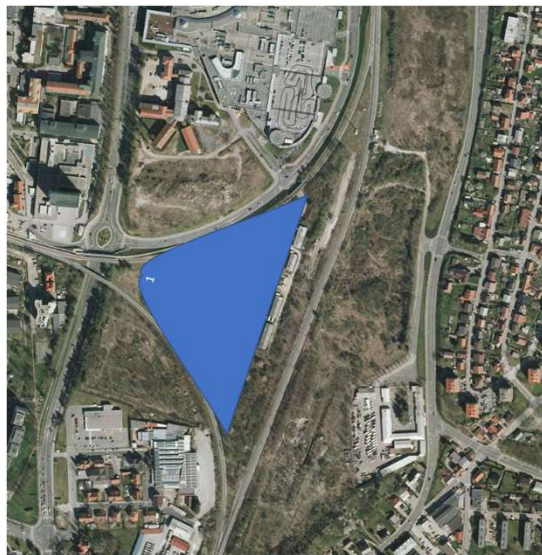


Hibridni trolejbus s polnjenjem iz železniškega omrežja



# Akcijski načrt

- Obnovljivi vir energije – **fotovoltaika** na glavni AP, Vzpenjači, delavnicah, avtobusnih postajališčih, železniški trikotnik;
- Priprava dokumentacije.





# PRIHODNOST

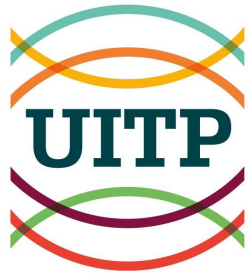
Upravljavsko-tehnični ukrepi, ki temeljijo na krožni ekonomiji (EU projekta CE4CE in E-MED):

Orodja in ukrepi za zmanjšanje porabe električne energije v JPP

- **ekološka** in varna vožnja
- **prioriteta** v križiščih
- Uporaba **starih** baterij za **energijske hranilnike**
- Uporaba energije iz zaviranja vlakov za polnjenje e-vozil

## IZZIVI

- **Sprememba linij in elektrifikacija**
- **Regionalni** akcijski načrt za JPP (Železnice, primestne linije)
- Skupne energetske pogodbe z železnicami;
- Na obnovljivih virih temelječe pogodbe o dobavi energije
- Energy manager za JPP



ADVANCING  
PUBLIC  
TRANSPORT



CITIES AND REGIONS FOR TRANSPORT INNOVATION

**APOLLO-EU - ALLIANCE PLATFORM FOR LIVEABLE  
AND LOW-CARBON COMMUNITIES IN EUROPE**

**CLEAN BUS EUROPEAN PLATFORM**



**Najlepša hvala za pozornost**

**Mitja Klemenčič**

**[Mitja.klemencic@maribor.si](mailto:Mitja.klemencic@maribor.si)**



**Mestna občina Maribor**  
Univerzitetno mesto