Analiza tehničko - eksploatacijskih karakteristika električnih vozila javnog gradskog prijevoza

Lukec, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:602805

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-27**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mario Lukec

ANALIZA TEHNIČKO – EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA TEHNIČKO – EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

ANALYSIS OF TECHNICAL - EXPLOITATION CHARACTERISTICS FOR ELECTRIC VEHICLES FOR PUBLIC TRAFFIC

Mentor: dr. sc. Željko Šarić

Student: Mario Lukec, 0135230418

Zagreb, 2015

SAŽETAK:

Električna vozila za javni gradski prijevoz služe za brz i siguran prijevoz putnika u gradovima, gdje je problem zagušenosti prometne mreže izuzetno velik, zbog velikog broja korisnika kojima je potreban prijevoz. Javni gradski prijevoz treba biti u potpunosti odvojen od ostalog prometa u gradovima, također treba imati pravo prvenstva prijevoza na dijelovima prometne mreže gdje ga nije moguće u potpunosti izdvojiti. Električna vozila za javni gradski prijevoz dijele se na: metro sustav, tramvaj, trolejbus, monorail (sustav s jednom tračnicom) te laka gradska željeznica. Tehničko – eksploatacijske značajke pojedinog sustava izrazito su bitne kod odabira sustava prijevoza koje će se u pojedinom gradu koristiti, nema nikakvog pravila, te je za svaki grad potrebno raditi posebne studije vezano za najoptimalniji način prijevoza. Budućnost električnih vozila javnog gradskog prijevoza svakako je u nadzemnim i podzemnim sustavima.

KLJUČNE RIJEČI: električna vozila za javni gradski prijevoz, analiza tehničko – eksploatacijskih karakteristika, komparacija pojedinih sustava, moguća poboljšanja u budućnosti.

SUMMARY:

Electric vehicles for public transport are used for fast and safe transport of passengers in cities, where the problem of congestion of transport network is very big due to the large number of users in need of transport. Public city transport should be completely separated from the rest of the traffic in cities, and it should also be given way on the parts of traffic network where it cannot be separated completely. Electric vehicles for public city transport are divided into: metro system, tram, trolleybus, monorail (system with one rail) and light city railway. Techno-exploitative features of a certain system are extremely important when choosing the type of transport system in a particular city: there are no rules, and it is necessary to do special studies regarding the best means of transport. The future of electric vehicles of public city transport certainly lies in underground and overground systems.

KEYWORDS: electric vehicles for public transport, analysis of technical - exploitation characteristics, comparison of different systems, possible improvements in the future.

Sadržaj:

1. UVOD 1

2. POVIJESNI RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 3

2.1 Povijesni razvoj električnih vozila javnog gradskog prijevoza u Hrvatskoj 3

2.1.1 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Zagrebu 4

2.1.2 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Rijeci 5

2.1.3 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Splitu 6

2.2 Povijesni razvoj električnih vozila javnog gradskog prijevoza u Svijetu 7

3. VRSTE VOZILA ELEKTRIČNIH VOZILA ZA JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ 9

3.1 Tramvaji 11

3.2 Trolejbusi 12

3.3 Metro 15

3.4 Laka gradska željeznica (LRT) 17

4. ANALIZA TEHNIČKO – EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 18

4.1 Tramvaji 19

4.2 Trolejbusi 21

4.3 Metro 26

4.3.1 Vozila metroa 27

4.3.2 Izvedba pogona i regulacija brzine vožnje 28

4.3.3 Izvedba metroa s pneumatskim kotačima 28

4.4 Laka gradska željeznica (LRT) 29

5. KOMPARATIVNA ANALIZA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 30

5.1 Usporedba načina prijevoza neelektričnih vozila u gradovima 31

5.2 Opravdanost primjene vozila za javni gradski prijevoz 32

5.3 Razlike vozila pogonjena Dieselovim motorima s obzirom na električna vozila za javni gradski prijevoz 33

5.4 Maksimalan kapacitet prijevoza putnika i udaljenost stajališta 35

6. RAZVOJNE MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 37

6.1 Poboljšanja u izvedbi tramvaja 38

6.2 Sustavi s jednom tračnicom (Monorail) 39

6.3 Inovativne tehnologije 40
7. ZAKLJUČAK 42
8. LITERATURA 43
Popis slika 44
Popis tablica 45
Popis grafikona 45
Popis kratica 45
Prilozi: 46

1. UVOD

Električna vozila za javni gradski prijevoz namijenjena su za siguran, efikasan, udoban, pouzdan i brz prijevoz putnika. Dijele se na tramvaje, trolejbuse, metro sustav, monorail sustav (sustav s jednom tračnicom), LRT sustav (laka gradska željeznica).

Cilj završnog rada je analizirati svaku vrstu električnih vozila za javni gradski prijevoz ponaosob, utvrditi tehničko – eksploatacijske značajke pojedinog sustava, usporediti ih međusobno, te usporediti električna vozila javnog gradskog prijevoza, sa ostalim vozilima koje se koriste u gradovima npr. autobus, automobil.

Rad je podijeljen u sljedeće glavne cijeline:

1. Uvod
2. Povijesni razvoj električnih vozila javnog gradskog prijevoza
3. Vrste električnih vozila za javni gradski prijevoz
4. Analiza tehničko eksploatacijskih karakteristika električnih vozila javnog gradskog prijevoza
5. Komparativna analiza električnih vozila za javni gradski prijevoz
6. Razvojne mogućnosti eksploatacijskih karakteristika električnih vozila javnog gradskog prijevoza
7. Zaključak

U drugoj cjelini obrađivati će se povijest električnih vozila za javni gradski prijevoz u Hrvatskoj, te detaljnije opisati povijest u tri najveća grada: Zagrebu, Splitu te Rijeci. U drugoj cjelini također je obrađena povijest električnih vozila u svijetu, navedeni su podaci gdje i kada su korišteni prvi metro sustav, tramvaj te trolejbus.

U trećem poglavlju detaljnije će se opisati pojedina vrsta električnih vozila za javni gradski prijevoz počevši sa tramvajem koji je jedini „živući“ predstavnik električnih vozila za javni gradski prijevoz u Hrvatskoj.

U četvrtoj cjelini analizirani su tehničko – eksploatacijski parametri električnih vozila za javni gradski prijevoz, kod metroa su detaljnije objašnjena izvedbe pogona metroa, izvedba metroa s pneumatskim kotačima, te kakva sve mogu biti vozila metroa.

Peta cjelina posvećena je komparativnoj analizi električnih vozila za javni gradski prijevoz, te kako se dolazi do podataka o opravdanosti da bi se neko prijevozno sredstvo počelo koristiti u nekom gradu, te da bi ono bilo isplativo i ekonomično.

U šestom poglavlju opisane su razvojne mogućnosti električnih vozila za javni gradski prijevoz, koje se inovativne tehnologije već naveliko koriste u svijetu, te koje su mogućnosti u poboljšanju izvedbe tramvaja koji je nama najzanimljiviji jer ga imamo u Hrvatskoj.

2. POVIJESNI RAZVOJ ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Javni gradski prijevoz ima izuzetno važnu ulogu u funkcioniranju gradskih područja koja su uglavnom najgušće naseljena, te su ta područja najkritičnija te zahtijevaju planiranje bilo kakvih novih grana prometa koje bi pridonijele napretku grada, ubrzanju prijevoza te smanjenja vremena kojeg putnici (korisnici usluge) provedu u prometu.

Znanost o prometu, grana znanosti o javnom prijevozu, bavi se planiranjem, geometrijskim projektiranjem i regulacijom prometa na cestama, ulicama, autocestaa, mrežama javnog gradskog prometa, terminalima, prostorom koji graniči s njima te odnosima s ostalim načinima prijevoza. [1]

Tehnologije korištene za prijevoz putnika, tijekom povijesti, stalno se razvijaju. U 19. stoljeću željeznica je bila glavni nositelj putovanja na velike udaljenosti. Danas je zamijenjena automobilima i zrakoplovima. Različiti oblici javnog prijevoza u gradovima kretali su se od kočija na konjsku vuču do električnih podzemnih vlakova i bili su dominantni od 1820. do 1920. godine. Od 1920. Godine automobil postaje sve popularniji način gradskog prijevoza, no javni prijevoz i dalje ima važnu ulogu. [1]

2.1 Povijesni razvoj električnih vozila javnog gradskog prijevoza u Hrvatskoj

Javni gradski prijevoz u Republici Hrvatskoj i dalje treba puno raditi na poboljšanju karakteristika vozila koje prometuju, također i na organizaciji koja je jako bitna, jer dolazi do velikih gužvi u gradovima u vrijeme vršnog opterećenja kada ljudi idu na posao ili s posla, u vrijeme specifičnih vremenskih uvjeta te značajnih sportskih događaja kulturnih ili glazbenih događaja koje posjećuje veliki broj ljudi. Električna vozila za javni gradski prijevoz u RH imaju predstavnike u vidu tramvaja te trolejbusa (u gradu Rijeci – više nije u funkciji), u gradu Zagrebu na električni pogon prometuje Uspinjača, te je prometovala Žičara Zagreb, koja također više nije u funkciji.

2.1.1 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Zagrebu

Glavni grad, političko, kulturno i gospodarsko središte Hrvatske, danas je smješten na 641 km^2 sa 779.000 stanovnika. Prvi električni tramvaj svečano je počeo prometovati 18. kolovoza 1910. Prvog dana tramvajem se prevezlo 20.000 putnika u gradu koji je tada imao 42.000 stanovnika, cijena karte je iznosila 12 filira. Puštanjem u promet nove tramvajske pruge Držićevom avenijom preko Mosta mladosti do Sopota, 25. Studenog. 1978. Nastaje novo razdoblje tramvajske mreže, jer tramvaj prelazi rijeku Savu. [1]

Zagrebačka uspinjača je uspinjača koja spaja zagrebački Gornji i Donji grad. Donja stanica nalazi se u Tomićevoj ulici (koja izlazi na Ilicu), a gornja stanica nalazi se na Strossmayerovom šetalištu, podno kule Lotrščak. S prugom dugom 66 metara, poznata je i kao najkraća žičana željeznica na svijetu namijenjena javnom prometu. Službeno je puštena u pogon 8. listopada 1890. godine, a s radom je počela 23. travnja 1893. godine. Isprva je bila na parni pogon koji je 1934. godine zamijenjen električnim. Budući da je do danas u cijelosti zadržala prvobitni vanjski izgled i građevnu konstrukciju, a i većinu tehničkih svojstava koja su joj dali graditelji, zagrebačka je uspinjača zakonski zaštićena kao spomenik kulture. Zagrebačka uspinjača je jedna od turističkih atrakcija u Zagrebu. Danas o zagrebačkoj uspinjači brine Zagrebački električni tramvaj. [5]

Žičara Sljeme izvedena je kao dvoužetna osobna kabinska žičara s desnohodnim kružnim pogonom u gornjoj postaji. Puštena je u promet 27.svibnja 1963. S trasom duljine od 4017 m, s jednim samopogonom, najdulje je postrojenje te vrste u Europi. Za trasu, osim duljine, karakteristični su izlomljeni uzdužni profil i 13 stupova visine 7 do 40 m. Nadmorska visina donje postaje je 330 m, a gornje 665 m. Visinska razlika je 670 m, ima 40 kabina, te po svakom smjeru može prevesti 450 osoba uz brzinu od 3 m/s. Za promet je zatvorena sredinom 2007. godine (službeno je zatvorena 1. srpnja), nakon kvara na elektromotoru (5. lipnja) za koji je procijenjeno da je neisplativ za saniranje. U tijeku su pripreme za izgradnju nove moderne sljemenske žičare. [1]

2.1.2 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Rijeci

Prvi trolejbusi u Hrvatskoj uvedeni su 1951. u Rijeci. O uvođenju trolejbusa u javni gradski promet umjesto tramvaja, počelo se razmišljati 1935. godine. Načelni projekti za uvođenje trolejbusa bili su gotovi 1937., a zatražena je i ponuda za izgradnju trolejbusne linije koja bi išla od Kantride preko Kostabele, Voloskog i Opatije do Lovrana. Taj je projekt ostao tek zamisao jer su ekonomski izračuni pokazali da je trolejbus zbog ograničena kapaciteta (sedamdeset do osamdeset putnika) neekonomičan, dok je u to vrijeme tramvajska prikolica mogla prevesti 250 do 300 putnika. [4]

Ipak, 27. listopada 1951. godine, pokrenut je trolejbusni promet u Rijeci. Trolejbus je uključen u gradski promet jer nagli razvoj grada Rijeke i njegove okolice diktirao je brži, moderniji i kvalitetniji prijevoz. Gradski narodni odbor, Povjereništvo za saobraćaj, odlučilo se za trolejbuse talijanske tvrtke C.G.E. - FIAT, čija je ponuda bila najpovoljnija. GATPO (Gradski AuTobusni PrOmet - današnji Autotrolej) je imao 15 gradskih linija od toga jednu tramvajsku, dvije trolejbusne i 12 autobusnih. Putna je karta koštala 10 dinara (tadašnja valuta), a za djecu i invalide 5 dinara i za tramvaj i za trolejbus. Dva dana ranije, 24. listopada, prvi je put u probnoj vožnji trolejbus prošao riječkim ulicama od željezničke stanice do Plumbuma. Isti je prestao prometovati 1969. godine. [4]

Slika 1. Trolejbus u Rijeci, [13]

2.1.3 Električna vozila za javni gradski prijevoz u Splitu

U prometnom pogledu Split je centar pomorskih veza s obalnim i otočnim lukama i završna postaja željezničkih veza sa zaleđem. Po prijevozu putnika, Split je prva luka na našoj obali. Od 1964. u Splitu je prometovao trolejbus između gradske obale i Solina, ali je zbog čestih prekida već 1968. bio ukinut. Tvornica »Rade Končar« 1960-ih proizvodila je trolejbuse, koji su osim u Rijeci i Splitu prometovali i u drugim gradovima tadašnje Jugoslavije. [1]

Slika 2. Trolejbus u Splitu, [14]

Ukinute tramvajske linije:

1. Dubrovnik (DEŽ - Dubrovačka Električna Željeznica) - ukinuto zbog jeftinije opcije autobusnog prijevoza. Dubrovnik je imao razgranatiju i razvijeniju mrežu za ono vrijeme. Specifičnost je bio i teren, koji je vrlo brdovit. Ukinuto je krajem 70-tih godina.
2. Pula (Pulapromet) - dvije linije, ukinut nakon I. svjetskog rata, dana 16. travnja 1934.
3. Opatija - (trasa linije: Matulji-Opatija-Lovran), ukinuto zbog nerentabilnosti 1935.
4. Velika Gorica - mini linija (konjski tramvaj), ukinuto 1937.

2.2 Povijesni razvoj električnih vozila javnog gradskog prijevoza u Svijetu

London je prvi grad na svijetu čiji su se stanovnici mogli voziti podzemnom željeznicom (metro). Prva linija metroa poznatijeg kao 'Tube' otvorena je 9. siječnja 1863. godine te je tog dana njom putovalo čak 40 tisuća putnika. Do danas se londonska podzemna željeznica razvila u 408 kilometara aktivnih linija s 247 stanica. Britanska je metropola zahvaljujući sustavu podzemnih željeznica uvelike smanjila gužvu na površinskom prometu te je poslužila kao primjer drugim gradovima koji su se suočavali s istim problemom.

Slika 3. Iskapanje tunela namijenjenih Metropolitan Railwayu, 1861. Godine [15]

Prvi tramvaj sa konjskom vučom počeo je sa radom 1807. u velškom gradu Swansea na liniji Swansea - Mumbles dugoj 8.85 km. Američka kompanija G.F. Train otvorila je 1860. godine 3 tramvajske linije u Londonu i jednu u Birkenheadu. Nakon tog tramvaji su počeli voziti po Salfordu 1862. i Liverpoolu 1865. Thomas Davenport kovač iz Vermonta, uspio je 1834. konstruirati mali elektromotor na jednosmjernu struju pokretan akomulatorom, ali on je mogao pokretati samo mala vozila na kraće distance, pa je ispao neprimjenjiv za tramvaje. Tek je pronalazak dinama krajem 19. stoljeća omogućio novi pogon tramvaja električnu struju koja se najčešće dovodila do tramvajskih vozila putem sistema nadzemnih elektrificiranih žica duž tramvajskih linija. [6]

Prvi trolejbus na svijetu krenuo je u probnu vožnju 27. travnja 1882. godine u Berlinu. Samu konstrukciju realizirao je njemački inženjer Werner von Siemens. Njegov pronalazak pokazao se vrlo značajnim, te je i danas jedan od najvažnijih segmenata javnog prijevoza u velikim gradovima. Prvi trolejbus je na probnoj relaciji u blizini Halenseea, ulicama Berlina prešao 540 metara. Tadašnja firma SiemensElektromote je dokazala da se električna vozila mogu potpuno odvojiti od pruge konjskih željeznica. Kod prvih trolejbusa je kontakt sa gornjim kablovima riješen uz pomoć kontaktnih kola. To je izgledalo ovako; na samim gornjim vodovima kretala su se mala kolica na kotačima koja su bila povezana sa motorom vozila. Tako je trolejbus u stvari i dobio ime po kotrljajućim (trolley) kolicima. Kasnije su korišteni sistemi sa dvije šipke, a od 1920. godine generalno je uveden takozvani Schimann sistem. Upravljanje trolejbusom dugo je bio kompliciran posao, pa su ga morala obavljati dva čovjeka. Pomoćnik vozača je vodio računa o električnim vodovima, a vozač trolejbusa je bio zadužen za upravljanje vozilom. [7]

Slika 4. Prvi trolejbus, Berlin 1882. godine. [16]

3. VRSTE VOZILA ELEKTRIČNIH VOZILA ZA JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ

Električno vozilo je ono vozilo koje na bilo koji način koristi električnu energiju kao sredstvo koje ga pokreće. Električni automobil se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, ili drugim uređajima za pohranu energije.

U električna vozila za javni gradski prijevoz svrstavaju se :

- Tramvaji
- Trolejbusi
- Metro ili brza gradska željeznica
- Laka gradska željeznica (LRT)
- Specijalna električna vozila

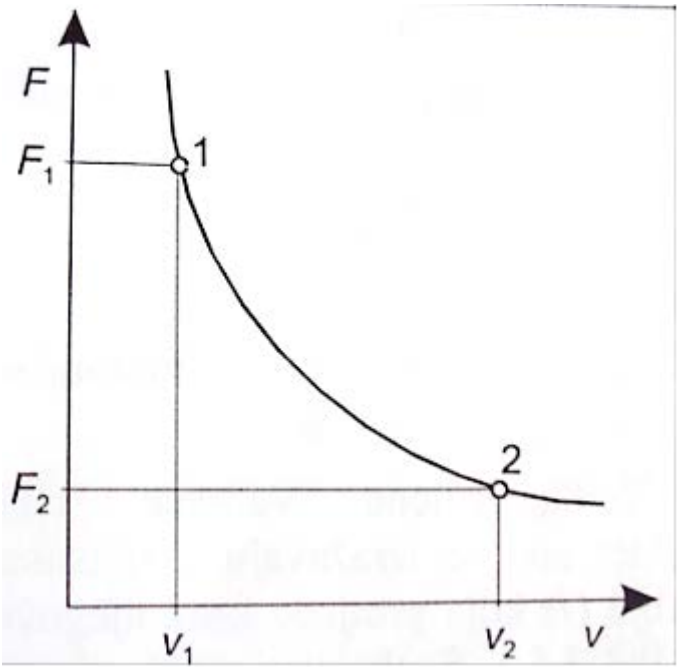
Sva ta električna vozila napajaju se električnom energijom iz kontaktne mreže pri čemu pojedine vrste vozila imaju određene specifičnosti izvedbe napajanja. Napon istosmjerne struje kojom se napaja kontaktna mreža najčešće iznosi: [2]

- 600 V za trolejbuse i tramvaje
- 750 V za metro
- 1500 V za regionalni metro i brzu gradsku željeznicu

Napajanje tramvaja i nekih metroa ostvaruje se iz kontaktne mreže, koja predstavlja plus, preko krovnog oduzimača snage (pantografa). Strujni krug se zatvara preko tračnice koje su povratni vod, odnosno minus pol. Metro se češće napaja preko treće tračnice i bočno ugrađenog oduzimača struje. Kontaktna mreža za trolejbuse ima dva vodiča (+ , -), a strujni krug u trolejbusima zatvara se preko dvije trole koje su u stalnom dodiru s vodičima kontaktne mreže. [3]

U vozilima se napajaju glavni i pomoćni pogoni. U glavnom pogonu se reguliraju potrebne veličine u svrhu regulacije vučne sile i brzine tijekom vuče, odnosno kočne sile i brzine tijekom kočenja. Za sva vozila rješenja regulacije vučne sile i brzine vožnje su slična, a njihova izvedba ovisi o vrsti primijenjenih vučnih elektromotora. Snaga se najprije za sva

vozila općenito obrađuju vučni elektromotori, njihove značajke i mogućnosti regulacije okretnog momenta[1] i brzine vrtnje. [2]

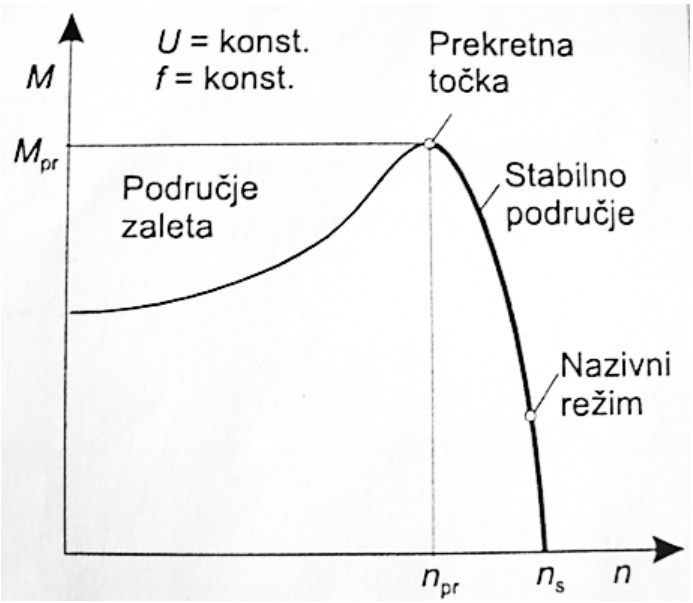


Slika 5. Vučna značajka istosmjernog serijskog elektromotora [2]

Strojevi koji tijekom vuče električnu energiju pretvaraju u mehanički rad nazivaju se vučni elektromotori. Na električnim vozilima za javni gradski prijevoz najčešće se koriste sljedeće vrste: [2]

- Vučni elektromotori za istosmjernu struju (predstavlja kolektorski stroj, koji u svrhu ostvarivanja najpovoljnije vučne značajke ima serijski spojen uzbudni i armaturni moment. Vučna značajka pokazuje da pri malim brzinama ostvaruje velike vučne sile.
- Trofazni asinkroni vučni motori (nemaju kolektora niti električnu vezu između rotora i statora, što je dobro za održavanje. Po jedinici snage znatno su lakši i manjih dimenzija od istosmjernih motora a to ih čini pogodnim za vuču. Osnovni problem za njihovu primjenu predstavlja regulacija brzine vrtnje, odnosno brzina vožnje.

[1] Umnožak sile i udaljenosti mjesta na kojem djeluje ta sila na osi rotacije.



Slika 6. Okretni moment trofaznog asinkronog motora [2]

3.1 Tramvaji

Tramvaj (engl. tramway) električno je vozilo za prijevoz putnika u javnom gradskom prijevozu koje se kreće po tračnicama, a napaja se iz kontaktne mreže preko krovnog oduzimača snage te zatvara strujni krug preko tračnica koje služe kao povratni vod.

Krovni oduzimač struje naziva se pantograf, a svojom zglobnom izvedbom i djelovanjem opruga omogućuje stalnu kliznu vezu s kontaktnom mrežom u svim njezinim dopuštenim pozicijama. Električna energija u kontaktnoj mreži je istosmjerna[2] napona 600 V, a postoje i rješenja s naponom od 750 V. [3]

Tramvajske pruge se uglavnom izvode s dvije širine kolosijeka:

- 1 000 mm, metarski kolosijek
- 1 435 mm, normalni kolosijek

Širina kolosijeka utječe na konstrukciju i dimenzije voznog stroja (osovina i okretnih postolja) te dimenzije sanduka karoserije i broj mjesta za putnike po jedinici duljine. Ona također utječe na stabilnost i mirnoću kretanja tramvaja. U novije vrijeme izvode se univerzalna vozila za željeznički i tramvajski promet, odnosno vozila koja mogu prelaziti s željezničke na tramvajsku prugu.

[2] Istosmjerna struja je pojam koji označava električnu struju čiji tok elektrona ne mijenja smjer kretanja.

Tablica 1. Specifikacije tramvaja TMK 2200 [8]

Tehnički podaci	
Dužina	32 054 mm
Širina	2 300 mm
Visina (osim pantografa)	3 400 mm
Visina spuštenog pantografa	3 700 mm
Nivo poda 100%	350 mm
Nivo pragova ulaznih vrata	300 mm
Pogon (asinkroni)	6x70 kW
Konfiguracija	Bo'Bo'Bo'
Broj sjedećih putnika	46
Broj stojećih putnika	156
Širina kolosjeka	1000 mm
Maksimalna brzina	70 km/h

Izvor: [8]

U gradu Zagrebu trenutno prometuje 8 različitih vrsta tramvaja, koji uključuju 240 motornih kola (preko 400 uključujući i prikolice). Pri tome je kapacitet motornih kola od 85 – 243 , a prikolica od 118 – 124 putničkih mjesta. Ukupna prosječna starost motornih kola iznosi 22.5 godina, a prikolica 24.6 godina. 2003. godine ZET je naručio 70 novih niskopodnih tramvaja, naziva TMK 2200, od konzorcija *Crotram*. Prvi prototip je isporučen svibnju 2005. godine. Tramvaj je klimatiziran i opremljen je unutarnjim i vanjskim video nadzorom (umjesto retrovizora). Maksimalna brzina ovog tramvaja je 70 km/h.

Slika 7. Tramvaj TMK 2200 [8]

3.2 Trolejbusi

Trolejbus (eng. trolley-bus) je električno vozilo za gradski prijevoz putnika. Glavni pogon ostvaruje preko elektromotora koji mogu biti istosmjerni serijski ili trofazni asinkroni motori. Kreće se po putovima bez tračnica (slično autobusu), u stalnoj je električnoj vezi s dvožičnom kontaktnom mrežom preko krovnih oduzimača struje i s ograničenom slobodom bočnoga kretanja u odnosu na os kontaktne mreže (4,5 m). Regulacija brzine vožnje može se ostvariti s otpornicima ili tiristorima. [3]

Kontaktna mreža ima dva električna voda (+ i -) napajana istosmjernom strujom napona 600 V, a rjeđe 750 V. Razvoj trolejbusnog prijevoza u svijetu prolazio je kroz nekoliko faza: prva pojava 1882. godine u Berlinu i prva praktična primjena.

Do danas su se kod trolejbusa primjenjivala tri različita pogonska sustava:

1. sustav s čoperom i tiristorskom regulacijom kretanja vozila (rekuperacija = povrat viška energije kočenja u električnu mrežu)
2. sustav sa statičkim logističkim kolima za elektronsku regulaciju kretanja vozila
3. sustav s klasičnom elektromehaničkom regulacijom kretanja vozila pomoću kontrolera.

Prvi i drugi sustav omogućavaju :

1. suvremenu konstrukciju vozila
2. veću pouzdanost i sigurnost prijevoza
3. automatizaciju brojnih funkcija rada vozila
4. poboljšanje performansi vozila
5. smanjenje trošenja obloga kočnica
6. uštedu pogonske energije za 20-25 %
7. jednostavnije održavanje vozila.

Vučni motor sa kardanskim prijenosom i elastičnim spojnicima, odnosno kardanskim zglobovima, reduktor vožnje sa diferencijalom i poluosovine pogonskih kotača čine pogonski sustav trolejbusa. [2]

Slika 8. Trolejbus u Beogradu [7]

Krovni oduzimači struje čine dvije trole, odnosno kontaktne motke učvršćene preko izolatora i sklopa opruga za krov vozila. Duljina im je oko 6 m, a međusobno su razmaknute oko 550 do 600 mm.[2]

Slika 9. Trolejbus u Leedsu (UK) [7]

3.3 Metro

Metro (franc. Metropolitian – koji pripada glavnom gradu) opći je naziv za električnu podzemnu željeznicu koja služi gradskom prijevozu putnika u velikim gradovima. Predstavlja optimalan oblik masovnog prijevoza putnika. Odvija se na potpuno izdvojenim kolosiječnim trasama koje se ne ukrštaju u razini niti se usporedno dodiruju s drugim vozilima ili prometnicama. Vođenje se može ostvariti s visokim stupnjem automatizacije uz dopušteno veliku prosječnu brzinu vožnje te svim preduvjetima za točnost, pouzdanost i sigurnost odvijanja prometa. [3]

Metro sustav je, u stvari kompozicija željezničkih vozila posebno prilagođenih profilom, oblikom i konstruktivnim komponentama visokofrekventnom i brzom gradskom i prigradskom prijevozu putnika koji se većinom obavlja u podzemnim tunelima. Metro se smješta ispod zemlje, što ujedno rasterećuje površinski promet. [2]

Metro sustavi imaju mnogo zajedničkog s uskotračnom željeznicom[3], međutim postoje i bitne razlike:

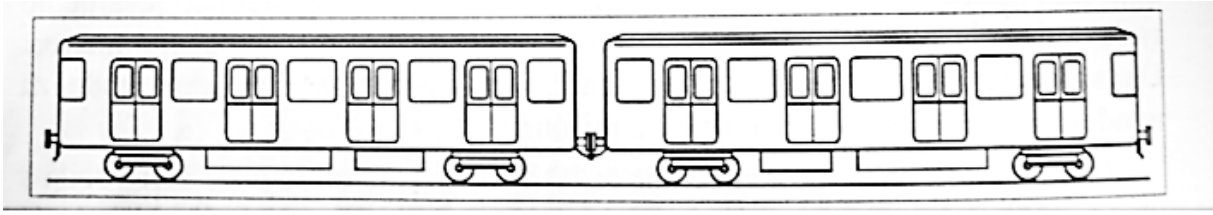
1. Uskotračna željeznica prometuje s jednim vozilom, metro sustavi (npr. londonski Undergrund)[4] imaju kompozicije od 6 do 9 vozila.
2. Budući da su metro sustavi potpuno izdvojeni pruga može biti izgrađena na betonskim pragovima.
3. Dvije osnovne razlike su u tome što metro sustavi imaju dulju prometnu mrežu i visoke perone. [1]

Vozila metroa su tračnička vozila specijalni konstruirana i prilagođena za masovni prijevoz u gradskom i prigradskom prometu. Kompozicija metroa sastoji se od više vozila (najčešće 6, a iznimno do 9) koja su uglavnom motorna a mogu biti i prikolice. Dovoljan broj dvokrilnih vrata omogućuje brzu izmjenu putnika, a kapacitet vozila povećava se većim udjelom stajaćih mjesta za putnike. Visina poda i visina perona u postajama trebaju biti usuglašeni da se olakša ulazak i izlazak putnika. Gabariti vozila moraju se uklapati u slobodni profil trase metroa.

[3] Laka gradska željeznica LRT koristi čelične kotače na čeličnim tračnicama i prometuje po standardnoj širini kolosijeka 1435 mm. Nije potpuno odvojena od cestovnog prometa za razliku od metroa.
[4] London je dobio prvi metro 1863. Bio je dugačak 6 kilometara, na parni pogon. Imao je problema s ventilacijom pa su ga prozvali „kanalizacijska željeznica“.

Posve specifično rješenje čine vozila s pneumatskim kotačima. Njihovu primjenu nametnule su sljedeće značajke:

1. Manji nivo buke pri kretanju, manje vibracije i mekši hod vozila
2. Veći koeficijent adhezije[5] koji omogućuje razvijanje većih ubrzanja i usporenja
3. Mogućnosti primjene lakše konstrukcije glavnih nosećih sklopova. [2]



Slika 10. Shema kompozicije metroa sastavljene od dvaju vozila[2]

Zanimljivosti vezane za metro:

1. Uz činjenicu da je 'Tube' najstariji metro na svijetu, mnogi ga pamte po samoubilačkom terorističkom napadu 7. srpnja 2005. godine. To je ujedno najveća tragedija u povijesti londonskog metroa jer su u razmaku od 50 sekundi eksplodirale tri bombe koje su odnijele 26 života te teško ozlijedile 600 putnika.
2. Dubai privlači sve više turista koji su oduševljeni ogromnim zadivljujućim projektima, a među njima se nalazi i najveća podzemna željeznica na svijetu. Za njenu izradu potrošeno je vrtoglavih 7,6 milijardi dolara, a puštena je u promet 9. rujna 2009. godine točno u 9 sati i 9 minuta.

Slika 11. Metro u Dubaiu [17]

[5] Adhezija je pojava kada dva različita materijala vežu jedan uz drugi, nakon što su dovedeni u međusobni kontakt

3.4 Laka gradska željeznica (LRT)

Laka gradska željeznica (LRT) ne može biti potpuno odvojena od cestovnog prometa. Međutim da bi se postigla potpuna odvojenost kao i prednost na raskrižjima s cestovnim prometom, tada bi postigla maksimalnu pouzdanost usluge i povećana brzina vožnje. Laka gradska željeznica koristi čelične kotače na čeličnim tračnicama i prometuje na standardnoj širini kolosijeka od 1435 mm. Može biti sastavljena od jednog ili više vagona s električnim pogonom koji normalno dolazi do žica iznad vagona s naponom od 750 V. Napajanje električnom energijom mora biti neprestano i automatsko upravljanje ako je sustav potpuno izdvojen. [1]

Udaljenost stajališta lake gradske željeznice ovisi o sljedećim parametrima:

- Načinu korištenja zemljišta unutar područja koje gravitira tom stajalištu
- O tome hoće li se primjenjivati sustav „parkiraj i vozi“ na tom određenom stajalištu
- O zahtijevanoj komercijalnoj brzini

Slika 12., LRT, Minnesota (USA) [17]

4. ANALIZA TEHNIČKO – EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Tehničko – eksploatacijske karakteristike vozila igraju važnu ulogu kod odabira određene vrste i tipa električnih vozila koja će se koristiti u javnom gradskom prijevozu. U tehničko – eksploatacijske karakteristike spadaju:

1.) Motor:

- Vrsta motora
- Najveća snaga (kW)
- Emisije CO_2 (g/km)[6]
- Način upravljanja

2.) Dimenzije vozila:

- Broj sjedala
- Dužina, visina, širina
- Međuosovinski razmak (mm)

3.) Obavezna i dodatna oprema vozila:

- Servo upravljač
- ABS sustav protiv blokiranja kotača pri kočenju

Eksploatacija predstavlja iskorištenje (npr. prirodnih bogatstava, prometnih sredstava, ljudi, naroda), u ovom slučaju kod električnih vozila za javni gradski prijevoz predstavlja koliko će se određena prijevozna sredstva iskoristiti na najbolji mogući način, uz najmanja ulaganja, svesti kvarove na najmanju moguću mjeru preventivnim i korektivnim održavanjem, te da se na taj način uštede značajna sredstva koja se mogu upotrijebiti korisnije nego u svrhu popravka vozila i slično.

[6] Ugljikov (IV) oksid (ugljikov dioksid, CO_2)

4.1 Tramvaji

Tehničko – eksploatacijske značajke tramvaja ovise o njegovoj izvedbi. Prema karoserijskoj izvedbi, duljini, broju putničkih mjesta i broju osovina tramvaji mogu biti izvedeni na sljedeće načine:

1. dvoosovinski tramvajski motorni vagon duljine 9 – 11 m i sa 65 – 80 putničkih mjesta
2. četveroosovinski tramvajski motorni vagon (dva okretna postolja) s jednodijelnom karoserijom duljine 12 – 14 m, i sa 110 – 120 putničkih mjesta
3. četveroosovinski tramvajski motorni vagon s dvodijelnom karoserijom, odnosno sa zglobom, duljine 16 – 18 m, i sa 150 – 165 putničkih mjesta
4. šesteroosovinski tramvajski motorni vagon s dvodijelnom karoserijom, duljine 19 – 23 m, sa 170 – 195 putničkih mjesta
5. druga specifična rješenja koja se izvode osobito u novije vrijeme. [3]

Tramvajski vagoni koriste se i za vuču prikolice koje mogu biti dvoosovinske i četveroosovinske, dimenzija i kapaciteta sličnih kao u motornih vagona. Zglobna izvedba tramvaja predstavlja suvremeno rješenje zbog toga što omogućuje povećanje broja putničkih mjesta po jedinici duljine i pritom čine kompaktnu cjelinu. Prikladni su za linije na kojima se prevozi velik broj putnika u jedinici vremena. Izvedbe su moguće s jednim ili više zglobova a duljina može biti do 35 m. [2]

Sjedeća mjesta zauzimaju 0,3 do 0,4 m^2 putničkog prostora, a sjedeća 0,17 do 0,25 m^2 po osobi, što znači 4 do 6 putnika po četvornom metru. Masa tramvaja najčešće se svodi na jedinicu korisne površine putničkog prostora, što omogućuje vrednovanje konstrukcije u smislu zahtjeva za lakom gradnjom i međusobno uspoređivanje različitih izvedbi. Tako je masa tramvajskog vozila u sljedećim rasponima:

- 600 – 750 kg/m^2 za starije konstrukcije
- 480 – 550 kg/m^2 za četveroosovinska vozila
- 400 – 470 kg/m^2 za zglobne i suvremene konstrukcije tramvaja[3]

Prema najvećoj brzini vožnje, tramvaji se mogu svrstati u skupine do 60 km/h, do 80 km/h i do 100 km/h. ubrzanje tramvaja ovisi o omjeru instalirane snage i ukupne mase te načinu regulacije brzine. Najčešće se mjerodavno prosječno ubrzanje od pokretanja do brzine $0,65 * v_{max}$ a ono iznosi:

- do 0,75 m/s^2 za tramvaje s izravnim upravljanjem
- do 1,1 m/s^2 za tramvaje s servoupravljanjem
- do 1,35 m/s^2 za tramvaje s automatskom regulacijom ubrzanja

Za takva ubrzanja potrebna je instalirana snaga po jedinici neto-mase od

- 3 – 4,5 kW/t za starije konstrukcije
- 6 – 8,5 kW/t za suvremene konstrukcije tramvaja

Instaliranom vučnom snagom, a ovisno o prijenosnom odnosu između elektromotora i pogonskih kotača te o promjeru kotača, ostvaruje se odgovarajuća vučna sila između pogonskih kotača i tračnica. S obzirom da se na tramvajima redovito koristi i električno kočenje spajanjem vučnih motora u generatorski rad, pri takvom kočenju ostvaruje se odgovarajuća kočna sila električnog kočenja. Ovisnost vučne sile o brzini vožnje naziva se vučna značajka, a ovisnost kočne sile električnog kočenja o brzini vožnje naziva se kočna značajka. [3]

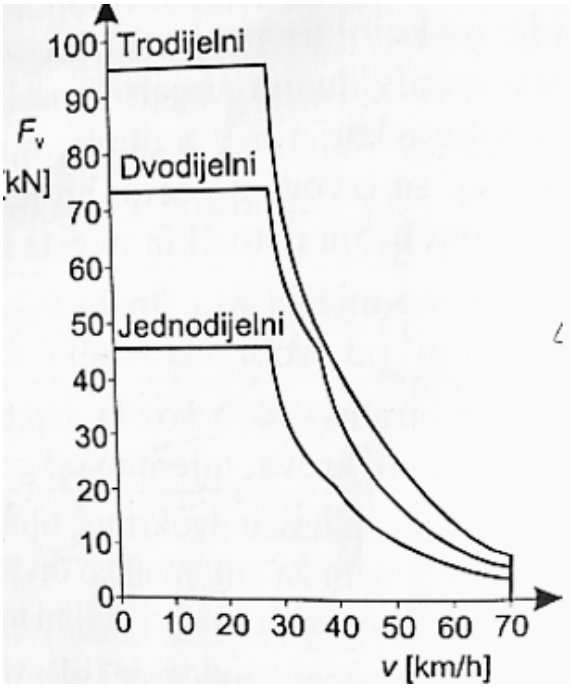
Za sigurno i učinkovito kočenje na tramvajima se ugrađuju:

- električne kočnice
- pneumatske kočnice
- elektromagnetske kočnice

Pri normalnom kočenju redovito se upotrebljava električna kočnica. S obzirom na to da je električna kočnica neučinkovita pri malim brzinama, ona se u tom području nadopunjuje pneumatskom kočnicom. Električne i pneumatske kočnice su osovinske kočnice. U slučaju brzog kočenja upotrebljava se i elektromagnetska kočnica.

Usporenja pri kočenju u sljedećim su skupinama:

- 1,1 – 1,45 m/s^2 pri kočenju s osovinskim kotačima
- 1,8 – 2,7 m/s^2 pri kočenju s elektromagnetskim tračnim kočnicama.

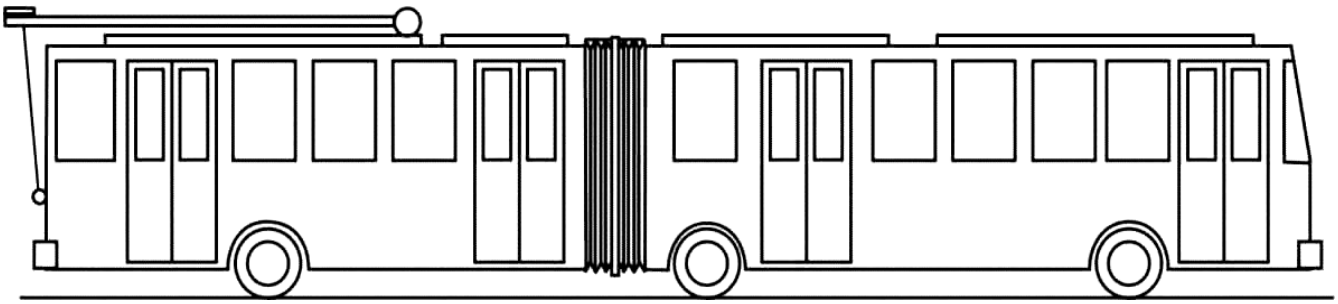


Slika 13. Vučne značajke tramvaja [2]

4.2 Trolejbusi

Prema broju osovina, izvedbi karoserije, duljini i broju putničkih mjesta trolejbusi mogu biti izvedeni u dva osnovna oblika:

- dvoosovinski s jednodijelnom karoserijom duljine 11÷12 m, koji ima 85 do 115 putničkih mjesta i neto masu 9,5 ÷11 tona te troja dvokrilna vrata;
- zglobni troosovinski s dvodijelnom karoserijom duljine 15÷18 m, koji ima 145 do 180 putničkih mjesta i neto masu 15 ÷18m, koji ima 145 do 180 putničkih mjesta i neto masu 15 ÷ 17,5 t te četvora dvokrilna vrata (slika 5.). [2]



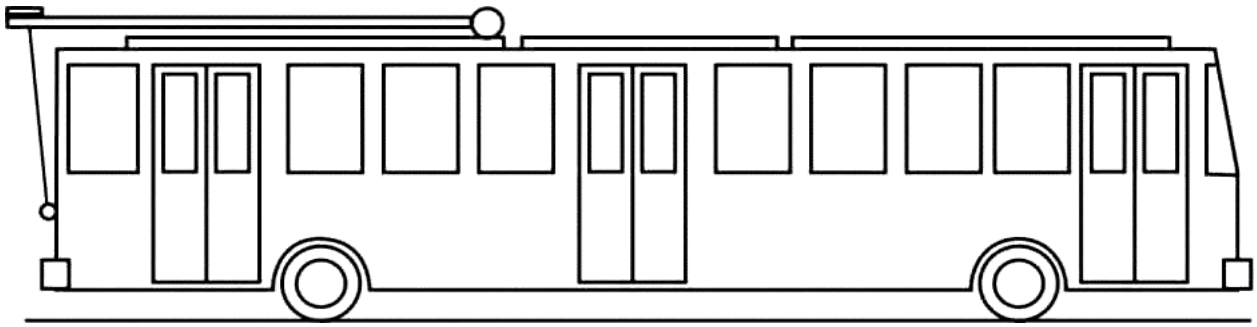
Slika 14. Troosovinski trolejbus [2]

Trolejbusi se mogu graditi i izvan osnovnih kategorija, kao što su:

- dvoosovinski s jednodijelnom karoserijom manjih dimenzija i kapaciteta
- dvoosovinski i troosovinski trolejbusi na kat s jednodijelnom karoserijom;
- trolejbusi s prikolicom.

Visina trolejbusa do gornjeg ruba krova u rasponu je 2850 ÷ 3100 mm, a najveća širina iznosi 2450 ÷ 2550 mm. Od ukupnog broja putničkih mjesta, oko 20 ÷ 35 % su sjedeća, a stajaća mjesta se računaju s 5 ÷ 6 putnika / m^2. Karoserija trolejbusa može biti izvedena s glavnim nosivim okvirom (šasijom) ili kao samonosiva konstrukcija. Jedinična masa (masa po putničkom mjestu) pojedinih konstrukcija u sljedećim je rasponima:

- 95 ÷ 115 kg/ mjesto, odnosno 350 ÷ 380 kg/m^2 - za trolejbuse s glavnim nosivim okvirom
- 85 ÷ 90 kg/mjesto, odnosno 270 ÷ 300 kg/m^2 – za trolejbuse sa samonosivom karoserijom.



Slika 15. Dvoosovinski trolejbus [2]

Visina trolejbusa do gornjeg ruba krova u rasponu je 2850 ÷ 3100 mm, a najveća širina iznosi 2450 ÷ 2550 mm. Od ukupnog broja putničkih mjesta, oko 20 ÷ 35 % su sjedeća, a stajaća mjesta se računaju s 5 ÷ 6 putnika / m^2. Karoserija trolejbusa može biti izvedena s glavnim nosivim okvirom (šasijom) ili kao samonosiva konstrukcija. Jedinična masa (masa po putničkom mjestu) pojedinih konstrukcija u sljedećim je rasponima:

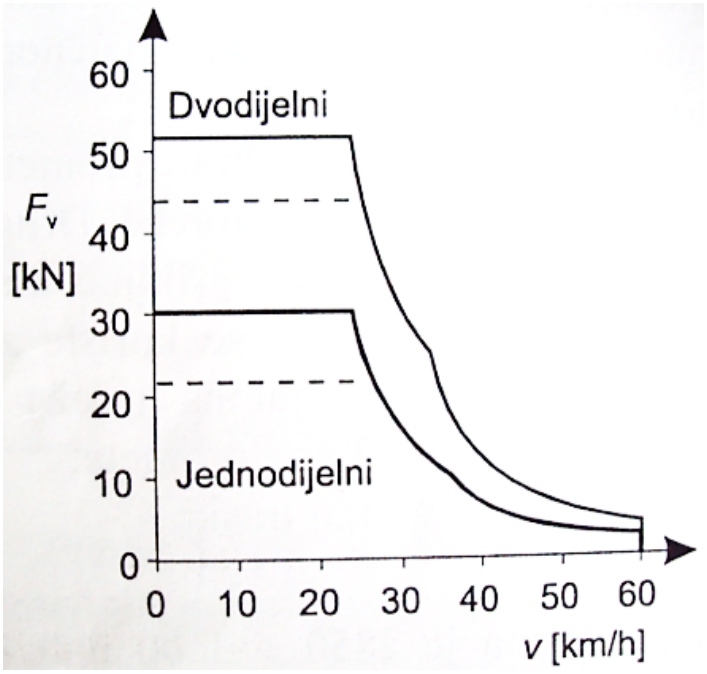
- 95 ÷ 115 kg/ mjesto, odnosno 350 ÷ 380 kg/m^2 - za trolejbuse s glavnim nosivim okvirom

- 85 ÷ 90 kg/mjesto, odnosno 270 ÷ 300 kg/m^2 – za trolejbuse sa samonosivom karoserijom.

Posebna rješenja trolejbusa su:

- trolejbus s pomoćnim vučnim pogonom, koji služi za autonomno kretanje trolejbusa u izvanrednim slučajevima sa smanjenom vučnom silom i brzinom. Koristi se kada nastane kvar na glavnom vučnom pogonu da bi se trolejbus mogao samostalno odvesti do radionice;
- trolejbus s dvojnim pogonom (Bi-mode), koji se u redovitom prometu može kretati i autonomno na trasama gdje nema kontaktne mreže. Drugi izvor energije mogu biti akumulatori ili Dieselov motor s priključenim električnim generatorom(alternatorom);
- trolejbusi s automatskim vođenjem po posebno izrađenoj trasi;
- trolejbusi s daljinskim upravljanjem.

Pogon trolejbusa izvodi se najčešće s jednim vučnim motorom, a rjeđe, u nekih izvedaba zglobnih trolejbusa, s dva vučna motora. Vučni motori su istosmjerni serijski elektromotori ili u novije vrijeme trofazni asinkroni elektromotori, a instalirana snaga po trolejbusu iznosi 110 do 180 kW. Vučna sila pri pokretanju za jednodijelne trolejbuse iznosi 22 ÷ 30 kN, a za zglobne 44 ÷ 52 kN. S povećanjem brzine vučna sila se mijenja, a najveća brzina trolejbusa najčešće je 60 km/h, a rjeđe i do 80 km/h.Vučna sila treba omogućiti ubrzanje trolejbusa u polasku i na usponu od 8% veće od 0,65 m/s^2 te svladavanje uspona od 15%. [3]



Slika 16. Vučna značajka trolejbusa [2]

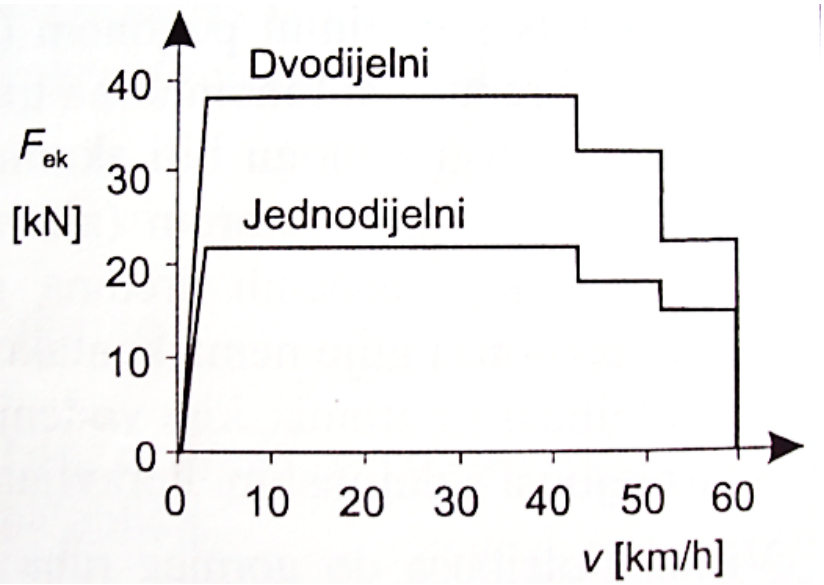
Prema izvedbi regulacije vučne sile i brzine vožnje trolejbusi se izvode:

- s otporničkom regulacijom
- s tiristorima.

Ovisno o izvedbi regulacije mogu se ostvariti ubrzanja trolejbusa do brzina od 0,7 * v_{max} u sljedećim granicama:

- 0,95 ÷ 1,10 m/ s^2 – za trolejbuse s otporničkom regulacijom,
- 1,15 ÷ 1,45 m/ s^2 – za trolejbuse s tiristorskom regulacijom. [2]

Upravljačko mjesto za vozača izvodi se s ručnim i nožnim komandama. Osim kola upravljača koje služi vozaču za određivanje pravca kretanja, ručno se upravlja ručicom za izbor smjera vožnje i ručnom kočnicom.[2]



Slika 17. Kočna značajka električne kočnice trolejbusa [2]

Električna oprema trolejbusa smješta se uglavnom ispod poda u blokovima. Pri planiranju ugradbe električne opreme trebalo bi ispuniti sljedeće zahtjeve:

- oprema treba biti smještena izvan putničkog prostora;
- oprema treba biti smještena tako da bude dostupna za održavanje; najčešće je to smještaj ispod poda s bočnih strana tako da joj se kroz odgovarajuća vratašca može lako prići;
- potrebno je osigurati uvjete za dobru ventilaciju i hlađenje;
- visokonaponsku opremu i instalaciju kvalitetno izolirati prema masi vozila;
- pojedine sklopove smještati međusobno što bliže da bi se skratili električni vodovi;
- rasporedom opreme osigurati ravnomjerno statičko opterećenje nosive konstrukcije.[3]

Upravljački uređaji omogućuju vozaču promjenu i održavanje pravca i smjera kretanja, zadavanje željenih naloga za vuču i kočenje te rad pomoćnih uređaja. Uloga regulacijskih uređaja je ta da postavljene upravljačke naloge automatski reguliraju i održavaju u željenom režimu. [2]

Upravljanje na trolejbusima može biti izvedeno kao:

- izravno upravljanje
- neizravno upravljanje
- neizravno upravljanje sa servouređajem

- neizravno upravljanje s tiristorskom regulacijom.

Izravno upravljanja trolejbusima praktičko se više ne koristi zbog sljedećih nedostataka:

- potrebne su veće sile za upravljanje ručnim i nožnim upravljačkim elementima
- ograničen je broj stupnjeva brzine i vučne sile
- visoki napon je blizu upravljačkih elemenata i vozačkog mjesta

Osnovne prednosti neizravnog u odnosu na izravno upravljanje su sljedeće:

- kontakti u upravljačkom uređaju manjih su dimenzija i za manje snage pa su za njihovo pokretanje potrebne manje sile, tako da vozaču olakšava upravljanje trolejbusom;
- nema visokog napona u upravljačkom uređaju, odnosno u blizini vozača;
- veća mogućnost primjene automatske regulacije.

Neizravno upravljanje s tiristorskom regulacijom i istosmjernim serijskim vučnim motorima predstavlja suvremeno rješenje upravljanja. Vučni motor napaja se preko bloka usmjerivača, filtra za blokadu prenošenja viših harmonika, glavnih pokretača i bloka tiristora.

Neizravno upravljanje sa servouređajem postiže se primjenom elektronske regulacije. Pritom se posebnim elektronskim uređajima raspoređuje stvarna i posebna struja vučnog motora i na osnovi dobivene razlike određuje se djelovanje na servomotor, odnosno na sklopove za vanjski otpor. Mjerenje brzine vožnje elektronski uređaj ima dodatnu mogućnost regulacije struje vučnog motora da bi se postizala željena brzina. [2]

4.3 Metro

Po osnovnim tehničko - eksploatacijskim značajkama razlikuju se metro i regionalni metro, koji predstavljaju zasebne sustave. Metro ima mogućnost prijevoza 35 000 – 60 000 putnika/h, a regionalni metro 65 000 – 100 000 putnika/h. Nekada se smatralo da je donja granica za uvođenje metroa u nekom gradu barem milijun stanovnika, no danas svaki grad ima individualni pristup rješavanju problema javnog gradskog prijevoza putnika. Postoje i ekstremni slučajevi pa neki gradovi već s 500 tisuća stanovnika uvode metro, dok ima i gradova s više od 2 milijuna stanovnika bez metroa.

Kvalitetno rješavanje masovnog prijevoza putnika ipak predstavlja uvođenje metroa. Danas se smatra da je donja granica za uvođenje metroa u nekom gradu između 750.000 i 2.000.000 stanovnika. Pojedina kompozicija metroa može biti sastavljena od najviše šest vozila s ukupno 900 – 1100 mjesta. Najveća brzina vožnje je 60 – 80 km/h. Napajanje je istosmjernom strujom, a može biti preko tračnice kada je napon najčešće 1500V (regionalni metro). [9]

Značajke metroa ovise o specifičnim uvjetima svakog grada, odabranim tehničkim rješenjima za građevinske objekte, izboru vozila i stabilnih postrojenja električne vuče te organizaciji prijevoza. No mogle bi se kao zajedničke značajke navesti sljedeće:

- visina treće (kontaktne) tračnice iznad gornjeg ruba tračnice (GRT) kolosijeka 120-180 mm, a osni razmak od bliže tračnice 330 – 350 mm;
- širina kolosijeka je normalna, tj. 1435 mm;
- širina vozila iznosi 2 400 – 2500 mm;
- najveći usponi pruge su do 40 ‰, a za vozila s gumenim kotačima do 65 ‰;
- najmanji polumjeri zavoja su 75 – 120m;
- širina dvokolosiječnih tunela na ravnim dijelovima 6,75 – 7,60 m, a u postajama13,5-14,5m;
- najmanja visina četvrtastih tunela od GRT iznosi 3500mm, a elipsastih 4500mm;
- visina perona iznad GRT je 850 – 1 100 mm; [9]

Udaljenost između susjednih postaja je najčešće od 800 – 900m

4.3.1 Vozila metroa

Vozila metroa su tračnička vozila specijalno konstruirana i prilagođena za masovni prijevoz putnika u gradskom i prigradskom prijevozu. Kompozicija metroa sastoji se od više vozila (najčešće do 6, a iznimno do 9) koja su uglavnom motorna, a mogu biti i prikolice. Dovoljan broj dvokrilnih vrata omogućuje brzu izmjenu putnika, a kapacitet vozila se povećava većim udjelom stajaćih mjesta za putnike. [2]

Kapacitet pojedinih vozila je oko 160 putničkih mjesta, a masa oko 25 – 27 tona. Ako je kompozicija sastavljena od dvaju vozila, tada je ona nedjeljiva funkcionalna cjelina s upravljačnicama na svakom kraju kompozicije koje omogućuje ravnopravno kretanje u jednom i u drugom smjeru. Kompozicija se može povećati na četiri i šest vozila, odnosno dvije ili tri dvojne kompozicije zajedno sa zajedničkim upravljanjem iz jedne upravljačnice. Najveća brzina vožnje je do 80 km/h, a napajanje je najčešće preko treće tračnice. [9]

4.3.2 Izvedba pogona i regulacija brzine vožnje

Izvedbe pogona i regulacije brzine vožnje vrlo su slične, a u nekim detaljima i iste kao u tramvaja. Regulacija brzine vožnje također može biti s otpornicima i tiristorima. Zbog specifičnosti eksploatacije metroa vozila se svrstavaju u osnovne sastave koji predstavljaju najmanje moguće i nevidljive jedinice u voznoj kompoziciji. Kompozicije nadalje mogu biti sastavljene od dvaju ili više osnovnih sustava. Upravljanje pritom mora biti izvedeno kao višestruko, odnosno da se omogući upravljanje iz vozačke kabine s više vučnih jedinica i cjelokupnom opremom visokog i niskog napona. Vozačke kabine pritom moraju biti na svakom kraju kompozicije da se ravnopravno omogućuje kretanje u oba smjera. [3]

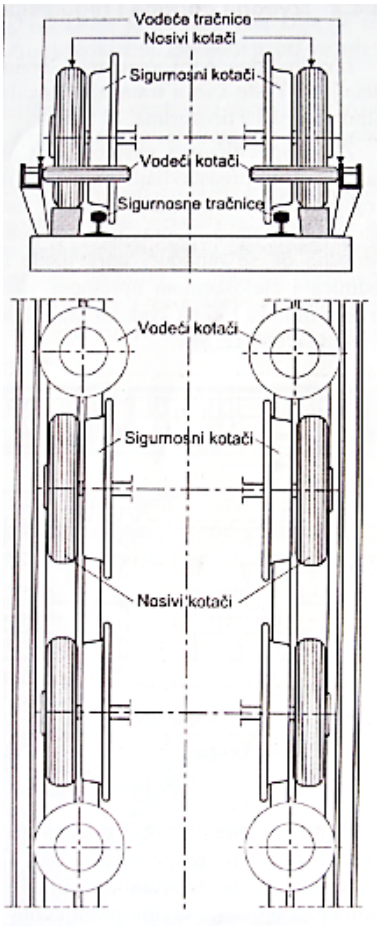
Uzduž kompozicije protežu se električne veze za centralno upravljanje svim vučnim, kočnim i pomoćnim vagonima, vratima, signalizacijom, osvjetljenjem, ventilacijom i grijanjem. Kao i na tramvajima, tako se i na kompozicijama metroa upotrebljavaju suvremena rješenja regulacije brzine vožnje. To je tiristorska regulacija na principu čopera u slučaju primjene istosmjernih vučnih motora te primjenom statičkog pretvarača za napajanje trofaznih asinkronih motora kao najpovoljnije rješenje. Principijelne sheme električnih veza su slične kao i na tramvajima.

4.3.3 Izvedba metroa s pneumatskim kotačima

Posve specifično rješenje čine vozila s pneumatskim kotačima. Njihovu primjenu nametnule su sljedeće značajke:

- manja razina buke pri kretanju, manje vibracije i mekši hod vozila
- veći koeficijent adhezije koji omogućuje razvijanje većih ubrzanja i usporenja

Mogućnost primjene lakše konstrukcije glavnih nosivih sklopova. Vozila takve izvedbe počela su se najprije primjenjivati na nekim linijama pariškog metroa. Masa praznog motornog vagona je 23,6 tona, a masa prazne prikolice 16 t. Ukupna duljina vozila je 15,5 m, a širina 2,4 m. Motorni vagon ima četiri vučna motora s pojedinačnom trajnom snagom 103 kW. Brzina se regulira promjenom vanjskog otpora, slabljenjem uzbudnog polja i prespajanjem vučnih motora iz serijske u serijsko – paralelnu vezu. Najveća ubrzanja iznose 1,3 m/s^2 , a najveća usporenja do 2,1 m/s^2. [3]



Slika 18. Dvoosovinsko okretno postolje s pneumatskim kotačima [2]

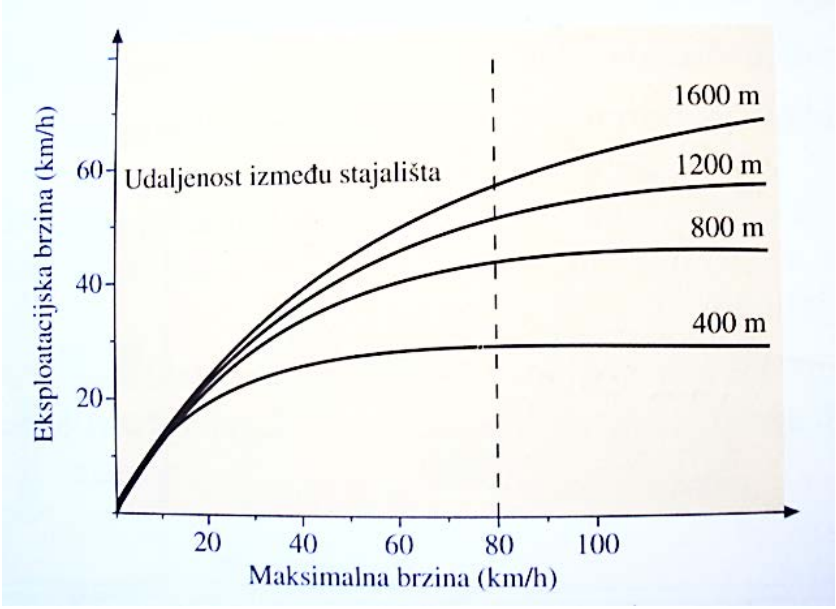
4.4 Laka gradska željeznica (LRT)

Vagoni lake gradske željeznice imaju različit dizajn. Obično su dugi između 25 i 32 metra (premda ima u nekim zemljama i duljih) i širine između 2,3 i 2,7 metara. Premda se mogu povezati u vlakove od 2 do 4 vagona, normalan rad, naročito s cestovnim prometom, planiran je ta jedan. [1]

Posljednjih godina projektiraju se vagoni s niskom platformom. Takav dizajn ima velikih prednosti jer olakšava i ubrzava ulazak i izlazak putnika. Uz vozila:

- s niskom platformom (visina platforme je 160-420 mm iznad tračnica), postoje i vozila
- sa srednje viskom platformom (visina platforme 440-530 mm) i
- s visokom platformom (visina platforme 870 mm)

Cijene vozila povećavaju se spuštanjem platforme. Vozila s viskom platformom, uz to što su jeftinija, pogodna su kada koriste isti put i ista stajališta kao i prigradska željeznica. Udaljenost između stajališta je obično 250 m iznimno do 1 km. Što je veća udaljenost između stajališta, to je veća brzina, ali je manji broj potencijalnih putnika koji mogu lako doći do stajališta. Odnos između maksimalne brzine (obično 85 km/h), eksponencijalne brzine i udaljenosti stajališta prikazan je u dijagramu 1. Ako je udaljenost između stajališta 500 m, brzina vožnje bila bi 30 km/h. [1]



Grafikon 1. Odnos maksimalne i eksploatacijske brzine s obzorom na udaljenost stajališta [1]

5. KOMPARATIVNA ANALIZA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Usporedba električnih vozila javnog gradskog prijevoza ima izuzetno važnu ulogu u smislu planiranja kojem će se vidu prijevoza u gradu predati glavna riječ, te koji će vid javnog gradskog prijevoza vršiti glavnu funkciju u prijevozu putnika. Svako urbano područje ima

svoje karakteristike te svoje posebnosti i nije moguće napraviti univerzalnu analizu te ju primijeniti u svim gradovima. Svaki grad treba zasebno provesti analizu za određeni slučaj te na temelju dobivenih podataka odlučiti te odabrati koja vrsta javnog gradskog prijevoza je najprihvatljivija. U ovom poglavlju najprije će se usporediti značajke sustava zasnovanih na tračnicama.

Tablica 2. Usporedba po značajkama sustava na tračnicama

Značajke	LRT	Metro	Prigradska željeznica
1. Operativne			
maksimalna brzina km/h	70-80	80-100	80-130
operativna brzina km/h	20-40	25-60	40-70
pouzdanost	visoka	veoma visoka	veoma visoka
2. Prijevoznih sredstava			
duljina u metrima	14-32	16-23	20-26
broj putnika	200	250	180
3. Ostale			
međustajališna udaljenost u metrima	300-800	500-2000	2000 +
prosječna duljina putovanja	kratka do srednja	srednja do dugačka	dugačka

Izvor: [1]

Prigradsku željeznicu karakterizira teška oprema, velike brzine, sporo ubrzavanje i usporavanje. Linije su obično dugačke po 40 kilometara i prometuju od terminala do terminala u središnjem poslovnom dijelu grada (CBD)[7]. Karakteristično je da na linijama prigradske željeznice dolazi do velike neravnomjernosti protoka putnika što se naročito događa u vrijeme „špice“. Usluga prigradske željeznice pogodna je za putnike koji svakodnevno odlaze na posao, te se u svijetu naziva i *redovna željeznica.* Zbog velike brzine i dugačkih pravaca, operativni troškovi po putničkom kilometru su niski. [1]

5.1 Usporedba načina prijevoza neelektričnih vozila u gradovima

Provedena su mnoga istraživanja koja su trebala objektivno usporediti načine prijevoza putnika vlakom i autobusom. Namjera istraživanja je definirati razine usluge za alternativna rješenja koja bi se uspoređivala glede: [1]

- brzine

[7] Central Business District

- frekvencije
- kapaciteta sjedala

Procjena zasnovana na zbroju operativnih troškova, troškova vozila izgradnje infrastrukture. Saznanja su sljedeća:

- vožnja automobilom najjeftinija je pri prometu 5 000 putnika na sat;
- vožnja autobusom najjeftinija je pri prometnom volumenu 10 000 putnika na sat;
- željeznica sa sabirnim autobusima i podzemnom željeznicom u središtu grada jeftinija je pri velikoj gustoći stanovništva i pri prometu od najmanje 40 000 putnika na sat. [1]

Vožnja vlakom je jeftinija pri većim prometnim protocima i superiornija pri prometnom toku većem od 12 000 putnika na sat. Autobusi prometuju u gradovima najjeftiniji su pri niskim razinama potrošnje, dok su autobusi koji prometuju na posebnim linijama pri višim razinama. U nastojanju da se izvedu zaključci iz tih podataka načinjene su usporedbe prijevoza putnika vlakom i autobusom promatrajući:

- kapacitet putnika
- brzinu
- troškove

Postoje tri glavne kategorije troškova potrebnih za instaliranje i rad željezničke ili autobusne linije. To su:

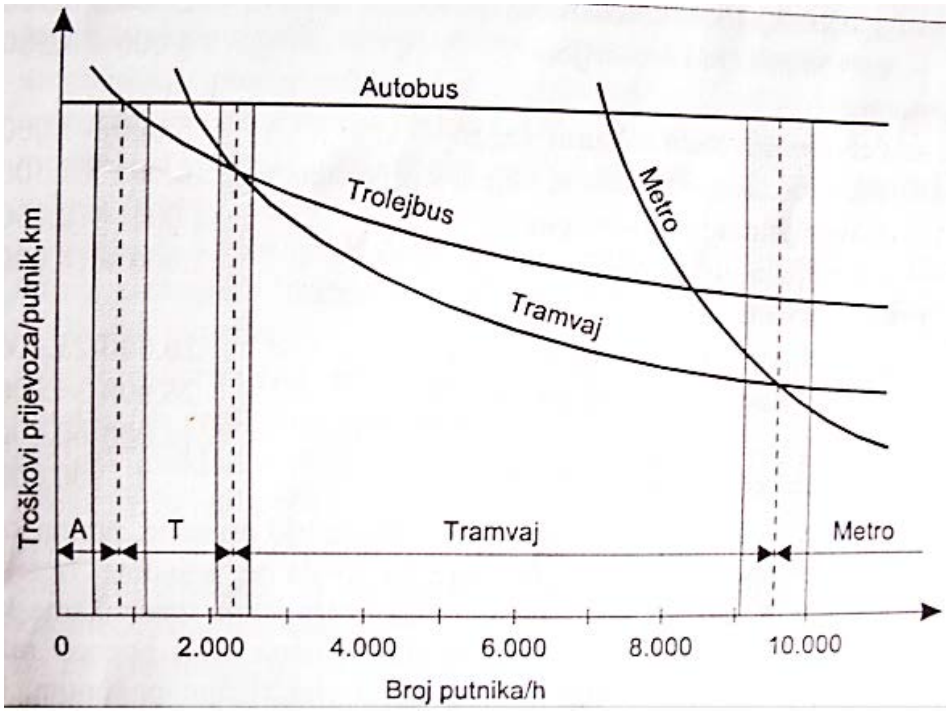
- trošak izgradnje
- cijena vozila
- operativni trošak

5.2 Opravdanost primjene vozila za javni gradski prijevoz

S ekonomskog gledišta motrište primjene pojedinih vrsta vozila za javni gradski prijevoz potrebno je uzeti u obzir sve troškove koji utječu na ukupne godišnje troškove po prevezenom putniku i prijeđenom putu. To su: [2]

- pogonski troškovi, koje čine troškovi energije, radnog osoblja i održavanja. Ti troškovi su promjenjivi, odnosno ovise o broju prevezenih putnika i prijeđenom putu,

- troškovi investicijskih ulaganja, koji predstavljaju fiksne troškove. Oni obuhvaćaju troškove nabavke vozila, troškove elektrifikacije trase, gradnju stabilnih postrojenja za napajanje kontaktne mreže električnom energijom, troškove gradnje trasa i pruga te troškove rashodovanja vozila.



Slika 19. Opravdanost primjene pojedinih vrsta vozila [2]

Primjena autobusa (A) ekonomski je opravdana za prijevoz do približno 750 putnika po satu (500-1200). Za veći broj putnika, do približno 2 200 po satu (2 100-2 500) ekonomski je opravdana primjena trolejbusa (T). Z veći broj putnika postaje opravdana primjena tramvaja. Za primjenu metroa granice mogu biti vrlo široke, a ovse o složenosti i cijeni trase na kojoj se metro uvodi. Prosječno iznosi iznad 9 000 putnika po satu. No, nisu samo ekonomski kriteriji odlučujući u odabiru vrste vozila. Veliko značenje imaju sigurnost, brzina, točnost i udobnost.

5.3 Razlike vozila pogonjena Dieselovim motorima s obzirom na električna vozila za javni gradski prijevoz

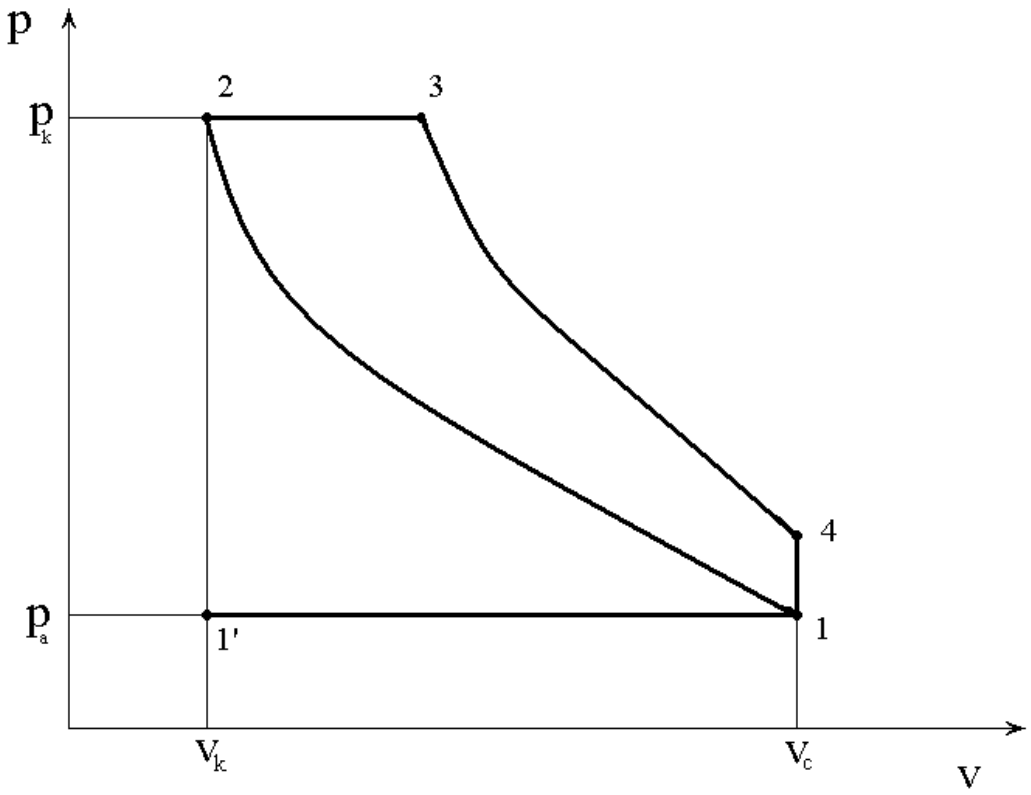
Osnovne razlike vozila pogonjena Dieselovim motorima s obzirom na električna vozila su: [2]

1. snaga je određena snaga ugrađenog Dieselova motora;

2. neophodna je ugradba transmisije, odnosno prijenosnika snage zbog nepovoljne brzinske značajke Dieselova motora za izravan pogon;
3. veća masa po putničkom mjestu, viša cijena i složenija konstrukcija zbog ugradbe Dieselova motora i prijenosnika snage;
4. radijus kretanja određen je veličinom spremnika za gorivo i potrošnjom goriva Dieselova motora;
5. manji su početni investicijski troškovi jer nije potrebna elektrifikacija trase;
6. već buka i emisija štetnih komponenata;
7. manja energetska korisnost.

Električna vozila za javni gradski prijevoz najčešće su primjenjivana prijevozna sredstva za brzi i masovni prijevoz putnika u urbanim sredinama. To proizlazi iz prednosti koje ta vozila imaju u odnosu na druga, vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem, a mogu se prikazati njihovim osnovnim tehničko – eksploatacijskim značajkama: [3]

- pogodna vučna značajka elektromotora, to znači da pri malim brzinama elektromotor ostvaruje velike okretne momente, a s povećanjem brzine okretni moment se smanjuje. Stoga ta vozila ne zahtijevaju poseban prijenosnik snage koji bi služio za transmisiju okretnog momenta. Imaju širok opseg reguliranja okretnog momenta i brzine vožnje;
- mogućnost preopterećenja u kratkotrajnim režimima vuče, što omogućuje veća ubrzanja i lakše svladavanje uspona;
- mogućnost spajanja više vučnih vozila i njihovo upravljanje s jednog mjesta;
- primjena električnog kočenja. Time se smanjuje opterećenje i trošenje tarnih elemenata zračne kočnice, što smanjuje zahtjeve i troškove u održavanju vozila;
- mogućnost primjene automatike u svim segmentima rada vozila;
- upravljanje vozila je jednostavno i lako;
- ekološki prikladan oblik prijevoza jer ne emitira štetne plinove izgaranja i stvara vrlo malu buku;
- veća energetska korisnost. Promatrajući jednog prevezenog putnika i jedan prijeđeni kilometar, tramvaj koristi 2,5 puta manje energije nego autobus, a čak do 25 puta manje od osobnog automobila.



Slika 20. Dijagram teorijskog Dieselova procesa [18]

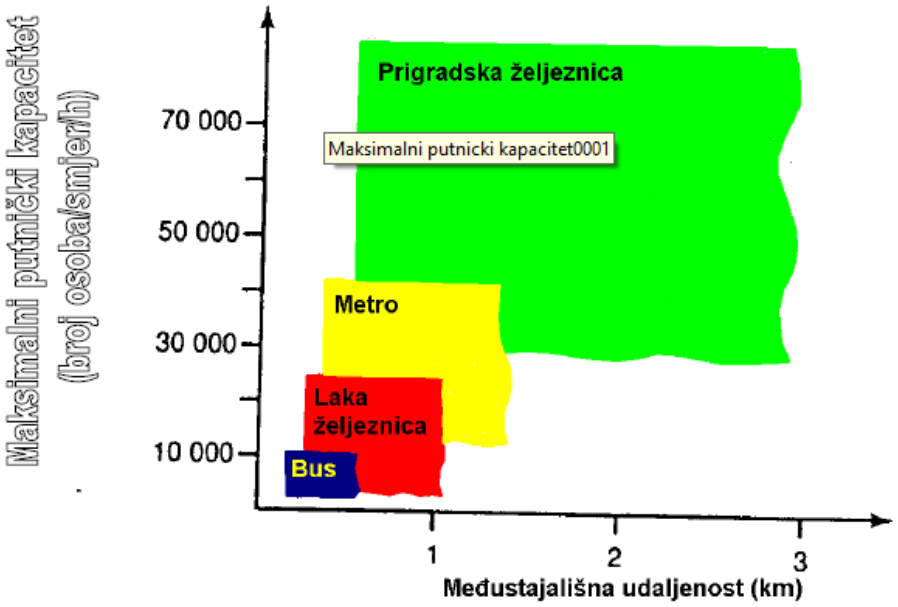
5.4 Maksimalan kapacitet prijevoza putnika i udaljenost stajališta

Promatrajući vozila za javni gradski prijevoz najveći prijevozni kapacitet posjeduje prigradska željeznica, zatim metro sustav, pa laka željeznica te autobusni prijevoz.

Međustajališna udaljenost ovisi o:

- o lokalnoj topografiji;
- o vrsti i načinu korištenja zemljišta unutar područja koje gravitira određenom stajalištu;
- o prihvatljivoj udaljenosti koja se može proći pješice;

Optimalno vrijeme putovanja svedeno je na najmanju mjeru kada su stajališta postavljena na udaljenosti od 550 m. [1]



Slika 22. Maksimalan kapacitet prijevozna putnika [1]

Stajališta moraju biti postavljena duž cijele linije na odgovarajućim mjestima, ako trasa nije odvojena od ostalog prometa, preporuča se da budu smještena poslije raskrižja kako bi se smanjilo vrijeme čekanja te povećala propusna moć.

Tablica 3. Međustajališna udaljenost s obzirom na gustoću naseljenosti[1]

Područje	Međustajališna udaljenost u metrima
1. u središtu grada	250-550
2. u perifernoj zoni	500-750
3. u prigradskoj zoni	600-1500

Izvor: [1]

Većina stajališta trebala bi imati minimalnu opremu sa sjedalima i informativnim stupom. Ako stajališta nisu u razini ulice te putnici moraju svladati stepenicu pri ulasku ili izlasku iz vozila, postaju velik problem za starije osobe, invalide, djecu te ljude s kolicima i prtljagom. Posljedica je dulje vrijeme čekanja na ulazak i izlazak putnika. [1]

6. RAZVOJNE MOGUĆNOSTI EKSPLOATACIJSKIH KARAKTERISTIKA ELEKTRIČNIH VOZILA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Glavni konkurent javnom prijevozu putnika za sve tehnologije putovanja (gradska, međugradska i ruralna) jest privatni automobil. Ako se želi povećati korištenje vozila javnog prijevoza, on mora popraviti sljedeće značajke: [1]

- praktičnost
- imidž
- informacija
- sigurnost

Praktičnost obuhvaća da se pružanje usluge mora protezati do odredišta do kojega putnik želi putovati, po mogućnosti bez presjedanja. Vrlo je važno da sustav za javni prijevoz putnika bude prilagođen korisnicima, u tom kontekstu treba se popraviti nekoliko segmenata:

- veća učestalost usluge, kao i cijena vožnje za određene pravce moraju biti lako dostupni, jasno predočeni i ažurirani;
- informacija u „real timeu“ mora biti dostupna putnicima na stajalištima kao i prijevoznom sredstvu
- detalji o prethodnim rezervacijama trebaju biti jasno predstavljeni

Svi putnici bi se trebali osjećati sigurnima pri korištenju vozila javnog prijevoza. Taj problem osobito je naglašen činjenicom da na mnogim stajalištima nema voznog osoblja. Objekti javnog prijevoza, uključujući i pristupne putove, moraju biti dobro osvijetljeni i neprestano praćeni kamerama kako bi se smanjio rizik od napada na putnike, a istovremeno da putnicima daje osjećaj sigurnosti. [1]

6.1 Poboljšanja u izvedbi tramvaja

Električna vozila za javni gradski prijevoz u budućnosti će imati sve veći značaj u prijevozu putnika zbog svojih velikih prednosti koje imaju u usporedbi s autobusom te osobnim automobilom. Međutim, električna vozila također trebaju težiti poboljšanju svojih prijevoznih te tehničko – eksploatacijskih karakteristika kao bi se sve veći broj korisnika prijevoza odlučivalo upravo za tu vrstu prijevoza. U razvoju vozila za javni gradski prijevoz putnika mogu se očekivati sljedeće tendencije: [2]

- bolje tehničko – eksploatacijske značajke koje se mogu ostvariti inovacijama u konstrukciji karoserije, pogonskih strojeva, mehaničkih i električnih sklopova, prijenosnika snage, voznog stroja te upravljačko – regulacijskih uređaja;
- primjena lakih materijala u konstrukciji smanjene težine vozila po putničkom mjestu;
- povećanje atraktivnosti za putnike udovoljavanjem ergonomskim kriterijima u putničkom prostoru vozila, niski pod koji omogućuje lak ulazak i izlazak putnika, smanjenje buke, bolja toplinska izolacija, kvalitetnija ventilacija i grijanje, odnosno primjena klima uređaja te kvalitetni informacijski sustav;
- veći dio elektronike i viša razina primjene automatskog upravljanja i regulacije glavnih i pomoćnih pogona;
- opremanje električnih vozila za induktivnu vezu s kolosijekom za daljinsko upravljanje skretnicama i svjetlosnim signalima, za identifikaciju vozila na mreži linija i njihovo uklapanje u složeni sustav informacija, organizacije i upravljanja prometom.

U Republici Hrvatskoj, zasada jedini predstavnik električnih vozila za javni gradski prijevoz je tramvaj, te je najzanimljivije promatrati u koje smjeru ide poboljšanje voznih te tehničko – eksploatacijskih karakteristika baš te vrste vozila. Zglobna izvedba tramvaja predstavlja suvremeno rješenje zbog toga što omogućuje povećanje broja putničkih mjesta po jedinici duljine i pritom čini kompaktnu cjelinu. Prikladni su za linije na kojima se prevozi veliki broj putnika u jedinici vremena. Izvedbe su moguće s jednim ili više zglobova, a duljina može biti i do 35 m. [2]

Suvremenim konstrukcijama tramvaja nastoji se povećati broj putničkih mjesta i smanjiti težina po jedinici duljine. Da bi se smanjila težina tramvaja, izvodi se lakša konstrukcija i ugrađuju lakši materijali, a jednu od mogućnosti predstavlja uvođenje pojedinačnih osovina umjesto okretnih postolja ispod zglobova tramvaja. Pri prolazu tramvaja

zavojem osovine se postavljaju radijalno čime se izbjegava veliki kut naleta grebena kotača u tračnicu. [3]

Najnovije rješenje predstavlja niskopodni tramvaj. To je tramvaj čiji se pod nalazi na visini oko 20 cm. Ulazak u takve tramvaje je znatno olakšan te omogućuje bržu izmjenu putnika. Niskopodni tramvaji osobito su prikladni za invalide, trudnice, djecu i starije ljude. Da bi se mogao izvesti tako nisko, vozni stroj se izvodi bez klasičnih postolja. Kotači su pojedinačno pogonjeni i međusobno neovisni, odnosno bez osovina. Električna oprema za regulaciju pogona smještena je na krovu vozila. [2]

6.2 Sustavi s jednom tračnicom (Monorail)

Zbog sve većeg problem zagušenosti i nedostatka prostora koji se javlja gotovo u svim većim gradovima, budućnost javnog gradskog prijevoza svakako je u nadzemnim ili podzemnim sustavima koji bi naravno bili potpuno izdvojeni, te nebi zauzimali dodatan prostor u gradovima. Kao moguće rješenje također se razmatraju jednotračnički viseći ili naliježući sustavi.

- viseći sustavi, u kojima se vozilo/vagon nalazi obješen na gornju vodilicu;
- naliježući sustavi u kojima vozilo/vagon naliježe na vodilicu

Slika 23. Monorail [19]

Viseći sustavi su obično neekonomičji, naročito u prometovanju kroz tunele. Postoji teorija da više narušavaju prostor budući da je visina vodilice i vozila oko 4 m. naliježeći sustavi uvode se u luna-parkovima i linijama za zračne luke, gdje je potrebna velika brzina. Primjer naliježećeg sustava je Maglev sustav koji je uveden na zračnu luku Birmingham u Velikoj Britaniji 1984. godine. Danas ga imaju gotovo sve različite zračne luke. To je lebdeći sustav gdje sila između magneta i potporne tračnice omogućuje da se održi visina od 15 mm. Postiže makismalnu brzinu 50 km/h s ubrzanjem od 17 do 18 m/s^2. Pri pojavi električne energije, vozilo prestaje lebdjeti i sigurno se spušta na tračnicu. [1]

6.3 Inovativne tehnologije

Oduvijek je postojalo zanimanje za pronalaženje novih koncepcija tehnoloških rješenja prometnih problema pomoću inovativnih tehnologija vezanih za prijevoz putnika u gradovima. Postoji ideja osobnog brzog javnog prijevoza (personal rapid transit – PRT) koji ima cilj pružanja usluge javnog prijevoza koja će biti konkurentna osobnom automobilu, dosežući njegove prednosti:

- prisutan svugdje u gradu;
- polazi u bilo koje vrijeme, nema stalnog voznog reda;
- nema usputnih stajališta ili prekrcaja putnika;
- prosječna brzina je velika i prometuje „od vrata do vrata“;
- mogućnost isključivosti korištenja vozila, znači da ne vozi druge putnike.

Postoji podudarnost između PRT-a (osobnog brzog javnog prijevoza) i naprava za prijevoz putnika. Od PRT-a se očekuje da ponudi prijevoz po čitavom gradu, a od tih prijevoznih sustava očekuje se da ubrzaju i zamijene pješačenje do konvencionalnih načina prijevoza. Postižu brzinu 10 do 16 km/h s čekanjima, što se smatra prikladnim za korištenje. Uređaji za prijevoz putnika pogodni su za centre opterećene velikom gustoćom, poslovne četvrti, zračne luke, sajmove ili zabavne parkove. [1]

Mehanički, postoje dva tipa:

1. pokretna traka koja je neprestano u pokretu na koju putnici staju u bilo koje vrijeme i bilo gdje

- ako se pođe od pretpostavke da se putnici u javnom gradskom prometu prevoze pokretnim trakama postavljenim duž linije u oba smjera, nastao bi idealizirani model linije koji bi najbolje odgovarao putnicima jer je traka stalno u pokretu. U tom slučaju bio bi neprikladan ulazak i izlazak putnika, a na traci bi se postigao jednoličan tok čiji bi intenzitet u pojedinim točkama bio različit.

2. automatizirani vođeni javni prijevoz (AGT) – zapravo su mala vozila koja rade na vodilicama s automatskom kontrolom. Analogna su pokretnim stepenicama i dizalu.

- sustav pravaca prometovanja obično je vrlo jednostavan. Često imaju samo jednu liniju s dva terminala, a vozila prometuju klizanjem naprijed i natrag. Mogu postojati jedna ili dvije tračnice, ali uobičajeni projekt je jednosmjerna petlja. [1]

Slika 24. Pokretna traka – zračna luka London. [19]

7. ZAKLJUČAK

Od 1860. godine i prvog tramvaja u Londonu, prvog metro sustavu također u Londonu 1863. godine, te prvog trolejbusa u Berlinu 1882. godine pa do danas, električna vozila za javni gradski prijevoz prošla su dug put razvoja i poboljšanja svojih karakteristika, kako bi postala što pristupačnija korisnicima u manjim i velikim gradovima.

Problem prometa u gradovima je sve izraženiji u posljednja dva – tri desetljeća zbog urbanizacije, sve većeg broja osobnih vozila u gradu, također problem površina za parkiranje. Iz tog razloga sve veću odgovornost u rješenju navedenih problema treba preuzeti javni gradski prijevoz, posebice metro sustav tako gdje je to moguće, ili tramvaji odnosno trolejbusi. Korisnicima treba omogućiti izrazite alternative automobilu kako ga ne bi koristili, te će samim time prometna zagušenja biti manja.

Kod električnih vozila javnog gradskog prijevoza u budućnosti se najviše treba raditi na: poboljšanju osnovnih tehničko – eksploatacijskih karakteristika, primjenom lakih metala smanjiti težinu vozila, povećati atraktivnost za putnike, jer htjeli mi to priznati ili ne uz kvalitetu usluge i „pakiranje prodaje proizvod“ te će se putnici sigurno češće odlučiti za električna vozila za javni prijevoz ako će ona ergonomski udovoljavati zahtjevima korisnika.

Zbog nedostatka prostora u gradovima u trendu su podzemni i nadzemni sustavi prijevoza putnika, taj trend će se u budućnosti svakako i povećavati. Podzemni sustav je skup, što se tiče iskapanja, ventilacije te osvjetljenja, ali jedino on uz nadzemne sustave prijevoza putnika ima perspektive u budućnosti, kako bi se smanjile gužve, te popravilo „lice“ grada. Nečistoća zraka jedan je od velikih problema u gradovima, te su električna vozila javnog gradskog prijevoza (uz korištenje bicikla tamo gdje je moguće) jedino dugoročno rješenje gledano sa ekološkog aspekta.

U budućnosti treba raditi na što boljoj sinkronizaciji prometnih grana, te omogućiti korisnicima koji na posao dolaze iz prigradskih područja, brz i siguran prijevoz od kuće do mjesta na kojim rade kako se ne bi odlučivali u grad dolaziti osobnim automobilom. Povećanje broja korisnika javnog gradskog prijevoza, te bolje usklađivanje prometnih grana moraju biti glavna zadaća u budućnosti, jer ako i cijena je malo skuplja, to nije problem kada korisnik ima kvalitetu uslugu.

8. LITERATURA

[1] Štefančić G., : Tehnologija gradskog prometa I, Zagreb, 2008.

[2] Zavada J., : Vozila za javni gradski prijevoz, Zagreb, 2006.

[3] Zavada J., : Prijevozna sredstva, Zagreb, 2000.

[4] Povijest trolejbusa u gradu Rijeci, http://www.autotrolej.hr/, (29.07.2015.)

[5] Žičara u gradu Zagrebu, http://www.zet.hr/ (26.07.2015)

[6] http://www.britannica.com/technology/streetcar (26.07.2015.)

[7] Povijest trolejbusa, http://www.svastara.rs/info/trolejbus-star-130-godina (26.07.2015)

[8] Podaci dobiveni iz ZET-a, srpanj, 2015.

[9] Dinić, D., Metro i sistemi za masovni prijevoz putnika, SF, Beograd, 1991.

[10] Sertić A.; Elektrotehnika u tehnologiji prometa i transporta, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.

[11] Županović I.; Tehnologija cestovnog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1994.

[12] Dinić, D.; Električna vozila za javni gradski putnički prijevoz, SF, Beograd, 1986.

[13] www.zeljeznice.net (29.07.2015.)

[14] http://www.gripe.hr/index.php (26.07.2015)

[15] http://www.zvono.eu/ (26.07.2015.)

[16] http://www.svastara.rs/info/trolejbus-star-130-godina (26.07.2015)

[17] http://www.britannica.com/technology/ (27.07.2015)

[18] http://www.hatz-cro.com/ (30.07.2015.)

[19] http://www.themoscowtimes.com/news/article/monorail/ (31.07.2015.)

Popis slika

[1] Trolejbus u Rijeci (www.zeljeznice.net)

[2] Trolejbus u Splitu (http://www.gripe.hr/index.php)

[3] Iskapanje za podzemnu željeznicu u Londonu 1863. godine. (http://www.zvono.eu/)

[4] Prvi trolejbus, Berlin, 1882.godine (http://www.svastara.rs/info/trolejbus-star-130-godina)

[5] Vučna značajka istosmjernog serijskog elektromotora

[6] Okretni moment trofaznog asinkronog motora

[7] Tramvaj TMK 2200

[8] Trolejbus u Beogradu

[9] Trolejbus u Leedsu (UK)

[10] Shema kompozicije metroa sastavljene od dvaju vozila

[11] Metro u Dubaiu, Izvor: http:www. http://dubaimetro.eu/

[12] LRT, Minnesota (USA), Izvor: http://www.britannica.com/technology/

[13] Vučne značajke tramvaja

[14] Troosovinski trolejbus

[15] Dvoosovinski trolejbus

[16]Vučna značajka trolejbusa

[17] Kočna značajka električne kočnice trolejbusa

[18] Dvoosovinsko okretno postolje s pneumatskim kotačima

[19] Dijagram teorijskog Dieselova procesa, Izvor: http://www.hatz-cro.com/

[20] Maksimalan kapacitet prijevozna putnika

[21] Maksimalan kapacitet prijevozna putnika

[22] Monorail, Moskva; http://www.themoscowtimes.com/news/article/monorail/

[23] Pokretna traka – zračna luka London. http://www.heathrow.com/

Popis tablica

[1] Specifikacije tramvaja TMK 2200

[2] Usporedba po značajkama sustava na tračnicama

[3] Međustajališna udaljenost s obzirom na gustoću naseljenosti

Popis grafikona

[1]Grafikon 1.Odnos maksimalne i eksploatacijske brzine s obzorom na udaljenost stajališta

Popis kratica

RH	Republika Hrvatska
UK	United Kingdom (Ujedinjeno Kraljevstvo)
LRT	light rail transit

Prilozi:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Analiza tehničko - eksploatacijskih karakteristika električnih vozila javnog gradskog prijevoza.

Autor: Mario Lukec
Mentor: dr. sc. Željko Šarić

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Analysis of Technical - Exploitation Characteristics for Electric Vehicles for Public Traffic

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Goran Zovak , predsjednik
- dr. sc. Željko Šarić mentor
- mr. sc. Ivo Jurić , član
- prof. dr. sc. Marijan Rajsman , zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu
Zavod: Zavod za gradski promet
Vrsta studija: sveučilišni
Naziv studijskog programa: Promet
Stupanj: preddiplomski
Akademski naziv: univ. bacc. ing. traff.
Datum obrane završnog rada: **15.09.2015.**

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza tehničko - eksploatacijskih karakteristika električnih vozila javnog gradskog prijevoza**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 07.09.2015.

(potpis)