

Planovi uvođenja autobusa nulte emisije u javnom gradskom prijevozu

Dinko Butković, dipl.ing. cestovnog prometa
Zagrebački električni tramvaj

Uvod

► Početak sa samo nekoliko autobusa

- Nije pogrešno ako se uklapa u projekt planiran za budućnost
- Često se događa bez vizije i razmišljanja o proširenju električnog voznog parka
- Dobiveno znanje je limitirano
 - Kako voziti električni autobus
 - Rekuperacija struje
 - Punjenja autobusa
- Ne dobivamo znanja što će trebati za važne sastavnice kao kapacitet baterije i snaga struje potrebnih za punjenje za većeg električnog voznog parka

Tko je i što je sve uključeno

STRUJNA MREŽA

Mrežno povezivanje
dobavljač

PLANIRANJE VR

E-bus - plan vr

SOFTWARE za e-buseve

AUTOBUSI specifikacije

Kapacitet baterija, broj buseva, na
početku, povećanje broja,
tehnologija punjenja

INFRASTRUKTURA ZA PUNJENJE

Veličina tražnja snaga punjenja, vrsta
punjenja, procedura i plan punjenja...

*SOFTWARE e-bus
management system*

Priprema za uvođenje e-buseva

- ▶ Koja je količina energije potrebna iz mreže
- ▶ Koji kapacitet trebaju imati baterije u autobusu
- ▶ Koja tehnologija punjenja će biti korištena
 - ▶ Punjenje u garaži preko kablova (plug) i/ili preko pantografa
 - ▶ Ili s kombinacijom punjenja na javnim površinama
- ▶ Koji je maksimalni kapacitet struje koji ćemo trebati za punjenje tijekom dana
- ▶ Kako planiranje voznog reda utječe na autonomiju kretanja vozila



Što treba istražiti prije planiranja uvođenja električnih autobusa

- ▶ Kako napraviti plan punjenja?
- ▶ Možemo li zamijeniti 1 za 1, dizel s električnim autobusom?
- ▶ Kako možemo uštedjeti na troškovima punjenja?
 - ▶ Smanjivanjem potrebne vršnu snage struje u vršnom opterećenju
 - ▶ Punjenjem kada je struja jeftinija

Što trebamo ako cijeli vozni park pretvaramo u električni

- ▶ Imati viziju koliko će veliki vozni park biti
- ▶ Razvijati infrastrukturu za punjenje korak po korak pri čemu treba imati u vidu kako će ona izgledati kada bude gotova
- ▶ Koji kapacitet baterije trebamo kako bi mogli realizirati planirani vozni red?
Preporučeno je da na istoj liniji autobusi imaju baterije istih karakteristika.



Koju količinu energije trebamo?

- ▶ Trebamo li 1MVA, 2MVA ...?
- ▶ U ovisnosti u svakom dijelu dana.
- ▶ *To će u svakom slučaju nadilaziti kapacitete mreže koja je danas instalirana u garažama dizel autobusa*
- ▶ Mreža će morati imati bolje performanse
- ▶ Preporučljivo je osigurati vezu (kablove) koja će nam omogućiti dovoljno struje kada e-vozni park bude u cijelosti operativan

Može li dobavljač električne energije dostaviti traženu količinu struje?

- ▶ Srednji napon (400 V) je dovoljan za punjenje 2 - 3 autobusa svaki dan. Za veći vozni park potreban je visoki napon.

Je li on dostupan na lokaciji?

Ako je i dostupan može li osigurati količinu energije u dužem vremenu?

Ako ne, to znači da svi busevi ne mogu biti punjeni na istoj lokaciji.

Imamo li dodatne lokacije gdje možemo puniti autobuse?

Možemo li kombinirati punjenje u garaži s punjenjem na javnim površinama?

Možemo li razmišljati o premještanju garaže na drugu lokaciju?



Ako dobavljač može dostaviti potrebnu struju ...

- ▶ Naručite spajanje na mrežu s kablovima koji svojim karakteristikama podržavaju najjači strujni tok.
- ▶ Potpišite ugovor s dobavljačem koji će u početku limitiran na snagu struje potreban za prve autobuse, a imat će opciju povećanja snage s dolaskom novih autobusa.

Kako izgraditi infrastrukturu za punjenje

- transformatori

- ▶ Nije potrebno instalirati transformator koji će omogućiti struju za cijeli predviđeni vozni park
- ▶ Treba instalirati transformator koji će svojom snagom biti dovoljan za početni broj autobusa
- ▶ Prva trafostanica će poslije služiti kao glavna trafostanica
- ▶ Poslije kada će biti potrebno više struje jedna ili više satelitskih trafostanica mogu biti instalirane spajajući se na visokonaponsku mrežu preko glavne trafostanice

Kako izgraditi infrastrukturu za punjenje - punjači

- ▶ Količina energije potrebna za punjenje za svaki autobus ovisi o
 - ▶ Potrošnji u kWh/km
 - ▶ Duljini svakog voznog reda u kilometrima
- ▶ Snaga energije punjenja potrebna za punjenja autobusa ovisi o:
 - ▶ Vremenu koje imamo na raspolaganju za punjenje baterija i energiji potrebnoj za punjenje, po noći i između navrata
- ▶ Primjer: 120 kW treba biti napunjeno između 2 navrata
vrijeme koje imamo na raspolaganju za punjenje je:
 - 2,5 sati - možemo puniti sa 60 kW, 1,5 sati - sa 120 kW,
 - 0,5 sati sa 300 kw

Kako izgradi infrastrukturu za punjenje - način punjenja

- ▶ Koji način punjenja treba koristiti?
 - ▶ Plug je moguć do 150 kW snage struje
 - ▶ Veća snaga struje trebala bi se puniti sa pantografom (2 tipa)
- ▶ Ispunjavanje preduvjeta
- ▶ za baterije i autobuse
 - ▶ To je dio planiranja punjenja autobusa
 - ▶ Potreban je kada je punjenje završeno neko vrijeme prije početka prometovanja.
 - ▶ Što je to?
 - ▶ Grijanje baterija na radnu temperaturu
 - ▶ Održavanje temperature u unutrašnjosti autobusu (grijanje)
 - ▶ Neki proizvođači na ovaj način osiguravaju pritisak za zračne jastuke

Kako izgradi infrastrukturu za punjenje - balansiranje ćelija u baterijama

- ▶ Kada se balansiraju (izjednačavaju) baterije
 - ▶ Kada se pune s visokonaponskom strujom
 - ▶ Autobusi s velikim kapacitetom baterija i/ili limitiranim vremenom punjenja
 - ▶ *To sve vodi razlici napona između ćelija*
- ▶ *Zašto balansiranje (izjednačavanje baterija)?*
 - ▶ *Time se osigurava produženje trajanja baterija*
- ▶ *Kako to činiti?*
 - ▶ *Predvidjeti punjenje sa smanjenom snagom punjenja jednom dnevno ili jednom tjedno ovisno o preporuci proizvođača*

Kako izgradi infrastrukturu za punjenje - koji način punjenja

- ▶ Punjenje putem pantografa se ponekad upotrebljava u garažama i sa smanjenom snagom kako bi se uštedjelo na površini koju zauzima infrastruktura



Planiranje prometovanja e-busa

- ▶ Alat za planiranje (software) trebao bi uzeti u obzir:
 - ▶ Kapacitet baterije koji je dostupan
 - ▶ Kreće se od 64% - 72% kapaciteta nove baterije u ovisnosti od tehnologije i preporuka proizvođača
 - ▶ Primjer: Kapacitet baterije iznosi 480kW
 - Dostupan kapacitet baterije je:
 $64\% \text{ od } 480 \text{ kW} = 308 \text{ kW}$
 - ▶ To se naziva EOL „End of Life capacity”
 - ▶ Preporučljivo je da planiranje voznog reda uzima u obzir kapacitet baterije i da se baterija puni do te vrijednosti.

Planiranje prometovanja e-busa

- ▶ E-bus alat za planiranje (software)
 - ▶ Sadrži bazu podataka o autobusima
 - ▶ Sadrži bazu podataka o punjačima (charger)
 - ▶ Sastavlja plan punjenja i aktiviranje punjenja

Pri čemu uzima u obzir

- ▶ Periode u kojima je moguće napraviti punjenje
- ▶ Uključuje smart punjenje

Uravnotežuje punjenje i prati vrhove punjenja

Prebacuje punjenje u vrijeme dana kada je struja jeftinija

Praćenje prometovanja e-busa

- ▶ E-bus upravljački alat
 - ▶ Prati stanje voznog parka za vrijeme prometovanja - SOC, potrošnju energije
 - ▶ Prati punjenje autobusa
 - ▶ Plansko punjenje sukladno periodima kada je isto omogućeno
 - ▶ Prilagođavanje vremena punjenja i snage punjenja u slučaju kašnjenja i zamjena autobusa na liniji
 - ▶ Izvješća o voznom parku:
 - ▶ Stupanj napunjenosti autobusa
 - ▶ Prometovanje autobusa
 - ▶ Količina potrošnje energije

Zamjena dizel autobusa električnim

- ▶ Očekivana potrošnja struje je između 1,1 i 1,3 kWh/km
- ▶ Prvo provjeravamo:
 - ▶ Kolika je potrošnja energije na voznom redu
 - ▶ Koliko je ostalo energije u baterijama nakon prvog navrata
 - ▶ S koliko struje moramo napuniti baterije između 2 navrata
 - ▶ Želimo da ostatak energije u baterije po povratku u garažu bude minimalno 40 kW
- ▶ Izabrana strategija punjenja je:
 - ▶ Tijekom dana pune se samo oni autobusi koji nemaju dovoljno energije da odvezu drugi navrat
 - ▶ Autobusi koji imaju dovoljno pričuvne energije (40 kW) i nakon drugog navrata ne pune se

Procedura punjenja po povratku u garažu - broj punjača

- ▶ Procedura za vozače po povratu u garažu
 - ▶ Vozač parkira autobus ispred punjača i spaja autobus na punjač
 - ▶ Izuzeće je, ako se autobus puni većom snagom, punjač na koji se mora spojiti mora biti označen
 - ▶ Koje su prednosti i nedostaci punjača za svaki autobusa
- ▶ Primjer:
 - ▶ Punjač kapaciteta od max 120kW ekvivalentan je dvama punjačima od 60 kW
 - ▶ Punjač kapaciteta od max 180kW ekvivalentan je trima punjačima od 60 kW

HVALA NA POZORNOSTI!

dinko.butkovic@zet.hr