Uloga metro sustava u gradskom prometu

Puljić, Drago

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:645194

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Drago Puljić

ULOGA METRO SUSTAVA U GRADSKOM PROMETU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ULOGA METRO SUSTAVA U GRADSKOM PROMETU

ROLE OF THE METRO SYSTEM IN URBAN TRANSPORT

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr. sc. Marko Slavulj

Student: Drago Puljić JMBAG: 0135228631

Zagreb, rujan 2016.

SAŽETAK:

Metro sustav je izrazito izdvojeni nadzemno-podzemni podsustav javnog prijevoza putnika koji prvenstveno ima namjeru opsluživati putnike unutar središta grada, iako novi sustavi imaju linije koje se šire u predgrađu. Metro sustav u gradovima uvelike poboljšava mobilnost i kvalitetu života građana, smanjuje prometnu zagušljivost, zagađenost i buku (koja i dalje postoji, ali je općenito manja). Također metro u slučaju podzemne trase ne utječe mnogo na sami izgled grada, dok u slučaju nadzemne trase mnogi ljudi smatraju da su takve nadzemne strukture pozitivan dodatak vizualnom okolišu.

KLJUČNE RIJEČI: gradski promet, prijevoz putnika, metro sustav

SUMMARY:

Metro system is extremely isolated overground - underground sub-system of public transport of passengers which primarily intends to serve travelers in the center of town , although the new systems have lines that are spread in the suburbs . Metro systems in cities greatly enhances the mobility and quality of life of citizens , reducing stuffiness traffic , pollution and noise (which still exists , but is generally less) . Also in the case of underground metro route does not affect much the appearance of the city itself , while in the case of above-ground route , many people find that such overhead structures positive addition to the visual environment .

KEY WORDS: city transport, public transport, metro system

SADRŽAJ

1 UVOD 1

2 POVIJEST I RAZVOJ METRO SUSTAVA 3

3 ULOGA METRO SUSTAVA U GRADSKOM PROMETU 7

3.1 METRO SUSTAV 7

3.1.1 ELEMENTI TRASIRANJA I IZVEDBE 8

3.1.2 KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA IZVEDBE METROA 10

3.1.3 KONSTRUKCIJE GORNJEG USTROJA PRUGE 13

3.1.4 POSTAJE METROA I PERONI 13

3.1.5 KONTAKTNA MREŽA 15

3.1.6 VOZILA METROA 16

3.2 ESTETSKI UTJECAJ 19

3.3 EKOLOŠKI UTJECAJ 21

4 GEOMETRIJSKI OBLICI MREŽE METROA 23

4.1 VRSTE MREŽA 23

4.2 VELIČINA I OBLIK MREŽE 26

4.3 TOPOLOGIJA MREŽE 29

4.4 ODNOS MREŽE METRO I GRADA 32

4.5 POKAZATELJI PROCJENE METRO-MREŽE 34

5 USPOREDBA METROA SUSTAVA S OSTALIM NAČINIMA PRIJEVOZA 35

5.1 TROŠKOVI RAZLIČITIH OBLIKA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA 35

5.2 KAPACITET I PRIJEVOZNA MOĆ 38

5.3 PROMETNA BRZINA 40

5.4 MEĐUSTAJALIŠNA UDALJENOST 41

6 PRIMJERI METRO SUSTAVA U GRADOVIMA 43

6.1 BUDIMPEŠTANSKI METRO 43

6.2 PARIŠKI METRO 45

6.3 BERLINSKI METRO 46

7 ZAKLJUČAK 48

LITERATURA 50

POPIS SLIKA 51

POPIS TABLICA 51

POPIS GRAFIKONA 51

1 UVOD

Danas su gradski i prigradski sustavi podzemnih željeznica sasvim uobičajena stvar u svjetskim metropolama i život bi bez njih praktički bio nezamisliv ili barem znatno usporen i otežan. Stoga činjenica da je prva takva trasa nastala ne iz nužnosti, već iz interesa ranih željezničkih kompanija, zvuči pomalo besmisleno i anakrono. Sama ideja o izmještanju željezničkih linija s površine intenzivirala se zalaganjem jednog istinskog vizionara Charlesa Pearsona, koji je još u rano viktorijansko doba, koncem tridesetih godina devetnaestog stoljeća, uočio kako bi upravo takvi sustavi bitno olakšali transport putnika između gradskog središta i u to vrijeme nastajućih vrtnih predgrađa, te posebno između pojedinih kolodvora među kojima još nije bilo nikakvih međusobnih pružnih veza.

Naslov završnog rada je: Uloga metro sustava u gradskom prometu. Završni rad se sastoji od sedam cjelina:

1. Uvod
2. Povijest i razvoj metro sustava
3. Uloga metro sustava u gradskom prometu
4. Geometrijski oblici mreže metroa
5. Usporedba metro sutava s ostalim načinima prijevoza
6. Primjeri metro sustava u gradovima
7. Zaključak

U poglavlju povijest i razvoj metro sustava opisan je sami početak, način i metode gradnje metro sustava te razvoj metro sutava od vlakova vučenih sajlama sve do današnjih vlakova kojima je upotrebom moderne tehnologije omogućuno potpuno automatizirano upravljanje.

Treće poglavlje bazira se na ulozi metro sustava u gradskom prometu, pojedinostima samog metro sutava kao što su elementi projektiranja, konstruktivna riješenja, postaje metroa, vozila metroa i sl. Te obuhvaća još ekološki i estetski utjecaj metro sustava na grad i stanovnike grada.

Četvrto poglavlje Geometrijski oblici mreže metro proučava i opisuje vrstu, veličinu, oblik, topologiju mreže, odnos mreže metroa i grada te pokazatelje procjene metro mreže.

U petom poglavlju uspoređeni su različiti oblici javnog gradskog prijevoza kroz troškove, kapacitet, prijevoznu moć, prometnu brzinu i međustajališnu udaljenost.

U šestom poglavlju dani su primjeri metro sutavima u gradovima: Budimpešta, Pariz i Berlin.

2 POVIJEST I RAZVOJ METRO SUSTAVA

Povijest metro sustava započinje Londonskim metrom (engleski: *London Underground* ili "the Tube"). Londonski metro je sustav gradskog prijevoza električnom željeznicom, koji djeluje kako nad tako i ispod zemlje londonskog metropolskog područja. To je najstariji sustav podzemne željeznice na svijetu. Prva linija otvorena je 10. siječnja 1863. godine. Postoje 274 stanice i 408 km aktivnih linija. U razdoblju 2004. - 2005. metroom je proputovalo rekordnih 976 milijuna ljudi, odnosno 2,76 milijuna na dan.

Prvih desetljeća 19. stoljeća, sa industrijskim razvitkom i porastom broja stanovnika, u Londonu se javlja ozbiljan problem sa prijevozom. Za ovaj rastući problem javilo se jasno riješenje – razvitak podzemne željeznice. U to vrijeme, u Britaniji i širem području Londona radio je niz željezničkih poduzeća. Prvo poduzeće koja je počelo sa izgradnjom bilo je *Metropolitan Railways*.

Metoda koji je u početku korištena je bila, sa današnje točke gledišta, krajnje neefikasna iako naizgled jednostavna. Nakon trasiranja linije pristupalo se izgradnji. Odgovarajuća ulica, ispod koje je podzemna trebala prolaziti, bila bi iskopana do određene dubine. Nakona toga postavljane su šine i građen tunel od cigli. Po završetku izgradnje tunel se ponovo zakopavao. Metoda je poznata kao "cut-and-cover".

Prva trasa bila je između Pedingtona i ulice Feringdon i bila je duga oko 4 kilometara. Opsluživali su je parni vlakovi (parni vlakovi će ostati u upotrebi sve do 1971.) koji su išli na svakih deset minuta. Već prvog dana 40.000 ljudi se prevezlo ovim novim prijevoznim sustavom. Uvidjevši očiglednu isplativost ove ideje niz drugih željezničkih poduzeća se priključilo u nadolazećim godinama. Slijedeća trasa bila je između Westminstera i Južnog Kensingtona. Ove dvije prve trase će se kasnije povezati i zajedno sa drugim dijelovima one oformljavaju današnju Kružnu liniju. Dakle, isti tuneli su još uvijek u upotrebi. Za prelazak preko Temze, od 1869. u upotrebi je tunel ispod same rijeke koji su izgradili otac i sin Brunel. Bio je to prvi tunel takve vrste na svijetu. Uskoro je otvorena još jedna linija sa tunelom ispod Temze – između Towera i Bermondzija. Ovu liniju su opsluživali vagoni vučeni sajlama.

Daljnjim razvitkom sustava, mane “cut-and-cover” metoda postajale su sve očiglednije. Zatvaranje prometnica za vrijeme radova izazivalo je ogromne prometne kolapse. Rad je bio izuzetno naporan i bilo je potrebno transportirati tisuće tona suvišne zemlje.

Osim ovih mana, pojavila se i jedna značajnija. Naime, budući da su svi tuneli bili na približno istoj maloj dubini, usložnjavanjem sustava podzemnih linija ostajalo je sve manje mijesta za trasiranje bez presijecanja postojećih linija što bi učinilo sistem neefikasnim jer bi bilo potrebno zaustavljati vlakove zbog križanja. Riješenje je bilo u upotrebi treće dimenzije. Ovim se otvara nova etapa - izgradnja dubinskih podzemnih linija.

Inžinjeri su koristili relativno postojan sloj gline u zemljištu na dubini od približno 20 metara. Posebni strojevi su korišteni za iskopavanje uskih tunela (najčešće dva paralelna na malom razmaku) u koje bi onda bili umetani čelični prstenovi i prerađeni čelični ili betonski elementi. Odatle i potiče popularan i opće prihvaćen naziv – *The Tube* (zbog karakterističnog oblika tunela). Ovakav način izgradnje je daleko brži i ne ometa normalno odvijanje prometa.



Slika 1. Karakterističan oblik tunela - The Tube

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Londonski_metro

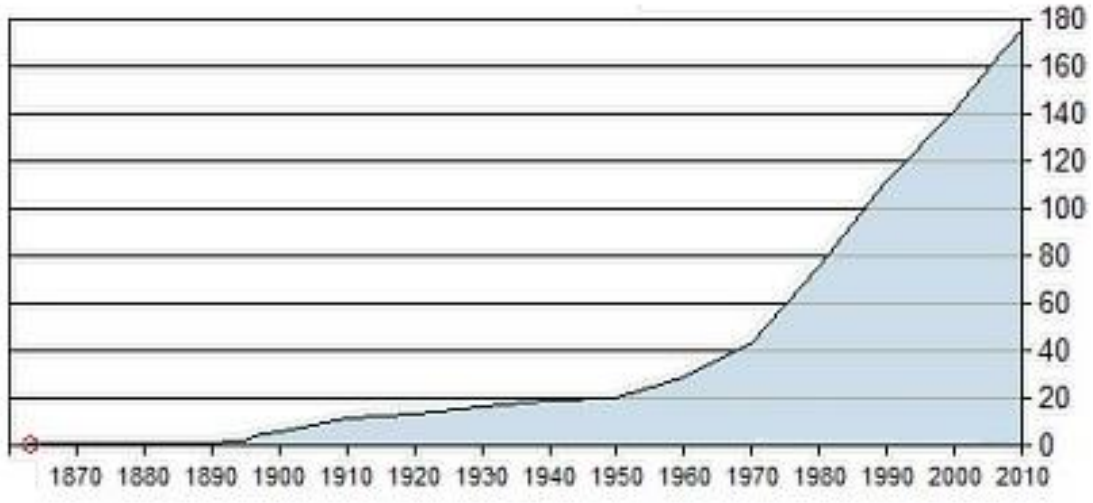
Preduvijet za stvaranje linija na ovakvoj dubini bio je, naravno, i da se umijesto parnih vlakova koristi alternativan tip vlaka, jer bi ventilacija takve količine plinova sa te dubine bila nemoguća.

Prva dubinska linija bila je duga 5,2 kilometra i spajala je središnji sa južnijim dijelom Londona. Početno je bilo planirano da po njoj prometuju vlakovi vučeni sajlama, međutim, na kraju je odlučeno u korist električnih vlakova. Ovim svijet dobiva svoju prvu elektrificiranu dubinsku liniju podzemne željeznice.

Dvadeseto stoljeće bilo je doba još većeg procvata londonske podzemne željeznice. Otvara se niz novih linija a stare su elektrificirane. Paralelno sa razvitkom sustava, vršilo se i ukrupnjavanje pojedinačnih kompanija u jednu zajedničku (Underground Group) kojoj će se do početka Prvog svjetskog rata priključiti većina kompanija. Do 1933. formiran je Odbor za prijevoz putnika u Londonu (London Passenger Transport Board) koji je nastao spajanjem svih kompanija i koji je pod kontrolom imao ne samo metro, već i autobusne, tramvajske i trolejbusne linije prijestonice. Ova grupa je 1948. nacionalizirana.

Za vrijeme Drugog svjetskog rata, londonska podzemna radila je smanjenim kapacitetom. Mnoge stanice su postale skloništa a jedan nedovršen tunel je čak pretvoren u privremenu tvornicu zrakoplova.

Informatička revolucija sa kraja 20. stoljeća u mnogome je izmijenila i izgled Londonskog metroa. Cijelom mrežom upravlja kompjuterizirana centrala. Mnoge linije imaju i veći ili manji stupanj automatizacije. Tako, *Victoria* linija ima potpuno automatizirano upravljanje nad vlakovima pomoću ATO (*Automatic Train Operation* – Automatsko Upravljanje Vlakom) sustava. Jedina uloga vozača je da otvara i zatvara vrata i da u slučaju kvara automatskog sustava preuzme kontrolu nad vlakom.



Grafikon 1. Broj metro sustava u svijetu do 2010

Izvor: http://mic-ro.com/metro/metrostats.html

Londonski metro je bio prvi, ali ubrzo je puštena u promet i prva podzemna željeznica na europskom kopnu nakon samo dvije godine gradnje 1896. u Budimpešti, a godinu dana poslije počele su prometovati i prve podzemne željeznice na američkom kontinentu, u Bostonu i Chicagu. Prva linija podzemne željeznice u Parizu bila je otvorena 1900. pod nazivom Chemin de fer Métropolitain (franc. Metropolitanska željeznica), koji je ubrzo bio skraćen u métro, taj je naziv u mnogim zemljama svijeta preuzet za podzemnu željeznicu. Do II. svjetskog rata izgrađene su željeznice u Berlinu (1902), New Yorku (1904), Philadelphiji (1907), Hamburgu (1912), Buenos Airesu (1913), Madridu (1919), Barceloni (1923), Tokyu (1927), Osaki (1933), Moskvi (1935). Danas najveću duljinu podzemnih linija po nekim mjerilima ima New York, a po godišnjem je broju prevezenih putnika na prvome mjestu moskovska podzemna željeznica (više od 3,5 mlrd. putnika). Zbog problema s rentabilnošću podzemne željeznice, najviše se novih linija danas gradi u gusto naseljenim gradovima južne i istočne Azije. U drugim dijelovima svijeta, gradovi koji planiraju izgradnju masovnog javnog prijevoza, a osobitno oni s upitnom prometnom potražnjom, sve se češće odlučuju na uvođenje nekog drugog oblika tračničkoga prometa, npr. lake gradske željeznice nalik na suvremeni tramvaj odvojen od ostalog prometa ili na unaprjeđenje postojećih oblika, kao što je tramvajska pruga pod zemljom u središnjem graskom području. [5] [6] [12]

3 ULOGA METRO SUSTAVA U GRADSKOM PROMETU

Metro (franc. Metropolitan – koji pripada glavnom gradu odnosno onaj koji povezuje središte se periferijom) općeniti je naziv za sustav električne podzemne željeznice koja služi javnom gradskom prijevozu putnika, u velikim urbanim sredinama. Predstavlja optimalan oblik masovnog prijevoza putnika koji se odvija na potpuno izvojenim kolosiječnim trasama bez raskrižja u razini i bez zajedničkih dionica s drugim tračničkim i cestovnim prometom. Vođenje se može ostvariti s visokim stupnjem automatizacije uz veliku prosječnu brzinu čime se pozitivno utječe na točnost, pouzdanost i sigurnost odvijanja prometa. Organizacija prijevoza metroom usklađena je s drugim oblicima javnog gradskog prijevoza putnika, a usmjeravanje putnika obavlja se odgovarajućim prilaznim trasama, pokretnim stepenicama i dizalima.

Prema osnovnim tehničkim i prometnim značajkma razlikuju se metro i regionalni metro. Regionalni metro se u Njemačkoj, Austriji i Švicarskoj naziva još i S-Bahn (Stadtschnellbahn-brza gradska željeznica), a u Francuskoj RER (Reseau express regional). Prijevozni kapacitet metroa iznosi 35.000 do 60.000 putnika po smjeru na sat, a regionalnog metroa 65.000 do 100.000 putnika po smjeru sat. Općenito se smatra kako je donja granica za uvođenje metroa 1 – 1,5 milijuna stanovnika, ali postoje znatno manji gradovi npr. Brescia u Italiji (200.000 stanovnika) s izgrađenim metro sustavom odnosno višemiljunski gradovi bez metroa. S obzirom na to da uvođenje metroa pretstavlja kvalitetno rješenje masovnog prijevoza putnika, za gradove iznad jednog milijuna stanovnika metro sustav je optimalan izbor. [1]

3.1 METRO SUSTAV

Značajke metroa ovise o specifičnim uvjetima svakog grada, odabranim građevinsko-tehničkim rješenjima, izboru vozila i stabilnih energetskih postrojenja električne vuče te organizaciji prijevoza, a sljedeće značajke su standardne:

- Kolosjek uglavnom normalne širine (1435 mm)
- Najmanji polumjer zavoja 75 – 120 m
- Duljina perona u postajama 100 – 180 m
- Udaljenost između susjednih postaja je 800 – 1500 m (u gradovima) odnosno 1.500 – 3.500 m (izvan gradova)
- Najveći usponi pruge su do 40%, a za vozila sa gumenim kotačima 65%

- Visina treće (kontaktne) tračnice iznad gornjeg ruba tračnice kolosijeka iznosi 120 - 180mm, a osni razmak od bliže tračnice 330 - 350 mm;
- Najmanja visina četvrtastih tunela od gornje ruba tračnice iznosi 3.500 mm, a elipsastih 4.500 mm
- Širina kolosiječnih tunela na ravnim djelovima iznosi 6.75– 7.60 m, a na postajama 13.5 – 14.5 m
- Visina perona iznad gornjeg ruba tračnice je 850 – 1.100 mm;
- Širina vozila između 2400 i 2500 mm (iznimno do 3.200 mm)
- Potpuno izdvojen sustav od ostalih oblika prijevoza
- Komercijalna brzina iznosi 35 – 45 km/h
- Mogućnost potpuno automatiziranog sustava upravljanja
- Linijski kapacitet 16.000 – 70.000 putničkih mjesta na sat (za oba smjera). [1]

3.1.1 ELEMENTI TRASIRANJA I IZVEDBE

Na razvoj mreže metroa utječe:

- Razvijenost cjelokupne prometne mreže grada
- Uklapanje metrosustava u prometnu mrežu grada
- Način povezivanja važnih prometnih točaka, posebno onih na kojima se okuplja veliki broj stanovnika grada
- Mogućnosti etapne gradnje mreže kao samostalne prometne cjeline
- Cijena gradnje

Linije metroa po svom rasprostiranju mogu imati različite oblike, ovisno o konfiguraciji grada i potrebama grada. Mreže su se u pojedinim gradovima razvijale u različitim oblicima, od pravocrtnih preko pravokutnih, križnih, trokutastih do kružnih i kombiniranih.

Pri određivanju trasa pojedinih linija metrosustava nužno je pridržavati se određenih principa:

- Linije metrosustava, u načelu trebaju slijediti široke koridore (glavne prometnice) grada u kojima su i najveće prometne potrebe
- Svaka linija treba biti operativno samostalna, a prijelaz s jedne linije na drugu treba biti što jednostavniji
- Postaje na trasama trebaju biti što ravnomjernije raspoređene

Pravilno raspoređivanje postaja vrlo je bitan čimbenik jer utječe na korištenje sustava. Jednostavnija dostupnost s uličnih površina ili trgovačkih središta često upućuje na povećano korištenje metrosustava i za kratka putovanja u velikim gradovima. Na utvrđivanje trase jedne linije, osim prometnih čimbenika, velik utjecaj imaju i prirodno-tehnički parametri, kao što su:

- Položaj komunalnih instalacija
- Geološke formacije
- Podaci o dubinama zgrada, utjecaju potresa, vibracijama i sl.

Nakon utvrđivanja svih čimbenika koji utječu na gradnju (uz utvrđivanje cijene gradnje svake varijante) utvrđuje se oblik i veličina dionice koja se predviđa za gradnju. Važan dio procjene je predviđanje prometnih učinaka i utvrđivanje veličine potrebnog voznog parka za opsluživanje predviđenog sustava te utjecaj izvedbe tog sustava na ostale oblike prometa. [1]



Slika 2. Prikaz radova na ulici prilikom izgradnje metroa

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Avenue_Subway

3.1.2 KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA IZVEDBE METROA

S obzirom na prostorni položaj trase, načelno se sustav može podjeliti u četri osnovne skupine:

a) Trasa u razini površinskog prometa

b) Trasa izdignuta od ostalog prometa i potpuno denivelirana

c) Trasa upuštena u teren, ali s otvorenim iskopom

d) Trasa u tunelu (plitkoj ili dubokoj izvedbi)

a) Nadzemna trasa u razini terena

Gradnja pruge u razini terena za potrebe metroa slična je gradnji konvencionalnih željeznica. Nakon izmještanja i osiguranja svih instalacija i prepreka na trasi uređuje se donji i gradi gornji ustroj pruge. Razlika u odnosu na konvencijalnu željeznicu je u načinu napajanja električnom energijom preko treće tračnice.

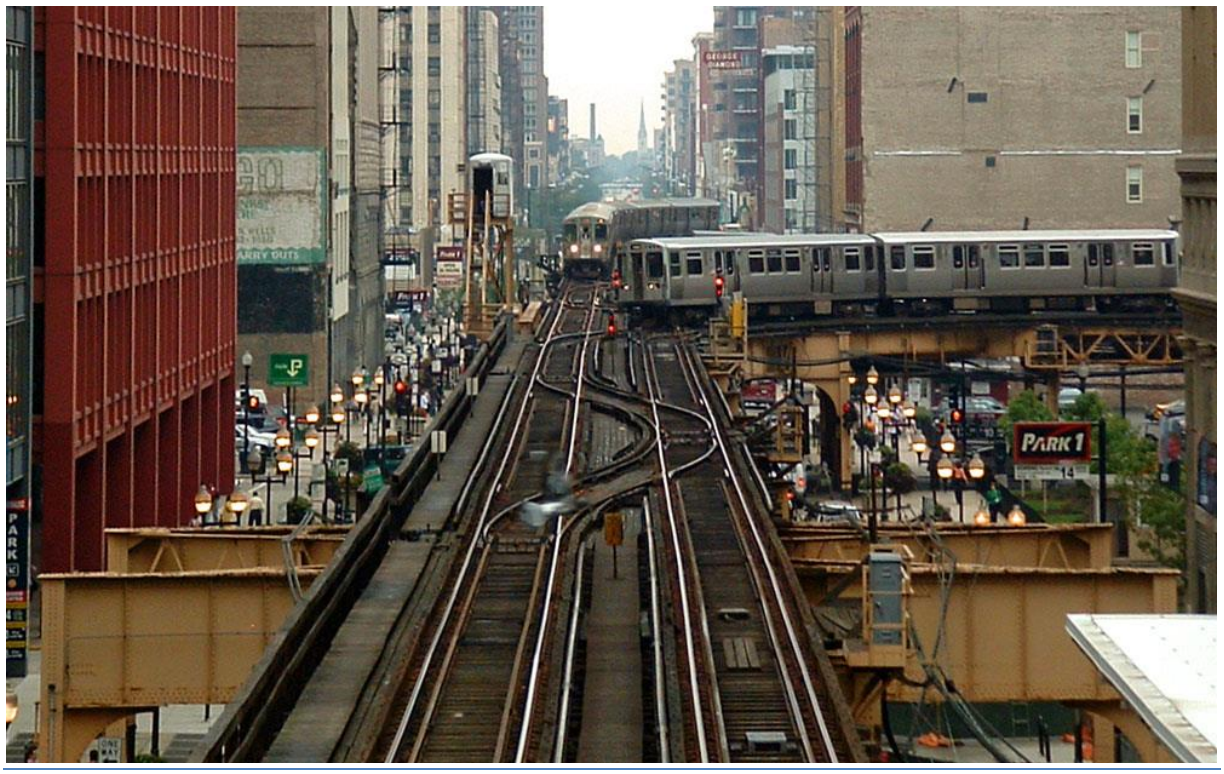


Slika 3. Prikaz metroa u razini terena - Melbourne

Izvor: https://railgallery.wongm.com/albums/melbourne-buses/F108_5451.jpg

b) Nadzemna trasa izdignuta iznad terena

Pruga se nekada gradila na visokim nasipima s prodorima kroz nasipe ili s čeličnim vijaduktima. Umjesto teških čeličnih konsturkcija, suvremene konstrukcije imaju elegantan i estetski izgled. Glavna mjesta na kojima se danas postavljaju trase su široke avenije, trase željeznice ili razdjelni pojasevi gradskih autocesta bez nadvožnjaka. Tako se stare izdignute konstrukcije u izgrađenim zonama (Chicago) zamjenjuju tunelima, a u zonama koje leže izvan središta gradova, stari objekti zamjenjuju se novim betonskim.



Slika 4. Prikaz metroa izdignutog iznad terena - Chicago

Izvor: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Chicago-Loop-SEcorner.jpg

c) Trasa upuštena u teren s otvorenim iskopom

Koristi se na dionicama za koje se vizualne ili zvučne smetnje moraju svesti na najmanju moguću mjeru, na dionicama površinskih sustava gdje je potrebna denivelacija (radi veće brzine i sigurnosti odvijanja prometa) te na mjestima prelaska iz podzemne u nadzemnu trasu.



Slika 5. Prikaz metroa upuštenog u teren s otvorenim iskopom - Beč

Izvor: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Hofpavillon_Hietzing_Otto_Wagner3.JPG

d) Podzemna trasa u tunelskoj izvedbi

Tunelska izvedba je najčešći oblik gradnje metroa. Predstavlja posebna rješenja u pogledu kontrole trase, pouzdanosti i sigurnosti izvođenja radova, uključujući i klimatske uvjete. Upravo zbog toga, tuneli su vrlo skupe građevine koje zahtijevaju veće troškove od bilo kojeg tipa trase. Prilikom gradnje izazivaju velike smetnje na uličnim prometnicama zbog iskopa i odvoza zemlje u duljem vremenskom razdoblju. Međutim, nakon dovršenja gradnje tuneli predstavljaju najstalniji tip trase bez većih utjecaja na okolinu. Tuneli se mogu izvesti kao:

- Plitki tuneli (iskopa do 20 m ispod površine i slijeđenjem trasa ulica)
- Duboki tuneli (iskopa i do 60 m i najčešće bez slijeđenja trasa ulica)

Odabir izvedbe plitkih ili dubokih tunela, kao načina građenja, izvodi se na temelju geoloških istraživanja. [1]

3.1.3 KONSTRUKCIJE GORNJEG USTROJA PRUGE

Gornji ustroj pruge se izvodi u raznim oblicima: od standardnog kolosijeka širine 1435 mm, stastavljenog od Vignolovih tračnica (mase 36 do 70 kg/m) na drvenim ili betonskim pragovima i podlozi od kamena tučenca do kolosijeka na čvrstoj podlozi. Drveni pragovi se uglavnom koriste na dijelovima pruge u razini terena ili na uzdignutim dijelovima nosivih metalnih konstrukcija, a betonski pragovi su sve više u uporabi u svim konstruktivnim rješenjima metrosustava.

U novije vrijeme se umjesto betonskih pragova, radi lakšeg održavanja sustava, sve češće koristi podloga od betona u obliku betonskih ploča.

Tračnice su učvršćene za podlogu elastičnim kolosiječnim pričvrsnim priborom. Specifičnost tog sustava i mnogih sustava na čvrstoj podlozi jest da ispod podložnih ploča imaju izloaciju s ciljem ublaživanja buke i vibracija. [1]

3.1.4 POSTAJE METROA I PERONI

Postaje metroa se središnjim gradskim zonama postavljaju na udaljenostima 800 – 1.500 m, a izvan gradskih središta na udaljenostima 1.500 – 3.500 m. sve postaje metroa bez obzira na položaj postaje (podzemna, nadzemna ili u razini terena), imaju zajedničke osnovne sadržaje:

- Ulaz u područje postaje
- Mjesto za prodaju karata
- Prolaze do perona i kretanje unutar postaje
- Područje perona (na kojemu se obavlja ukrcaj i iskrcaj putnika)
- Područje kolosijeka i službenih prostora

Metro postaje se izvode u dvije ili više razina, ovisno o količini putnika. Velika količina putnika zahtijeva najmanje tri razine. Početna razina je mezanin koji ima sustav za naplatu vožnje. On dijeli prostor mezanina na dva dijela:

- Na slobonu zonu od ulice
- Zonu postaje

Izuzev postaja na kojima se različite linije dovode do paralelnih perona u istoj razini, linije metroa koje se križaju uvijek zahtijevaju dodatne razine. Ako dvije linije pripadaju istom

sustavu i križaju se, onda mogu biti izravno jedna iznad druge, a njihov geometrijski položaj treba biti takav da se udaljenost između vlakova tih dviju linija koju se treba preći pješke svede na najmanju mjeru. To se postiže na način da se osi perona tih dviju linija postave jedna iznad druge. Peroni na postajama metroa grade se kao:

- Bočni peroni
- Srednišnji peroni

Središnji peroni u odnosu na bočne imaju sljedeće prednosti:

- Manju ukupnu širinu perona
- Može se koristiti cjelokupni objekt i oprema (uštede u investicijskim i eksplotacijskim troškovima za pokretne stepenice, informacijske ploče i dr. mogu biti znatne)
- Lakši nadzor od jedne osobe ili jedne skupine nadzornih kamera
- Putnici mogu promjeniti smjer putovanja u slučaju pogreške bez ponovnog plaćanja karte

Središnji peroni u odnosu na bočne perone imaju sljedeće nedostatke:

- Veći troškovi izgradnje (oba kolosijeka imaju dvostruki „S“ luk na trasi koja zahtijeva proširenje tunela na prilazu postaji)
- Veća vjerojatnost zabune putnika u vezi sa smjerom vlakova
- Nemoguće je odvojiti protok putnika po smjerovima tamo gdje je to potrebno radi kontrole karata

Stariji metro sustavi uglavnom koriste središnje perone. Međutim, s modernizacijom, potpunom automatizacijom i centralizacijom kontrole metro postaja, ta razlika se na nekim sustavima izgubila. Zbog toga izbor tipa perona ovisi o drugim čimbenicima (način naplate, kontrola prolaska vlakova i lokacija ulaza). Ulazi i izlazi na perone postavljaju se na različitim mjestima kako bi se postigao što ravnomjerniji raspored putnika na peronu i što ravnomjernije opterećenje vlaka.

Duljina perona obično se određuje duljinom najdulje kompozicije kojoj se dodaje još sigurnosna dodatna duljina 5 do 10 m. Iako dodatna duljina zahtijeva dodatne troškove izgradnje, ona je potrebna jer omogućuje veću brzinu i dulji put kočenja. Tipična duljina perona metroa iznosi 100 – 180 m. Podovi perona građeni su od kvalitetnih materijala (npr. granit), a posebna pozornost posvećena je hendikepiranim osobama. Rubovi perona presvučeni su

taktilnom površinom za slijepe i slabovidne osobe, dok je za gluhonjeme osobe rub perona označen svjetiljkama koje se pale i gase u trenutku dolaska vlaka. Peroni su opremljeni različitom peronskom opremom (piktogrami, oznake smjerova, mape prometne mreže itd.) i određenim brojem mjesta za sjedenje. Rubovi perona iz sigurnosnih razloga obojani su žutom bojom kao upozorenje putnicima do kuda se smiju kretati.

Također je vrlo važna i visina perona koja utječe na:

- Troškove gradnje metro postaje
- Prostorne zahtjeve
- Organizaciju rada postaje

S obzirom na potrebe brzog i masovnog ulaska putnika u vozilo i izlaska iz vozila metroa koriste se peroni čija je visina u razini poda vozila. To je visina od 0,85 do 1,10 m iznad gornjeg ruba tračnice. Takvi peroni zahtijevaju veće troškove gradnje, ali zato osiguravaju brži, sigurniji i lakši izlazak iz vozila i ulazak u vozila. [1]

3.1.5 KONTAKTNA MREŽA

Specifičnost metroa u pogledu gornjeg ustroja pruge je i način napajanja istosmjernom strujom napona 600 – 825 V, koja se distributira putem tzv. treće tračnice i nalazi se s vanjske strane kolosjeka odnosno u stajalištima pokraj tračnice udaljenije od perona. Tračnicu nosi izolirani savijeni željezni nosač koji je na jednom kraju vijcima pričvršćen na pragove.

Londonski metro je jedan od malobrojnih sustava koji koristi četri tračnice. Dvije su konvencionalne i preko njih se vlak kreće, dok su dvije pod naponom. Taj sustav je prvenstveno razvijen zbog dubinskih čeličnih tunela, gdje bi sustav od triju tračnica štetno djelovao putem električnih udara ili elektrolizom. [1]



Slika 6. Prikaz gornjeg ustroja pruge s trećom tračnicom u sredini

Izvor: https://upload.wikimedia.org/Izvor: wikipedia/commons/7/75/London_Stansted_people_mover_rail.JPG

3.1.6 VOZILA METROA

Vozila metroa namjenjena su brzom prijevozu velikog broja putnika unutar gradova te između središta gradova i prigradskih naselja (regionalni metro). Osim brzine putovanja i velikog prijevoznog kapaciteta, prednosti vozila metroa su u mogućnosti izmjene velikog broja putnika u postajama, sigurnosti, točnosti, brzini, pouzdanosti i udobnosti prijevoza.

Vozila metroa su tračnička vozila specijalno konstruirana i prilagođena za masovni prijevoz putnika. 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 se povećava 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 slobodan profil trase metroa.

Kapacitet pojedinih vozila je oko 160 putničkih mjesta, a masa 25 – 27 tona. Ako je kompozicija sastavljena od dvaju vozila, tada je ona nedjeljiva funkcionalna cjelina s upravljačnicama na svakom kraju kompozicije koje omogućuju ravnopravno kretanje u jednom i u drugom smjeru. Kompozicija se može povećati na četiri ili 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 najčešće preko treće tračnice.

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 t, 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 je elektropneumatska s regulacijom sile kočenja u deset stupnjeva. Najveća ubrzanja iznose do 1,3 m/s, a najveća usporenja do 2,1 m/s2. Osnovna kočnica je elektropneumatska s regulacijom sile kočenja u deset stupnjva.

Najčešći sastav kompozicije je sa šest vozila, od kojih su dvije prikolice u sredini kompozicije, a ukupan broj putničkih mjesta je 980.

Vozni stroj je specijalne konsturkcije. Vozila su s po dva dvoosovinska okretna postolja. Svaki kolni slog ima po dva pneumatska i dva čelična kotača standardnog oblika za tračnička vozila, ali nešto lakše konstukcije.

Pneumatski kotači su pogonski i nosivi, a kotrljaju se po posebno izgrađenoj stazi od betona ili odgovarajućega čeličnog profila širine oko 24 cm. Kolosiječna širina te staze iznosi 1.980 mm, a unutar nje su tračnice normalne širine kolosijeka (1.435 mm).

Čelični kotači ne kotrljaju se po tračnicama nego samo služe kao sigurnosni u slučaju oštećenja pneumatskih kotača. Međutim, čelični kotači koriste se u sklopu elektropneumatskih kočnica tako što kočne čeljusti djeluju na njihov obod.

Vođenje vozila osigurava se pneumatskim vodećim kotačima promjera 275 mm, koji su sa svake strane ispred prednje i iza stražnje osovine svakog okretnog postolja. Vodeći kotači se oslanjaju na vodeće tračnice smještene bočno sa svake strane vozne trase.

Vodeće tračnice koriste se i kao vodovi za napajanje električnom energijom, s obzirom na to da se preko čeličnih kotača ne može ostvariti zatvaranje strujnog kruga. Plus pol je na unutarnjoj, a minus pol na vanjskoj vodećoj tračnici. Osim tog rješenja, postoji i rješenje s jednom vodećom tračnicom po sredini staze. [4]



Slika 7. Prikaz modernog metro vozila

Izvor: http://wpmedia.montrealgazette.com/2015/01/an-illustration-of-the-metro-cars-montreals-subway-authority.jpg?quality=55&strip=all&w=840&h=630&crop=1

3.2 ESTETSKI UTJECAJ

Željezničke linije javnog prijevoza izgrađene u razini obično imaju mali vizualni utjecaj na izgled grada, dok linije izgrađene ispod zemlje nemaju nikakav utjecaj.

Nadzemne linije, od kada su prvi put izgrađene, prije više od jednog stoljeća imale su tanke čelične vertikalne potpornje koje podupiru tračnice i stajališta, bile su glomazne i ocrtavale su sjene na tlu. Projekt je bio strogo funkcionalan i po mišljenju esteta ružan. Linije su bile često izgrađene iznad razine ulica, što je činilo izrazito neugodan okoliš u razini pješačke staze. Obično bi vrijednosti nekretnina padale kad se takva linija izgradila.

Od 1960-ih godina tehnike izgradnje su se promjenile i čelični stupovi se rijetko koriste. Grade se moderne nadzemne linije na strukturama od armiranog betona. Jednostavnije su i nisku tako glomazne, često imaju samo jedan red vertikalnih stupova umjesto dva reda. Estetski sud o tome je subjektivan, no mnogi ljudi smatraju da su nove nadzemne strukture pozitivan dodatak vizualnom okolišu.

U New York Cityju nakon što je srušena nadzemna željeznica 1950. godine došlo je do porasta cijene nekretnina. Mnoge starije postaje podzemne željeznice bile su bezlične, te je usljedio pokušaj da se učine atraktivnim. 1904. godine u New York Citiyju otvorena je prva podzemna željeznica i smatrana je elegantnom. Postaje su bile popločene bijelim pločicama s različitim amblemima koji su se ponavljali svakih nekoliko metara. Danas je većina tih postaja tako prljava da se ne primjećuju dekoracije.

Drugi je primjer podzemna željeznica u Moskvi koja je poznata po svojim dekoracijama, uključujući velike lustere, statue i zidne slike. Većina dekoracija učinjena je u neoklasičnom stilu kojem je Staljin bio sklon. Gradila se 1930-ih godina.

Podzemna željeznica u Montrealu ima stajališta koja su dodijeljena različitim arhitektonskim tvrtkama. Stajališta u podzemnoj željeznici Washington D. C. jedinstven su projekt u cijelom svijetu, jer svaka postaja podzemne željeznice ima bačvasti svod, popločan identičnim betonskim pločama, koje imaju udubljenje u sredini. Te ploče su od materijala koji apsorbira zvuk. Ipak podzemna željenica grada Dubaia danas slovi za najraskošniju i najskuplju s cijenom izgradnje od 7,6 milijardi američkih dolara.



Slika 8. Podzemna željeznica u Dubaiu

Izvor: http://wannabemagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/dubai.jpg

Mnoge postaje podzemne željeznice nevidljive su iz razine ulice, no neke imaju zgrade koje su uočljive u izgrađenom okruženju. Većina postaja su jednostavne i funkcionalne, dok su neke posebne i jedinstvene te po tome i prepoznatljive. [3] [8]

3.3 EKOLOŠKI UTJECAJ

Pri projektiranju, izgradnji i održavanju željeznica valja imati na umu da se pruga u najvećoj mjeri uklopi u prirodu i da bitno ne narušava prirodni okoliš. Željeznički promet na pruzi sa svojim pogonom, ne smije ugrožavati ljude, životinje i biljke. Ekološka zaštita od željezničkih utjecaja, koja se građevinama i tvorevinama može provesti, prvenstveno se očituje u zaštiti od buke.

O buci i njenom djelovanju i utjecaju na ljude provedena su ili se još provode istraživanja na temelju kojih je donesena i zakonska regulativa. Prikazat će se samo temeljnice o buci i zaštitnim građevinama i tvorevinama.

Željezničke linije javnog gradskog prijevoza imaju negativan ekološki utjecaj, jer su izmjerene razine zvuka koje prelaze 100 decibela, naročito u vlakovima, podzemnim stajalištima, te na ulici ispod nadzemnih tračnica. Razine od 93 do 98 decibela izmjerene su u nekim gradovima SAD-a (Philadelphia). To se uspoređuje s razinom od 70 decibela što ima promet na autocesti koji se mjeri na udaljenosti 15,24 metra.

Najveći se problemi pojavljuju u starijim nadzemnim sustavima, kao i na željeznici, jer su projektirani bez prepreka u akustici. U novije vrijeme situacija se promjenila, jer je smanjenje buke glavna briga pri projektiranju novih željezničkih linija.

Smatra se da je podzemna željeznica u Torontu jedna od najtiših na svijetu koja koristi čelične kotače na čeličnim tračnicama, razina buke je u prosjeku 85 decibela. Podzemne željeznice u Montrealu i Parizu, koje koriste vlakove s gumenim kotačima, imaju razinu buke od 60 do 80 decibela.

Željeznčka buka naročito je izražena uzduž željezničke pruge, tzv. „buka uz cestu“, na stajalištima i unutar vozila. Uzrokuje najviše pritužbi i jedan od razloga je što se susjedi žale na predložene željezničke linije. Ovisi o tome jesu li tračnice postavljene na nadzemnoj strukturi pod nagibom ili u tunelu.

Starije nadzemne linije bile su izgrađene na tankim čeličnim strukturama koje vibriraju ili stvaraju vrlo glasnu buku kada vlak prolazi.

Moderni sustavi su izgrađeni na betonskim strukturama koje apsorbiraju većinu vibracija i stoga su mnogo tiši. Buka od nadzemnih linija ili linija pod nagibom većinom se prenosi kroz zrak. U podzemnim tunelima buka i vibracije prenose se po podlozi do obližnjih

zgrada, te mogu utjecati na rad osjetljivih instrumenata, a ljudi u zgradama mogu osjetiti vibracije i često čuju potmulu tutnjavu. Buka nastala zbog rada vlaka posljedica je:

- Međusobnog djelovanja kotača i tračnica
- Pogonske opreme
- Pomoćne opreme, kao što je grijanje i rashlađivanje

Svaki od tih triju izvora buke može dominirati u određenim uvijetima. Pri malim brzinama, pomoćna oprema izaziva najviše buke. Pri većim brzinama, dominira buka između kotača i tračnica jer se ukupna razina buke poveća s brzinom vlaka.

Stanje kotača i tračnica uvelike utječe na razinu buke. Tijekom vremena, kotači mogu izlizati tračnice ili izazvati neke druge nepravilnosti, a površina po kojoj se kotači kreću s vremenom postaje neravna. Popravak uključuje centriranje kotača i brušenje tračnica. U nekim gradovima postoji program promatranja (Toronto) u kojem senzori uz prugu otkrivaju neobične vibracije dok prolazi vlak i uključuju alarm. Tada se vagoni s deformiranim kotačima isključuju iz prometa i šalju na popravak.

Smanjenje buke uključuje:

- Upotrebu električnih kotača ili prigušenih kotača
- Korištenje električnih spojnica između tračnica i pragova
- Ugradnju materijala koji apsorbiraju buku u unutrašnjosti stajališta i u vagonima
- Podizanje zvučnih prepreka uz nadzemne tračnice

Te mjere za smanjenje buke, ako se koriste u kombinaciji, mogu dati akustični okoliš koji je prihvatljiv za većinu ljudi. [3] [7]



Slika 9.Prikaz načina zaštite od buke

Izvor:http://www.prometna-zona.com/ekologija-zeljeznickog-prometa/

4 GEOMETRIJSKI OBLICI MREŽE METROA

Planiranje metroa i drugih mreža javnog gradskog prijevoza obično se izvodi empirijski, bez ekstenzivnih analitičkih izračuna. Razmatranje lokalnih uvijeta, kao što su:

- Urbani oblik
- Topografske karakteristike
- Karakteristike potražnje
- Postojanje transportnih koridora
- Zahtjevi za određivanje lokacije stajališta
- Određivanje terminala za velike udaljenosti

  nastoje ograničiti analize topologije i geometrijskih karakteristika mreže. [3]

4.1 VRSTE MREŽA

Geometrijski oblik javnog gradskog prijevoza varira zbog većeg broja čimbenika koji utječu na projek mreže kao i razlika između lokalnih, geografskih i kulturnih uvjeta.

Pri planiranju mreže i analizi mreže mogu se definirati i primjenjivati brojne opće karakteristike usluge i operativne karakteristike elemenata mreže, posebice kontaktne točke između linija.

Osnovni geometrijski oblici pojedinih linija i njihova integracija stvaraju mreže koje se mogu lako klasificirati u nekoliko geometrijskih/funkcionalnih kategorija:

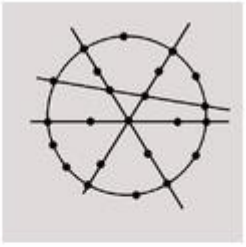
- Brzi javni gradski prijevoz
- Sabirne ulične linije
- Kombinirani transfer

Osnovni tipovi izvedbe linija:

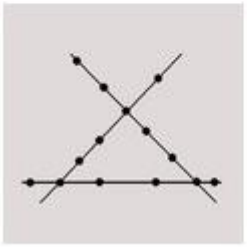
a) Kružna mreža



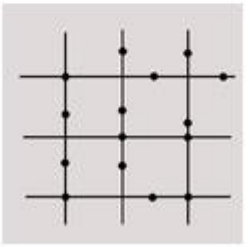
b) Kružno-Radijalna mreža



c) Sekantna mreža



d) Meshed mreža



e) Mreža X-oblika



f) Linija promjera

g) Mreža ribljeg mjehura



h) Križna mreža



Slika 10. Tipovi izvedbe linija

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna_%C5%BEeljeznica

Sustavni skup kvantitativnih elemenata koji definira karakteristike mreže metro može se koristiti za opis, procjenu i komparativnu analizu, uključujući planiranje novih, ili analizu postojećih mreža u drugim gradovima, alternativna mreža ili mreža koje traba produljiti.

Kvantitativni elementi svrstani su u pet općih kategorija:

- Mjere veličine i oblika mreže
- Topologija mreže
- Odnos mreže metroa i grada
- Količina i kvaliteta usluge
- Mjere upotrebe usluge

Od posebnog interesa je geometrijski oblik mreže i pravo prvenstva linija javnog gradskog prijevoza. [3] [5]

4.2 VELIČINA I OBLIK MREŽE

Pri određivanju veličine i oblika mreže potrebno je definirati glavne elemente:

1) Broj stajališta (čvorova) na liniji i: n_i; to uključuje oba terminala
2) Broj razmaka (lukova) između stajališta na liniji i: a_i u odnosu na n kako slijedi:

   a = $n_i - 1$ (1)

   gdje oznake imaju sljedeće značenje:

   - a – broj razmaka između stajališta na liniji
   - n_i – broj čvorišta na liniji
3) Duljina linije i: l_i
4) Broj višestrukih stajališta koje koriste dvije ili više linija n_m^k, gdje k označava broj linija koje koriste stajalište. Ta potencija se uvodi kako bi se izbjeglo dvostruko računanje u proračunima broja stajališta, razmaka i parova polazište – odredište (PO). Pri proračunu višestrukih stajališta, mora se računati s jednim stajalištem manje od ukupnog broja na liniji, tj. k-l
5) Broj linija u mreži q
6) Broj stajališta u mreži N računa se kao zbroj stajališta na pojedinim linijama, tako da se oduzmu višestruka stajališta:

   $$N = \sum_{i=1}^{q} n_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k-1) * n_m^k \quad (2)$$

   gdje oznake imaju sljedeće značenje:

   - N – broj stajališta na mreži
   - q – broj linija na mreži
   - n_i – broj čvorišta na liniji
   - k – broj linija koje koriste stajališta
   - n_m – broj višestrukih stajališta
7) Broj razmaka između stajališta u mreži A računa se kao zbroj razmaka na pojedinim linijama a_i minus višestruki razmaci koristeći jednadžbu:

   $$A = \sum_{i=1}^{q} a_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k-1) * a_m^k \quad (3)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- A – broj razmaka između stajališta u mreži
- q – broj linija na mreži
- k – broj linija koje koriste stajališta
- a_i – broj razmaka (lukova) između stajališta na liniji
- a_m – broj višestrukih razmaka stajališta

8) Duljina mreže L predstavlja zbroj duljina linija l_i minus duljina višestrukih (dvostrukih) linija l_m:

$$\mathrm{L}=\sum_{i=1}^{q} l_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k-1) * l_m^k \qquad (4)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- L – duljina mreže
- q – broj linija na mreži
- l_i – duljina linije
- k – broj linija koje koriste stajališta
- l_m - duljina višestrukih linija

9) Broj stajališta do stajališta (polazište-odredište) (PO) sastoji se od izravnih dionica na pojedinoj liniji PO_d i putovanja koja uključuju jedan ili više transfera između linija PO_t:

$$\mathrm{PO} = \frac{1}{2}\,\mathrm{N} * (\mathrm{N}\text{-}1) \qquad (5)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- PO – broj polazišno – odredišnih stajališta
- N – broj stajališta na mreži

Za jednu liniju sa ***i*** stajališta, broj izravnih dionica PO:

$$PO_i = PO_d = \frac{1}{2}\,N_i * (\mathrm{N}\text{-}1) \qquad (6)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- PO_d – broj polazišno – odredišnih stajališta na direktnoj liniji
- N – broj stajališta na mreži

Ukupan broj izravnih dionica u višelinijskoj mreži jedank je zbroju dionica PO uzduž svake linije, minus putovanja na svakoj dionici što se preklapaju s bilo kojom linijom:

$$\text{PO} = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{q} n_i\,(n_i - 1) - \sum_{j=1}^{q_m - 1} n_{mj}\,(n_{mj} - 1)\right] \qquad (7)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- PO – broj polazišno – odredišnih stajališta
- q – broj linija na mreži
- n_i – broj čvorišta na liniji
- n_{mj} – broj zajediničkih stajališta na svakoj dionici koje svaka linija ***j*** dijeli s bilo kojom već brojanom linijom
- q_m – broj linija koje imaju zajedničke dionice s drugim linijama

Te dodatne izravne dionice PO moraju se izračunati između svih dionica linija koje takve linije spajaju. Broj dionica koje zahtjevaju transfer, PO_i računa se kao razlika između svih dionica u mreži i izravnih dionica koje ne uključuju transfere:

$$PO_t = \text{PO} - PO_d \qquad (8)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- PO_t – polazno – odredišna stajališta na liniji koja uključuju transfere
- PO – broj polazišno – odredišnih stajališta
- PO_d – broj polazišno – odredišnih stajališta na direktnoj liniji

$$PO_t = \frac{1}{2}\left[N(N-1) - \sum_{i=1}^{q} n_i\,(n_i - 1)\right] - \sum_{j=1}^{q_m} n_{mj}(n_{mj} - 1) \qquad (9)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- PO_t – polazno – odredišna stajališta na liniji koja uključuju transfere
- N – broj stajališta na mreži
- q – broj linija na mreži
- n_i – broj čvorišta na liniji

- n_{mj} – broj zajedničkih stajališta na svakoj dionici koje svaka linija ***j*** dijeli s bilo kojom već brojanom linijom
- q_m – broj linija koje imaju zajedničke dionice s drugim linijama

Dakle, preko devet elemenata može se izračunati veličina i oblik metro-mreže. [3]

4.3 TOPOLOGIJA MREŽE

Različiti omjeri definiranih mjera veličine mreže mogu se koristiti kao kvantitativni indikatori topologije mreže. Indikatori topologije mreže koji su posebice važni u planiranju i analizi mreže su:

a) Prosječni razmak između stajališta: S
b) Preklapanje linija: λ
c) Složenost mreže: β
d) Direktnost usluge: δ

Prosječni razmak između stajališta S na mreži može se izračunati kao:

$$S=\frac{L}{\sum_{i=1}^{q}(n-1)-\sum_{k=2}^{k_{max}}(n_m^{k-}-1)}=\frac{L}{A} \quad (10)$$

S,L	A
km	-

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- S – prosječan razmak između stajališta
- L – duljina mreže
- q – broj linija na mreži
- k – broj linija koje koriste stajališta
- n_m – broj višestrukih stajališta
- A – broj razmaka između stajališta u mreži

Razmaci između stajališta S obično se odabiru kao kompromis između dobre pokrivenosti područja (kratki razmaci) i velike operativne brzine (dugački razmaci).

Kod duljih linija prisutna je tendencija duljih razmaka, tako da regionalne željezničke mreže imaju prosječne razmake 1000-2500 m.

Preklapanje linija λ računa se:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{q} li}{L} = 1 + \frac{\sum_{k=2}^{kmax} l_m^k}{L} \quad (11)$$

λ	l,L
-	km

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- λ – preklapanje linija
- L – duljina mreže
- q – broj linija na mreži
- k – broj linija koje koriste stajališta
- l_m - duljina višestrukih linija

Deskriptivno, taj indeks je omjer zbroja duljina linija prema duljini mreže. Mreža koja se sastoji od neovisnih linija ima vrijednost 1,0, a što su linije više međusobno povezane, dijele zajedničke dionice s drugim linijama i odvojke te je veća vjerovatnost da će λ biti veći od 1,0.

Indikator složenosti mreže β predstavlja omjer broja razmaka (lukova) i stajališta (čvorova):

$$\beta = \frac{A}{N} \text{ uz uvijet da je } \beta \geq 0{,}5 \quad (12)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- β – složenost mreže
- A – broj razmaka između stajališta u mreži
- N – broj stajališta na mreži

Minimalna vrijednost tog indikatora je 0,5 na elementarnoj liniji s dva stajališta, kako se linija produžuje, dodaju se stajališta i razmaci, a β se asimptotski približava k jedan.

Direktnost usluge δ je indikator koji odražava omjer dionica polazno-odredišnih koje se mogu prijeći bez transfera:

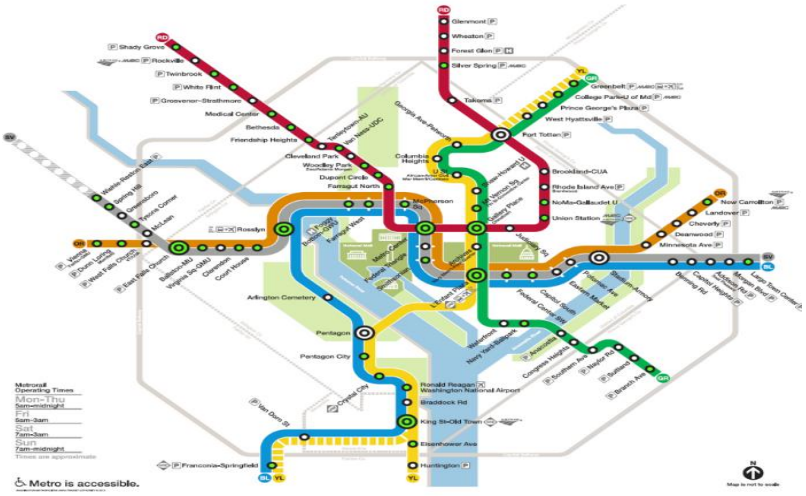
$$\delta = \frac{PO_d}{PO_d + PO_t} = \frac{PO_d}{PO} \quad 0 > \delta \geq 1 \tag{13}$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- δ – direktnost usluge
- PO_t – polazno – odredišna stajališta na liniji koja uključuju transfere
- PO – broj polazišno – odredišnih stajališta
- PO_d – broj polazišno – odredišnih stajališta na direktnoj liniji

Za jednu liniju δ=1, a za više složenih mreža linija se nastoji smanjiti. Međutim ako se radi o više integriranih mreža, tada se povećava.

Primjer primjene prethodno prikazanih mjera na stvarnom metro-sustavu prikazan je na slici 12. gdje je vidiljivo da se mreža metroa u Washington D. C. sastoji od pet linija, i to: crvena (Red), plava (Blue), narančasta (Orange), zelena (Green) i žuta (Yellow). Plava i narančasta linija imaju znatne zajedničke dionice, a zelena i žuta imaju zajedničku dionicu glavne linije. [3]



Slika 11. Metro linije - Washington D. C.

Izvor: http://hotelsneardcmetro.com/wp-content/uploads/2013/03/washington-dc-metro-station-with-hotels-close-by.png

4.4 ODNOS MREŽE METRO I GRADA

Važan aspekt procjene metro-mreže je njezin odnos prema gradu. To uključuje valičinu metro-mreže i broj stajališta u odnosu na veličinu grada i populaciju te značenje metroa među drugim prijevoznim tehnologijama. [3]

Između mnogih mjera i pokazatelja od kojih neki izravno održavaju odnos između metro-mreže (s primarnim naglaskom na geometrijski oblik) i grada koji ona opslužuje, definirani su sljedeći:

1) Gustoća mreže metroa L_a je omjer duljine mreže i područja grada. Taj pokazatelj odražava ekstenzivnost mreže glede područja koja ona opslužuje, prvenstveno središte grada. Za regionalne mreže taj pokazatelj ponekad neprecizan zbog teškoća pri označavanju opsluživanog područja regije. Pokazetelj se definira kao:

$$L_a = \frac{L}{S_u} \tag{14}$$

L_a	L	S_u
km/km^2	km	km^2

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- L_a – gustoća mreže metroa
- L – duljina mreže
- S_u – područje grada ili opsluživano područje

2) Ekstenzinost mreže po populaciji L_p predstavlja omjer duljine mreže L prema populaciji opsluživanog područja P, izraženo u milijunima:

$$L_p = \frac{L}{P} \tag{15}$$

L_p	L	P
km/$10^6\ prs$	km	$10^6\ prs$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- L_p – ekstenzivnost mreže po populaciji
- L – duljina mreže
- P – populacija opsluživanog područja

Pri usporedbi gradova s sličnom populacijom, veća vrijednost Lp ukazuje na širu mrežu i općenito važniju ulogu sustava metroa.

Usluga koju nudi mreža metroa urbanom području i različiti oblici pristupa do njezinih stajališta jednostavnije se mjere pomoću triju pokazatelja koji su definirani na sljedeći način: prvi utječe na pristup pješačenjem (pješački pristup), druga dva pokazatelja mjere prektičnost pristupa mreži metroa pomoću uličnog javnoga prijevoza i automobila.

3) Pokrivenost područja N_a predstavlja postotak urbanog područja S_u koje se nalazi unutar udaljenosti pješačenja od metro stajališta:

$$N_a = \frac{N * S_i}{S_u} * (100\%) \tag{16}$$

N_a	N	S_i	S_u
%	staj	km^2/staj	km^2

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- N_a – pokrivenost područja metro uslugom
- N – broj stajališta na mreži
- S_i – područje oko stajališta metroa s radijusom 400 m
- S_u – područje grada ili opsluživano područje

Pokrivenost područja je najvažnija mjera raspoloživosti metro usluga unutar cijelog opsluživanog područja. Taj pokazatelj ekstenzivno se koristi pri planiranju linija i mreža metroa.

4) Omjer intergracije uličnog prijevoza η_t predstavlja omjer linija uličnoga javnog prijevoza koje imaju transfere s metro-mrežom q_s^t u odnosu na sve linije uličnoga javnoga prijevoza q_s:

$$\eta_t = \frac{q_s^t}{q_s} * (100\%) \quad (17)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- η_t – omjer integracije uličnog prijevoza
- q_s – linije uličnog javnog prijevoza
- q_s^t – metro mreža

Taj pokazetelj izražava relativnu geometrijsku i funkcionalnu ulogu metro mreže unutar ukupne gradske mreže javnog prijevoza;

5) Omjer itegracije pristupa automobilom η_a predstavlja postotak stajališta koja imaju mogućnost dovoza putnika do stajališta (P+R, park and ride), N_p:

$$\eta_a = \frac{N_p}{N} * (100\%) \quad (18)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- η_a – omjer integracije pristupa automobilom
- N_p – stajališta koja imaju mogućnost dovoza putnika (P+R)
- N – broj stajališta na mreži

4.5 POKAZATELJI PROCJENE METRO-MREŽE

Elementi metro-mreže i pokazatelji mogu se koristiti u svrhu planiranja, projektiranja i za analizu metro-mreže. Tipična primjena je kod:

- Procjene postojeće mreže
- Promjena s glavne linije-sabirne na glavnu liniju-odvojak ili obratno
- Dodavnje nove linije na mreži
- Odabira između nekoliko mogućnosti
- Planiranja nove mreže
- Procjena utjecaja na razinu usluge i rad.

Iako u svijetu postoji preko stotinu metro-sustava, istaživanja i literatura su veoma oskudni. Geometrijski oblik (brzi javni gradski prijevoz) mreža i linija može imati velik utjecaj na razinu usluge putnicima i učinkovitost sustava. [3]

5 USPOREDBA METROA SUSTAVA S OSTALIM NAČINIMA PRIJEVOZA

Usporedbe različitih tehnologija javnog gradskog prijevoza možemo vršiti na temelju nekoliko elemenata, a ti elementu su :

1. Troškovi – prikazuju koliko se za određeni oblik prijevoza treba uložiti da bi on bio efikasan, tj. omjer danog i dobivenog.
2. Kapacitet tj. prijevozna moć – prikazuje broj putnika koji mogu biti prevezeni u promatranoj jedinici vremena koristeći trenutnu infrastrukturu u realnim uvjetima. Razlika između kapaciteta i prijevozne moći je ta što kapacitet prikazuje broj putnika koje stane u vozilo, dok je u prijevoznu moć uvedeno u obzir interval između promatranih vozila kroz jedinicu vremena.
3. Prometna brzina – prosječna brzina kojom vozila promatranog oblika prijevoza mogu obavljati prijevoz.
4. Međustajališna udaljenost – udaljenost između stajališta za izmjenu putnika duž trase na kojoj prometuje promatrano vozilo. [13]

5.1 TROŠKOVI RAZLIČITIH OBLIKA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

Sa ekonomskog aspekta primjene pojedinih vrsta vozila za javni gradski prijevoz moraju opravdati sve troškove koji utječu na ukupne godišnje troškove po prevezenom putniku i pređenom putu, a ti troškovi su :

- Pogonski troškovi – čine troškove energije, radnog osoblja i održavanja. Takvi troškovi su promjenjivi, odnosno vezani su za broj prevezenih putnika i prijeđenom putu;
- Troškovi investicijskih ulaganja – predstavljaju fiksne troškove, tj. uključuju troškove nabavke vozila, elektrifikacije trasa, izgradnju potrebne infrastrukture i postrojenja za održavanje iste.

Usporedba načina prijevoza na osnovi potrošnje energije po putniku/km dijeli se u četri razine:

1) Intenzitet energije - najpopularnija mjera energetske uporabe, a izračunava se dijeljenjem pogonske energije po vozilu/km s prosječnim brojem putnika po vozilu.

2) Energija cijelom duljinom linije (line-haul) – čini je energija potrebna za rad infrastrukture i njezino održavanje, te održavanje i proizvodnju vozila.

3) Modalna energija – to je energija koja se koristi za pristup načinu prijevoza (park and ride sustav, vožnja automobilom do željezničke postaje).

4) Programska energija – uspoređuje modalnu energiju s energijom koja je potrošena korištenjem automobila od ishodišta do odredišta. Rezultat je ušteda korištenjem „park and ride“ sustava.

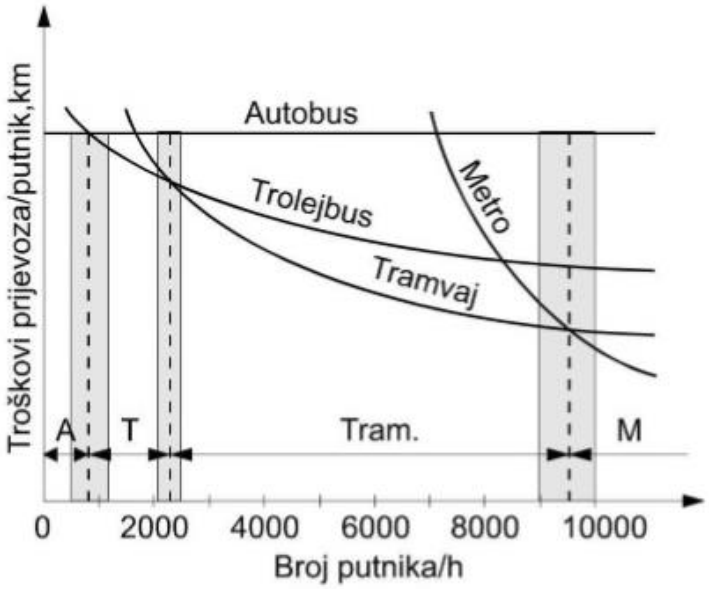
Modalna energija je najbolja osnova za usporedbu izravne potrošnje nergije raznih načina putovanja po putniku/kilometru, a prezentirana je u tablici 1. Ona uključuje svu energiju potrebnu za putovanje od vrata do vrata. Željeznica se nalazi odprilike na sredini (7,39 – 12,20%) po potrošnji energije u usporedbi s ostalim načinima prijevoza, daleko ispod vožnje po narudžbi koja ima veoma visok postotak potrošnje (31,93%) , te nešto iznad voznog parka kombija koji ima najmanji postotak potrošnje energije (4,49%). Iz tablice je također vidiljivo da je autobus manji potrošač energije u odnosu na željeznicu (5,68%) zato što je znatno skuplje održavanje željeznice te izgradnja željezničke infrastrukture.

Tablica 1. Potrošnja energije prema načinu putovanja

Način putovanja	Postotak potrošnje energije (%)
Vozni park kombija	4,49
Autobus	5,68
Teška željeznica	7,39
Laka željeznica	9,38
Automobilski vozni park	10,11
Nova teška željeznica	12,20
Automobil	18,82
Vožnja po narudžbi	31,39
UKUPNO	100

Izvor: Štefačić, G.: Tehnologija gradskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

Svedu li se pogonski troškovi i troškovi infesticijskih ulaganja na jednog prevezenog putnika i jedan prijeđeni kilometar, dobivaju se jedinični troškovi. Ovisnost jediničnih troškova o broju prevezenih putnika po satu za pojedine vrste vozila u približnim granicama prikazanih na slici 11.



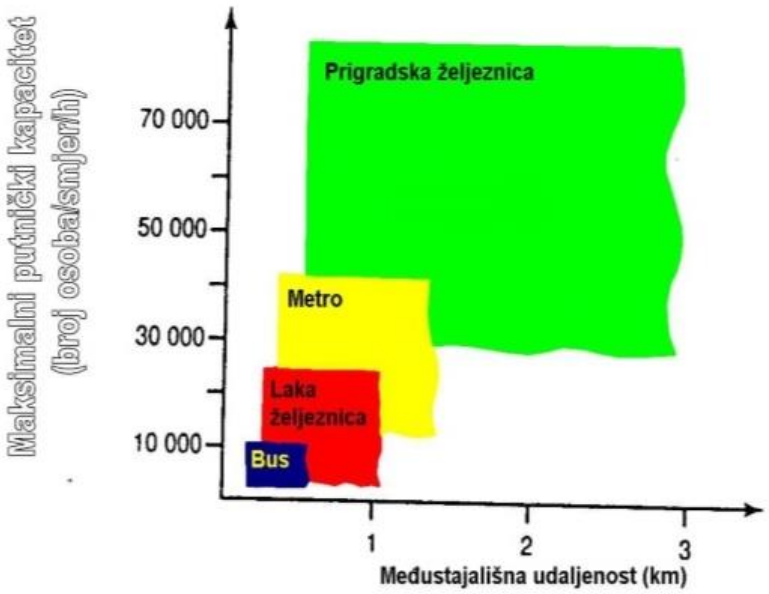
Slika 12. Opravdanost primjene pojedinih vrsta vozila

Izvor: Zavada, J.: Vozila za javni gradski prijevoz

Primjena autobusa (A) ekonomski je opravdana za prijevoz 500 – 1.200 putnika po satu. Za veći broj putnika, 2.100 – 2.500 ekonomski je opravdana primjena trolejbusa (T). Za još veći broj putnika postaje ekonomski opravdana primjena tramvaja. Za primjenu metroa granice mogu biti vrlo široke, a ovise o složenosti i cijeni trase na kojoj se metro izvodi. Prosječno to iznosi iznad 9.000 do 10.000 putnika po satu. [3] [4] [13]

5.2 KAPACITET I PRIJEVOZNA MOĆ

Jasno je da se pojedina vozila razlikuju i po kapacitetu i prijevoznoj moći , odnosno broju putnika prevezenih u jednom satu. U realnim uvjetima sa prosječnim korištenjem i uobičajenim slijedom vozila, pojedinim vozilima se mogu ostvariti sljedeći brojevi prevezenih putnika po satu.



Slika 13. Maksimalna putnička prijevozna moć različitih načina prijevoza

Izvor: Štefačić, G.: Tehologija gradskog prometa I

Autobus i trolejbus:

-prijevozna moć:

- S jednodijelnom karoserijom, 2.500 – 3.500 putnika / h
- S dvodijelnom karoserijom, 4000 – 4.500 putnika / h

-kapacitet:

- S jednodijelnom karoserijom, 85 – 115 putnika
- S dvodijelnom karoserijom, 145 – 180 putnika

Tramvaj:

-prijevozna moć:

- Četveroosovinski motorni vagon, 5.000- 7.000 putnika / h
- Četveroosovinski motorni vagon s prikolicom, 6.000 – 7.500 putnika / h
- S dvodijelnom karoserijom, 8.000 – 10.000 putnika / h
- S trodijelnom karoserijom, 11.000 – 14.000 putnika / h

-kapacitet:

- Četveroosovinski motorni vagon, 65 - 80 putnika
- Četveroosovinski motorni vagon s prikolicom, 110 – 120 putnika
- S dvodijelnom karoserijom, 150 – 165 putnika
- S trodjelnom karoserijom, 190 – 205 putnika

Metro:

-prijevozna moć:

- Standardna kompozicija od 6 vagona, 45.000 – 60.000 putnika / h

-kapacitet:

- Standardna kompozicija od 6 vagona, 950 putnika.

Regionalna željeznica ima prijevoznu moć oko 100.000 putnika po satu, a kapacitet joj varira ovisno i broju vagona koje vozilo sadrži.

Na slici 13. prikazan je graf na kojem se vidi odnos između autobusa, lake željeznice, metro sustava i prigradske željeznice u svrsi maksimalne prijevozne moći i međustajalište udaljenosti. U kategoriju autobusa, koja je na slici namjanje rangirana, možemo uvrstiti i trolejbus jer im se prijevozna moć i kapacitet ne razlikuju, kao i stajališne udaljenosti. Na slici je vidljivo da je prigradska željeznica uvelike u prednosti nad autobusom i trolejbusom, a znatno premašuje i metro sustav svojim kapacitetom i prijevoznom moći. [2] [13]

5.3 PROMETNA BRZINA

Brzina odvijanja prometa najčešće se izražava prometnom brzinom. Ona predstavlja prosječnu brzinu vozila, odnosno omjer između duljine razmaka među dvama stajališta i vremena proteklog da se pređe ta duljina. Uključuje usporenje, stajanje na stajalištima i ubrzanje.

Prometna brzina pojedinih vozila može uvelike ovisiti o načinu izvođenja infrastrukture na kojoj prometuje, kao i o općenitoj prometnoj situaciji okoline tako da je u vršnim satima prometna brzina najmanja. Vozila koja prometuju na izdvojenim prometnicama od ostalog prometa imaju veću prometnu brzinu od vozila koja se miješaju sa ostalim prometom.

Prometna brzina je također uvjetovana međustajališnom udaljenosti na određenoj trasi. Što je međustajališna udaljenost veća to je i prometna brzina veća, isto vrijedi za obrnutu situaciju.

Autobusi, trolejbusi i tramvaji koji se kreću sa ostalim cestovnim prometom i sa prosječnom međustajališnom udaljenosti ostvaruju prometnu brzinu između 15 - 20 km/h.

Metro prijevoz sa prosječnom međustajališnom udaljenosti od 1.200 m mogu ostvariti prometnu brzinu od 35 do 50 km/h. Metro, od svih ostalih oblika javnog gradskog prijevoza (osim gradske željeznice) ima najveću prometnu brzinu, upravo zbog potpuno odvojene trase i velikom međustajališnom udaljenosti. [13]

5.4 MEĐUSTAJALIŠNA UDALJENOST

Planiranje stajališta javnog gradskog prijevoza se suočava s dilemama:

- Kraći razmaci između stajališta rezultiraju boljom pokrivenošću područja i time lakšom pristupačnošću za veći broj potencijalnih putnika.
- Istovremeno, kratki razmaci izazivaju manje prijevozne brzine i moguće veće zahtjeve glede voznog parka, kako i veće troškove izgradnje i održavanja stajališta.

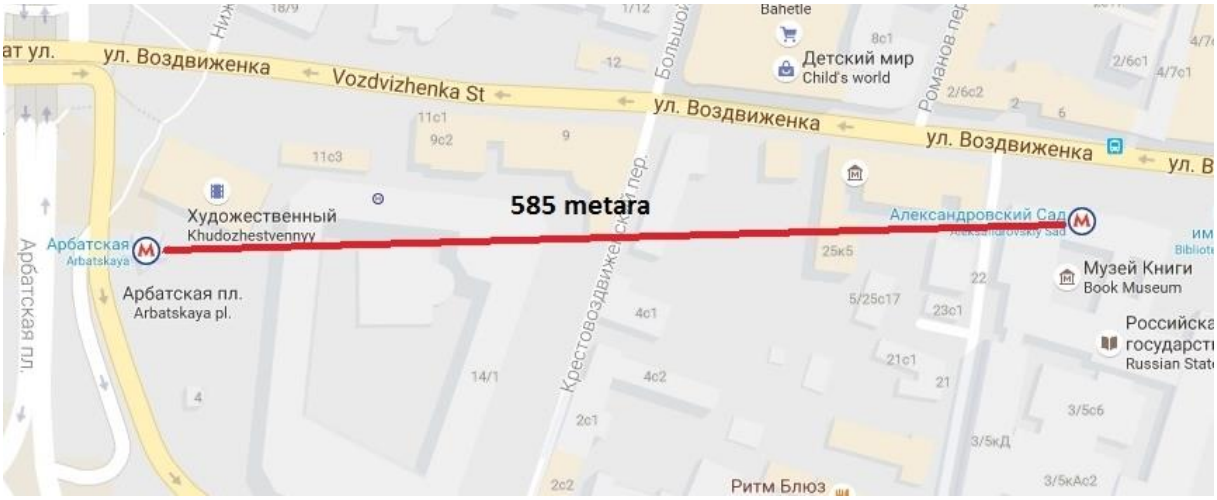
Dulji razmaci rezultiraju suprotnostima:

- Postiže se veća prometna brzina

- Gubi se profit jer prijevozna sredstva ne opslužuju stajališta te se gubi dio potencijalnih putnika.

Međustajališna udaljenost se određuje tako da se promatra cijela linija, broj putnika koji ulaze i izlaze, kao i raspodjela protoka putnika duž linije. U praksi se koriste neke empirijske vrijednosti za određivanje međustajališne udaljenosti u ovisnosti o:

- Brzini prijevoznog sredstva
- Gustoći naseljenosti
- Prosječnoj duljini putovanja putnika



Slika 14. Prikaz udaljenosti između stanica Aleksandrovskiy Sad i Arbatskaya - Moskva

Izvor:https://www.google.hr/maps

Brzina prijevoznog sredstva

Autobus, trolejbus i tramvaj prometuju brzinama od 15 – 23 km/h, a međustajališna udaljenost iznosi od 250 do 500 m, dok metro prometuje brzinom od 35 do 50 km/h i međustajališna udaljenost je od 800 do 1.000 m.

Tablica 2. Prikaz odosa između prometne brzine i međustajališe udaljenosti.

Prijevozno sredstvo	Brzina u km/h	Međustajališna udaljenost
Autobus,trolejbus,tramvaj	16 - 23	250 – 550 m
Denivelirani tramvaj, autobus	21 – 23	600 – 1500 m
Metro	35 – 50	800 – 1500 m
Gradska, prigradska željeznica	40 – 50	2500 – 3500 m

Izvor: Štefačić, G.: Tehnologija gradskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

Gustoća naseljenosti

U središtu grada, neovisno o obliku prijevoza, međustajališna udaljenost u prosjeku iznosi od 250 do 550 m, dok u perifernoj zoni od 500 do 750 m, a u predgrađu od 600 do 1500 m.

Tablica 3. Prikaz udaljenosti između stajališta ovisno o gustoći naseljenosti.

Područje prometovanja	Međustajališna udaljenost
Središte grada	250 – 550 m
Periferna zona	500 – 750 m
Prigradska zona	600 – 1500 m

Izvor: Štefačić, G.: Tehnologija gradskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

Prosječna duljina putovanja putnika

Ovisno o udaljenosti koju putnik prijeđe u svojem putovanju, međustajališna udaljenost se određuje na temelju podataka prikazanih u tablici 4. Vidljivo je da što je veća udaljenost putovanja putnika to je optimalnije da međustajališna udaljenost bude veća kako bi se povećala prometna brzina i smanjili troškovi na samoj liniji. [13]

Tablica 4. Prikaz udaljenosti između stajališta ovisno o duljini putovanja.

Lprp (km)	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Li (m)	300 – 350	350 – 400	400 – 450	450 – 500	500 – 530	530 - 550

Izvor: Štefačić, G.: Tehnologija gradskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

6 PRIMJERI METRO SUSTAVA U GRADOVIMA

6.1 BUDIMPEŠTANSKI METRO

Budimpeštanski metro (na mađarskom jeziku *„Budapesti metró“*) sustav je brzog javnog prijevoza u Budimpešti. Ovo je jedan od najstarijih sustava podzemne željeznice u svijetu. Dnevno prevozi oko 830.000 putnika.

Prvobitna svrha prve linije bila je da olakša promet do Budimpeštanskog gradskog parka. Međutim, gradske vlasti su se oduvijek protivile tome da se promet odvija preko Andraševe avenije, koja je postala najčuvenijom ulicom u gradu i dijelom svjetske baštine. Nacionalna skupština 1870. godine ipak je prihvatila plan te je 1894. započela izgradnja koja je bila povjerena njemačkoj tvrtki *Siemens & Hanke AG*. Trebalo je dvije godine da 2.000 radnika sa tada najnovijom opremom završe posao. Linija je u potpunosti građena metodom *„cut-and-cover“*. U promet je puštena 2. svibnja 1896. godine, na tisućutu godišnjicu dolaska Mađara u njihovu današnju državu, a svečano ju je otvorio car Franjo Josip I. Ukupna dužina tračnica iznosila je 3.7 km, a bilo je 11 postaja (od toga 9 podzemnih i 2 nadzemne).

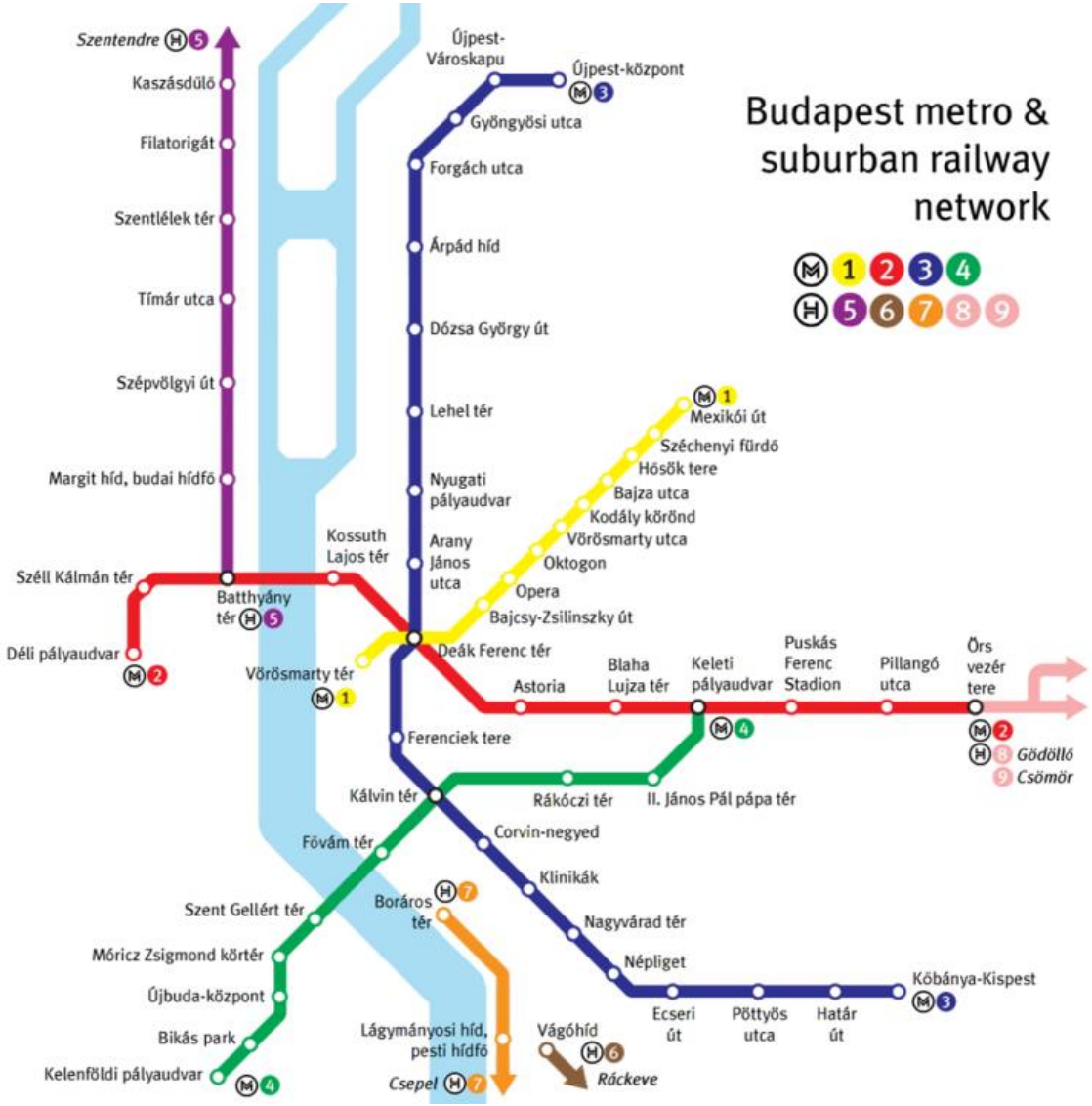
Planovi za druge dvije linije koje bi povezivale pravce sjever-jug i istok-zapad napravljeni su već 1895., ali se nije krenulo u realizaciju. Noviji planovi napravljeni su 1942., a vijeće ministara donijelo je uredbu za početak gradnje 1950. godine. Zbog politički i financijskih razloga radovi su stalno odgađani. Linija 2 konačno je otvorena 4. travnja 1970. i tada je imala 7 postaja.

Godine 1973. obje su linije produžene (Linija 1 sa jednom, a Linija 2 sa 4 nove postaje). Iste godine održavanje metroa preuzelo je Budimpeštansko prijevozo društvo. Obilježavanje metro linija bojama počelo je 1976., kada je prvi dio treće linije otvorena za javnost. Prva linija je postala žuta, druga crvena a treća plava.

U godinama koje slijede provedeno je još nekoliko proširivanja postojeće mreže tračnica. Najznačajnije je ono tijekom 1980-ih i 1990-ih, kada je Linija 1 bitno rekonstruirana.

Dok su Linije 2 i 3 novijeg postanka, Linija 1 podsjeća na doba 1890-tih; sa parketom, klupama, drvenim prozorima i osvjetljenjem toga vremena. Svaka postaja je ujedno i mali muzej sa slikama i informacijama. Također, od 2002. godine nalazi se na popisusvjetske baštine pod zaštitom UNESCO-a.

Sustav budimpeštanskog metroa danas ima 4 linije (Linija 1 – žuta, Linija 2 – crvena, Linija 3 – plava i Linija 4 - zelena). Ukupno ima 52 postaje na 38,2 km tračnica. Funkcioniranjem metroa i danas upravlja tvrtka BKV (Budimpeštansko prijevozno društvo). Vlakovi na linijama prometuju od 04:30 h do 23:10 h. Na Badnjak voze samo do 15:00 h, a u Novogodišnjoj noći imaju produženo radno vrijeme. [10]



Slika 15. Linije budimpeštanskog metroa

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Budimpe%C5%A1tanski_metro

6.2 PARIŠKI METRO

Pariški metro (na francuskom jeziku *Métro de Paris*) sustav je brzog javnog prijevoza u Parizu. Četriri i pol milijuna putnika koje preveze svaki dan čine ga drugim najkorištenijimn metro sustavom u Europi (poslije onoga u Moskvi), te jednim od najkorištenijih metro sustava u svijetu.

Prva linija otvorena je 19. srpnja 1900. godine tijekom svjetske izložbe. Cijeli sustav se brzo širio do Prvog svjestkog rata tako da je jezgra bila dovršena do 1920-ih. Produžeci linija prema predgrađima bili su građeni 1930-ih.

Nakon Drugog svjetskog rata metro je doživio zasićenje. Uvedene su novije kompozicije vlakova kako bi se udovoljilo zahtjevu povećanog prometa. Rješenje je bila druga mreža, RER, razvijana od 1960-ih. Ona je sa svojih pet linija (A, B, C, D i E) predstavljala dodatnu željezničku mrežu za pariško regiju.

Pariški metro jedan je od simbola grada, poznat po umjetničkom uređenju postaja. Sustav ima 16 linija (označene različitim bojama i brojevima) koje su uglavnom podzemne. Ukupno ima 300 stanica na 214 km tračnica. Funkcioniranjem metroa upravlja tvrtka *RATP*. Linije imaju različito vrijeme otvaranja i zatvaranja, zavisno od dana u tjednu, o tome kroz koji dio grada prolaze i da li se održavaju kakvi događaji (poput dočeka Nove godine, kada voze cijelu noć). Redovno, najviše voze od 05:30 h ujutro do 01:15 h iza ponoći. [9]



Slika 16. Znak na ulazu u Pariški metro

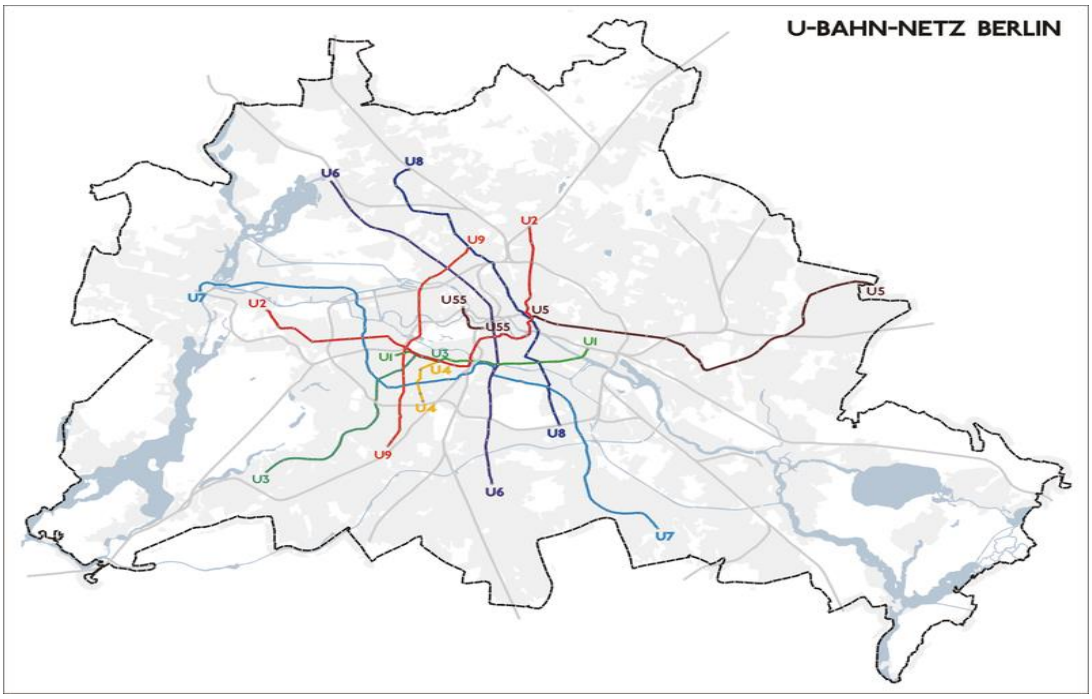
Izvor: https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRssfezziLExawhuVseuk5SI3FB7A-iulJuwhR9gJWeDzb9m0BlHw

6.3 BERLINSKI METRO

U-Bahn Berlin osnovan je 1902. godine i danas ima 10 linija. Iza kratice U-Bahn krije se *Untergrundbahn* (*podzemna željeznica*). U vlasništvu je berlinskog prometnog poduzeća "Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)". Iako je to pretežno brzi sustav podzemnih željeznica, neke linije prometuju i iznad zemlje. Ova mreža je neizravno povezana sa sustavom S-Bahna koji je također dio sustava berlinskog prometnog poduzeća BVG. Namjenjena je za prometovanje u Berlinu i njemačkoj saveznoj državi Brandenburg.

Frekvencija prometovanja od četiri do pet minuta radnim danima, od pet do deset minuta poslijepodnevnim satima i vikendom. Rad U-Bahna se zaustavlja nakratko poslije ponoći. Petkom, subotom i prije praznika, U-Bahn prometuje u razmacima svakih 15 minuta tijekom noći, osim linija U3 i U4, te određenih dijelova drugih linija. Pravac U55 je trenutno u izgradnji i ne prometuje.

U-Bahn se sastoji od dvije odvojene mreže: linija malog profila (Kleinprofil) i linija velikog profila (Großprofil). Maloprofilne linije U1 i U4 (najstarije linije) su napravljene za vlakove koji prometujuu užim šinama (trošinski izloženi naponski sustav). Od dvadesetih godina dvadesetog stoljeća pa sve do danas, sve nove linije su građene da izdrže šire i prostranije vlakove (trošinski skriveni naponski sustav).



Slika 17. Linije Berlinskog metroa

Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna_%C5%BEeljeznica_Berlin

Poslije izgradnje Berlinskog zida, U-Bahn mreža je podijeljena između Istočnog i Zapadnog Berlina. Kraj linije U1 u istočnom dijelu grada između Schlesische Tora i Varšavske ulice je zatvoren, dok je postojeća linija U2 podijeljena na dva dijela. Linije U6 i U8 su nastavile sa prometom i prolazile su kroz relativno mali dio teritorija Istočnog Berlina. Vlakovi nisu stajali na stanicama u Istočnom Berlinu, koje su se popularno nazivale stanice duhova. Na ovim linija vlakovi nisu stajali sve do 1972. kada je dozvoljeno spajanje dvije linije S-Bahna na stanici Friedichstrasse. Tu je napravljen i granični prijelaz između Istočnog i Zapadnog Berlina.

Prateći pad Berlinskog zida 1989, nekoliko stanica je ponovo otvoreno u obliku graničnih prijelaza. Sve stanice duhova su otvorene u srpnju 1990. Te linije, koje su bile fizički odvojene (trenutne U1 i U2 linije) su otvorene nešto kasnije.



Slika 18. U-Bahn - prikaz starije kompozicije vlaka

Izvor: http://www.raillynews.com/2012/stadler-pankow-to-supply-berlin-u-bahn-trains/

Dugačka povijest U-Bahna i podjela Berlina znači da je uvijek bilo oskudnosti s upotrebljivim kompozicijama vlakova. Postoje različiti modeli kompozicija za male i velike profile šina. Maloprofilne kompozicije imaju mogućnost prometovanja i na šinama velikog profila, ali ne mogu prometovati na svojim originalnim šinama tijekom različitog energetskog napajanja. Tijekom devedesetih, neke kompozicije su prodane Sjevernoj Koreji, da bi se upotrijebile u Pjongjanškom metrou. [11]

7 ZAKLJUČAK

Metro sustav predstavlja kvalitetno, brzo i jednostavno rješenje masovnog prijevoza putnika uglavnom za gradove iznad milijun stanovnika, te je kao takav sustav optimalan izbor svakidašnjem užurbanom načinu života u višemilijunskim gradovima. Danas u svijetu postoji više od 120 urbanih sredina koje imaju metro sustave koje i dalje razvijaju kao primarni oblik javnog prijevoza.

Metro sustav je postavio visoku granicu u prijevozu putnika jer njegov prijevozni kapacitet iznosi 35.000 do 60.000 putnika na sat po smjeru. Metro je izdvojen i svojom brzinom nadmašuje ostale oblike javnog gradskog prijevoza zahvaljujući odvojenoj trasi, te optimalnoj međustaničnoj udaljenosti. Jednostavna i dostupna stajališta bilo s uličnih površina ili trgovačkih središta često upućuju na povećano korištenje metro sustava i za kratka putovanja u velikim gradovima.

Osim brzine putovanja i velikog prijevoznog kapaciteta, prednosti vozila metroa su sigurnost, točnost, pouzdanost i udobnost prijevoza. Također važan aspekt metro mreže je i njezin odnos prema gradu što uključuje veličinu metro mreže te broj stajališta u odnosu na veličinu grada i populaciju. Izgradnjom i širenjem gradova povećava se zauzetost površine gradova, što rezultira velikom gustoćom raznih objekata odnosno sve manjim prostorom za proširenje i izgradnju novih prometnica, što ide u prilog metro sustavu u budućnosti.

Zbog mogućnosti masovnog prijevoza putnika i izrazite izdvojenosti za razliku od ostalih postojećih oblika prijevoza metro sustavi će sve više biti razvijani, građeni i zastupljeni, čemu doprinosi i zanemarivi utjecaj metro sustava na vizualni izgled grada. Njegova budućnost biti će usmjerena na otklanjanje negativnih učinaka, prvenstveno buke.

Zadnjih godina pojavom ekstremnog terorizma i bombaških napada na metro sustave diljem svijeta uviđeni su i nedostaci metro sustava u vidu sigurnosti, tako da bi budući razvoj trebao otkloniti takve nedostatke, ali na način da ne dolazi do nepotrebnih gužvi i čekanja koje utječu na putnike.

Budući razvoj mogao bih obuhvatiti primjenu magnetno levitacijskih vlakova koji u pokretu ne dodiruju podlogu, nego lebde na vrlo tankom razmaku od vodilice pomoću magnetoodbojne sile. Takva tehnologija smanjila bi buku i trenje,a samim time i troškove održavanja tračničke infrastrukture. Također, novorazvijana tehnologija VAL (Vehicule

Automatique Lager) odnosno potpuno automatizirani metro na gumenim kotačima uz samjenje buke i vibracija, omogućiti će spajanje pojedinih vozila u dulje ili kraće vlakove, ovisno o prijevoznim potrebama što će općenito smanjiti troškove.

Hoće li metro sustav ostati najbolji način prijevoza u velikim gradovima ili će doći do pojave nekog novog načina prijevoza, pokazat će se u budućnosti. Trenutno za područje grada metro kao potpuno izdvojeni sustav ostaje optimalan izbor za velike gradove.

LITERATURA

1. Legac, I. i koautori: Gradske prometnice, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
2. Štefačić, G.: Tehologija gradskog proeta I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
3. Štefačić, G.: Tehologija gradskog proeta II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
4. Zavada, J.: Vozila za javni gradski prijevoz, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
5. HR.WIKIPEDIA: https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna_%C5%BEeljeznica (pristupljeno: srpanj 2016.)
6. VELIKABRITANIJA.NET: http://www.velikabritanija.net/2013/01/09/povijest-podzemna-zeljeznica-london-tube-1/ (pristupljeno: srpanj 2016.)
7. PROMETNA ZONA: http://www.prometna-zona.com/zeljeznicki-promet/ (pristupljeno: kolovoz 2016.)
8. SREDNJA.HR: http://www.srednja.hr/Novosti/Jeste-li-znali/Najzanimljivije-i-nepoznato-o-svjetskim-podzemnim-zeljeznicama#ad-image-0 (pristupljeno: kolovoz 2016.)
9. HR.WIKIPEDIA: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pari%C5%A1ki_metro (pristupljeno: kolovoz 2016.)
10. HR.WIKIPEDIA: https://hr.wikipedia.org/wiki/Budimpe%C5%A1tanski_metro (pristupljeno: kolovoz 2016.)
11. HR.WIKIPEDIA: https://hr.wikipedia.org/wiki/Podzemna_%C5%BEeljeznica_Berlin (pristupljeno: kolovoz 2016.)
12. ENCIKLOPEDIJA.HR: http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=48971 (pristupljeno: rujan 2016.)
13. Završni rad, Usporedba načina prijevoza putnika u javnom gradskom prijevozu, Mateo Uravić, 15.09.2015

POPIS SLIKA

Slika 1. Karakterističan oblik tunela - The Tube 4
Slika 2. Prikaz radova na ulici prilikom izgradnje metroa 9
Slika 3. Prikaz metroa u razini terena - Melbourne 10
Slika 4. Prikaz metroa izdignutog iznad terena - Chicago 11
Slika 5. Prikaz metroa upuštenog u teren s otvorenim iskopom - Beč 12
Slika 6. Prikaz gornjeg ustroja pruge s trećom tračnicom u sredini 16
Slika 7. Prikaz modernog metro vozila 18
Slika 8. Podzemna željeznica u Dubaiu 20
Slika 9. Prikaz načina zaštite od buke 22
Slika 10. Tipovi izvedbe linija 24
Slika 11. Metro linije - Washington D. C. 31
Slika 12. Opravdanost primjene pojedinih vrsta vozila 37
Slika 13. Maksimalna putnička prijevozna moć različitih načina prijevoza 38
Slika 14. Prikaz udaljenosti između stanica Aleksandrovskiy Sad i Arbatskaya - Moskva 41
Slika 15. Linije budimpeštanskog metroa 44
Slika 16. Znak na ulazu u Pariški metro 45
Slika 17. Linije Berlinskog metroa 46
Slika 18. U-Bahn - prikaz starije kompozicije vlaka 47

POPIS TABLICA

Tablica 1. Potrošnja energije prema načinu putovanja 36
Tablica 2. Prikaz odosa između prometne brzine i međustajališe udaljenosti. 42
Tablica 3. Prikaz udaljenosti između stajališta ovisno o gustoći naseljenosti. 42
Tablica 4. Prikaz udaljenosti između stajališta ovisno o duljini putovanja. 42

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Broj metro sustava u svijetu do 2010 5

METAPODACI

Naslov rada: Uloga metro sustava u gradskom prometu

Student: Drago Puljić

Mentor: Dr.sc. Marko Slavulj

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Role of the Metro System in Urban Transport

Povjerenstvo za obranu:

- Doc. dr. sc. Hrvoje Harmina _____ predsjednik
- Dr. sc. Marko Slavulj _____ mentor
- Mario Ćosić, dipl. ing. _____ član
- Izv. prof. dr. sc. Ljupko Šimunović _____ zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj:

Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za gradski promet

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Promet

Akademski naziv: univ. bacc. ing. traff.

Datum obrane završnog rada:_____

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je **završni rad**
(vrsta rada)
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom **Uloga metrosustava u gradskom prometu**, na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu,_____ _____
(*potpis*)