

Planiranje mreže linija javnog gradskog prijevoza

Dubinko, Mirna

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:974055>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Mirna Dubinko

**PLANIRANJE MREŽE LINIJA JAVNOG GRADSKOG
PRIJEVOZA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PLANIRANJE MREŽE LINIJA JAVNOG GRADSKOG
PRIJEVOZA**

Mentor: Prof. dr. sc. Gordana Štefančić

Student: Mirna Dubinko, 0135229852

Zagreb, 2015.

PLANIRANJE MREŽE LINIJA JAVNOG GRADSKOG PRIJEVOZA

SAŽETAK

Svrha ovoga istraživanja je dati pregled osnovnih čimbenika koji se moraju uzeti u obzir pri planiranju javnoga gradskog prijevoza. Javni se gradski prijevoz planira i projektira da bi se zadovoljili zahtjevi putnika, operatera i urbane zajednice za postizanjem maksimalnog prijevoza, niskih operativnih troškova i pozitivnih učinaka koji utječu na standard. Visoka kvaliteta javnog gradskog prijevoza privlači veći broj putnika, a na nju utječu optimalna pokrivenost područja stajalištima javnog prijevoza, laki transferi i odabir oblika mreže linija javnog gradskog prijevoza. Udaljenosti između stajališta moraju se aritmetički povećavati u smjeru kumulacije putnika. Prosječni razmak između autobusnih stajališta je 800 m, dok bi na prigradskoj željeznici vlak trebao stati svakih 3000 m. Međulinijiski (po tipu linije ili po duljini intervala) i vremenski utvrđeni (s jednim ili više središta) transferi omogućuju putnicima brzo kretanje različitim linijama javnog gradskog prijevoza. Geometrijski oblik javnoga gradskog prijevoza planira se obzirom na lokalne, geografske i kulturne uvjete.

KLJUČNE RIJEČI: planiranje javnog gradskog prijevoza; transferi; geometrijski oblik javnog prijevoza; udaljenost stajališta

SUMMARY

The purpose of the study is to provide an overview of the main factors which need to be considered when planning public transportation. Public urban transport is planned and designed to meet the demands of passengers, operators and urban communities to achieve maximum transport, low operating costs and positive effects which affects the standard. High quality public transport attracts a higher number of passengers, and is affected by the optimal coverage of the area by standpoints, easy transfers and selection of the geometrical shape of public transportation. Distances between standpoints have to be an arithmetical increase in the direction of the cumulation of passengers. The average distance between the bus stops is 800 m, while the commuter train should stop every 3000 meters. Interline (by type or line according to the length of the interval) and time-specific (one or more centers) transfers are allowing passengers to move quickly to different lines of public transportation. Local, cultural

and geographical conditions also need to be considered when planning geometrical shape of public urban transport.

KEY WORDS: planning of public transportation; transfers; geometrical shape of public transport; standpoint distance

Sadržaj:

| | |
|---|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Kategorije planiranja mreže linija..... | 3 |
| 2.1. Značajke linija javnog gradskog prijevoza | 5 |
| 2.2. Ciljevi planiranja mreže linija javnog gradskog prijevoza | 7 |
| 2.3. Specifični ciljevi pri planiranju mreže javnog gradskog prijevoza..... | 7 |
| 3. Transferi u mrežama linija | 12 |
| 3.1. Transferi po duljini intervala..... | 13 |
| 3.2. Transferi po tipu linije | 15 |
| 4. Planiranje sustava vremenski utvrđenih transfera..... | 19 |
| 4.1. TTS mreže s jednim središtem..... | 20 |
| 4.2. TTS mreže s više središta | 23 |
| 5. Vrste mreža | 25 |
| 5.1. Mreže s različitim načinima prvenstva prolaska | 25 |
| 5.2. Vrste željezničkih mreža | 27 |
| 5.2.1. Radijalne mreže..... | 27 |
| 5.2.2. Radijalno obodne mreže | 29 |
| 5.2.3. Mreže linija u obliku trokuta ili mreže | 30 |
| 5.2.4. Široko rasprostranjene mreže..... | 31 |
| 5.3. Geometrijski oblici mreže metroa | 32 |
| 5.3.1. Mjere veličine i oblika mreže | 33 |
| 5.3.2. Topologija mreže | 35 |
| 5.3.3. Odnos mreže metroa i grada | 36 |
| 6. Razmaci između stajališta na mreži linija | 39 |
| 6.1. Određivanje udaljenosti između stajališta na liniji | 40 |
| 6.2. Razmaci između stajališta na željezničkim mrežama | 42 |
| 7. Zaključak..... | 45 |
| Literatura | 46 |
| Popis slika | 47 |
| Popis tablica | 48 |

1. Uvod

Gradska je sredina oduvijek bila u tijesnoj povezanosti s razvojem prometa. Kako u svojem pozitivnom značenju, gdje je promet glavni čimbenik rasta i razvoja, tako i u svome negativnom aspektu, gdje se pretvara u čimbenik koji sputava ne samo razvoj nego i svakodnevno funkcioniranje ljudi u urbanoj sredini. Taj se negativni aspekt očituje u zagušenosti prometnica, malim brzinama kretanja, povećanim troškovima prometnih usluga i zagađenju. Uspješno rješavanje problema kretanja ljudi osnovna je zadaća grada odnosno organizacija za masovni javni prijevoz kojemu glavnu konkurenciju čine osobni automobili. Tako bi glavni cilj i zadaća javnog gradskog prometa trebao biti pridobivanje što većeg broja putnika, ali i zadržavanje njihove pozornosti kvalitetnom uslugom.

Završni rad pod nazivom *Planiranje mreže javnog gradskog prijevoza* obrađivat će aspekte i ciljeve planiranja mreže linija javnog gradskog prometa, opisat će se značajke linija javnog gradskog prijevoza, mreže vremenski utvrđenih sustava transfera, prikazat će se i opisati vrste mreža te objasniti kako se planira oblik mreža metroa kroz poglavlja:

1. Uvod
2. Kategorije planiranja mreže linija
3. Transferi u mrežama linija
4. Planiranje sustava vremenski utvrđenih transfera
5. Vrste mreža
6. Razmaci između stajališta na mreži linija
7. Zaključak.

U drugom poglavlju definirani su osnovni pojmovi javnog gradskog prijevoza i potkrijepljeni slikama iz različitih izvora (trasa, terminal, stajalište). Opisane su značajke linija javnog gradskog prijevoza (*ROW*) te segmenti ciljeva planiranja mreže linija.

U trećem poglavlju obrađen je pojam transfera i vrste transfera: transferi po duljini intervala (A, B, C, D: D_1 , D_2 , D_3) i po tipu linije (simultani, transferi na Y raskrižjima, između lokalnih i ekspresnih vlakova).

U četvrtom poglavlju opisan je vremenski utvrđeni sustav transfera i kriteriji koji trebaju biti zadovoljeni za njegovu uspješnost, definiran pulsni interval slijeđenja te su obrađene dvije vrste vremenski utvrđenih transfera (s jednim središtem, s više središta).

Peto poglavlje čine tri potoglavlja: mreže s različitim *ROW*-om (I., II., III.), vrste željezničkih mreža (radijalne, radijalno obodne, mreže linija u obliku trokuta ili mreže, široko rasprostranjene mreže) i geometrijski oblici mreže metroa.

U šestom poglavlju definiran je pojam stajališta i međustajališnih razmaka te kako se oni općenito planiraju i koja je svrha planiranja, odnosno u drugom potpoglavlju su prikazani primjeri načela određivanja razmaka između stajališta na željezničkim mrežama.

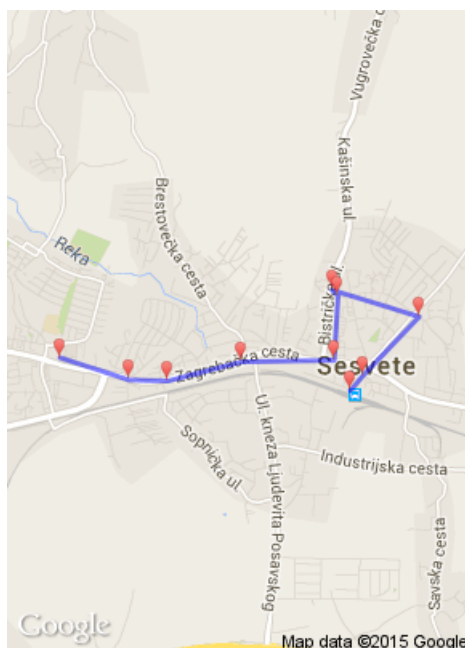
2. Kategorije planiranja mreže linija

Mreža linija kao glavna komponenta infrastrukture sustava javnog gradskog prijevoza obuhvaća sve linije javnog gradskog prijevoza koje se međusobno preklapaju ili presijecaju. U javni prijevoz uključena su prijevozna sredstva koja prometuju *linijama* po unaprijed utvrđenom voznom redu i trasi. Ukupna duljina svih prometnih pravaca koje opslužuju jedna ili više linija javnog gradskog prijevoza naziva se *duljina mreže* javnog gradskog prijevoza. [1]

Linija javnog gradskog prijevoza dio je mreže linija koja je koordinirana za učinkovito prometovanje. Liniju čine:

- Trasa

Trasa linije javnog gradskog prijevoza je unaprijed utvrđeni pravac po kojemu prometuju prijevozna sredstva.



Slika 1. Trasa linije 212, Izvor: [7]

- Stajalište

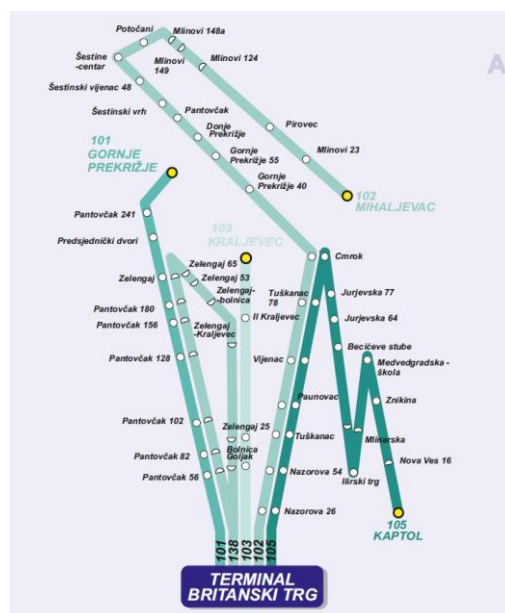
Stajalište na liniji javnog gradskog prijevoza je mjesto gdje se prometna sredstva zaustavljaju da bi putnici izišli ili ušli. Stajališta mogu imati informativni stup, nadstrešnicu i sjedala.



Slika 2. Stajalište i informativni stup, Izvor: vlastita fotografija

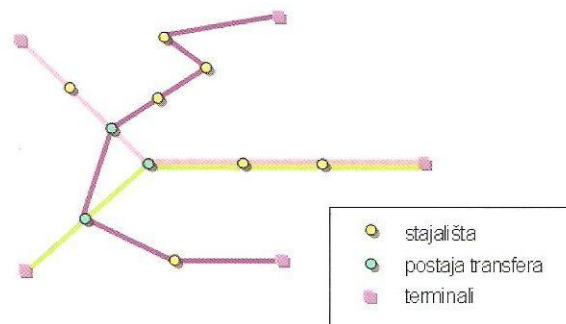
- Terminal

Terminal je krajnja postaja na liniji javnog prijevoza.



Slika 3. Terminal Britanski trg, Izvor: [8]

Uveden je i pojam *postaja javnog prijevoza*. To je objekt za ulazak i izlazak putnika te čekanje i transfer. Na *postajama transfera* koje su postaje za dvije linije ili više njih, putnici mogu prelaziti između linija.



Slika 4. Linija javnog gradskog prijevoza s označenim stajalištima, terminalima i postajama transfera, Izvor: [1, str. 2]

2.1. Značajke linija javnog gradskog prijevoza

Za javni gradski prijevoz najbitniji je stupanj odvajanja od drugih vozila i pješaka.

Gradska površina (od ulice do podzemnog ili nadzemnog sustava) na kojoj prometuje linija javnog prijevoza u koju je uključena infrastruktura koju koriste isključivo prijevozna sredstva javnog prijevoza definira se kao *pravo prvenstva javnog prijevoza* (engl. *right-of-way*, kraće: ROW).

Karakteristike linija variraju s obzirom na pravo prvenstva javnog prijevoza. Pravo prvenstva javnog prijevoza klasificira se tako u tri kategorije:

- Kategorija I.
- Kategorija II.
- Kategorija III.

Kategorija I.

Prva kategorija prava prvenstva javnog prijevoza u potpunosti je kontrolirana linija bez ukrštanja ceste ili željezničke pruge u razini odnosno bez mogućnosti pristupa vozila i pješaka. Linije prve kategorije mogu biti denivelirane (u različitim razinama), u tunelu, na nasipu ili iznad površine. Predstavnik ove kategorije je metro ili brzi željeznički prijevoz. Svi sustavi automatski vođenog javnog prijevoza (engl. *automated guided transit*, kraće: AGT) moraju imati pravo prvenstva. Regionalna željeznica često ima neke denivelirane prijelaze sa sustavima za signalizaciju koji joj daju pravo prvenstva (engl. *full signal override*) te se smatra da pripada prvoj kategoriji prava prvenstva jer takvi prijelazi uglavnom ne utječu na performance linije. Oni se pažljivo planiraju i projektiraju jer su njihovi učinci višeg dometa budući da zahtijevaju znatna ulaganja, permanentni su i imaju veliki potencijal utjecaja na urbani razvoj. [1]

Kategorija II.

Druga kategorija prava prvenstva javnog prijevoza uključuje različite vrste linija koje su uzdužno (longitudinalno) fizički odvojene (rubovima pločnika, barijerama, zelenim trakovima,...) od drugog prometa. Kategorija definira polubrzi oblik javnog prijevoza s lakom gradskom željeznicom (engl. *light rail transit*, kraće: LRT) kao predstavnikom. Prijelazi linija druge kategorije su u razini za vozila i pješake, uključujući ulična raskrižja. [1]

Kategorija III.

Treću kategoriju prava prvenstva javnog prijevoza čini površinska cesta s mješovitim prometom što podrazumijeva da prijevozna sredstva javnog prijevoza dijele ulicu s drugim vozilima i pješacima. Iako postoji mogućnost njihovog odvajanja na kolniku (žuti trak), fizički nisu odvojeni od ostalog prometa. Prijevozna sredstva koja predstavljaju kategoriju su autobus, trolejbus i tramvaj. Linije ove kategorije lako se modificiraju i premiještaju te imaju male investicije.

Elementi performance linija (kapacitet, pouzdanost, brzina, ...) javnog prijevoza ovise o kategoriji prava prvenstva javnog prijevoza. Linije kategorije I. u potpunosti su kontrolirane stoga imaju performancu velike pouzdanosti. Kategorija II. (u većoj mjeri) i kategorija III. (u manjoj mjeri) ovise o prometnim uvjetima duž linije. [1]

2.2. Ciljevi planiranja mreže linija javnog gradskog prijevoza

Pri planiranju mreže linija treba postaviti specifične ciljeve koji se odnose na karakteristike na koje se može utjecati prilikom geometrijskog projektiranja linija i mreže linija. Ciljevi se općenito mogu svrstati u tri kategorije: postizanje maksimalnog prijevoza (1), postizanje maksimalne operativne učinkovitosti (2) i stvaranje pozitivnih učinaka (3).

1. Postizanje maksimalnog prijevoza uključuje ponudu velike brzine putovanja i prosječne duljine putovanja koja ne varira. Može se izraziti brojem putnik/putovanje ili putnik/kilometar.
2. Postizanje maksimalne operativne učinkovitosti izražava se kao minimalni ukupni trošak sustava za zadanu razinu izvođenja.
3. Pozitivni učinci uključuju različite tipove, od učinaka kratkog dometa (npr. redukcija zagušenja na prometnicama) do učinaka višeg dometa (npr. postizanje visoke mobilnosti stanovništva, poželjno trasiranje mreže javnog gradskog prijevoza, održivost i visoka kvaliteta životnog standarda).

Navedene kategorije ciljeva planiranja mreže javnog prijevoza trebaju se podudarati sa zahtjevima putnika, operatera i zajednice.

2.3. Specifični ciljevi pri planiranju mreže javnog gradskog prijevoza

Privlačenje putnika, operativna učinkovitost mreže i interakcija mreža linija-grad specifični su ciljevi na koje se može utjecati prilikom planiranja i projektiranja mreže linija javnog gradskog prijevoza.

Dominantni cilj pri projektiranju je **privlačenje što većeg broja putnika** što se postiže kvalitetom usluge javnog prijevoza. Na kvalitetu usluge utječu:

- pokrivenost područja stajalištima javnog prijevoza
- brzina putovanja
- atraktivnost linije
- izravna putovanja
- jednostavnost

- laki transferi
- povezanost.

Jedna od osnovnih strategija privlačenja putnika trebala bi biti visoka pokrivenost područja sustavima željezničkog javnog prijevoza, metroom, lakom i regionalnom željeznicom. *Pokrivenost područja stajalištima javnog prijevoza* definirana je kao postotak ukupne urbane površine koja se nalazi u centru grada unutar petominutnog pješaćenja (400 m), a izvan centra do desetominutnog pješaćenja (800 m) do prvog stajališta javnog prijevoza. Prema istraživanju Vuchica [3] većina će potencijalnih korisnika javnog prijevoza koristiti sustav unutar petominutnog pješaćenja, dok desetominutna udaljenost kod potencijalnih korisnika umanjuje spremnost korištenja sustava javnog prijevoza. Spremnost potencijalnih putnika da pješāče, voze bicikl ili koriste osobni automobil ovisi o kvaliteti sustava javnog prijevoza, duljini putovanja i uvjetima putovanja na ostalim pravcima. Broj korisnika brže pada ako se radi o javnom prijevozu u razini, ali ne i ako se radi o metrou ili željeznici koje nude prijevoznu uslugu više razine. Ovi se standardi ne primjenjuju na stajališta s ekstenzivnim dovoženjem putnika osobnim automobilom koji se parkira (engl. *park and ride*). U manjim ili gradovima srednje veličine, pokrivenost područja uličnim javnim prijevozom bi trebala biti visoka i iznositi od 80 do 100%. U metropolama (poput Pariza) sustavi metrao osnovni su nositelji javnog prijevoza jer su veće duljine putovanja.

Brzina putovanja, kao jedan od segmenata kvalitete usluge javnog prijevoza, u funkciji je kategorije prava prvenstva javnog prijevoza (ROW) i udaljenosti između stajališta. Kod I. kategorija prava prvenstva javnog prijevoza (brzi javni prijevoz) razmak između stajališta važan je čimbenik jer optimalni razmak između stajališta na linijama smanjuje vrijeme putovanja putnika. Kod III. Kategorije brzina ovisi o uvjetima na ulici i u prometu što znači da glavni segment koji utječe na brzinu putovanja planiranje je stajališta.

Atraktivnost linije javnog prijevoza postiže se projektiranjem linije javnog prijevoza da zadovoljava zahtjeve putnika odnosno povezale polazišno-odredišne točke kojima će se prevoziti maksimalni broj putnika

Izravna putovanja dobivaju se omjerom putnik po kilometru (putnik/km) na mreži prema putnik/km uzduž ravnih linija od polazišta do odredišta. Omjer je pokazatelj učinkovitosti mreže tako što se konfiguracija koja rezultira najmanjim omjerom smatra najučinkovitijom.

Operativna jednostavnost postiže se linijama koje su prometno neovisne jedna o drugoj te imaju mogućnost transfera putnika između njih. Operativnu jednostavnost ima pariški metro koji se sastoji od mreže neovisnih linija bez preklapanja s drugim linijama. Samo nekoliko linija ima dva odvojka prema okolnim područjima.

Lake transfere odnosno presjedanja na primjeru pariškog metroa zamjećujemo na linijama koje se sijeku s nekoliko drugih linija što omogućuje da se većina putovanja između bilo koja dva stajališta obavi samo jednim presjedanjem.

Povezanost linija, osim kao u predhodnom primjeru lakim transferima, može se dobiti i pomoću mreže s integriranim linijama tj. linijama koje se preklapaju. Takve linije pogodne su za putnike jer omogućuju više putovanja bez transfera. Primjer mreže s linijama koje se preklapaju je metro Washington D.C.-ja. [1]

Operativna učinkovitost mreže specifični je cilj koji obuhvaća izgradnju i trošak rada javnog prijevoza. Operativna se učinkovitost određuje kroz pet točaka eksploatacije sustava:

- ponuda izravnih usluga
- operativna fleksibilnost
- integracija
- površine za stacioniranje vozila
- trošak sustava.

Ponuda izravnih usluga poželjna je jer pogoduje putnicima u područjima s velikom potražnjom za putovanjima. Kod ponude izravnih usluga nema kašnjenja zbog transfera te je ujedno veća iskorištenost kapaciteta prijevoznog sredstva.

Operativna fleksibilnost očituje se u povećanju veza između linija na kojima se mogu mijenjati prijevozna sredstva između linija.

Integracija s drugim oblicima javnog prijevoza omogućuje učinkovito korištenje zajedničkih koridora željeznice i autoceste s kombiniranim stajalištima koja omogućuju laku izmjenu putnika različitih podsustava prijevoza uz mogućnost korištenja sabirnih autobusa do glavnih željezničkih linija po načelu „parkiraj i koristi javni prijevoz“ (engl. *park and ride*).

Površine za stacioniranje vozila odnosno terminali, depoi i ranžirni kolodvori trebaju biti na lokacijama koje minimiziraju prazni hod između njih i linija. Takvi objekti zauzimaju velika područja uz visoke troškove zemljišta pa se preporuča da ih se locira na rubnim područjima. Terminale bi se trebalo locirati u blizini glavnih ulica da se pješacima i putnicima s osobnim automobilima omogući učinkovitiji pristup javnom gradskom prijevozu.

Trošak sustava najvažniji je čimbenik pri projektiranju mreže. Da bi se povećao broj putnika, veća ulaganja trebaju osigurati manje operativne troškove uz povećanje kvalitete usluge. Trošak ovisi o: kategoriji linije (pravo prvenstva), pravcu, izvedbi linije (u razini, uzdignuta, tunel,...) i o stajalištima (veličina, oprema,...).

Projekt mreže linija javnog prijevoza predstavlja kompromis između zahtjeva (npr. preklapanje linije) praktičnosti za putnike i operativne jednostavnosti neovisnih linija ili primjerice zahtjeva brzine, kapaciteta i pokrivenosti područja nasuprot trošku investiranja. Pri projektiranju sustava javnog prijevoza potrebno je razmotriti:

- korištenje zemljišta
- topografiju i okoliš
- geografska ograničenja
- postojeću transportnu mrežu.

Korištenje zemljišta je osnovni čimbenik pri planiranju mreže javnog prijevoza, osobito metroa ili drugih željezničkih sustava jer se posljedično oko njih grupiraju poslovni, stambeni ili komercijalni kompleksi. Pri dobrom razmještaju aktivnosti na zemljištu postiže se visoka učinkovitost koordinacije urbanog razvoja i projekta glavnih mreža javnog prijevoza.

Topografija i okoliš najčešće su nefleksibilni elementi pri planiranju javnog gradskog prijevoza jer primjerice brdovit teren ili rijeka definiraju prirodni koridor javnog prijevoza te ga na taj način strogo ograničavaju. Isto tako estetika, buka ili zagađenje, različite su važnosti u različitim područjima.

Geografska ograničenja poput prirodnih barijera (brda, planine) ili nekih drugih reljefnih oblika (doline, rijeke, zaljevi) zahtijevaju tunele ili mostove (viadukte) i samim time

nameću izgradnju tračničkih sustava linija javnog gradskog prijevoza koje su po kapacitetu ekvivalentne autocesti s deset trakova.

Dobre strane *postojeće transportne mreže* je njezina iskoristivost za lokaciju objekata javnog prijevoza, ali s druge strane ona može predstavljati smetnje poput prijelaza u razini.

Budući da se utjecaj većine tih čimbenika na projekt mreže javnog prijevoza ne može precizno definirati ključno je da na projektu sudjeluju prometni tehnolozi s iskustvom u radu sustava javnog prijevoza. Kako je urbana sredina prometno definirana korištenjem svoga zemljišta, topografijom i okolišem, geografskim ograničenjima te postojećom transportnom mrežom, ti se čimbenici moraju uzeti u obzir prilikom projektiranja i planiranja mreže linija da bi **interakcija linija mreža-grad** bila što efikasnija i kvalitetnija. [1]

3. Transferi u mrežama linija

Usluga javnog gradskog prijevoza bez mnogo transfera u mnogim svjetskim gradovima predstavlja svakodnevni javni gradski prijevoz specijaliziran isključivo za putovanje na posao i kući (npr. ekspresne autobusne usluge koje koriste autoceste i HOV trakove za vozila s minimalno ograničenim brojem putnika). Ovaj tip usluge nudi putovanje za vrijeme najintenzivnijeg gradskog prometa kada se ide na posao ili s posla (vršni sat) i to do središta grada ili drugih poslovnih centara no izvan vršnog sata ne nude prijevoznu uslugu pa ne mogu opsluživati vrstu putovanja *mnogi do mnogih*.

Presjedanja ili *transferi* na mrežama linija javnog gradskog prijevoza zahtijevaju snalaženje i pješčenje između *postaja transfera* što izaziva određeni otpor kod korisnika javnog gradskog prijevoza. Loše projektirani terminali, nedostatak koordiniranih voznih redova, zajedničkih vozarina i integriranih informacija transfere korisnicima čini dugima, skupima i konfuznima. Posljednjih se godina zato radilo na inovacijama koje transfere olakšavaju pa su tako uvedeni projekti kombiniranih stajališta, povećane upotrebe pokretnih stepenica, boljeg informiranja putnika te zajedničkih vozarina.

Sustavi javnog gradskog prijevoza koji nude uslugu cijelog dana po cijeloj regiji oslanjaju se na transfere putnika između linija i načina prijevoza što je tipično za ekstenzivne metro-sustave, mreže na kojima prometuju samo autobusi i kombinirane integrirane sustave. Kako bi se postigla integracija unutar različitih linija (npr. mreža metroa i mreža autobusa) moraju se ponuditi praktični i učinkoviti transferi između linija kroz: funkcionalni projekt linije, optimalni plan stajališta transfera, koordinirani vozni red, informacije i zajedničku tarifu (vozarinu). Mreže javnog gradskog prijevoza s mogućnostima presjedanja (transfera) nude putnicima veći izbor smjerova putovanja nego mreže s velikim brojem integriranih linija koje uključuju male transfere ili ih uopće nemaju. Što je više transfera veća je učinkovitost mreže jer se svaka linija može optimalno projektirati za njezine fizičke uvjete, opseg i karakteristike potražnje. Kada transferi nisu dobro isplanirani, produljuju i poskupljuju putovanje te ga čine konfuznim, a na taj se način ne stvara prednost javnog prijevoza nad osobnim automobilima, zato postoji preporuka da se transfer pokuša izbjeći kada god je to moguće. Kada su transferi dobro isplanirani i kada je otpor korisnika sveden na minimum pomoću dobrog projekta stajališta, praktičnim pješačkim rutama, objektima na stajalištima,

kooordinacijom voznog reda, tada nepodobnosti za putnike postaju neznatne u odnosu na prednosti transfera – raspoloživost različitih pravaca putovanja kroz mrežu, kraće intervale slijeđenja između linija i bolju uslugu. Putnički transferi između linija važan su element putovanja gradskim prijevozom jer se pokazalo da je većina velikih uspješnih mreža javnog gradskog prijevoza zasnovana na transferu (presjedanju). [1]

Transferi (presjedanja) klasificiraju se dvojako: po duljini intervala i po tipu linije.

3.1. Transferi po duljini intervala

Na lokacijama gdje se dvije ili više linija javnoga gradskog prijevoza sijeku ili završavaju u jednoj točki omogućeni su putnički transferi. Vremenska kašnjenja zbog presjedanja ovise od duljinama i odnosima intervala slijeđenja na linijama koje se sijeku. Za klasifikaciju transfera po duljini intervala linije se dijele na:

- linije s kratkim intervalima slijeđenja: ≤ 10 minuta
- linije s dugim intervalima slijeđenja: ≥ 10 minuta.

Međulinijski transferi mogu se klasificirati prema intervalima slijeđenja polazišnih linija i odredišnih linija u četiri transfera:

- Kratki na kratki interval slijeđenja.* Transfer bilo s koje linije s kratkim intervalom slijeđenja na liniju s kratkim intervalima slijeđenja uključuje kratka vremena presjedanja.
- Dugački na kratki interval slijeđenja.* Transfer bilo s koje linije s dugačkim intervalom slijeđenja na liniju s kratkim intervalom slijeđenja (kao u A slučaju) ima kratka vremena transfera. Ni u jednom slučaju (A i B) nije potrebna posebna koordinacija voznog reda na točkama transfera.
- Kratki na dugački interval slijeđenja.* Pojavljuje se na transferima glavne linije koja ima kratke intervale slijeđenja, na sabirne linije s dugačkim intervalima slijeđenja. Takvi transferi mogu uključivati vremena čekanja koja variraju od vrlo kratkih do duljih vremena čekanja. Kašnjenje varira nepravilno i može se izbjeći ako se putnicima ponudi vozni red za sve linije, da putnik može planirati svoje putovanje tako da koristi glavnu liniju koja se spaja s njegovom sabirnom linijom uz minimalno kašnjenje.

D *Dugački na dugački interval slijeđenja*. Događa se se na transferima dviju linija s dugačkim intervalima slijeđenja. Dije se u tri podgrupe:

- D₁ – sinkronizirani

Sinkronizirani dugački na dugački interval slijeđenja ima vremena stajanja koja se preklapaju. Prijevozna sredstva s veznih linija dolaze u ista vremena, u konstantnim intervalima i stoje nekoliko minuta kako bi omogućili izmjenu putnika između svih prijevoznih sredstava. To je *sustav usklađivanja transfera* koji omogućuje lake i praktične transfere između svih prijevoznih sredstava u svim smjerovima.

- D₂ – jednaki

Jednaki dugački na dugački interval slijeđenja ima vremena stajanja koje se ne preklapaju. Dolasci prijevoznih sredstava na različite spojne linije uvijek su u istom vremenskom nizu pa je moguće obavljati praktične transfere s jedne linije na drugu, ali ne u suprotnom smjeru.

- D₃ – različiti.

Različiti dugački na dugački interval slijeđenja ne omogućuje koordinaciju jer su vremena transfera slučajna i mogu se približavati duljini intervala čekanja na određenoj liniji.

Uvijek je praktično obavljanje transfera s jedne linije na drugu s kratkim intervalima slijeđenja (A i B). Transfer na liniju s dugačkim intervalima slijeđenja varira od vrlo praktičnog slučaja (D₁) do vrlo nepraktičnog slučaja s različitim intervalima slijeđenja (D₃). Koordinacija voznih redova nije potrebna u slučajevima A i B, a vrlo je bitna u slučajevima D₁ i D₂. [1]

3.2. Transferi po tipu linije

Na broj i karakter transfera utječu dva aspekta linija između kojih do njega dolazi: Ti aspekti su:

- odnos svake linije prema točki transfera

Odnos linije prema točki transfera znači da linija završava ili prolazi kroz točku transfera. Prema ovom aspektu linije mogu biti: završne (l_z) i prolazne (l_p).

- sličnost linija

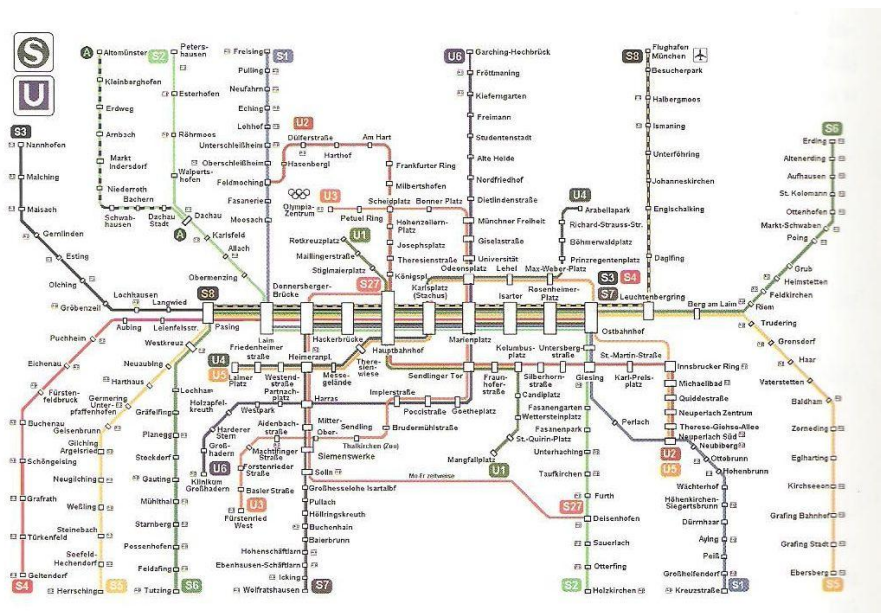
Aspekt tipa linije može biti sličnost ili različitost linije koji utječe na transfer putnika (*mnogi do mnogih* između sličnih linija ili *mnogi do jednog* i *jedan do mnogih* između različitih kategorija linija kao što su glavna i sabirne linije). Linije sličnih karakteristika (učestalost, kapacitet, vrsta prijevoznog sredstva) ili je jedna od njih glavna linija koja ima znatno veću performancu nego druge linije (slabije učestalosti, nižeg kapaciteta,...) i predstavljaju njezine sabirne linije s funkcijom sakupljanja i distribucije putnika.

Prigradske autobusne linije koje se susreću na različitim točkama često su sličnih obilježja, a sabirne i glavne linije uglavnom se susreću na mjestima gdje prigradske linije konvergiraju na glavnoj radijalnoj liniji prema središtu grada. Glavna linija, na kojoj obično prometuju tračnička prijevozna sredstva, ima znatno veću performancu (učestalost, brzinu, kapacitet, udobnost, pouzdanost, imidž) nego njezine individualne sabirne linije.

U metro-sustavima većina stajališta transfera ima linije (dvije ili više) koje se sijeku na različitim razinama. Ako putnici moraju savladati jedan ili dva niza stuba, vozni redovi vlakova na različitim linijama ne mogu biti koordinirani za istovremene (simultane) transfere. Kada god geometrija pravca linija dopušta (osobito kada su veliki zahtjevi za brzim i praktičnim transferima), moraju se planirati projekti stajališta koji nude simultane dvosmjerne transfere preko perona između vlakova. Postoje tri najpoznatija slučaja:

1. simultani transfer između linija koje se isprepliću
2. projekt stajališta za transfere na Y raskrižjima
3. transferi između lokalnih i ekspresnih vlakova.

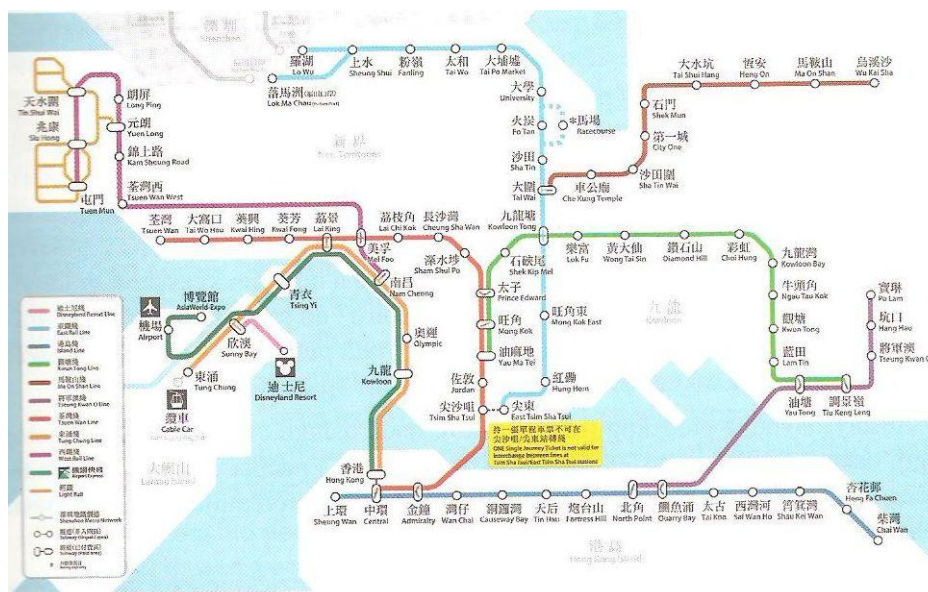
Simultani transfer linija koje se isprepliću. Kolosijeke treba ispreplesti ako se dvije metro-linije međusobno sijeku pod tupim kutom, tada dva vlaka u svakom smjeru imaju vozni red s jednakim i simuliranim intervalima slijeđenja. Putnicima je omogućen transfer preko perona između dva stajaća vlaka čime je dobivena minimalna udaljenost bez čekanja. Sustav jednako pogodan i putnicima i prijevoznicima je laka gradska željeznica s trećom pogonskom tračnicom. Ovo je praktično rješenje kojim se ukidaju zračni vodovi. Treća tračnica, smještena između dvije vodeće, podijeljena je u segmente od osam metara pod naponom, s neutralnim segmentima u duljini od tri metra. U trenutku nailaska vozila, radiosignalom pokreće se segment i proizvodi se napon. Opasnost za pješake otklonjena je tako što su u svakom trenutku maksimalno dva segmenta ispod vozila pod naponom. Laka željeznica s trećom pogonskom tračnicom pogodna je za gradove sa zaštićenom povijesnom jezgrom. Problem se pojavio pri jakim kišama i sporom otjecanju vode iz tračnica pod naponom koje je prouzročilo prekid napajanja. Prvi takav sustav izgrađen je 2003. u Bordeauxu, a danas je takav sustav usavršen i postoji u nekoliko francuskih gradova.



Slika 5. Mreža U-Bahn i S-Bahn linija za simultane transfere između vlakova na dvije linije koje se isprepliću, Izvor: [1, str. 26]

Tri linije U-Bahna susreću se u parovima na četiri različita stajališta u mreži (prikazano kao dvostruko kružno križanje). Prometovanje iziskuje koordinirane vozne redove za sve tri linije, precizne radnje i korekcije voznog reda na stajalištima koja su bliža tim raskrižjima.

Projekt stajališta za transfere na Y raskrižjima. Kada radialna mreža u obliku Y prometuje s glavnom linijom koja se nastavlja u odvojkju dok druga prometuje kao sabirna linija, postižu se veliki transferi na konvergenciji dviju linija. Primjerice u Hong Kongu.



Slika 6. Hong Kong, mreža metro-linija, Izvor [1, str. 27]

Linije prometuju paralelno između dvaju stajališta i imaju dva perona na različitim razinama na svakom od dvaju stajališta kako bi ponudila izravnanе praktične transfere za sva četiri presjedanja.

Transferi između lokalnih i ekspresnih vlakova. Ova vrsta usluga postoji na sustavima brzoga javnog prijevoza u nekoliko američkih gradova (New York, Chicago, Philadelphia) koji imaju linije s uslugama na četiri, izuzev etno na tri ili dva kolosijeka te japanskim gradovima (Tokyo, Yokohama, Osaka, Kobe) koji nude usluge na nekoliko metro-linija i na regionalnim željezničkim mrežama. Putnik koji uđe na stajalištu lokalne linije može koristiti lokalni vlak doprvoг stajališta ekspresnog vlaka,

presjedne na ekspresni, zatim ponovo presjedne na lokalni vlak kako bi došao do destinacije na lokalnom stajalištu. Na liniji s četiri kolosijeka intervali slijeđenja lokalnih i ekspresnih vlakova neovisi su jedan o drugom, ali idealni promet je kada lokalni vlakovi imaju vozni red tako da simultano staju na svakom ekspresnom stajalištu, a putnici obavljaju transfer bez čekanja. Na linijama s dva kolosijeka, lokalni i ekspresni vlakovi moraju imati vozni red tako da se susretnu na ekspresnom stajalištu jer su to jedina mjesta gdje ekspresni vlakovi mogu pretjecati lokalne. To znači da rad na dva kolosijeka uključuje dodatna kašnjenja za lokalne vlakove jer moraju doći prije i otići nakon ekspresnih. Ova vrsta prometne usluge zahtijeva vozni red precizan u sekundama (ne minutama) i strogu kontrolu, a primjenjuje se svakodnevno u regiji Tokya na nekoliko metro i regionalnih željeznica. [1]

4. Planiranje sustava vremenski utvrđenih transfera

Vremenski utvrđeni sustav transfera (TTS) mreža je koja se sastoji od linija javnog gradskog prijevoza i jednog ili više centara (središnjih točaka mreže) u kojima prijevozna sredstva iz svih linija koje se međusobno sijeku dolaze istovremeno omogućujući transfere putnicima u svim smjerovima. Vremenski utvrđeni sustav transfera uspješno se uvodi od 1970-ih godina u mrežu javnog gradskog prijevoza u mnoge sjevernoameričke gradove. Zbog rasta pedgrađa male gustoće uglavnom orijentiranih na osobne automobile, postalo je teško opsluživati ta područja konvencionalnim neovisnim linijama javnog gradskog prijevoza. Međulinijski transferi postali su nepraktični zbog dugog vremena čekanja uzrokovanih dugačkim intervalima slijeđenja. Da bi poboljšali uslugu neki su gradovi (Portland, Oregon, Sacramento) uveli mreže zasnovane na vremenski utvrđenom sustavu transfera, a modernizirane su i nekoordinirane linije u integriranu mrežu s lakim transferom između linija. Međugradski i regionalni željeznički sustavi u Njemačkoj, Nizozemskoj i Švicarskoj imaju ekstenzivne mreže s vremenski utvrđenim transferima svakih 60, 30 ili 15 minuta. Postoje metro-sustavi koji se simultano susreću za transfere između linija velike frekvencije i to svakih 5 minuta ili čak s kraćim intervalom slijeđenja.

Uspješan rad sustava vremenski utvrđenih transfera podrazumijeva zadovoljavanje triju kriterija:

1. Linije i mreže se moraju isplanirati i projektirati da sustav radi simultano. Vozne redove treba formirati zajedno s projektom mreže jer su u međuovisnosti (vremena putovanja na linijama moraju odgovarati intervalima slijeđenja).
2. Rad sustava mora biti pouzdan da se minimizira vjerojatnost susreta prijevoznih sredstava u centrima tranzita (prelaska). S pouzdanom autobusnom uslugom u predgrađima zajedničko vrijeme boravka prijevoznih sredstava na stajalištima mora iznositi dvije do četiri minute inače transferi gube na praktičnosti.
3. Informiranje javnosti o uvođenju ove usluge je nužno iako iziskuje dodatni napor. Putnicima odgovaraju sinkronizirani transferi jer ih od korištenja usluga javnog gradskog prijevoza odbija nepouzdan sustav u kojem se zbog svakog propuštenog prijevoznog sredstva mora nepotrebno čekati i do 15 minuta.

Vremenski utvrđeni sustavi transfera u kojima dolasci i odlasci prijevoznih sredstava s različitih linija na stajališta transfera moraju biti simultani u vremenskim intervalima zovu se *pulsni intervali slijeđenja* (i_p). Kada se želi izraditi vozni red koji se ponavlja svaki sat vremena, može se birati između dva različita osnovna pulsna intervala slijeđenja (i_p):

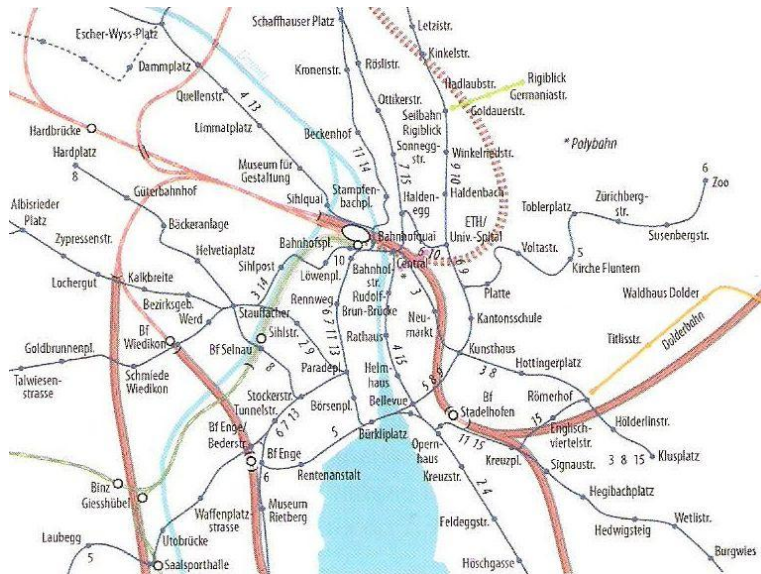
- 15 minuta (što dopušta interval slijeđenja od 7, 5, 30, 45 i 60 minuta)
- 20 minuta (dopušta interval slijeđenja od 10, 40 i 60 minuta).

Pulsni intervali slijeđenja (od 15 i 20) minuta vrše se na osnovi:

- željene razine učestalosti usluge
- udaljenosti između centara tranzita koje utječu na učinkovitost voznog reda
- ulaganja u veličinu voznog parka i operativne troškove uzimajući u obzir frekvencije i traženi broj prijevoznih sredstava za prometne usluge na svim linijama. [1]

4.1. TTS mreže s jednim središtem

Za projektiranje sustava vremenski utvrđenih transfera (TTS-a) mora se postići koordinacija s voznim redom. Izračuni mreža i operativnih elemenata prezentiraju se pomoću najjednostavnijeg modela TTS-a – *mreže s jednim središtem*. Mrežu s jednim središtem čini skup radijalnih i dijametralnih linija koje završavaju ili prolaze kroz centar tranzita, ili na izravnim linijama gdje svaka od dviju linija dionice koja izlazi kao radijus iz centra javnoga gradskoga prijevoza (C_{JGP}). [1]



Slika 7. Zürich, TTS mreža s jednim središtem, Izvor: [1, str. 32]

Mreža s jednim središtem mora imati sljedeće odnose između T , N i i_p :

$$j_1 = \frac{T_1}{N_1} = j_2 = \frac{T_2}{N_2} = \dots = j_i = \frac{T_i}{N_i} = h_p(1)$$

| j | T | N | H |
|-----|-----|-----|--------|
| - | min | PS | min/PS |

Gdje je j cjelovit broj: kada prijevozna sredstva s linije dolaze sa svakim impulsom, $j=1$. Kada prijevozna sredstva dolaze na drugi ili treći puls, $j=2$ ili $j=3$. Ako linija ima vrijeme ciklus $2T$ i na njoj prometuju dva prijevozna sredstva, $N=2$, $j=1$, jer jedno prijevozno sredstvo dolazi nakon svakog pulsno intervala (i_p). Iz jednadžbe se iščitava: ako prometuje jedno prijevozno sredstvo, pulsni interval slijeđenja jednak je kružnom putovanju od centra tranzita do kraja svake i -te linije: $i_p = T_i$.

Ako je broj prijevoznih sredstava na liniji s ciklusom vremena t povećan s jednog na dva, interval slijeđenja bit će reduciran na $i_p/2$.

Neke linije mogu imati dulje cikluse, kao što su $2T$ ili $3T$. Ako na njima prometuje jedno prijevozno sredstvo, imat će dulje intervale slijeđenja, kao što su $2i_p$ ili $3i_p$. Tada prijevozna sredstva dolaze svakog drugog ili trećeg pulsa.

Ciklusno vrijeme T izraženo je kroz vremenske komponente i kao funkcija duljine linije L i brzine obrta na svakoj liniji V_0 :

$$T = 2T_0 + t_1 + t_2 = \frac{120L}{v_0} + t_1 + t_2(2)$$

| | | |
|------|----|------|
| T, t | L | V |
| min | km | km/h |

Vremena na dva terminala t_t koriste se za prilagođavanje ciklusnog vremena (vremena obrta) tako da bude isto sa h_p zadovoljavajući jednačbu (1).

Ciklusno vrijeme (vrijeme obrta) može se izraziti kao funkcija duljine linije L i brzine ciklusa V_c :

$$T = \frac{120L}{v_c} = h \cdot N \quad (3)$$

| | | | | |
|-----|----|------|--------|----|
| T | L | V | h | N |
| min | km | km/h | min/PS | PS |

Broj prijevoznih sredstava (PS) N na svakoj liniji ili dionici linije koja izlazi radijalno iz centra javnog gradskog prijevoza L_s , može se dobiti iz jednačbi (2) i (3), ako se T zamijeni s $N \cdot h$:

$$N_i = \frac{\frac{120L}{v_0} + \sum t_t}{h} = \frac{120 L_{si}}{h_p \cdot v_{ci}} \quad (4)$$

| | | | | |
|----|----|------|--------|-----|
| N | L | V | h | t |
| PS | km | km/h | min/PS | min |

Za dijametralne linije, N se može izračunati za svaku dionicu linije od centra prema periferiji, L_s i zatim dva N zbrojiti za cijelu liniju.

Planiranje vremenski utvrđenog sustava transfera (TTS-a) pomoću navedenih jednačbi vrši se kroz sljedeće postupke:

1. određivanje za svaku liniju T_0 (vrijeme obrta) što predstavlja minimalno moguće ciklusno vrijeme za tu liniju,
2. izrada dijagrama dobivenih intervala slijeđenja ako se i_p zasniva na 15 minuta, te potrebna prilagođavanja ako je i_p 20 minuta,
3. uspoređivanje dvaju skupova radi razine usluge i broja potrebnih prijevoznih sredstava te izabiranje boljega koji će biti prihvaćen za cijelu mrežu,
4. izračunavanje potrebnog broja prijevoznih sredstava za svaku liniju. [1]

4.2. TTS mreže s više središta

Vremenski utvrđeni sustav transfera mreže s više središta učinkovit je u velikim područjima koja imaju mnogo podcentara i putovanja u više smjerova. Neovisne linije javnog gradskog prijevoza u prethodnim situacijama često ne mogu ponuditi ekstenzivnu pokrivenost područja dobrim vezama. Te linije mogu učinkovito opsluživati samo putovanja uzduž pojedinih linija te, iznimno, s jednim praktičnim transferom između linija. Kada se te usluge mogu zamijeniti dobro projektiranom TTS mrežom, gradsko ili prigradsko područje dobiva integriranu uslugu javnoga gradskog prijevoza na cijelom području. Takva usluga korisniku pruža praktično i brzo putovanje po cijeloj mreži što je putnicima privlačno te predstavlja kvalitetnu alternativu vožnji osobnim automobilom.

Planiranje i projektiranje TTS-a s više središta obuhvaća sljedeće korake:

1. definiranje područja usluge, sakupljanje informacija o potrebama za uslugama javnoga gradskog prijevoza u postojećoj mreži ulica
2. procjenjivanje potražnje za putovanjima na svim većim dionicama ulične mreže i mreže linija javnoga gradskog prijevoza
3. odabir velikog broja potencijalnih lokacija za centre tranzita (kao što su željezničke postaje, sveučilišni kampusi, trgovački centri,...)
4. uzimanje u obzir potencijalne potražnje za putovanjima i optimalnom trošku usluge kako bi se moglo odlučiti o intervalu slijeđenja (15 ili 20 minuta)
5. procjenjivanje operativne brzine javnoga gradskog prijevoza, izračunavanje vremena putovanja po dionicama između potencijalnih centara javnoga gradskog prijevoza. Dodavanjem minimalnih ili poželjnih vremena, odrediti približne udaljenosti između centara tranzita L koje se uklapaju u vozni red s prihvaćenim pulsom intervala slijeđenja h_p s danim operativnim uvjetima na mogućim linijama javnoga gradskog prijevoza između potencijalnih centara tranzita javnoga gradskog prijevoza. Izraz za L kao funkciju od h_p , V_0 , N i t_t dobije se kada se u jednadžbi ciklusno vrijeme (koje se sastoji od operativnih i terminalnih vremena T) supstituiru sa $N \cdot h$, a T_0 sa $60L/V_0$:

$$T = 2T_0 + \sum t_t \left| \frac{T, t}{\min} \right|$$

$$h \cdot N = \frac{120L}{v_0} + \sum t_t(5)$$

| | | | | |
|--------|-----|----|----|------|
| h | t | N | L | V |
| min/PU | min | PU | km | km/h |

Ta jednačba rješava se s L:

$$L = \frac{v_0}{120} (h \cdot N - \sum t_t)(6)$$

| | | | | |
|----|------|--------|----|-----|
| L | V | h | N | t |
| km | km/h | min/PS | PS | min |

6. odabiranje centara tranzita koji se nalaze na najpogodnijoj udaljenosti jedan od drugoga za putnike
7. projektiranje mreže koja se sastoji od linija koje spajaju odabrane centre tranzita ili koje radijalno izlaze iz njih.

Mreže s više središta nude uslugu po cijeloj mreži koja ima veći potencijal privlačenja putnika nego neovisno projektirane linije. Ovaj tip mreže zahtijeva sofisticiranije planiranje mreže javnoga gradskog prijevoza po cijelo području i dobro organiziran i kontroliran rad kako bi prometna usluga bila pouzdana i na visokoj razini. [1]

5. Vrste mreža

Geometrijski oblik javnoga gradskog prijevoza varira zbog velikog broja čimbenika koji utječu na projekt mreže među kojima su i razlike između lokalnih, geografskih i kulturnih uvjeta. Pri planiranju i analizi mreže definiraju se i primjenjuju brojne opće karakteristike elemenata mreže osobito kontaktne točke između linija. Vrste mreža mogu se podijeliti na mreže s različitim načinima prvenstva prolaska i željezničke mreže.

5.1. Mreže s različitim načinima prvenstva prolaska

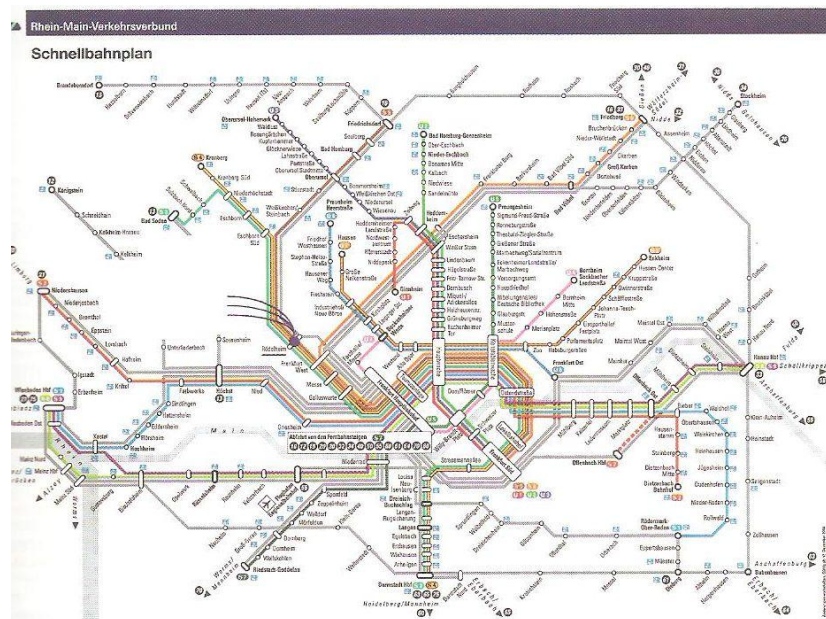
Kategorija III. prava prvenstva javnoga gradskog prijevoza (ulični javni prijevoz) u odnosu na **I. kategoriju** (brzi javni gradski prijevoz ili metro) razlikuje se u tri segmenta:

1. linije kategorije III. slijede uličnu mrežu, a metro (iako obično slijedi glavne) može koristiti pravce neovisno o ulici
2. funkcije uličnog javnog gradskog prijevoza su sakupljanje i distribucija putnika, zbog čega je njegova mreža gušća i ima bliža stajališta nego metro. Nedostatak je ograničenje uličnog prijevoza da privuče putnike na dulja putovanja. Mreže metroa moraju ponuditi velike brzine prijevoza na liniji, te kapacitet i kvalitetu usluge koji zahtijevaju dulje razmake među stajalištima što metro čini manje privlačnim izborom za kratka putovanja, ali atraktivnim za srednja i dulja putovanja.
3. ulični javni prijevoz (čak i s velikom frekvencijom) ima kraći interval slijeđenja pa se zbog toga operativna brzina, pouzdanost i sigurnost smanjuju. Brzi javni gradski prijevoz u kojemu se promet regulira semaforima održava veliku brzinu, pouzdanost i sigurnost, ali ne prelazi frekvenciju od 30 do 40 prijevoznih sredstava po satu. Neke su mreže projektirane na neovisnim linijama da bi zadržale maksimalnu pouzdanost. Na složenim integriranim mrežama, s linijama koje se spajaju i razdvajaju, glavnim linijama i odvojcima, isto se tako može prometovati s kratkim intervalima slijeđenja, ali to zahtijeva prometovanje po vrlo preciznim voznim redovima, izravnu kontrolu kretanja vozila (osobito prije točke konvergencije). [1]

Mreže uličnoga javnog prijevoza slijede uzorke ulica i imaju veću gustoću linije koje su više integrirane od metroa. Metro sustav nudi kvalitetniju uslugu na manje linija s

praktičnim transferima na stajalištima (između kojih je veći razmak nego između stajališta uličnog javnog prijevoza).

Kategorija II. prava prvenstva javnog gradskog prijevoza (polubrzi javni gradski prijevoz kao što je LRT) može imati različite karakteristike koje pokrivaju širok raspon između uličnih i metro čvorova. Postoje sustavi lake gradske željeznice (LRT) na kojima prometuju dva ili četiri prijevozna sredstva s intervalom slijeđenja od 1.5 do 2.0 minute i postižu velike prijevozne brzine, pouzdanost i sigurnost na glavnoj liniji (npr. Frankfurt).



Slika 8. Frankfurt, mreža linija s različitim kategorijama prava prolaza, Izvor: [1, str. 35]

Gradovi s ekstenzivnim mrežama metroa koriste sustave uličnog javnog prijevoza (*površinske linije*) uglavnom kao dopunske ili sabirne. Imidž metroa zbog fizičkog identiteta, jednostavnosti i velike kvalitete usluge odskaače od ostalih linija iako zajedno s uličnim linijama čini ukupnu mrežu sustava javnog gradskog prijevoza. Tomu pridonosi prepoznatljiv ROW s trasom za usmjeravanje vozila te osobito željeznička tehnologija. Putnicima lako pamtljiv, pouzdan vozni red vrlo je bitan u planiranju puta, zato je važno planiranje i projektiranje metroa i lake gradske željeznice. [1]

5.2. Vrste željezničkih mreža

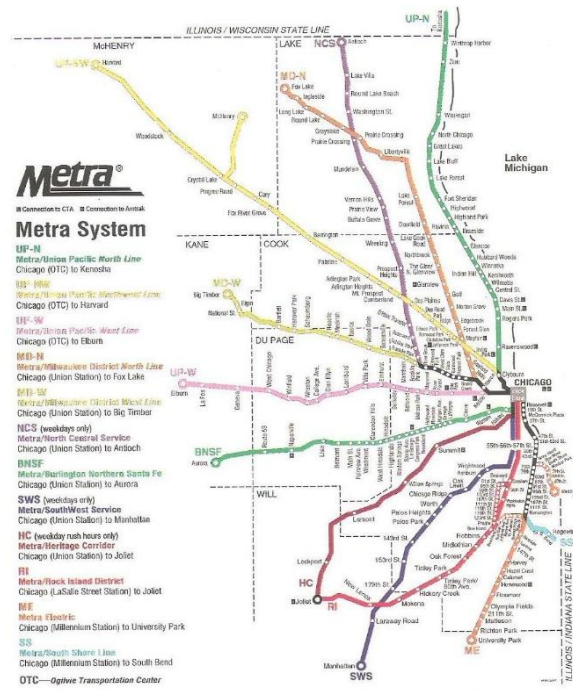
Osnovni geometrijski oblici pojedinih linija i njihova integracija stvaraju mreže koje se klasificiraju u nekoliko geometrijskih odnosno funkcionalnih kategorija:

- brzi javni gradski prijevoz
- sabirne ulične linije
- kombinirani transfer.

Željezničke mreže dijele se na radijalne, radijalno-obodne, mreže linija u obliku trokuta ili mreže i široko rasprostranjene mreže.

5.2.1. Radijalne mreže

Radijalne mreže nalaze se u gradovima s jakim naglaskom na jezgru (središte). Mreže željezničkog javnog prijevoza većinom ili potpuno sastoje se od radijalnih i dijametralnih linija metroa, linija lake željeznice, linija regionalne željeznice koje konvergiraju u jednoj točki ili malom području u središtu grada. Većina se radijalnih mreža nalazi u regionalnim željezničkim sustavima jer koriste željezničke linije koje obično izlaze u nekoliko smjerova iz jednog ili više stajališta u centru grada. Tipični primjer radijalne mreže je regionalni željeznički sustav u Chicagu („Metra“) čije se linije odvajaju iz četiriju stajališta u gradskom središtu. [1]



Slika 9 "Metra" Chicago, radijalna mreža željezničkog sustava, Izvor: [1, str. 37]

Prednosti čistih radijalnih mreža su:

- linije slijede glavne smjerove putovanja (linije prema željama putovanja putnika) pa je postignut maksimalan broj prevezenih putnika po kilometru linije
- većina putovanja ne zahtijeva transfer

Nedostaci mreže radijalnih linija:

- potiču ekstremnu koncentraciju aktivnosti na malom području gradskog središta
- ne privlače putovanja koja nisu orijentirana na centar jer bi zahtijevala posredno putovanje preko središta s presjedanjem
- zbog velike gustoće linija na malom stajalištu u središtu, manja bi se stajališta mogla preklopiti i tako reducirati ukupnu pokrivenost područja.

Nedostacima se može doskočiti rasterećivanjem središta posebnim petljama ili brzom linijom javnog gradskog prijevoza s velikom frekvencijom usluge do brojnih stajališta.

[1]

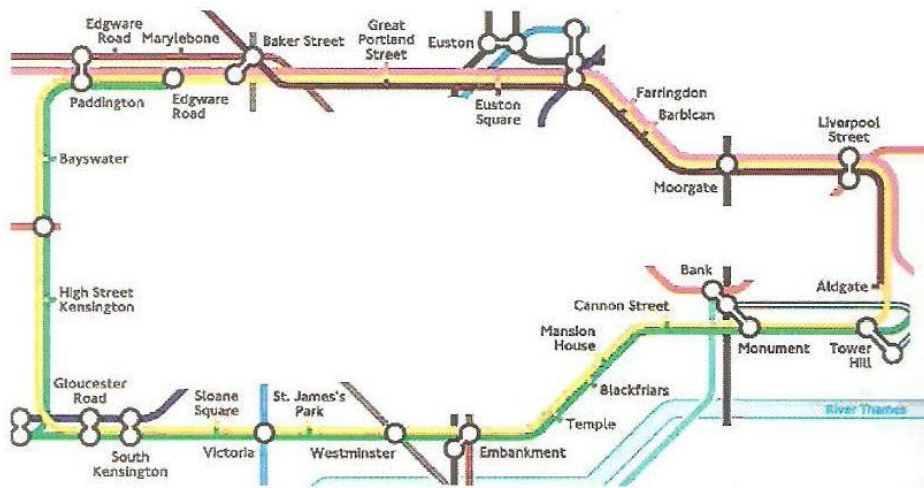
5.2.2. Radijalno obodne mreže

Obodne ili *tangencijalne linije* obično se sijeku s *radijalnim linijama* pod pravim kutom i s njima dijele stajališta transfera, čineći integriranu mrežu. Mreža s tim linijama ima po cijeloj mreži pravilna opterećenja i tijekom dnevnih sati jer opslužuje vrlo prometne koridore i mnoge komercijalne, obrazovne, medicinske i druge podcentre u područjima oko gradskog središta. Međusobno presijecanje linija čini kontaktne točke između njih i omogućuje prometovanje na raznolikim parovima polazišta-odredišta (osobito onih koji nisu orijentirani na središte grada).

- Višestruka funkcija obodnih linija ili onih koje prolaze kroz grad,
- njihova raznolikija geometrija i
- veća pokrivenost područja

prednosti su koje privlače više putnika nego ako se radi o mrežama koje se sastoje samo od radijalnih linija.

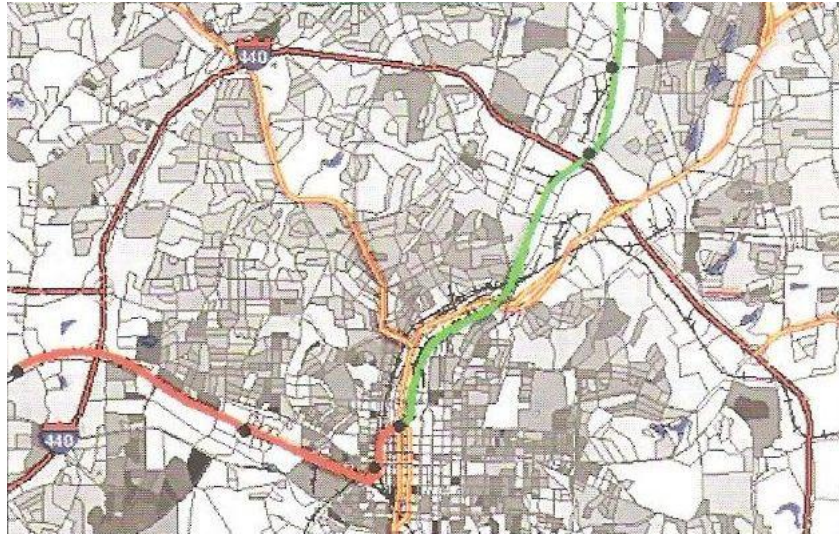
Radijalno obodne mreže pojavljuju se kod metroa i lake željeznice u mnogim srednjim i velikim gradovima (primjerice *London Circle Line*) gdje se spaja većina željezničkih stajališta oko središta grada, kao i sve dijametralne linije podzemne željeznice. [1]



Slika 10. London Circle Line, radijalno obodna mreža, Izvor: [1, str. 38]

5.2.3. Mreže linija u obliku trokuta ili mreže

Neke se mreže metroa u osnovi sastoje od linija koje slijede uzorak trokuta (Barcelona, Mexico City, New York, Osaka, Toronto). *Mreže u obliku trokuta* nude jednoličnu pokrivenost područja tako da su pogodne za gradove koji imaju veliku površinu s relativno jednolikom gustoćom aktivnosti.



Slika 11. Denver, mreža linija u obliku trokuta, Izvor: [1, str. 39]

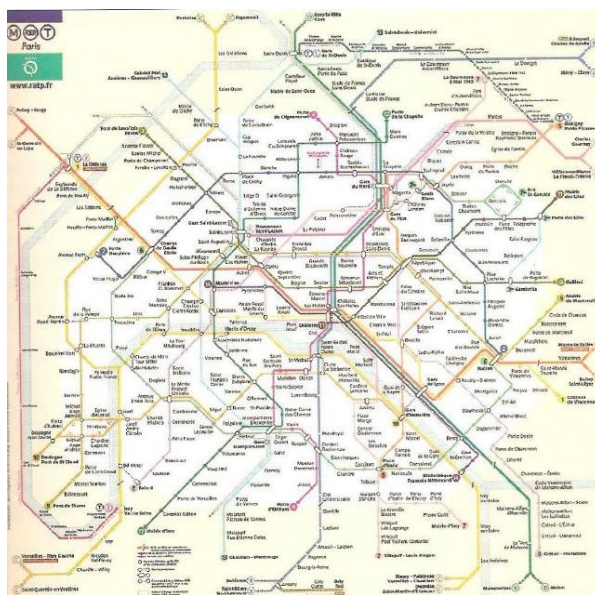
Ova se vrsta mreža dobro uklapa s uzorcima putovanja orijentiranim prema malim poslovnim središtima velike koncentracije. Putničko zaobilaženje nikada nije ekscesivno, u najgorem slučaju je pravokutno u odnosu na hipotenuzu linija polazišta odnosno odredišta. Ako se mreža sastoji od ravnih linija, onda putovanje nije praktično i zahtijeva dva transfera. Ova se manjkavost mreže rješava izgradnjom *linije u obliku slova L* koje povećavaju povezanost nudeći sjecišta između različitih okomitih i paralelnih linija. *Linije u obliku slova U* po funkciji su dijametralne, ali imaju nedostatak u usporedbi s drugim linijama na mreži – ne opslužuju putovanja između predgrađa kroz središte grada. One opslužuju dva relativno bliska predgrađa ekscesivnim kruženjem kroz središte grada. U nekim gradovima (Ciudad de Mexico) koji imaju uzorke ulica u *obliku mreže*, ulične linije slijede geometrijski oblik trokuta. [1]



Slika 12. Ciudad de Mexico, mreža linija u obliku mreže, Izvor: [1, str. 40]

5.2.4. Široko rasprostranjene mreže

Pri suvremenom planiranju brzoga javnog gradskog prijevoza preferira se oblik *široko rasprostranjene mreže* koja nudi ekstenzivnu opću pokrivenost velikoga središnjeg prostora s dijametralnim linijama koje se šire odvojcima u prigradsko područje – pariški metro općepriznat kao najkompletnija svjetska metro mreža .



Slika 13. Pariz, široko rasprostranjena mreža, Izvor: [1, str.41]

Mreža se obično sastoji od dijametralnih linija koje prolaze kroz središnje područje, ali se ne usredotočuje na jednu točku. Stajališta transfera raspoređena su po cijelom području nudeći tako širu pokretljivost od radijalne mreže. Prema predgrađima većina linija dijeli se na dva ili više odvojaka.

Široko rasprostranjene mreže projektiraju se tako da zadovoljavaju ove karakteristike:

- imaju izravnu vezu između polazišta i odredišta
- ima najmanje jedno stajalište u blizini svakog područja ili centra aktivnosti
- adekvatno pokriva cijeli središnji prostor i susjedna predgrađa
- različite dionice svake linije ravnomjerno su opterećene putnicima
- dobra povezanost između linija (jer ne treba više od jednog transfera za sve veće putničke smjerove)
- transferi između linija su praktični kao i transferi do drugih čvorova.

Kada se planira oblik mreže i individualnih linija moraju se razmotriti potrebe putnika jednako kao i operativni aspekti. Pažljivo isprojektirana široko rasprostranjena mreža prevenira stvaranje operativnih problema (kao što su različita putnička opterećenja s nepravilnim intervalima na glavnoj liniji).

Osim odabiranja optimalnog oblika mreže (trend je široko rasprostranjena mreža) trebaju se uzeti u obzir i drugi čimbenici poput topografije, postojeće mreže javnog gradskog prijevoza i drugih. Ako postoje neotklonjive prepreke, ne može se izabrati pravilan geometrijski oblik mreže, no to ne znači da će ona biti manje funkcionalna (nepravilne mreže nalazimo u Londonu, Hong Kongu,...). [1]

5.3. Geometrijski oblici mreže metroa

Metro i druge mreže javnog gradskog prijevoza planiraju se bez ekstenzivnih analitičkih izračuna – empirijski (iskustveno). Analize topologije i geometrijskih karakteristika mreže nastoje ograničiti razmatranje lokalnih uvjeta poput:

- urbanog oblika
- topografskih karakteristika
- karakteristika potražnje
- postojanje transportnih koridora

- zahtjeva za određivanje lokacije stajališta
- određivanja terminala za velike udaljenosti (autobus, željeznica, zračna luka).

Sustavni skup kvantitativnih elemenata koji definira karakteristike mreže metroa može se koristiti za opis, procjenu i komparativnu analizu, uključujući planiranje novih, ili analizu postojećih mreža u drugim gradovima, alternativnih mreža ili mreža koje treba produljiti. Kvantitativni se elementi svrstavaju u pet općih kategorija:

1. mjere veličine i oblika mreže
2. topologija mreže
3. odnos mreže metroa i grada
4. količina i kvaliteta usluge
5. mjere upotrebe usluge.

Geometrijski oblik mreže i ROW su od posebnog interesa. [1]

5.3.1. Mjere veličine i oblika mreže

Na početku određivanja veličine i oblika mreže definiraju se glavni elementi:

- **broj stajališta (čvorova) na liniji i : n_i** koji uključuje oba terminala na liniji
- **broj razmaka (lukova) između stajališta na liniji i : a_i** u odnosu na n kako slijedi:

$$a = n_i - 1 \quad (7)$$
- **duljina linije i : l_i**
- **broj višestrukih stajališta koja koriste dvije linije ili više njih 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. $k - 1$
- **broj stajališta u mreži q**
- **broj stajališta u mreži N** računa se kao zbroj stajališta na pojedinim linijama, tako da se oduzmu višestruka stajališta:

$$N = \sum_{i=1}^q n_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k - 1) \cdot n_m^k \quad (8)$$

- **broj razmaka između stajališta u mreži A** računa se kao zbroj razmaka na pojedinima linijama a , minus višestruki razmaci:

$$A = \sum_{i=1}^q a_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k-1) \cdot a_m^k \quad (9)$$

- **duljina mreže L** predstavlja zbroj duljina l_i , minus duljina višestrukih (dvostrukih) linija

$$L = \sum_{i=1}^q l_i - \sum_{k=2}^{k_{max}} (k-1) \cdot l_m^k \quad (10)$$

- **broj stajališta do stajališta (polazište-odredište) (PO)** sastoji se od izravnih dionica pojedinoj liniji PO_d i putovanja koj uključuju jedan ili više transfera između linija PO_t :

$$PO = \frac{1}{2} N \cdot (N-1) \quad (11)$$

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

$$PO_t = PO_d = \frac{1}{2} N \cdot (N-1) \quad (12)$$

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

$$PO = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^q n_i (n_i - 1) - \sum_{j=1}^{q_m-1} n_{mj} (n_{mj} - 1) \right] \quad (13)$$

Gdje je n_{mj} broj zajedničkih stajališta na svakoj dionici koje svaka linija dijeli s bilo kojom većom brojnijom linijom, a q_m je 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 koj ezahitjevaju transfer, PO_t računa se kao razlika između svih dionica u mreži i izravnih dionica koje ne uključuju transfere:

$$PO_t = PO - PO_d$$

$$PO_t = \frac{1}{2} [N(N - 1) - \sum_{i=1}^q n_i - 1] - \sum_{j=1}^{q_m} n_{mj} (n_{mj} - 1) \quad (14)$$

Veličina i oblik mreže može se izračunati preko devet elemenata: broja stajališta na liniji, broja razmaka između stajališta na liniji, duljini linije, broju višestrukih stajališta koje koriste dvije ili tri linije, broja linija u mreži, broja stajališta u mreži, broja razmaka između stajališta na mreži, duljine mreže i broja stajališta do stajališta. [1]

5.3.2. 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:

- prosječni razmak između stajališta \bar{S}
- preklapanje linija λ
- složenost mreže β
- direktnost usluge δ

Prosječni razmak između stajališta \bar{S} na mreži može se izračunati kao:

$$\bar{S} = \frac{L}{\sum_{i=1}^q (n_i - 1) - \sum_{k=2}^{k_{max}} (n_m^k - 1)} = \frac{L}{A} \quad (15)$$

| | |
|------|---|
| S, L | A |
| km | - |

Razmaci između stajališta \bar{S} obično se odabiru kao kompromis između dobre pokrivenosti područja (kratki razmaci) i velike operative brzine (dugi razmaci).

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

Na *tipičnim urbanim sustavima metroa* prosječni su razmaci od 500 do 800 m.

Preklapanje linija λ računa se:

$$Aa \lambda = \frac{\sum_{i=1}^q l_i}{L} = 1 + \frac{\sum_{k=2}^{kmax} l_m^k}{L} \quad (16)$$

| | |
|-----------|------|
| λ | I, L |
| - | km |

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

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

$$\beta = \frac{A}{N} \text{ uz uvjet da je } \beta \geq 0.5 \quad (17)$$

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:

$$Aa \delta = \frac{PO_d}{PO_d + PO_t} = \frac{PO_d}{PO} \quad 0 > \delta \geq 1 \quad (18)$$

Za jednu liniju $\delta = 1$, a za više složenih mreža linija se nastoji smanjiti, ali ako se radi o više integriranih mreža – povećava se. [1]

5.3.3. Odnos mreže metroa i grada

Bitan aspekt procjene metro-mreže je njezin odnos prema gradu. Ti uključuje veličinu metro-mreže i broj stajališta u odnosu na veličinu grada i populaciju te značenje metroa među drugim prijevoznim tehnologijama.

Između mjera i pokazatelja koji se izravno odražavaju odnos metro-mreže (s naglaskom na geometrijski oblik) i grada koji ona opslužuje definirani su sljedeći:

- **gustoća mreže metroa L_a** je omjer duljine mreže i područja grada. Ovaj pokazatelj odražava ekstenzivnost mreže obzirom na područje koje ona

opslužuje (prvenstveno gradsko središte). za regionalne mreže taj je pokazatelj ponekad neprecizan zbog teškoća pri označavanju opsluživanog područja. Definiira se na sljedeći način:

$$L_a = \frac{L}{S_u} (19)$$

| | | |
|--------------------|-----|-----------------|
| L_a | L | S_u |
| km/km ² | km | km ² |

Gdje je S_u područje grada ili opsluživano područje;

- **ekstenzivnost mreže po populaciji L_p** predstavlja omjer duljine mreže L prema populaciji opsluživanog područja P , izraženo u milijunima:

$$L_p = \frac{L}{P} (20)$$

| | | |
|------------------------|-----|---------------------|
| L_p | L | P |
| km/10 ⁶ prs | km | 10 ⁶ prs |

Pri usporedbi gradova sa sličnom populacijom, veća vrijednost L_p ulazuje na širu mrežu i opženito 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 pješaćenjem (pješački pristup), druga dva pokazatelja mjere praktičnost pristupa mreži metroa pomoću uličnog javnog prijevoza i automobila.

- **pokrivenost područja N_a** predstavlja postotak urbanog područja S_u koje se nalazi unutar udaljenosti pješaćenja od metro stajališta:

$$N_a = \frac{N \cdot S_i}{S_u} \cdot (100 \%) (21)$$

| | | | |
|-------|------|-----------------------|-----------------|
| N_a | N | S_i | S_u |
| % | staj | Km ² /staj | Km ² |

Gdje je S_i područje oko stajališta metroa s radijusom 400 m.

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

- **omjer integracije uličnog prijevoza η_t** predstavlja omjer linija uličnoga javnoga prijevoza koje imaju transfere s metro-mrežom q_s^t u odnosu na sve linije uličnoga javnoga prijevoza q_s

$$\eta_t = \frac{q_s^t}{q_s} \cdot (100\%) \quad (22)$$

Taj pokazatelj izražava relativnu geometrijsku i funkcionalnu ulogu metro mreže unutar ukupne gradske mreže javnog prijevoza.

- **omjer integracije pristupa automobilom η_a** predstavlja postotak stajališta koja imaju mogućnost dovoza putnika do stajališta ($P + R$, *park and ride*), N_p

$$\eta_a = \frac{N_p}{N} \cdot (100\%) \quad (23)$$

6. Razmaci između stajališta na mreži linija

Stajališta su mjesta na kojima putnici dolaskom zahtijevaju uslugu prijevoza i imaju pristup mreži javnoga gradskog prijevoza. Stajališta površinskog javnog gradskog prijevoza mogu lako mijenjati lokaciju za razliku od stajališta podzemnih sustava i brzoga javnog gradskog prijevoza. Broj i distribucija (razmještaj) stajališta na liniji utječu na:

- brzinu
- vrijeme putovanja putnika
- povećanje razine usluge
- operativne troškove.

Kvaliteta pružanja usluge korisnicima i brzina prijevoza na liniji značajno ovise o udaljenosti između dva stajališta. Kada se odlučuje koliko na nekoj liniji treba biti stajališta, važno je imati na umu da stajalište izaziva gubitak vremena zbog:

- kočenja pri približavanju stajalištu
- ulazaka i izlazaka putnika iz prijevoznog sredstva
- ponovnog ubrzavanja vozila do prosječne brzine vožnje.

Stvarna brzina kretanja vozila u mreži i prostorna udaljenost između stajališta određuje koliko će biti stajališta na svakoj liniji. Vozila koja prometuju velikom brzinom (prigradski vlak, metro) koriste liniju s većim razmakom između stajališta kako bi mogla razviti svoju potpunu brzinu i kako bi bila maksimalno iskorištena. S druge strane, tramvaj i gradski autobus, prometuju na linijama s manjom međustajališnom udaljenosti.

Razmaci između stajališta na mreži linija mogu biti:

- kratki
- dugi.

Kratki razmaci između stajališta rezultiraju boljom pokrivenošću područja i time lakšom pristupačnošću za veći broj potencijalnih putnika, imaju manje prijevozne brzine, veće

troškove izgradnje i održavanja stajališta te moguće veće zahtjeve glede voznog parka.

Dugi razmaci između stajališta namijenjeni su za određeni tipove vozila (kojima treba duže vrijeme da postignu punu brzinu), ne pokrivaju toliko dobro područje kao bliže raspoređena stajališta pa se posljedično gubi dio potencijalnih putnika. [2]

6.1. Određivanje udaljenosti između stajališta na liniji

Cilj određivanja *razmaka* među stajalištima je smanjiti vrijeme putovanja putnika. Ako su stajališta postavljena bliže, duljina pješaćenja će biti manja, ali će se prosječna brzina putovanja povećati jer će se smanjiti brzina vožnje prijevoznog sredstva.

Istraživanja poput Federovih (1973, prema [2]) pokazala su da je *optimalna udaljenost* između stajališta 800 m. Tipične autobusne linije imaju planiranih šest do deset stajališta na dva kilometra duljine linije (osobito ako autobusi staju samo na poziv).

Smanjivanje operativnih troškova putem planiranja manjeg broja stajališta ujedno povećava i prosječnu brzinu vožnje, ali u tom slučaju putnici više pješće do ulaznog stajališta.

Načini i brzina dolaska do stajališta se razlikuju. Optimalni razmak između stajališta povećavaju veće brzine dolaska koje se postižu korištenjem osobnih automobila.. Na većini prigradskih stajališta bi se trebali nalaziti veliki parkirališni prostori a stajališta bi trebala biti udaljena 3000 m da bi vlakovi mogli prometovati velikim brzinama.

Kumulativni učinak vremenskih zastoja izazvanih stajalištima pojava je koja traži odmak od tradicionalnog načina planiranja razmaka stajališta. Uobičajena praksa je da su razmaci između stajališta bliži kako se putnik približava središtu grada. Alternativni pristup kreće uz pretpostavku da vlak započinje vožnju u predgrađu i prometuje prema središtu tijekom prometne „špice“, putnik koji čeka na ukrcaj ima koristi što je vlak stao dok putnik u vlaku trpi zastoje. Ako je manje putnika u vlaku, a više onih koji čekaju na ukrcaj, stajališta treba postaviti na manjim udaljenostima. Ako je više putnika u vlaku, ma manje na stajalištima, treba postaviti manje stajališta. Kako se vlak približava središtu grada, u njemu je sve više putnika potreba manje stajališta. [2]

Schneider je problem razmaka među stajalištima analizirao na hipotetičkom koridoru s linijom javnog prijevoza s ciljem smanjenja ukupnog vremena putovanja. Pretpostavio je da svako putovanje završava u centru grada, a polazišta su raspoređna na jednakim udaljenostima po koridoru. Nakon ponovljenih postupaka za pronalaženje optimalnog broja stajališta i skupa optimalnih razmaka rezultat je bio da se udaljenosti između stajališta moraju povećati kako se prijevozno sredstvo približava središtu grada. [2]

Vuchic (1966.) na ovome je problemu razvio model u kojemu gustoća polazišta putovanja ne mora biti pravilna. Istraživanje je pokazalo da optimalna lokacija za sljedeće stajalište ovisi o broju putnika koji su već u vlaku i o broju onih koji žele ući. Kako se povećava broj putnika u vlaku, dolazi do opadanja „sklonosti vlaka za stajanjem“, a udaljenosti bi se mogle jednako povećavati. Dinamičkim je programiranjem izradio računalni program i predstavio rezultate za različite uzorke gustoće. Analizirao je slučaj u kojemu je gustoća polazišta jedinstvena po cijelom koridoru. Otkrio je da se udaljenosti između stajališta moraju aritmetički povećavati u smjeru kumulacije putnika (kao što je tvrdio i Schneider). [2]

6.2. Razmaci između stajališta na željezničkim mrežama

Prosječni razmaci između stajališta na željezničkim linijama u svjetskim gradovima dobri su pokazatelji sustava javnoga gradskog prijevoza.

Tablica 1. Prosječni razmaci između stajališta i karakteristike mreže željezničkih sustava javnog gradskog prijevoza [5, str. 290]

| GRAD | DULJINA MREŽE (km) | BROJ STAJALIŠTA | BROJ RAZMAKA | PROSJEČNA DULJINA RAZMAKA (m) |
|--|--------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|
| Urbani metro sustavi | | | | |
| Athenes | 25,6 | 44 | 43 | 595 |
| Buenos Aires | 42,7 | 63 | 64 | 667 |
| Paris | 211,5 | 297 | 284 | 745 |
| Berlin | 146 | 174 | 182 | 802 |
| Tokyo | 287,3 | 266 | 256 | 1122 |
| Madrid | 228 | 156 | 196 | 1163 |
| Mexico City | 201,7 | 175 | 164 | 1222 |
| Regionalni željeznički sustavi | | | | |
| Sao Paulo | 103,8 | 2 | 70 | 1483 |
| Moskva | 269,5 | 165 | 157 | 1717 |
| Cleveland | 31 | 18 | 17 | 1750 |
| St. Petersburg | 110 | 60 | 62 | 1770 |
| Novi LRT sustavi | | | | |
| Sacramento | | | | 1130 |
| San Diego | | | | 1530 |
| Regionalni željeznički sustavi sa P+R | | | | |
| New York | 22,2 | 13 | 14 | 1586 |
| Philadelphia | 23,3 | 13 | 11 | 2120 |
| San Francisco | 168 | 43 | 43 | 3907 |

U tablici 1. navedeni željeznički sustavi javnoga gradskog prijevoza u svjetskim gradovima svrstani su u četiri grupe:

- urbani metro-sustavi
- regionalni željeznički sustavi
- novi sustavi lake gradske željeznice
- regionalni željeznički sustav s opcijom „parkiraj i koristi javni prijevoz“ .

Prva skupina, urbanih metro-sustava koji se ne pružaju daleko u prigradska područja (Buenos Aires, Pariz, Berlin) nudi adekvatnu pokrivenost i reducira potrebu za većim brojem površinskih linija. Razmaci između stajališta kreću se od 600 do 1200 metara, najčešći su razmaci 800 do 1000 m.

Druga skupina uključuje produljenje metro-sustava, sustave brzoga javnog gradskog prijevoza koji opslužuje središte kao i veća prigradska područja (Moskva, Cleveland, St.Petersburg). Razmaci između stajališta za ovu skupinu je od 1400 do 1800 m. Skupina se oslanja na površinske linije više nego prva.

Treća skupina, u američkim gradovima nedavno izgrađeni sustavi lake gradske željeznice (LRT). Opslužuje vrlo raširena urbanizirana područja. Ima dulje razmake između stajališta, osobito u starim američkim gradovima (San Diego, Sacramento).

Četvrta skupina su regionalni sustavi brzog javnog gradskog prijevoza koji se oslanjaju na pristup osobnim automobilima do *K+P (kiss and ride)* i *P+R (park and ride)* prostora za parkiranje. Tako da prosječni razmaci za ovu skupinu prelaze 2000 m.

U tablici 1. prikazani su:

- duljina mreže
- broj stajališta
- broj razmaka
- prosječni razmaci između stajališta

za urbane metro-sustave, regionalne željezničke sustave, nove LRT sustave te za regionalne sustave s *park and ride* sustavom za neke svjetske gradove.

Razmaci između stajališta na željezničkim linijama ovise o područjima koja opslužuju (posebno o gustoći stanovništva i duljinama linija). Kod linija koje prometuju u unutrašnjosti gradova postoji tendencija ka kraćim razmacima (prihvatljivo je ako su duljine kraće). Kada linije imaju dugačke razmake, moraju imati i veću duljinu kako bi se postigle veće prijevozne brzine i kraća vremena putovanja.

Bitan čimbenik je i način *pristupa do stajališta*. U gradskim sredinama prevladava *pješaćenje* s razmacima u rasponu od 600 m do 1000 m. Linije s duljim razmacima oslanjaju se na pristup *autobusom*. Na linijama regionalne željeznice, gdje razmaci prelaze 1000 m, dominira *sabirni gradski prijevoz* i prijevoz *osobnim automobilom*.

Stajališta na liniji izazivaju gubitak vremena zbog kočenja pri približavanju stajalištu, izmjeni putnika i ponovnog ubrzanja do prosječne brzine vožnje. Cilj određivanja razmaka među stajalištima smanjiti je vrijeme putovanja. Iako stajališta ne mogu biti jednako udaljena za sve tipove vozila (autobuse i tramvaje u odnosu na prigradsku

željeznicu i metro) ona se moraju isplanirati tako da optimalno pokrivaju područje i prevoze najveći mogući broj putnika. [1]

7. Zaključak

Planiranje mreže linija javnog gradskog prijevoza uključuje određivanje ciljeva: privlačenje što većeg broja putnika, operativnu učinkovitost mreže i efikasnu interakciju mreža linija-grad. Kvaliteta usluge koja privlači veliki broj putnika ovisi o brzini putovanja, lakim transferima, pokrivenosti područja, povezanim (integriranim) linijama, izravnim putovanjima, atraktivnosti linije. Da bi se isporučila kvalitetna usluga potrebno je precizno planiranje i projektiranje same mreže javnoga gradskog prijevoza kako bi se stvorila velika prednost nad korištenjem drugih oblika prijevoza, posebice osobnih automobila. Takvo planiranje mora se raditi temeljito i uključivanjem svih čimbenika koje čine ovaj kompleksan proces, a osobito: odabiranjem najučinkovitijeg tipa mreže, planiranjem transfera (ako se ne radi o integriranoj mreži) te planiranje razmaka među stajalištima na mreži linija. Kada su čimbenici kvalitetno isplanirani i provedeni u djelo, negativni aspekti razvoja prometa (poput zagušenosti prometnica, malih brzina kretanja gradom, povećanih troškova prometnih usluga i zagađenja) svedeni su na minimum što pridonosi visokom standardu života u gradu.

Literatura

- [1] Štefančić, G.: Tehnologija gradskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [2] Štefančić, G., Tehnologija gradskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [3] Vuchic, V.R.: Urban transit, Operations, Planning and Economics, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.
- [4] Legac, I. (i dr.) Gradske prometnice, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2011.
- [5] Banković, R. Planiranje javnog gradskog putničkog prevoza, IRO „Građevinska knjiga“, Beograd, 1984.
- [6] Bauer, Z. Razvoj i planiranje prometa u gradovima, Informator, Zagreb, 1989.
- [7] http://www.zet.hr/default.aspx?id=330&route_id=212; Pristup: 12.8.2015.
- [8] <http://www.zet.hr/UserDocsImages/Voznired/britanski%20trg%20spranj%202014.pdf>

Popis slika

| | |
|--|----|
| 1. Trasa linije 212 | 3 |
| 2. Stajalište i informativni stup | 4 |
| 4. Terminal Britanski trg..... | 4 |
| 5. Linija javnog gradskog prijevoza s označenim stajalištima, terminalima i postajama transfera | 5 |
| 6. Mreža U-Bahn i S-Bahn linija za simultane transfere između vlakova na dvije linije koje se isprepliću | 16 |
| 7. Hong Kong, mreža metro-linija | 17 |
| 8. Zürich, TTS mreža s jednim središtem | 21 |
| 9. Frankfurt, mreža linija s različitim kategorijama prava prolaza | 26 |
| 10. "Metra" Chicago, radijalna mreža željezničkog sustava..... | 28 |
| 11. London Circle Line, radijalno obodna mreža | 29 |
| 12. Denver, mreža linija u obliku trokuta..... | 30 |
| 13. Ciudad de Mexico, mreža linija u obliku mreže..... | 31 |
| 14. Pariz, široko rasprostranjena mreža | 31 |

Popis tablica

1. Prosječni razmaci između stajališta i karakteristike mreže željezničkih sustava javnog gradskog prijevoza.....42