

# Logistički pristup tehnologiji izrade voznog reda za javni gradski prijevoz putnika

---

**Klipa, Goran**

**Master's thesis / Diplomski 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:119:557879>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Goran Klipa**

**LOGISTIČKI PRISTUP TEHNOLOGIJI IZRADE VOZNOG**  
**REDA ZA JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ PUTNIKA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2016.**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet prometnih znanosti**

**DIPLOMSKI RAD**

**LOGISTIČKI PRISTUP TEHNOLOGIJI IZRADE VOZNOG REDA ZA  
JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ PUTNIKA**

Mentor:  
Prof. dr. sc. Davor Brčić

Student:  
Goran Klipa, 0135188220

Zagreb, rujan 2016.

**University of Zagreb**  
**Faculty of transport and Traffic Sciences**

**GRADUATE WORK**

**LOGISTIC APPROACH TO THE TIMETABLE DEVELOPMENT FOR  
THE URBAN PUBLIC TRANSPORT**

Mentor:  
Prof. dr. sc. Davor Brčić

Student:  
Goran Klipa, 0135188220

Zagreb, 2016.

## **SAŽETAK**

Vozni red za svaku liniju mora zadovoljiti dva osnovna zahtjeva. Treba pružiti adekvatnu prijevoznu ponudu za prijevoznu potražnju, te treba pružiti minimalnu potrebnu frekvenciju usluge (maksimalno prihvatljivo vrijeme slijeđenja vozila) gledano sa stajališta razine usluge. U ovom radu opisana je izrada voznog reda i analizirani su alati koji se koriste za izradu voznog reda i činitelji koji utječu na izradu istog. Temeljem analize voznog reda u javnom gradskom prometu Grada Zagreba predložena su poboljšanja koja će omogućiti efikasniju izradu voznog reda.

**KLJUČNE RIJEČI:** vozni red, linija, javni gradski prijevoz

## **SUMMARY**

Timetables must satisfy two basic requirements for each line. It should provide adequate transport offer for transport demand and should provide the minimum required frequency of service (maximum acceptable time tracking of vehicles) if we speaking about the point of service levels. In this work development of the timetable is described and analyzed the tools what we used to produce the timetable and the factors that influence the development of the same. For more efficient timetable it has been proposed improvements based on the analysis of the timetable in the urban public transport of Zagreb.

**KEYWOERDS:** timetable, line, urban public transport

## SADRŽAJ

<b>POJMOVI</b> .....	i
<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Svrha i cilj diplomskog rada .....	1
1.2. Struktura diplomskog rada .....	1
<b>2. OSNOVNI ČINITELJI ZA IZRADU VOZNOG REDA I RASPOREDA RADA VOZAČA</b> ...	3
2.1. Mreža linija javnog gradskog prijevoza .....	3
2.1.1. Dužina linije .....	7
2.1.2. Vrijeme putovanja .....	8
2.1.3. Protok putnika .....	8
2.2. Vozni park .....	9
2.2.1. Pouzdanost voznog parka .....	13
2.3. Brzine kretanja prijevoznog sredstva .....	15
2.3.1. Prometna brzina .....	15
2.3.2. Prijevozna brzina .....	16
2.3.3. Eksploatacijska brzina .....	16
2.3.4. Brzina obrta .....	17
<b>3. IZRADA VOZNOG REDA ZA JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ PUTNIKA</b> .....	18
3.1. Prikupljanje podataka .....	18
3.1.1. Anketiranje .....	19
3.1.2. Brojanje putnika .....	19
3.1.3. Ostale vrste istraživanja .....	23
3.2. Određivanje prijevozne potražnje i zahtjeva za prometnom uslugom .....	24
3.3. Izrada voznog reda .....	25
3.4. Raspoređivanje prijevoznih jedinica .....	28
3.4.1. Raspored pozicija .....	30
3.5. Raspoređivanje rada vozača .....	32
3.5.1. Raspored radnog vremena .....	32
3.5.2. Noćni rad .....	33
3.5.3. Prekovremeni rad .....	34
3.6. Izlazni podaci .....	34
3.7. Numerički i grafički prikazi linije .....	35

<b>4. SUVREMENI ALATI ZA IZRADU VOZNOG REDA I RASPOREDA VOZAČA...</b>	<b>37</b>
4.1. Atron.....	37
4.2. Interplan.....	39
4.3. Trapeze .....	43
4.4. OpenTrack .....	46
4.5. Hastus .....	47
4.6. MTRAM.....	48
<b>5. ANALIZA IZRADU VOZNOG REDA NA PRIMJERU GRADA ZAGREBA .....</b>	<b>50</b>
<b>6. DISKUSIJA I PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA.....</b>	<b>56</b>
6.1. Javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu.....	56
6.2. Kvaliteta javnog gradskog prijevoza u Gradu Zagrebu.....	57
6.3. Problem brojanja putnika.....	60
6.4. Problem izrade rasporeda za vozače.....	61
6.5. Prijedlozi poboljšanja .....	61
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>63</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>66</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>67</b>

## POJMOVI

<b>Infrastruktura</b>	skup djelatnosti s pripadajućim građevinskim objektima i opremom, koji omogućuju nesmetan opći poslovni razvoj te djelatnost od općeg društvenog interesa. [6].
<b>Javni linijski prijevoz putnika</b>	prijevoz koji se obavlja na određenim relacijama i po unaprijed utvrđenom rasporedu (voznom redu), cijeni i općim prijevoznim uvjetima
<b>Javni prijevoz</b>	prijevoz koji je dostupan pod istim uvjetima svim korisnicima
<b>Linija</b>	je relacija ili skup relacija obavljanja prijevoza u cestovnom prometu, od početnog do završnog kolodvora, odnosno stajališta, na kojoj se prevoze putnici po registriranom i objavljenom voznom redu s jednim ili više polazaka
<b>Putnik</b>	osoba koji prijevoznik prevozi uz naknadu
<b>Relacija</b>	udaljenost između dva mjesta na liniji koja su označena u voznom redu kao stajališta
<b>Vozni red</b>	akt koji sadrži naziv prijevoznika, liniju na kojoj se obavlja prijevoz, vrstu linije, redosljed autobusnih kolodvora, odnosno stajališta, te njihovu udaljenost od mjesta gdje počinje linija, vrijeme dolaska i polaska s autobusnog kolodvora, odnosno stajališta, režim održavanja linija, te rok važenja voznog reda
<b>Usklađeni vozni red</b>	vozni red koji je ovjeren i koji je prošao propisani postupak usklađivanja
<b>Validatori</b>	uređaji za očitavanje kartica u vozilu javnog gradskog prijevoza
<b>Radno vrijeme</b>	vrijeme u kojem je radnik obavezan obavljati poslove prema uputama poslodavca, na mjestu gdje se njegovi poslovi obavljaju ili drugom mjestu koje odredi poslodavac



# **1. UVOD**

## **1.1. Svrha i cilj diplomskog rada**

Svrha i cilj ovog diplomskog rada je analizirati logistički pristup izrade voznih redova u javnom gradskom prometu. Optimiranje izrade voznog reda i rasporeda rada vozača, pruža operateru mogućnost da uz maksimiziranje transportnog učinka minimizira prijevozni trošak. Stoga je nužno analizirati činitelje koji utječu na izradu voznog reda te rasporeda rada vozača, kako bi se optimizacija mogla argumentirano sprovesti. Također će se analizirati suvremene tehnike i alati za izradu voznog reda. Temeljem učinjene analize stanja u procesu izrade voznih redova u javnom gradskom prometu Grada Zagreba predložiti će se poboljšanja koja će omogućiti efikasniju tehnologiju izrade voznog reda i rasporeda rada vozača.

## **1.2. Struktura diplomskog rada**

Diplomski rad je podijeljen u sedam cjelina. Polazi se od uvođenja u problematiku istraživanja izrade voznog reda u javnom gradskom prijevozu putnika te definiranja cilja istraživanja. U sklopu prve cjeline predložena je i struktura rada.

U drugoj cjelini koja govori o osnovnim činiteljima za izradu voznog reda i rasporeda rada vozača opisuju se činitelji koji utječu na izradu voznog reda te se prikazuje mreža linija koja je glavna komponenta sustava javnog prijevoza. Također se opisuje vozni park kojim se obavlja javni gradski prijevoz putnika.

Treća cjelina je izrada voznog reda za javni gradski prijevoz putnika koja prikazuje način izrade voznog reda za javni gradski prijevoz putnika. Definira se postupak planiranja koji prethodi izradi voznog reda te se definiraju ulazne i izlazne jedinice potrebne pri planiranju. Opisuje se metodologija i faze izrade voznog reda te su prikazani grafički prikazi istog.

Četvrta cjelina su suvremeni alati za izradu voznog reda i rasporeda vozača. U navedenoj cjelini prikazuju se i definiraju alati koji su potrebni da bi se napravio vozni red i karakteristike istih. Također se opisuje na koji način se pomoću navedenih alata raspoređuju vozači.

Peta cjelina (Analiza izrade voznog reda na primjeru Grada Zagreba) opisuje na koji način i kako poduzeće ZET (Zagrebački električni tramvaj), koje upravlja javnim gradskim prijevozom izrađuje vozni red te što je sve potrebno za izradu istog.

U šestoj cjelini (Diskusija i prijedlozi poboljšanja) diskutira se o trenutnom stanju sustava javnog gradskog prijevoza i načinu izrade voznog reda, izradi rasporeda za vozače i raspoređivanju istih na radne zadatke. U diskusiji se iznose problemi koji utječu na sadašnje upravljanje javnim gradskim prijevozom te se predlaže uvođenje novih tehnologija koji bi unaprijedili kvalitetu izrade voznog reda i ukupnu kvalitetu javnog gradskog prijevoza.

U sedmoj cjelini ovog diplomskog rada iznosi se zaključak koji je donesen na temelju istraživanja, analiziranja izrade voznog i predloženih poboljšanja.

## **2. OSNOVNI ČINITELJI ZA IZRADU VOZNOG REDA I RASPOREDA RADA VOZAČA**

Kako bi se izradio vozni red potrebno je znati činitelje koji utječu na isti. Prije svega potrebno je poznavati vremenske karakteristike gradskog prometa, odnosno karakteristike putnika koji prometuju javnim gradskim prijevozom. Karakteristike putničkog prometa očituju se u svrsi putovanja putnika, distribuciji duljine putovanja, vremenu putovanja te u načinu prijevoza. Javni gradski prijevoz putnika očituje se u prijevozu putnika najvećim dijelom tramvajskim (tračničkim) i autobusnim prometom. U današnjim uvjetima života gdje je povećan broj motornih vozila u gradovima i gdje dolazi do prometnih zagušenja još je više izražena potreba putnika za javnim gradskim prijevozom. Radi svega navedenog poznavanje karakteristika putnika i svrhe putovanja istih, kao i karakteristike linija kojima se isti služe pri obavljanju putovanja, vozni park službe koja obavlja prijevoz, u ovom slučaju ZET-a, od iznimne su važnosti budući su navedeni čimbenici temelj za izradu voznog reda, a najvažniji čimbenici prema kojima se izrađuje vozni red su frekvencija, kapacitet, slijed vozila i vrijeme obrta.

### **2.1. Mreža linija javnog gradskog prijevoza**

Mreža linija predstavlja glavnu komponentu infrastrukture sustava javnog prijevoza. To je skup linija javnog gradskog prijevoza koje se međusobno preklapaju ili presijecaju. Javni gradski prijevoz je u pravilo organiziran linijski, te se sukladno navedenom naziva javni linijski prijevoz. Javni linijski prijevoz je javna usluga koja je komercijalno utemeljena i u kojoj prijevoznik predlaže ostvarivanje linije uz dobivanje dozvole od nadležnog tijela.[3]

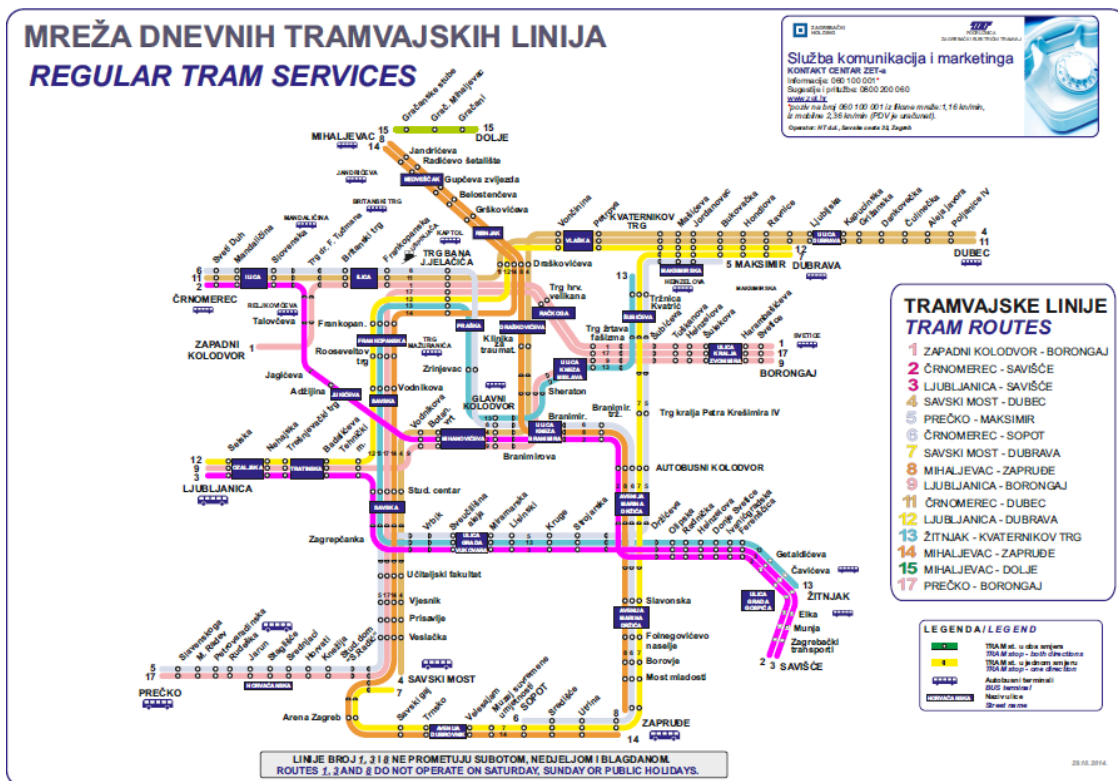
Kako bi se prijevoz putnika mogao obavljati prema javnom linijskom prijevozu, potrebno je definirati liniju koja predstavlja relaciju ili skup relacija obavljanja prijevoza od početnog do završnog kolodvora, odnosno stajališta, na kojoj se prevoze putnici po registriranom i objavljenom voznom redu s jednim ili više polazaka. Prije uspostavljanja linije potrebno je istražiti i analizirati prijevoznu potražnju i mogućnost prijevozne ponude.

Zbog svog karaktera i ekonomičnosti poslovanja treba nastojati usuglasiti linije sa željama putnika, što znači da linije javnog gradskog prijevoza trebaju biti postavljene tako da omoguće većini stanovnika, odnosno putnika direktnu vožnju do svog cilja.[33]

Linija javnog gradskog prijevoza je dio mreže linija koja je koordinirana za učinkovito prometovanje i po svom načinu rada i organizaciji spada pod specifičnu vrstu prijevoza.

Linija se sastoji od: [2]

- trase,
- stajališta,
- terminala.



Slika 1. Prikaz mreže dnevnih tramvajskih linija ZET-a

Izvor: [16]

Trasa linije javnog gradskog prijevoza je unaprijed utvrđen pravac po kojem prometuju prijevozna sredstva. Trase su podijeljene na tračničke i autobusne podsustave. Pri planiranju trasa tračničkih podsustava određuju se pravci na kojima se može omogućiti prvenstvo prolaza u odnosu na prometnu mrežu pri čemu se linije trasiraju što je moguće više u pravcu. Također, potrebno je izbjegavati i prijelaz putnika s linije na liniju tračničkog podsustava. U autobusnom podsustavu, autobusni pravci trebali bi slijediti glavne gradske ulice, a izbjegavati sporedne, radi postizanja veće brzine vožnje. Autobusni pravac trebao bi biti ravan i izravan.

Stajalište javnog gradskog prijevoza je posebno izgrađena i označena prometna površina, određena za zaustavljanje prijevoznog sredstva, koja omogućava sigurni ulazak, odnosno izlazak putnika. Stajališta trebaju biti smještena u područjima gustih koncentracija aktivnosti.

Terminali u javnom gradskom prijevozu su početne i završne točke u kojima vozila mijenjaju smjer kretanja. Ukoliko sklop ulica ne omogućuje okretanje vozila, tada vozila pomoću izgrađenih okretnica na terminalima mijenjaju smjer. Terminali služe i za izravnavanje vremenskih neravnomjernosti do kojih dolazi prilikom zastoja u prometu. Izravnavanje vremenskih neravnomjernosti postiže se kraćim ili dužim čekanjem vozila na terminalu. Zbog toga terminali služe i kao točke za kontrolu točnosti voznog reda.[33]



Slika 2. Linija javnog gradskog prijevoza u Washingtonu sa stajalištima i terminalima

Izvor:[2]

Svaka linija javnog prijevoza treba obavljati dvije osnovne funkcije, a to su sabiranje i prijevoz putnika, pri čemu smjer linije treba slijediti, što je moguće više želja linija putovanja putnika. Neizravnosti i geometrijske nepravilnosti potrebno je izbjegavati kako bi se postigla potrebna operativna učinkovitost i velika brzina prijevoza.

Sve linije u okviru gradskog područja sačinjavaju mrežu linija javnog gradskog prijevoza. Ovisno o teritoriju kojeg opslužuju linije smo podijelili na:

- gradske,
- prigradske.

Gradske linije su one linije čije se trase pružaju na užem (izgrađenom) području grada, a opisuju ih male međustanične udaljenosti, velika izmjena putnika i kratko vrijeme putovanja po jednoj vožnji. Prigradske linije su one koje povezuju uže područje grada sa naseljima, a opisuju ih veće međustanične udaljenosti, veća dužina i dulje vrijeme putovanja.[33] Osim navedenih podjela, razlikujemo još nekoliko osnovnih vrsta linija a to su: [2]

- radijalne – povezuju centar sa perifernim dijelovima grada,
- tangencijalne – povezuju dva periferna dijela grada ali ne idu kroz centar grada,
- dijametralne – povezuju dva periferna dijela i idu kroz centar grada,
- periferne – povezuju dvije točke na periferiji i poklapaju pravce sa slabijim strujanjem putnika,
- kružne – njihova trasa pravi zatvorenu kružnu liniju.

Prema karakteristikama linija koje ovise o infrastrukturi javnog prijevoza, određuje se pravo prolaza. Pravo prolaza javnog gradskog prijevoza predstavlja gradsku površinu na kojoj prometuju linije javnog gradskog prijevoza. Pravo prolaza se klasificira u tri kategorije. Prva kategorija označuje linije s pravom prolaza bez ukrštanja ceste ili željezničke pruge u razini ili bez mogućnosti pristupa bilo kakvog vozila. Predstavnik prve kategorije je metro. [2]

Druga kategorija uključuje različite vrste linija koje su longitudinalno fizički odvojene od drugog prometa. Predstavnik druge kategorije prava prolaska je LRT laka željeznica [2]

Za razliku od nabrojanih osnovnih linija, većina linija ovisno o geometrijskom obliku grada ima nepravilan oblik. Naspram ostalih linija u mreži linije mogu biti samostalne i integrirane.

Samostalne linije imaju neovisan pravac, bez međusobnog preklapanja. Obično se koriste za kratke relacije kako bi se reducirali neiskorišteni kapaciteti. Integrirane linije su one linije koje se preklapaju na određenim dionicama.

S logističkog gledišta mreža linija javnog gradskog prijevoza i planiranje budućih linija su od iznimne važnosti za razvoj grada. Planiranje treba biti opsežno i efikasno. Da bi planiranje bilo efikasno potrebno je osigurati sustavno prikupljanje podataka koje treba obuhvatiti relevantne podatke o gradu, području opsluživanja, podatke o sustavima i podsustavima prijevoza putnika u gradu te o broju putnika.

### **2.1.1. Dužina linije**

Glavni čimbenici koji utječu na dužinu linije javnog gradskog prijevoza su : [2]

- prostorna veličina urbanog područja,
- vrsta linije.

Linije mogu biti duže i kraće. Dugačke linije imaju dvije glavne prednosti nad kraćim, a to su:

- nude prijevoznu uslugu za veći broj putovanja nego kratke linije,
- osiguravaju veći broj direktnih putovanja i imaju manje vrijeme zadržavanja na terminalima.

Negativne strane dugih linija su to što su osjetljive na otkazivanje i zastoje te su radi toga manje efikasne u operativnoj upotrebi. Nadalje, dugi obrt linije treba prilagoditi službama i povlačenju dijela voznih redova nakon vršnih perioda, te su radi toga i složenije za organizaciju.

Kod planiranja tračničkih podsustava (tramvaj, LRT-brza željeznica, Metro) većinom se upotrebljavaju radijalne linije, koje u pravilu spajaju središnji dio grada sa prigradskim.

Tipična dužina linije u jednom smjeru za tramvaj i autobus iznosi 5 do 12 km, u velikim gradovima od 15 do 20 km. Maksimalno vrijeme obrta za sve podsustave je oko 2 sata, ali moguće su iznimke s linijama i do preko 2 sata.

### **2.1.2. Vrijeme putovanja**

Vrijeme putovanja sastoji se od: [2]

- vremena pješaćenja od ili do stajališta,
- vremena čekanja na prijevozno sredstvo,
- vremena čekanja na ulazak i izlazak putnika,
- vremena vožnje u vozilu javnog gradskog prijevoza.

Ukupno vrijeme putovanja utječe na odabir načina prijevoza u usporedbi sa ponuđenim mogućnostima, te ga je potrebno je minimizirati.

Pri planiranju linija javnog gradskog prijevoza potrebno je voditi računa o optimalnom razmaku stajališta vodeći se informacijama o vremenu putovanja i pokrivenosti područja sa stajalištima.

### **2.1.3. Protok putnika**

Protok putnika predstavlja ukupan broj prevezenih putnika u jedinici vremena u jednom smjeru vožnje na pojedinim dionicama, odnosno linijama. Najčešće se dobiva na osnovi prodanih karata odnosno na brojanju ulazaka i izlazaka putnika na određenoj liniji. Ulazak putnika počinje na početku linije odnosno na ulaznom stajalištu a završava prije kraja linije, dok izlazak počinje na prvom stajalištu nakon ulaznog odnosno početnog stajališta a završava na kraju linije.

Brojanje putnika se obavlja u vozilima putem osoba koje broje putnike, promatrači prema starom sustavu, a u novijem prema čitačima kartica. U pravilu je potreban po jedan promatrač za svako vozilo na svakoj liniji. No, ukoliko je trasa preopterećena ili pak postoji simultano ukrcavanje više putnika u vozilo, tada je potreban veći broj promatrača. Prilikom provedbe brojanja, promatrač treba biti adekvatno opremljen. Često zbog kratkog vremena stajanja prijevoznog sredstva promatrač mora brzo procijeniti broj ljudi u vozilu ili zauzetost sjedećih mjesta zbog čega brojanja nisu uvijek precizna. Promatrač mora biti upoznat s podacima o broju sjedećih mjesta, kapacitetu pojedinog prijevoznog sredstva kako bi mogao precizno procijeniti broj putnika u punom vozilu.



Brojanjem ulazaka i izlazaka putnika dobivaju se najdetaljnije informacije o protoku putnika na liniji, te se dobivaju podaci o broju putnika prema stanicama kao i opterećenju prijevoznog sredstva po dionicama na liniji. Na temelju dobivenih podataka može se izračunati raspodjela dužine putovanja putnika i učinak linije za bilo koji sat u danu. Prikazanim načinom se prikupljaju podaci za potrebe izrade voznog reda, za analizu vožnje prijevoznog sredstva, za potrebe produljenja ili skraćanja linije, dodavanja ili oduzimanja pojedinih stajališta.

## **2.2. Vozni park**

Pod pojmom „vozni park“ podrazumijeva se skup svih transportnih sredstava kojima se obavlja prijevoz putnika. Vozni park može biti podijeljen na više kriterija, a jedan od kriterija je podjela voznog parka prema veličini, odnosno prema broju transportnih jedinica kojima raspolaže poduzeće. Sukladno navedenom postoji: [17]

- mali vozni park (do 20 vozila),
- srednji vozni park (od 20 do 99 vozila),
- veliki vozni park (od 100 do 499 vozila),
- veoma veliki (preko 500 vozila).

Sljedeća podjela voznog parka se odnosi na karakteristike dnevnih ruta vozila, razlikujući flote vozila za fiksne rute i flote vozila sa promjenjivim rutama. Daljnja podjela voznog parka vezana je uz podjelu sustava javnog gradskog prijevoza putnika. Sustav javnog gradskog prijevoza može se podijeliti na klasičan, tradicionalan i nekonvencionalan podsustav.

Tradicionalan podsustav javnog gradskog prijevoza dijeli se na:

- autobusni podsustav,
- tramvajski podsustav,
- Metro podsustav,
- podsustav regionalne željeznice i
- podsustav monrail željeznice.

Sukladno podsustavima podijeljen je i vozni park javnog gradskog prijevoza. U autobusni podsustav spadaju standardni autobusi, zglobni, trolejbusi, elektrobus i minibus. Autobusi se dalje dijele prema namjeni na kojima se koriste u zadovoljenju putničke potražnje:

- gradski – izvedba nadogradnje kao minibus,
- zglobni autobus i standardni autobus,
- prigradski – izvedba nadogradnje kao zglobni i standardni autobus,
- međugradski – izvedba nadogradnje kao standardni autobus,
- turistički – izvedba nadogradnje kao autobus na kat.

U tramvajski podsustav spadaju standardni tramvaji, tramvaji sa prikolicom, zglobni tramvaji, dvozglobni tramvaji, brzi tramvaj (S-tram) i LRT –tram. LRT (Light rail transit) je brzi tramvaj, odnosno vozilo javnog gradskog prijevoza koje je nalik tramvaju ali djeluje većim kapacitetom i koristi posebnu trasu po kojoj se kreće.

Metro podsustav je u potpunosti izdvojen trasom od ostalog prometa i ima najveći dinamički kapacitet. Podsustav monrail željeznice je tračnički sustav koji je izdignut od ostatka prometa (nad-izgrađeni nadvožnjaci ili obješen).



Slika 3. Prikaz brze željeznice (LRT) u Manchesteru

Izvor:[26]

Nadalje, vozni park može biti formiran prema organizacijskom i teritorijalnom djelovanju te prema raspoloživosti. Organizacijski vozni park se može formirati za usluge javnog prijevoza i za vlastite potrebe, dok se prema teritorijalnim potrebama podrazumijevaju svi navedeni oblici organizacijskog voznog parka ali sa ograničenim teritorijalnim djelovanjem.

Pod raspoloživim voznim parkom podrazumijeva se skup svih vozila koja se vode u knjigovodstvu osnovnih prijevoznih sredstava poduzeća javnog gradskog prijevoza. Vozni park prema sastavu vozila može biti:

- homogeni,
- heterogeni.

Homogeni vozni park označava vozni park sastavljen od iste marke vozila, a heterogeni označava vozni park koji nema istu marku vozila, već je sastavljen od različitih marki. U homogenom voznom parku skup svih vozila označava se sa  $A_i$ .  $A_i$  je oznaka koja označava inventarski broj vozila.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + \dots + A_{in} = \sum_1^n A_{i1} \quad (1)$$

$A_{i1} - A_{i2} - A_{in}$  - podskupovi broja inventarskih vozila po markama i tipovima vozila u voznom parku,

$n$  - broj grupa vozila u inventarskom voznom parku.

U heterogenom voznom parku raspoloživi vozni park je skup grupa vozila razvrstanih po markama i tipovima vozila u voznom parku.



Slika 4. Prikaz voznog parka Zeta-a (tramvaj, autobus)

Izvor: [15]

Dalje se vozni park može podijeliti prema tehničkim karakteristikama, odnosno prema stanju vozila, na vozila koja su tehnički ispravna i na ona koja nisu. Tehnički ispravna vozila sposobna su za eksploataciju, odnosno za rad. Kada se promatra vozni park u stvarnom svijetu, odnosno u praksi, mora se napomenuti da vozni park nije nikad u potpunosti tehnički ispravan. Prilikom promatranja voznog parka uvijek će se u određenom trenutku promatranja naići na određen broj tehnički neispravnih vozila.

Podjela voznog parka prema tehničkom stanju:

$$A_i = A_s + A_n \quad (2)$$

$A_i$  - označi inventarski broj vozila,

$A_s$  - broj tehnički ispravnih vozila (sposobnih vozila za rad),

$A_n$  - broj tehnički neispravnih (nesposobnih vozila za rad).

Tehnički neispravna vozila mogu se podijeliti na vozila koja se nalaze na servisu i na vozila koja čekaju servis. Vozila koja se nalaze na servisu mogu se podijeliti na vozila prema vrstama servisa, a vozila koja čekaju servis mogu se podijeliti na vozila koja čekaju servis zbog nedostatka kapaciteta za servis ili nedostatka rezervnih dijelova. Također, među tehničkim neispravnim vozilima mogu biti i vozila koja čekaju prodaju ili rastavljanje.

Tehnički ispravna vozila dijele se na vozila koja su u radu u cijelosti, koja su van rada i na vozila koja su djelomično izvan funkcije a sposobna su za eksploataciju, odnosno rad. Uzroci uslijed kojih je dio voznog parka ili čitav vozni park sposoban za eksploataciju a trenutno su izvan funkcije mogu biti različiti (nedostatak vozača, režim rada voznog parka, nedostatak posla, viša sila).

### 2.2.1. Pouzdanost voznog parka

Za svaki vozni park, radi učinkovitosti i kvalitete prijevoza, bitna je njegova pouzdanost. Pouzdanost vozila definirana je pri samoj proizvodnji, a ovisi i o kvalitetnom održavanju vozila te o uvjetima rada vozila.

Pouzdanost prijevoznih sredstava promatrana je kroz četiri elementa:[7]

- nekvarljivost,
- trajnost,
- prilagođenost propisanom održavanju,
- ispravnost.

Pouzdanost prijevoznog sredstva može se definirati kao vjerojatnost da u određenom vremenu neće doći do otkaza ili kvara.

$$P = \frac{n_1}{t} \quad (3)$$

$P$  - pouzdanost vozila,

$n_1$  - broj vozila koja nisu otkazala,

$t$  - životni vijek prijevoznog sredstva.

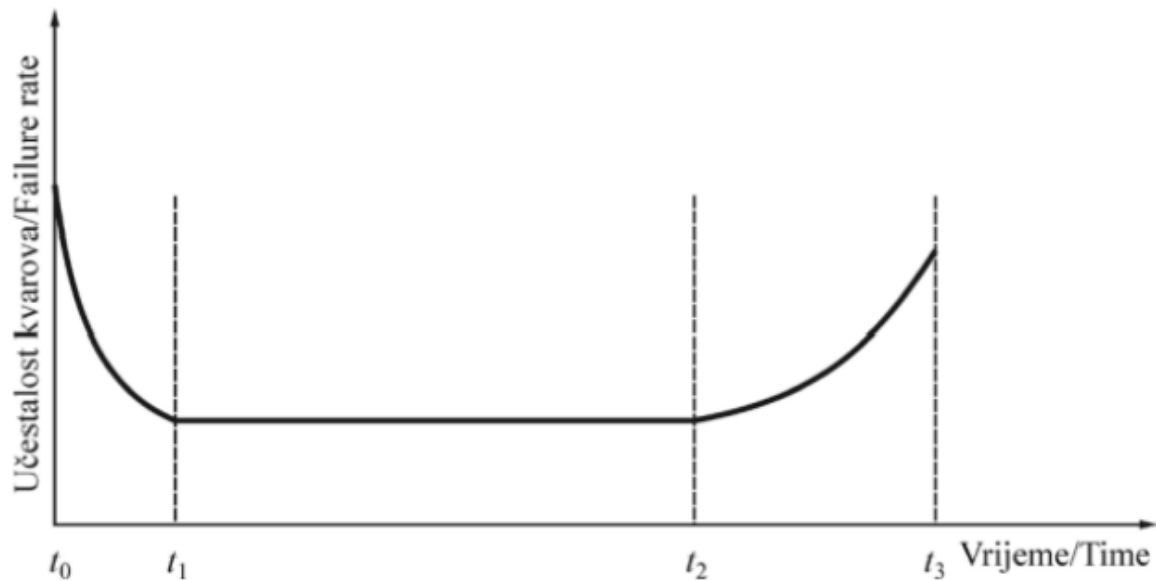
Da bi dobili broj vozila koja nisu otkazala mora se znati ukupan broj vozila i broj onih vozila koja su otkazala, odnosno kojima se dogodio kvar.

$$N = n_1 + n_2 \quad (4)$$

$N$  – ukupan broj vozila

$n_1$  - broj vozila koja nisu otkazala

$n_2$  - broj vozila koja su otkazala



Slika 5. Prikaz vijeka trajanja prijevoznog sredstva

Izvor: [8]

Pri promatranju cjelokupnog životnog vijeka prijevoznog sredstva mogu se uočiti vremenski intervali prema kojima dolazi do dotrajalosti, odnosno kvarova (prikazano na Slici 5.)

Vremenski intervali: [8]

- interval uhadavanja ( $t_0, t_1$ ),
- interval normalne uporabe ( $t_1, t_2$ ),
- interval dotrajalosti ( $t_2, t_3$ ).

Kod intervala uhadavanja dolazi do slučajnih kvarova koji najčešće nastaju u proizvodnji, uzrokovani pogreškama tokom proizvodnje. Interval normalne uporabe predstavlja razdoblje u kojem su uklonjene početne greške i karakterizira ga niska i konstantna vjerojatnost učestalosti kvarova. Kod intervala dotrajalosti dolazi do brzog porasta učestalosti kvarova, koji su uzrokovani otkazivanjem komponenti zbog dotrajalosti i istrošenosti materijala.[8]

## 2.3. Brzine kretanja prijevoznog sredstva

Brzina kretanja prijevoznog sredstva jedan je od bitnijih faktora pri obavljanju prijevoza. Razlikujemo četiri osnovne brzine: [7]

- prometna brzina,
- prijevozna brzina,
- eksploatacijska brzina,
- brzina obrta.

### 2.3.1. Prometna brzina ( $V_p$ )

Prometna brzina je brzina koju ostvari prijevozno sredstvo radeći na radnom zadatku, uzimajući u obzir samo vrijeme vožnje (rad motora) a isključujući stajanja zbog usputnog zadržavanja koje ne uzrokuje prometni tijek.[7]

$$V_p = \frac{L}{H_v} \text{ (km/h}_v\text{)} \quad (5)$$

gdje je:

L – prijeđena udaljenost

$H_v$  – vrijeme potrebno za obavljanje prijevoza

### 2.3.2. Prijevozna brzina ( $V_{pr}$ )

Prijevozna se brzina razlikuje od prometne utoliko što uzima u obzir i vrijeme mogućeg zadržavanja od polaska do dolaska bez obzira na razloge zadržavanja. Međutim, u vrijeme provedeno u prijevozu nisu uključena vremena ukrcaja i iskrcaja u polaznoj i završnoj točki relacije na kojoj je prijevoz obavljen. S tih razloga prijevozna brzina je manja od prometne brzine ili jednaka njoj. [7]

$$V_{pr} = \frac{L}{H_{pr}} \text{ (km/h)} \quad (6)$$

gdje je:

L – prijeđena udaljenost

$H_{pr}$  – sati trajanja prijevoza

### 2.3.3. Eksploatacijska brzina ( $V_e$ )

Eksploatacijska brzina prijevoznog sredstva je prosječna brzina koju vozilo ostvari radeći na radnom zadatku tijekom ukupnoga radnog vremena.

$$V_e = \frac{L}{H_r} \text{ (km/h}_r\text{)} \quad (7)$$

gdje je:

L – prijeđena udaljenost

$H_r$  – vrijeme trajanja prijevoza



#### 2.3.4. Brzina obrta ( $V_o$ )

Brzina obrta odgovara brzini koju ostvari prijevozno sredstvo radeći na radnom zadatku pri čemu se uzima u obzir vrijeme ukrcaja i iskrcaja te moguća zadržavanja i sama vožnja tijekom obrta. Dakle, to je brzina koju ostvaruje prijevozno sredstvo u linijskom prijevozu putnika radeći obrte između dvaju terminala linije. Vrijednost brzine obrta dobije se iz količnika dvostruke dužine linije i vremena trajanja obrta. Vrijeme obrta obuhvaća vrijeme vožnje, vrijeme zadržavanja na usputnim postajama radi ukrcaja - iskrcaja, kao i vrijeme zadržavanja prijevoznih sredstava u terminalima linije, radi odmora osoblja i pregleda prijevoznog sredstva. [7]

za jedan obrt

$$L_o = 2 * L_l \text{ (km) (8)}$$

gdje je:

$L_o$  - ukupna udaljenost u obrtu (km)

$L_l$  - dužina linije (km)

Vrijeme obrta može se izraziti i sljedećom formulom:

$$T_o = t_{vo} + t_{uio} + t_{zo} \text{ (h) (9)}$$

gdje je:

$T_o$  – vrijeme obrta

$t_{vo}$  – vrijeme vožnje u obrtu

$t_{uio}$  – vrijeme trajanja ukrcaja-iskrcaja putnika u obrtu

$t_{zo}$  – vrijeme trajanja zadržavanja u terminalima linije

### **3. IZRADA VOZNOG REDA ZA JAVNI GRADSKI PRIJEVOZ PUTNIKA**

#### **3.1. Prikupljanje podataka**

U javnom gradskom prijevozu prijevoznik zadužen za obavljanje prijevoza mora organizirati prikupljanje podataka, izraditi bazu podataka te istu i održavati temeljem prikupljenih podataka, kako bi se analizirala potreba korisnika za traženom uslugom prijevoza, te na kraju, temeljem dobivenih podataka i izradio vozni red. Prikupljeni podaci trebaju biti točni i istiniti budući se temeljem njih izrađuje baza podataka.

Baze podataka trebaju sadržavati:[3]

- infrastrukturne elemente (postaje i njihovu opremu, signalizaciju, trase, garaže, stajališta itd.),
- podatke o vozilima (dimenzije vozila, oblik, performanse, starost, stanje vozila, kvarovi),
- podatke o regulaciji prometa,
- podatke o brzini vozila, vremenima čekanja,
- vrste usluga,
- vozne redove za sve linije,
- podatke o linijama (dužina linija, broj stajališta na liniji, duljina putovanja na liniji.) i vozilima na linijama,
- informacije o izvanrednim događajima tijekom prijevoza (nezgode),
- informacije o cijenama (metoda naplate i vrste prijevoznih karata).

Baze podataka održavaju se sustavnim prikupljanjem podataka. Prikupljanje podataka ostvaruje se pomoću raznih vrsta istraživanja, anketiranja, brojanja, mjerenja i sl. Prikupljanje se provodi periodično ili kontinuirano. Ukoliko se podaci prikupljaju istraživanjem, istraživanja moraju biti detaljna tijekom dužih intervala prikupljanja koje je moguće dopuniti istraživanjima manjeg obujma, u obliku reprezentativnih uzoraka. Istraživanja se provode svakog mjeseca gdje se provodi pregled na određenim linijama kako bi se dobile varijacije po mjesecima, odnosno podaci o potražnji na linijama, svake godine gdje se odabire nekoliko tipičnih linija za cijeli sustav, te svakih pet godina gdje prijevoznik organizira brojanje putnika na svim linijama u jednom danu u tjednu i na nekoliko određenih linija tijekom jednog tjedna.

Istraživanja se najčešće provode za potrebe izrade voznih redova, uvođenja novih linija ili poboljšanja postojećih linija, te kako bi se analizirali prometni uvjeti ili kako bi se utvrdili razlozi kašnjenja ukoliko dođe do istih.

### **3.1.1. Anketiranje**

Prilikom anketiranja potrebno je dobro planirati i organizirati prikupljanje podataka kako bi se dobili točno oni podaci koji su potrebni za izradu voznog reda. Ankete trebaju biti jasne i detaljne kako bi se dobile precizne informacije. Prilikom anketiranja potrebno je voditi računa i o troškovima anketiranja koje u pravilu nastoje biti što niži, a trebaju sadržavati sve potrebne informacije. Kvalitetno anketiranje potrebno je organizirati na način da se organiziraju glavne ankete koje će biti detaljne na dužim intervalima, te se iste dopunjavaju sa manjim anketama koje najčešće sadrže osnovne podatke unutar zadanih intervala. Ankete često bivaju usredotočene na uvjete kretanja prijevoznih jedinica, njihovoj operativnoj brzini koja je važna pri izradi voznog reda. Analiziranje podataka iz dobivenih anketa se izvodi kada je nova služba isplanirana ili se izvodi na postojećim linijama kada uvjeti utječu na transportne operacije. Dobra organizacija i planiranje pri izvođenju anketa, odnosno pri prikupljanju podataka je vrlo bitno kako bi se kvalitetnim i točnim podacima održavala baza podataka koja je bitna pri izradi voznog reda.

### **3.1.2. Brojanje putnika**

Brojanjem putnika određuje se njihov protok u prijevoznom sredstvu prema trasi linije. Brojanjem putnika prijevoznik može odrediti gdje se i kada pojavljuje maksimalan protok te analizirati kvalitetu usluge. Pri brojanju putnika potrebno se orijentirati na dionice sa velikim brojem putnika kako bi se odredila dionica sa maksimalnim opterećenjem. Kao i kod istraživanja brojanja putnika se mogu provoditi mjesečno, godišnje ili svakih pet godina.

Kod godišnjeg brojanja, brojanje se obavlja tijekom radnog vremena ili u vršnom opterećenju. Godišnja brojanja mogu se ograničiti na dionice s maksimalnim protokom i dodatnim dionicama na svakoj liniji, kako bi se usporedili rezultati od prijašnjih brojanja.

Brojanje putnika izvodi se pomoću osoblja koje izvode brojanja a nazivaju se promatrači. Za svako vozilo na svakoj liniji potreban je po jedan promatrač. Ako je trasa vrlo opterećena ili postoji simultano ukrcavanje više putnika u vozila, potreban je veći broj promatrača. Zbog kratkog vremena stajanja promatrač mora napraviti brzu procjenu broja ljudi u vozilu. Da bi promatrač mogao napraviti brzu procjenu broja ljudi u vozilu mora znati podatke o broju sjedećih mjesta te kapacitetu pojedinoga prijevoznog sredstva.

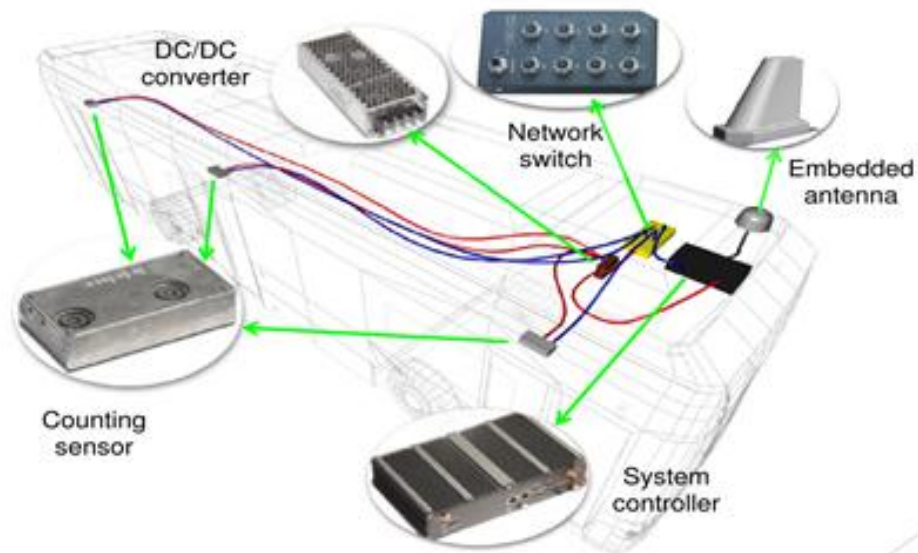
Da bi mogao obavljati brojanje putnika u vozilu, promatrač mora biti adekvatno opremljen, te mora imati:

- elektronički rekorder s prikladnim programom ili posebno dizajniran obrazac,
- mapu,
- olovku,
- sat.

Prilikom brojanja promatrač mora bilježiti slijedeće podatke:

- liniju na kojoj se obavlja prijevoz,
- kapacitet prijevoznog sredstva,
- datum i dan,
- vrijeme brojanja,
- vremenski uvjeti,
- ime promatrača,
- podatke o vozilu,
- ostale bilješke (dolazak po voznom redu i stvarno vrijeme dolaska vozila).

## Automatsko brojanje putnika



Slika 6. Automatsko brojanje putnika

Izvor: [19]

Prednosti automatskog brojanja putnika:

- odsustvo manualnog rada i problema vezanih s angažiranjem brojača,
- brzo dobivanje sređenih i uređenih podataka brojanja putnika,
- ujednačena točnost brojanja. (> 95%),
- mogućnost višednevnog brojanja putnika na istoj liniji u cilju detektiranja eventualnih varijacija broja putnika.

Automatsko brojanje putnika izvodi se pomoću raznih uređaja kao što su ručni rekorderi, prijenosna računala, u novije vrijeme koriste se tableti ili pametni mobiteli sa odgovarajućim aplikacijama, automatski skeneri, razni detektori i automati u vozilima.

Za razliku od promatrača, koji nisu potpuno pouzdani, jer brojanje ovisi o njihovom raspoloženju i motivaciji, danas se koriste automati za brojanje putnika, validatori. Prilikom ulaska ili izlaska putnik prislanja karticu te se na taj način registrira. Sustav ga bilježi da je u vozilu. Takav sustav automatskog brojanja putnika pruža neprekinuto brojanje ulazaka i izlazaka na svakoj postaji, na način da se prikupe svi podaci o korištenju stanica i opterećenju uzduž linije.



Slika 7. Validator

Izvor: [19]

Unatoč dobro osmišljenom i razvijenom sustavu za brojanje putnika pomoću automata za brojanje odnosno validatora ipak dolazi do nedostataka. Nedostaci ovakvog brojanja su što svaki putnik prilikom ulaska treba prisloniti i očitati karticu, ali budući da mnogi putnici to ne čine, brojanje na opisan način nije u potpunosti točno.

### 3.1.3. Ostale vrste istraživanja

Uz standardna istraživanja mogu se koristiti i mnoga druga istraživanja radi prikupljanja različitih vrsta podataka. Takva istraživanja su [3]:

a) prijelaz putnika

Broj putnika koji prelazi između dvije ili više linija obično se mora ručno brojati. Neki sustavi prijevoza traže korištenje magnetskih kartica koje bilježe put i automatski sakupljaju informacije o prelasku. Informacije o prelasku su nužne pri razvrstavanju putnika koji koriste dvije ili više linija od onih koji putuju samo na jednoj liniji. Ta vrsta istraživanja također je korisna za planiranje vrsta naplate prijevoza.

b) korištenje vrsta naplate

Brojanje putnika prema vrsti naplate koju koriste također se mora obavljati ručno kada se koristi samoposlužna naplata. To je čest slučaj na sustavu lake željeznice (tramvaj, itd.) koji ima otvorene postaje i simultani ulazak i izlazak putnika na više vrata. Dobiveni podaci se koriste u analizi strukture naplate i načina naplate te u metodama kontrole. Postoji i mogućnost brojanja putnika iz prihoda od prodanih karata. Automatizirani sustavi naplate omogućavaju bilježenje mjesta ulaska i izlaska svakog putnika. Stoga je moguće dobiti cijele matrice ulazaka i izlazaka za bilo koji vremenski period.

c) informacije o putovanjima putnika

Zajedno s podacima o mjestima ulazaka i izlazaka na liniji poželjno je znati početne i krajnje postaje cijelog putovanja putnika, uključujući udaljenosti od postaja i način pristupa; takvo istraživanje provodi se intervjuiranjem putnika ili distribucijom upitnika, koje putnici nakon popunjavanja ostavljaju na svojim odredišnim postajama ili šalju poštom.

d) istraživanje stavova i odabira načina prijevoza

Iz intervjua (anketiranja putnika) dobivaju se podaci o karakteristikama i željama putnika kod odabira prijevoza s obzirom na parametre kao što su udaljenost, brzina, pouzdanost i cijena.

e) istraživanje korištenja vozni redova

Istraživanje dolazaka putnika na postaju u odnosu na vozni red prijevoznog sredstva ukazuje kako putnici koriste vozni red i koliko su vozni redovi usklađeni s potrebama korisnika. Također se istražuje i koliko realizacija voznog reda odstupa od planiranoga voznog reda.

### **3.2. Određivanje prijevozne potražnje i zahtjeva za prometnom uslugom**

Svaki korisnik prometnog sustava donosi samostalno odluku o načinu ostvarivanja potrebe za prijevozom. Razmatranjem ponuđenih opcija donosi odluku o mjestu, vremenu i načinu ostvarivanja prijevoza. U cilju donošenja odluke upravljanje prijevoznom potražnjom ima za cilj osigurati optimalno korištenje postojećih kapaciteta. Da bi se odredila prijevozna potražnja (protok putnika) potrebno je znati propusnu moć linije, odnosno kapacitet iste. Kapacitet linije je broj prevezenih putnika na liniji u satu. Da bi mogli odrediti kapacitet linije potrebno je znati broj vozila na liniji, kapacitet vozila frekvenciju vozila, interval vozila, broj obrta vozila i obujam zahtjeva za prometnom uslugom na liniji.

Postoje četiri načina određivanja zahtjeva za prometnom uslugom:

- Distribucijom putničkog obujma prema udaljenosti putovanja i vremenu - osnovne informacije potrebne za planiranje linije javnog prijevoza.
- Pomoću perioda planiranja voznog reda i projekta obujma putnika - zasnivaju se na vremenskoj distribuciji obujma putnika za jednu liniju, broj i trajanja različitih perioda planiranja voznog reda, a određeni su za cijelu mrežu linija javnog prijevoza. Pomoću perioda planiranja putnika može se odrediti obujam putnika na liniji.
- Traženim kapacitetom – na manje opterećenim linijama tijekom sati izvan “špice“. Traženi kapacitet na liniji obično diktira politika slijeđenja, što znači da je obujam ponuđene usluge određen traženim razmakom slijeđenja usluge, a ne obujmom putnika. Kada je obujam putnika velik, ponuđeni kapacitet mora pokrivati opterećenje putnicima.



- Odabirom veličine prijevozne jedinice, učestalosti i čimbenika opterećenja – planiranjem perioda tijekom dana odabiru se optimalne kombinacije veličina prijevoznih jedinica, učestalosti usluga  $f$  (frekvencija) ili razmaka slijeđenja  $i$  (intervala), te čimbenika opterećenja [10].

### 3.3. Izrada voznog reda

Izrada voznog reda detaljnije je objašnjena u poglavlju 5. (Analiza izrade voznog reda na području Grada Zagreba). U ovom poglavlju biti će objašnjena metodologija voznog reda.

Vozni red za svaku liniju mora zadovoljiti dva osnovna zahtjeva:

- treba pružiti adekvatnu prijevoznu ponudu za prijevoznu potražnju (protok putnika) te
- treba pružiti minimalnu potrebnu frekvenciju usluge (maksimalno prihvatljivo vrijeme slijeđenja vozila) gledano sa stajališta razine usluge.

Nakon obavljenog anketiranja, brojanja putnika i određivanja prijevozne potražnje pristupa se izradi voznog reda, odnosno modeliranju istog. Postupak modeliranja voznog reda ovisi o vremenskom periodu (u vrijeme “špice“, izvan “špice“, noću, itd.), metodama uvođenja vozila na liniju i napuštanja linije, praksi osoblja, itd.

Modeliranje voznog reda sastoji se od pet faza:

1. korak: pripreme podataka i utvrđivanje čimbenika. Potrebno je odrediti:

- duljinu linije:  $L(\text{km})$
- vrijeme obrta:  $T_0(\text{min})$
- kapacitet transportnih jedinica TU-a:  $C_v(\text{sps}(\text{veh}))$  i  $n(\text{TU}/\text{veh})$
- interval:  $i(\text{TU}/\text{min})$
- čimbenik opterećenja na MLS:  $\alpha$  (prs/sp)
- planirani obujam putnika:  $P_d(\text{prs}/h)$  (uključuje PHC)

2. korak: izračunavanje intervala i frekvencije. Interval se dobiva izravno iz jednadžbe

$$i = \frac{\alpha \cdot n \cdot C_v}{P_d} \cdot 60 \quad (10)$$

gdje je  $i$  – interval,  $\alpha$  – faktor korištenja rada,  $n$  – broj stajališta na liniji,  $C_v$  – broj vozila,  $P_d$  – planirani satni obujam,  $C_v$  – kapacitet vozila

Frekvencija i stvarna vrijednost od  $\alpha$  izračunava se iz jednadžbe

$$f = \frac{60}{i} \quad (11)$$

gdje je  $f$  – frekvencija

a izravno iz jednadžbe

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot n \cdot C_v}{P_d} \cdot 60 \quad (12)$$

3. korak: odrediti veličinu voznog parka uvođenjem poznatih  $T_0$  i  $t_t$  ili  $y$  u prvom ili drugom od sljedećih izraza:

$$T = 2(T_0 + t_t) = 2T_0(1 + y) \quad (13)$$

gdje je  $T$  – vrijeme ciklusa,  $t_t$  – vrijeme provedeno na terminalima,  
 $y$  – koeficijent vremena zadržavanja na terminalu

Kako bi se dobila približna vrijednost od  $T$ , označena kao  $T'$ , potrebno je izračunati veličinu voznog praka zaokružujući dobiveni  $N$  do najbližega većeg cijelog broja:

$$N_{TU} = \frac{T}{i} = \frac{f \cdot T}{60} \quad (14)$$

gdje je  $N_{TU}$  – broj transportnih jedinica,  $i$  – interval,  $T$  – vrijeme ciklusa,  
 $f$  – frekvencija

4. korak: izračunavanje ciklusa i vremena zadržavanja na terminalu  $T$  pomoću jednadžbe:

$$T = i \cdot N_{TU} \quad (15)$$

gdje je  $i$  – interval,  $N_{TU}$  – broj transportnih jedinica

koristeći zaokruženi  $N_{TU}$  slijedi:

$$t_t = \frac{T - 2T_0}{2} \quad (16)$$

gdje je  $T_0$  – vrijeme obrta

Dobiveni  $t_t$  predstavlja prosječnu vrijednost zadržavanja vozila na dva terminala, koja možda nisu jednaka.

5. korak: izračunavanje brzine ciklusa pomoću jednadžbe:

$$V_c = \frac{120L}{T} = \frac{120L}{i \cdot N_{TU}} \quad (17)$$

gdje je  $V_c$  – brzina ciklusa,  $T$  – vrijeme ciklusa,  $L$  – duljina mreže,  $i$  – interval,  $N_{TU}$  – broj transportnih jedinica

Konačni rezultati planiranja voznog reda su numerički i grafički prikazi prometovanja linije javnog prijevoza.

### 3.4. Raspoređivanje prijevoznih jedinica

Pri raspoređivanju prijevoznih jedinica dodjeljuju se zadaci koji opisuju raspored aktivnosti svakog vozila za svaki radni dan. Zadaci sadrže popis linija i raspored vozila. Raspored može pokrivati više ruta i više vozača koji su raspoređeni za određeno vozilo tijekom jednog dana, odnosno tijekom tjedna. Raspored vozila jedan je od ključnih elemenata kod procesa izrade voznog reda budući služi kao osnova za prikaz operativnih troškova vozila.

Kod procesa izrade rasporeda treba voditi računa o procesima prekida putovanja, vremenu povratka i o lokacijama, odnosno terminalima iz kojih kreću prijevozne jedinice. Prekid putovanja mora se obaviti u sigurnom mjestu gdje vozilo može stajati bez ometanja prometa i osigurati sigurno mjesto za odmaranje vozača. Vrijeme povratka, kao i prekid putovanja većinom se obavljaju na krajnjim točkama trase. Ukoliko krajnje točke nisu adekvatne lokacije za prekid putovanja tada se na ruti moraju odabrati druge točke koje su prikladnije, što može utjecati na ukupan proces izrade rasporeda.

Raspoređivanje prijevoznih jedinica je vrlo složen zadatak budući osim gore navedenog mnogi drugi čimbenici utječu na raspoređivanje kao što su varijacije intervala između pruženih usluga, vremena kretanja, vožnje i kašnjenja u vožnji te prazne vožnje. Pri izradi rasporeda, odnosno raspoređivanja prijevoznih jedinica najvažnije je optimizirati broj potrebnih vozila da osiguraju traženu uslugu, te da se smanje vremena praznih vožnji. Npr. ako vozilo kreće iz terminala odnosno garaže do prvog stajališta optimalno bi bilo da pri samom izlasku počne prikupljati putnike, a isto i u povratku.

1	BROJ LINIJE:		111	Autobusni pogon:	Podsused
2	NAZIV LINIJE:		SAVSKI MOST-DONJI STUPNIK-STUPNIČKI OBREŽ		
3	VRUEDI ZA:		NEDJELJA	U prometu od: 14.10.2012.	Razdoblje: JESEN
4	111		1		
5	IZLAZ		05:20		
6	S.M.		STUPNIČKI OBREŽ		
7	05:45		06:20		
8			AŠPERGERI		
9	07:00		07:40		
10	08:20		09:05		
11	09:55		10:40		
12	11:20		12:00		
13			STUPNIČKI OBREŽ		
14	12:45		13:15		
15	13:50		14:20		
16	14:55				
17	15:25		15:55		
18			PREČKO		
19	16:30		17:10		
20			STUPNIČKI OBREŽ		
21	17:45		18:15		
22	18:45		19:15		
23			PREČKO		
24	19:45		20:25		
25			KOMARI		
26	21:05		21:50		
27			LIPNICA		
28	22:40	L	23:20		
29			GORNJI TRPUCI		
30			23:35		
31	00:05				
32					
33					
34					
35					
36					

Slika 8. Primjer rasporeda kad vozilo ide sa linije na liniju  
Izvor: [19]

Proces izrade rasporeda prijevoznih jedinica u stvarnosti zahtijeva korištenje programskih tablica za raspoređivanje. Programska tablica je alat pomoću kojeg djelatnik dokumentira početna i završna vremena putovanja povezana sa svakim vozilom.

Informacije koje se unose u tablicu uključuju:

- broj rasporeda,
- vremena izlaska,
- vremena povratka,
- broj linije,
- vrijeme izvlačenja i povlačenja.
- vremena odlazaka i dolazaka na točke terminala.

Vremena izlaska i povratka se koriste kako bi se odredila duljina vremena putovanja, koja služi za određivanje uvođenja dodatnih linija. Izvlačenje se odnosi na vrijeme u kojem vozač mora napustiti garažu kako bi bio prvi na početnoj točki rute na rasporedu. Povlačenje je vrijeme kada se vozilo treba vratiti natrag u garažu nakon što predaja službe završi.

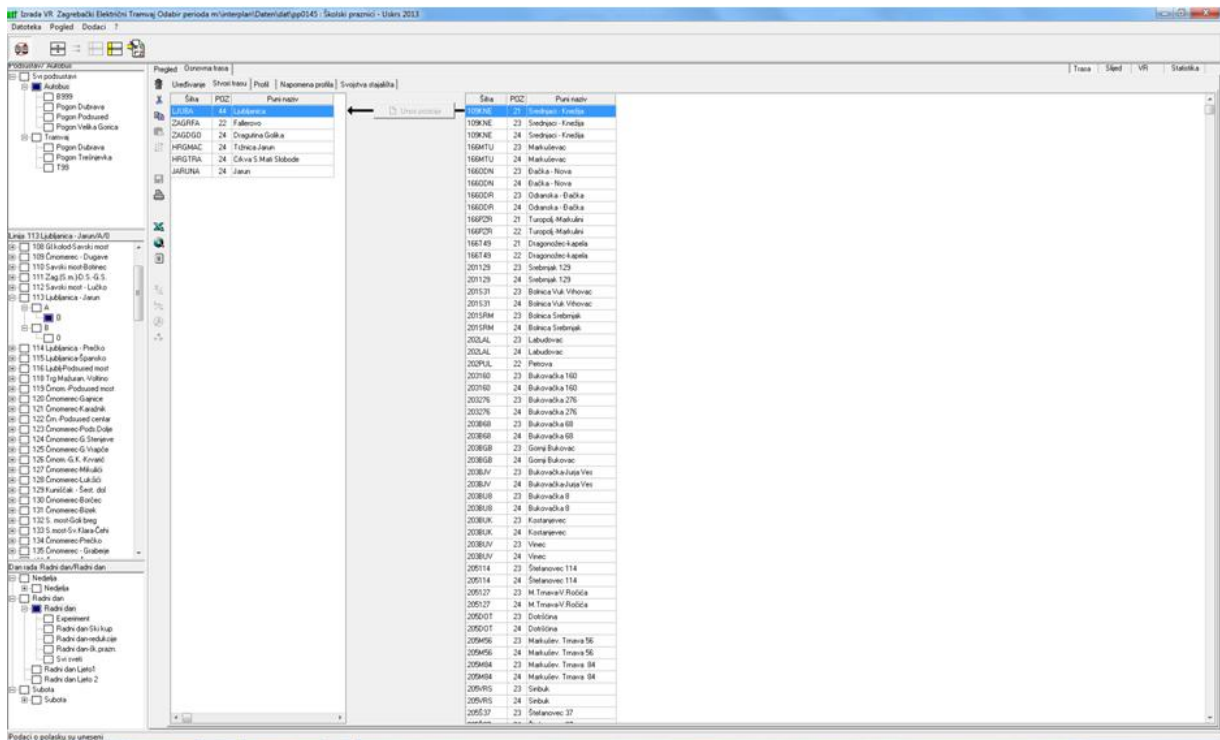
### 3.4.1. Raspored pozicija

U ZET-u, pri izradi trase linije, odnosno pri raspoređivanju prijevoznih jedinica prvo se određuju pozicije. Pozicije su brojevi linija prema određenim terminalima. Tako u autobusnom prijevozu ZET-a su raspoređena tri terminala:

- Podsused,
- Dubrava,
- Velika Gorica.

Terminalima su dodane pozicije, pa tako u autobusnom prijevozu pozicije za Podsused iznose 100-109, Dubravu 200-209, Veliku Goricu 300 >. Prikazane pozicije označavaju koje linije autobusa prometuju na određenoj trasi, odnosno iz kojeg terminala izlaze određene linije prijevoznih jedinica u ovom slučaju autobusa. Tako linije od 100 do 109 su linije iz terminala Podsused, linije od 200 do 209 su linije iz terminala Dubrava, a linije od 300 na dalje su iz terminala Velika Gorica.

Prilikom izrade nove pozicije kreira se trasa. Kreiranje trase znači određivanje stajališta. Zatim se određuju rute kojima se autobusi kreću. Pri određivanju ruta mogu se mijenjati stajališta, odnosno privremeno ukloniti ili dodati. Nakon kreiranja trase, dodaju se međustajališne vrijednosti izmjerene prije same izrade voznog reda. Temeljem izračuna ukrcaja i iskrcaja putnika, gustoće naselja i prometa, dodaju se potrebna vremena vožnji autobusa između stajališta.



Slika 9. Dodavanje stajališta

Izvor: [19]

Nakon izrade trase putem sustava EXPORT šalju se podaci prema van. Sustav EXPORT radi kalendarski raspored, te se dobiveni podaci šalju sektoru koji obrađuje podatke. Tako obrađeni podaci se šalju u pogone gdje se dobivaju gotovi rasporedi za određenu trasu i poziciju. Kada se izrađuje nova pozicija, odnosno pušta se u promet nova linija autobusa (npr. pozicija 206) , kopira se stara pozicija (205) te se u novoj rade korekcije potrebne za novu liniju. Ponavlja se cijeli gore opisan postupak, dobiveni podaci se šalju u pogon. U pogonu dobiveni podaci za novu liniju se prikazuju vozačima i određuje se raspored vozača za novu liniju.

### **3.5. Raspoređivanje rada vozača**

Raspoređivanje vozača, odnosno radnog (voznog) osoblja, koje se naziva i disponiranje, radi se nakon izradbe linije, tj. kada je linija izrađena. Prvo se određuju službe za vozače, a zatim se prema određenim službama raspoređuju vozači. Nakon što su vozači raspoređeni u službe, dodjeljuju im se zadaci, odnosno raspoređi. Prilikom dodjele zadataka odnosno raspoređivanja vozača treba se poštivati radna pravila koja su određena putem radničkog sindikata, kolektivni ugovor, te zakon o radu kojim je definiran minimalan broj sati rada, koliko ima slobodnog vremena do iduće vožnje, koliko je vrijeme za pauzu i obrok i sl. Važno je sukladno zakonu poštivati određeno puno radno vrijeme koje ne može biti duže od četrdeset sati tjedno, osim ako zakonom, kolektivnim ugovorom, sporazumom sklopljenim između radničkog vijeća i poslodavca ili ugovorom o radu nije određeno drukčije. Najpoželjnija radna smjena je smjena od osam sati koja se zove direktna vožnja. Za razliku od direktne vožnje postoji i podijeljena vožnja. U podijeljenoj vožnji vozači rade dvije različite smjene u vršnim periodima, budući da je tijekom vršnih perioda potrebno više vozača. Kod rada u smjenama dolazi do izmjene radnika na istom poslu i radnom mjestu u skladu s rasporedom radnog vremena. Ako je rad organiziran u smjenama koje uključuju i noćni rad, mora se osigurati izmjena smjena tako da radnik u noćnoj smjeni radi uzastopce najduže jedan tjedan.

#### **3.5.1. Raspored radnog vremena**

Radno vrijeme radnika može se rasporediti u jednakom, odnosno nejednakom trajanju po danima, tjednima, odnosno mjesecima. Ako je radno vrijeme radnika raspoređeno u nejednakom trajanju, ono tijekom jednog razdoblja može trajati duže, a tijekom drugog razdoblja kraće od punog, odnosno nepunog radnog vremena. Raspored radnog vremena utvrđuje se propisom, kolektivnim ugovorom, sporazumom sklopljenim između radničkog vijeća i poslodavca, pravilnikom o radu ili ugovorom o radu. Ako je radno vrijeme radnika nejednako raspoređeno, razdoblje takvog rasporeda ne može biti kraće od mjesec dana niti duže od jedne godine, te tijekom tako utvrđenog rasporeda, radno vrijeme mora odgovarati radnikovom ugovorenom punom ili nepunom radnom vremenu.



Radno vrijeme radnika može biti nejednako raspoređeno, tada radnik u tjednu može raditi najviše do pedeset sati, uključujući prekovremeni rad. Za razdoblje od četiri uzastopna mjeseca radnik ne smije raditi duže od prosječno četrdeset osam sati tjedno, uključujući prekovremeni rad.

Nejednaki raspored radnog vremena može se kolektivnim ugovorom urediti kao ukupan fond radnih sati u razdoblju trajanja nejednakog rasporeda, na razdoblje od šest mjeseci, ali ukupan fond sati, uključujući i prekovremeni rad, ne može biti veći od prosječnih četrdeset pet sati tjedno u razdoblju od četiri mjeseca. Tijekom razdoblja trajanja nejednakog rasporeda radnog vremena, raspored radnika može se promijeniti samo za preostalo utvrđeno razdoblje nejednakog rasporeda radnog vremena.

Ako i prije isteka utvrđenog razdoblja nejednakog rasporeda radnog vremena, radno vrijeme radnika već odgovara njegovu ugovorenom punom, odnosno nepunom radnom vremenu, poslodavac će tom radniku, tijekom preostalog utvrđenog razdoblja naložiti prekovremeni rad, ako ima potrebu za radom toga radnika. Ukoliko je radnik kojem radni odnos prestaje zbog isteka ugovora o radu sklopljenog na određeno vrijeme radio duže od prosječnog ugovorenog punog, odnosno nepunog radnog vremena, broj sati veći od prosječnog ugovorenog punog, odnosno nepunog radnog vremena smatrat će se prekovremenim radom.[14]

### **3.5.2. Noćni rad**

Noćni rad je rad koji se obavlja u vremenu između dvadeset dva sata uvečer i šest sati ujutro idućega dana, ako za određeni slučaj, kolektivnim ugovorom ili sporazumom sklopljenim između poslodavca i radničkog vijeća nije drukčije određeno. Noćnim radnikom se smatra radnik koji prema svom dnevnom rasporedu radnog vremena redovito radi najmanje tri sata u vremenu noćnog rada, ili koji tijekom uzastopnih dvanaest mjeseci radi najmanje trećinu svoga radnog vremena u vremenu noćnoga rada. Noćni radnik ne smije tijekom razdoblja od četiri mjeseca u noćnom radu raditi duže od prosječnih osam sati tijekom svakih dvadeset četiri sata.[14]

### **3.5.3. Prekovremeni rad**

Prekovremeni rad nastaje u slučaju više sile, izvanrednog povećanja opsega poslova i u drugim sličnim slučajevima prijeko potrebe, pri čemu je radnik dužan na pisani zahtjev poslodavca raditi duže od punog, odnosno nepunog radnog vremena. Ako je poslodavac onemogućen prije početka prekovremenog rada uruči radniku pisani zahtjev, usmeni zahtjev poslodavac je dužan pisano potvrditi u roku od sedam dana od dana kada je prekovremeni rad naložen. Kod prekovremenog rada ukupno radno trajanje rada radnika ne smije biti duže od pedeset sati tjedno, niti duže od sto osamdeset sati godišnje, osim ako je drukčije ugovoreno kolektivnim ugovorom, a u takvom slučaju ne smije trajati duže od dvjesto pedeset sati godišnje.[14]

### **3.6. Izlazni podaci**

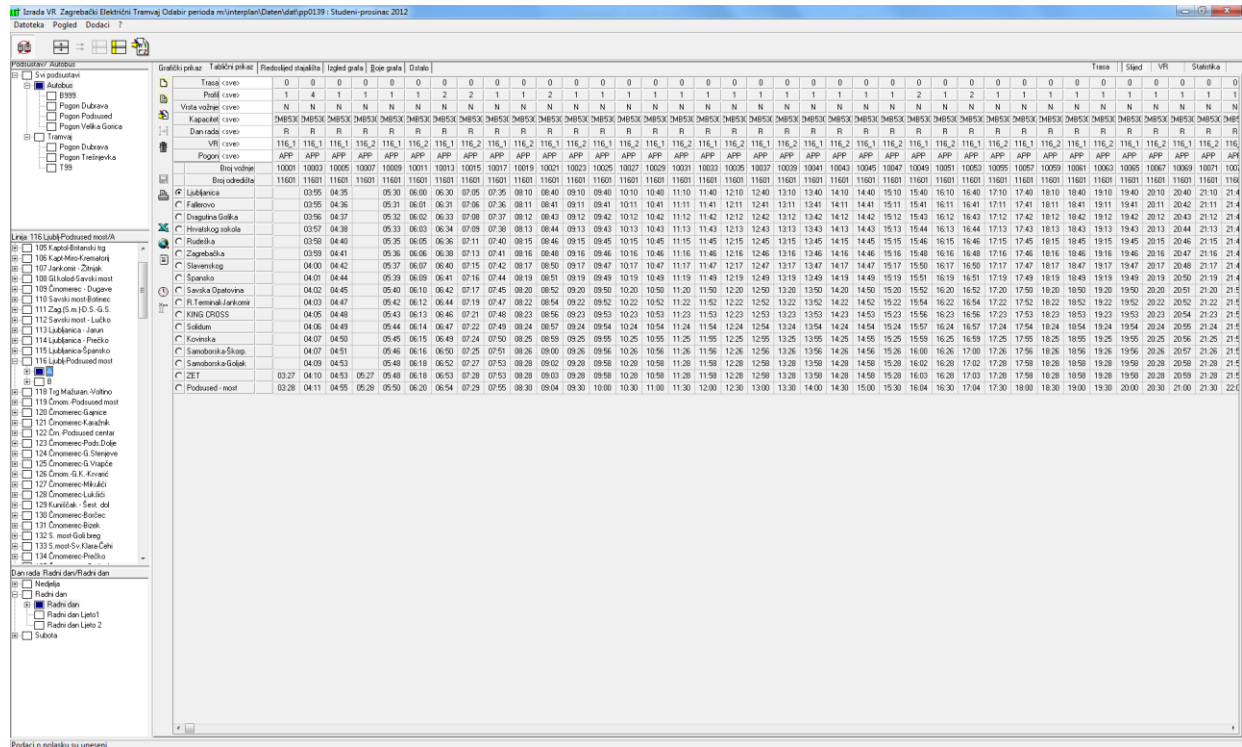
Završni dio procesa izrade voznog reda su izlazni podaci. Izlazni podaci se sastoje od više različitih podataka (elemenata):

- prijeđeni kilometri vozila,
- sati na radu,
- plaćeni sati,
- prijevozne jedinice,
- raspodjela vožnji,
- vozni red i sl.

Dobiveni podaci se koriste u analizi voznog reda, njegovoj efikasnosti, proračunu troškova, te različitih izvještaja o prijevoznim operacijama. Kod analize efikasnosti voznog reda potrebno je obratiti pažnju i na ulazne podatke budući isti mogu povećati efikasnost postojećeg voznog reda. Zbog navedenog, često se vrše testiranja mogućih promjena parametara te se dobivaju povratne informacije o utjecaju promjena na vozni red.

### 3.7. Numerički i grafički prikazi linije

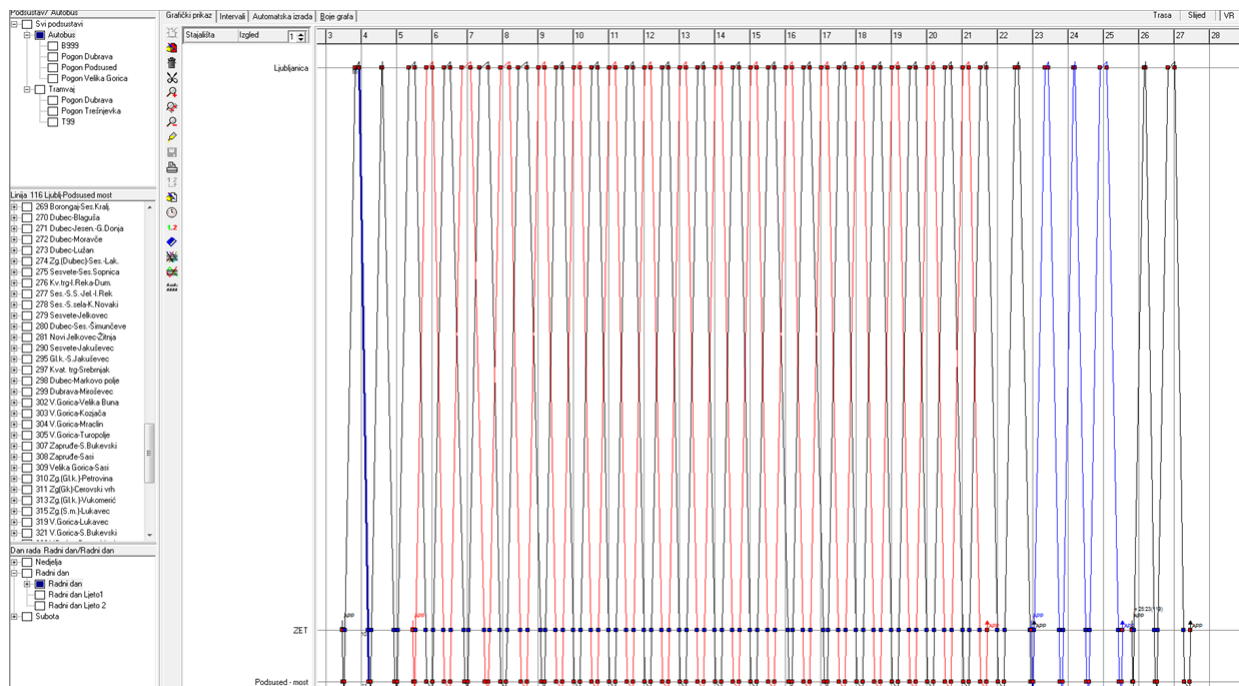
Numerički i grafički prikazi prikazuju određenu liniju u tabličnom prikazu gdje je iz prikazane tablice ili dijagrama vidljiv redoslijed stajališta, vremena dolaska i odlaska vozila na stajalište, brzina vozila, koja je vrsta vožnje, koji je dan kada se obavlja vožnja i sl.



Slika 10. Numerički prikaz linije

Izvor: [19]

Putem grafičkog prikaza vrlo je lako uočiti podatke koji nas zanimaju, budući nude bolji i jednostavniji pregled intervala i operacija određene linije za razliku od numeričkog gdje se ponekad teško snaći. Razvojem tehnologije i određenih programa za prikaz grafičkih i numeričkih prikaza linije lakše je planirati i analizirati vozni red te ujedno i isti prikazati.



Slika 11. Grafični prikaz linije

Izvor: [19]

## **4. SUVREMENI ALATI ZA IZRADU VOZNOG REDA I RASPOREDA VOZAČA**

### **4.1. Atron**

Atron je sustav koji služi za nadzor gradskog prijevoza. Pomoću Atron sustava se šalju informacije u druge prateće programe pomoću kojih se regulira broj tramvaja na liniji, mjeri se njihovo vrijeme dolaska i odlaska, te se ti podaci šalju na info-stupove koji se nalaze na tramvajskim stanicama. Atron sustav pri izlasku tramvaja ili autobusa iz garaže uspostavlja digitalnu vezu sa vozilom te izračunava vrijeme dolaska vozila na pojedino stajalište. Ti podaci ne moraju biti sasvim točni jer je to prikazano vrijeme okvirno vrijeme na koje utječe stanje u prometu. U slučaju da vozila ne izađu iz spremišta zbog kvara sustav ih neće automatski izbrisati zbog popisa budući je automatiziran, odnosno daje automatizirane podatke, već se treba ručno unijeti promjena odnosno kvar. Navedeno je jedan od nedostataka Atron sustava. Atron sustavom se omogućuje lakša i brža izrada voznog reda, za razliku od ručnog kako se nekada izrađivao vozi red, te se daje bolju informiranost putnika na stajalištima i vozilima.

Prednosti korištenja Atron sustava:

- Atron sustav omogućuje automatsko lociranje vozila na prometnici,
- ostvaruje komunikaciju između centra i vozila,
- bolja informiranost putnika,
- povećava se atraktivnost javnog prijevoza,
- postiže se poboljšanje sigurnosti veze kod presjedanja putnika,
- smanjenje praznih vožnji,
- olakšava vođenje prometnih tokova u slučaju potrebe preusmjerenja.

Nedostaci korištenja Atron sustava:

- rušenje programskih sustava,
- kvar računala,
- nedovoljan broj stručnog kadra,
- zastarjela računala i program,
- potrebna nadogradnja koja je skupa.

Najveći problem nastaje kada se dogodi izvanredna situacija poput sudara ili kvara vozila jer ne postoji mogućnost informiranja putnika o događaju. Sustav ne omogućava stalnu kontrolu opterećenosti vozila putnicima kao ni vizualnu kontrolu ponašanja vozila u prometu putem kamera.

Srce Atron sustava je program Atries. To je središnji program za unos svih podataka sa sučeljima prema sustavima planiranja. Sadrži bazu podataka i niz drugih programa pomoću kojih se nadzire gradski prijevoz, izrađuju vozni redovi i sl. neki od tih programa su AVL, DPI, Interplan, TETRA.

TETRA – digitalno radio-telekomunikacijski sustav pomoću kojeg se provodi podatkovna i govorna komunikacija.

AVL – program za upravljanje i nadzor prometa. Prikazuje sve relevantne informacije o aktualnoj radnoj situaciji.

DPI – sustav za dinamičko informiranje putnika na stajalištima. Putnici informacije o aktualnom voznom redu , dolascima i polascima vozila na stajalištima, kašnjenju dobivaju vizualnim putem pomoću displeja ili akustičnim putem u vozilima.

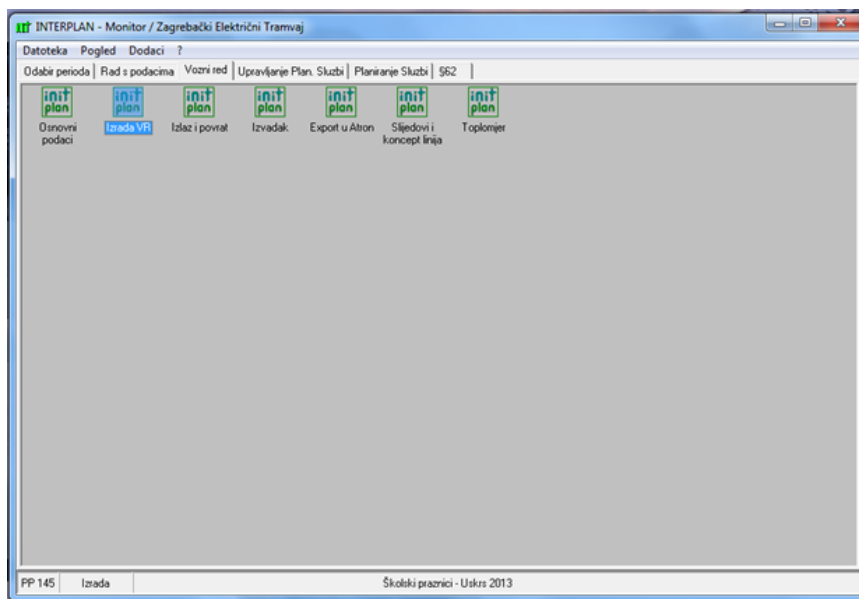
Vozni red i podaci o linijama, vozilima i stajalištima generiraju se i transferiraju u sustav Atries, te se putem radio veze šalju u računala u vozilima i na stajalištima. Putna računala tijekom vožnje bilježe sva odstupanja iz voznog reda i šalju te podatke u centralno računalo, koje šalje te podatke u računala na stajalištima. Time se izbjegava nepotrebno slanje velike količine podataka putem radio veze.[2]

## 4.2. Interplan

Interplan program je program dio sustava Atron pomoću kojeg se kvalitetno izrađuju vozni redovi, te se donose optimalna rješenja za funkcioniranje linija.

Interplan se sastoji od potprograma, odnosno modula:[3]

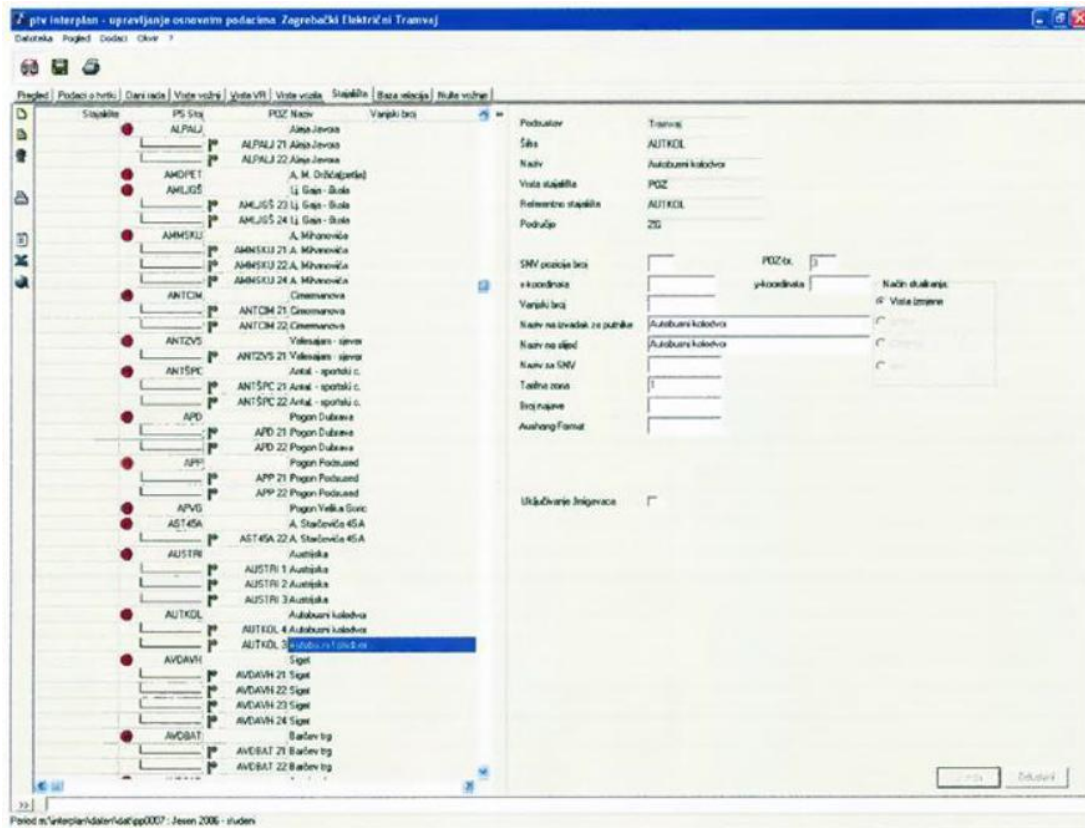
- baza podataka
- modul za izradu voznog reda (sadrži kilometre, brzinu, sate rada i sl.),
- modul za raspoređivanje vozila na linije,
- modul za određivanje službi,
- modul za disponiranje vozača na službe,
- modul za izradu izlaznih i povratnih listi vozila iz i u spremište (garažu),
- modul za izradu koncepta linije (polasci na liniji po voznom redu, sljedovi vozila na terminalima po vremenima i po voznom redu),
- modul za izradu voznog reda za vozače ("toplomjer"),
- modul za izradu izvotka iz voznog reda za putnike na stajalištima,
- modul za izradu knjižice s kompletnim voznim redom,
- modul za provjeru logičnosti (provjera eventualnih pogrešaka nastalih pri izradi voznog reda),
- modul za pridruživanje voznog reda kalendarskim danima,
- modul za transfer podataka u ATRIES.



Slika 12. Program Interplan

Izvor: [19]

Kada se u programu Interplan izrađuje vozni red, odnosno kada se kreiraju linije, prvo se unose podaci kao što su dani rada, koja je vrsta vožnje, redovna ili izvanredna, interna ili školska, koji je tip vozila, kapacitet, m cijena, popis stajališta sa udaljenostima i sl.

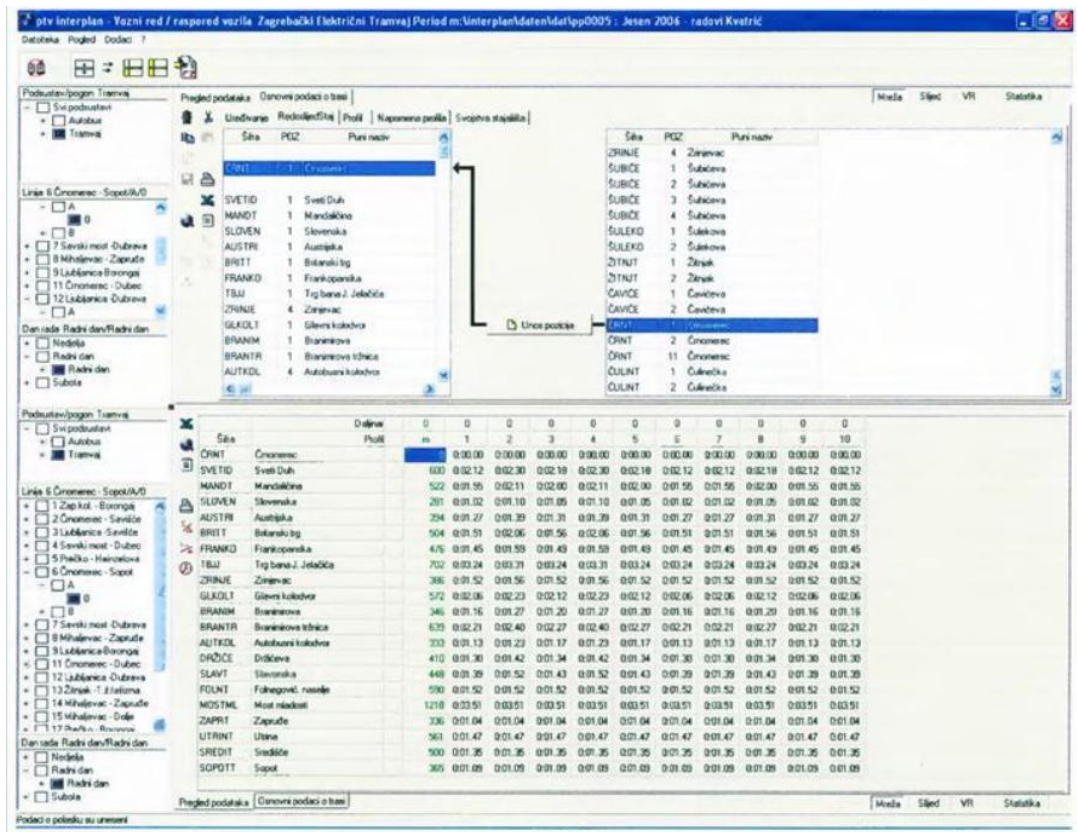


Slika 13. Baza podataka u programu Interplan

Izvor: [3]

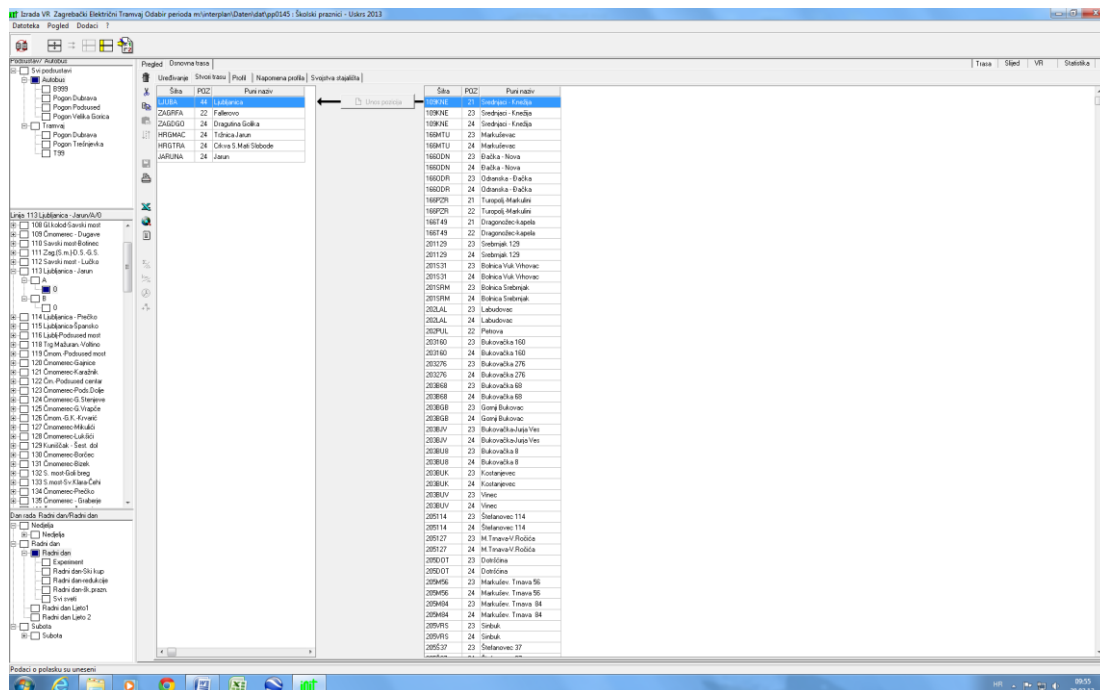
Nakon unosa podataka u bazu, pristupa se kreiranju linije prema popisu stajališta, prilikom čega se određuju vremena vožnje između stajališta, za vrste dana posebno, ovisno dali je radi dan, subota ili nedjelja, te za periode dana ovisno dali je ranojutarnji, jutarnji, vršni, podnevni, predvečernji ili noćni period.





Slika 14. Kreiranje tramvajske linije u programu Interplan

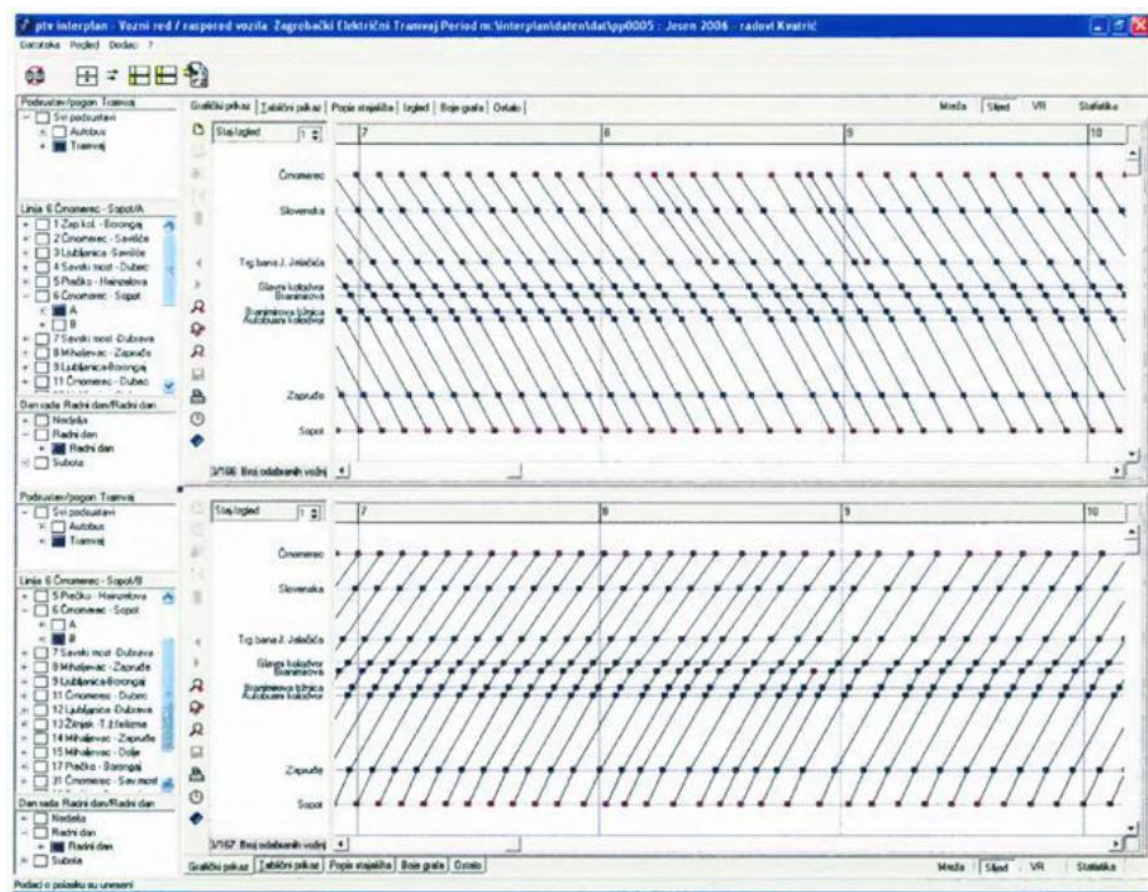
Izvor: [3]



Slika 15. Kreiranje trase – dodavanje stajališta u programu Interplan

Izvor: [19]

Zatim se u određenim periodima dana unose promjene voznih vremena za oba smjera vožnje. Kretanje u smjeru A ili u smjeru B za pojedinu liniju se radi pomoću određivanja smjera, trase, profila vožnje, vrsti vožnje, vrsti vozila, dana rada, početnih i završnih stajališta, te određivanja željenog slijeda. Zatim se formira trasa u grafičkom i tabličnom prikazu. Sve promjene u navedenim tablicama obavlja tehnolog zadužen za tu vrstu posla. Svaka trasa, odnosno linija ima svoju nultu vožnju. Nulta vožnja je izlazno povratna vožnja, odnosno vožnja vozila iz izlaska iz spremišta do trase za koju je zaduženo. Uvođenjem naplate karata nulta vožnja je postala redovna vožnja. To znači da se prevoze putnici iako vozilo možda nije na svojoj redovnoj trasi. Za izradu linije za jedan dan rada, potreban je jedan radni dan, dok tehnologu da bi napravio vozni red jedne linije treba tri radna dana.



Slika 16. Polasci vozila s A i B terminala za tramvajsku liniju 6

Izvor: [3]

Na kraju izrade linija slijedi izrada prateće dokumentacije (dokument Slijed). Dokumentom Slijed se omogućuje praćenje točnog vremena kada određeni tramvaj kreće sa svog početnog stajališta. Kada je linija izrađena u potpunosti, te kada su izrađene sve prateće dokumentacije, određuju se službe za vozače. Službe za vozače se unose ručno, te se nakon provjera generiraju i transferiraju u program Atries, dok se preostali dio dokumenata ispisuje i šalje pogonima kako bi se obavile potrebne predradnje, kao što su: [3]

- izlazne i povrate liste iz i u spremište,
- sljedovi vozila na terminalima,
- koncept linije,
- vozni red u vozilu,
- statistika,
- izvadak iz voznog reda za putnike.

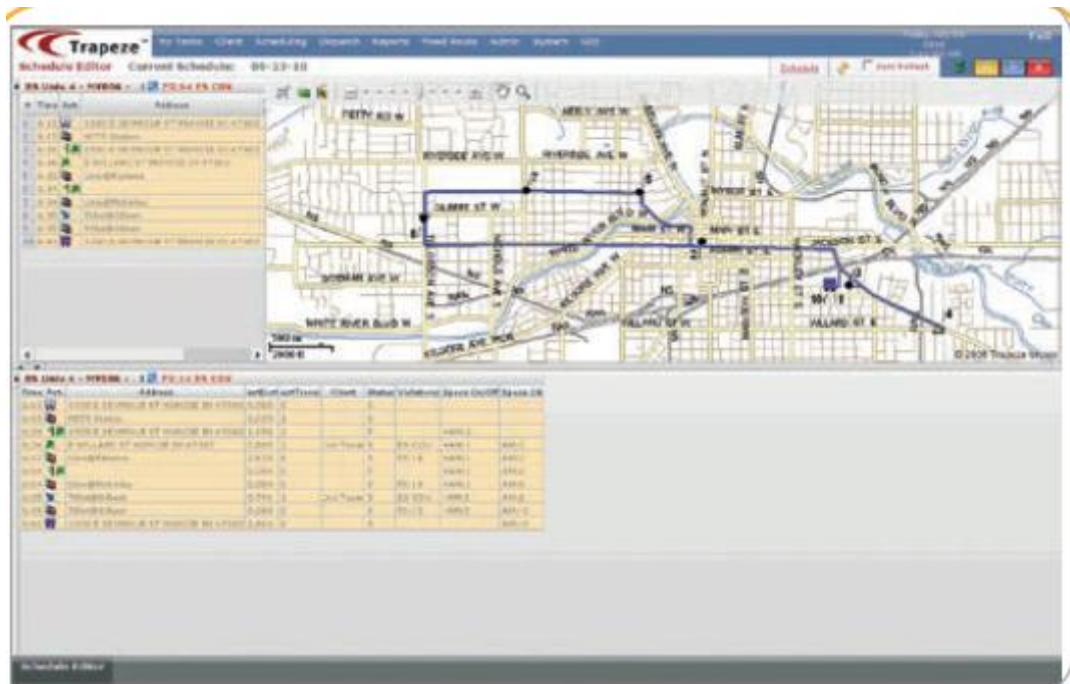
### **4.3. Trapeze**

Trapeze je program koji je razvila tvrtka Trapeze Group, a koristi se u javnom prijevozu. Prvi put Trapeze program je upotrijebila tvrtka Aurtics, 2004. godine. Trapeze program se pokreće putem MS-SQL i Oracle baze podataka. Trapeze program pruža sve podatke potrebne za pružanje autobusne usluge u elektronskom obliku, te omogućuje integraciju podataka u realnom vremenu uz prikaz javnog voznog reda. Olakšava pristup operatorima i omogućuje učinkovitije upravljanje podacima.

Prednosti Trapeze sustava su:

- povećava zadovoljstvo putnika,
- povećava učinkovitost administrativnog osoblja,
- smanjuje mogućnost pogreške pri unosu podataka,
- omogućuje integraciju podataka,
- smanjenje troškova.

Trapeze sustav također pruža mogućnost upravljanja funkcijama kao što su registracije vozača i njihovo raspoređivanje, pregled rasporeda sati u vozilima kroz EBSR sustav (Electronic Bus Support Registration) koji omogućuje elektronsku prijavu i odjavu vozača, te se putem istog može pratiti vozačev rad i raspored.

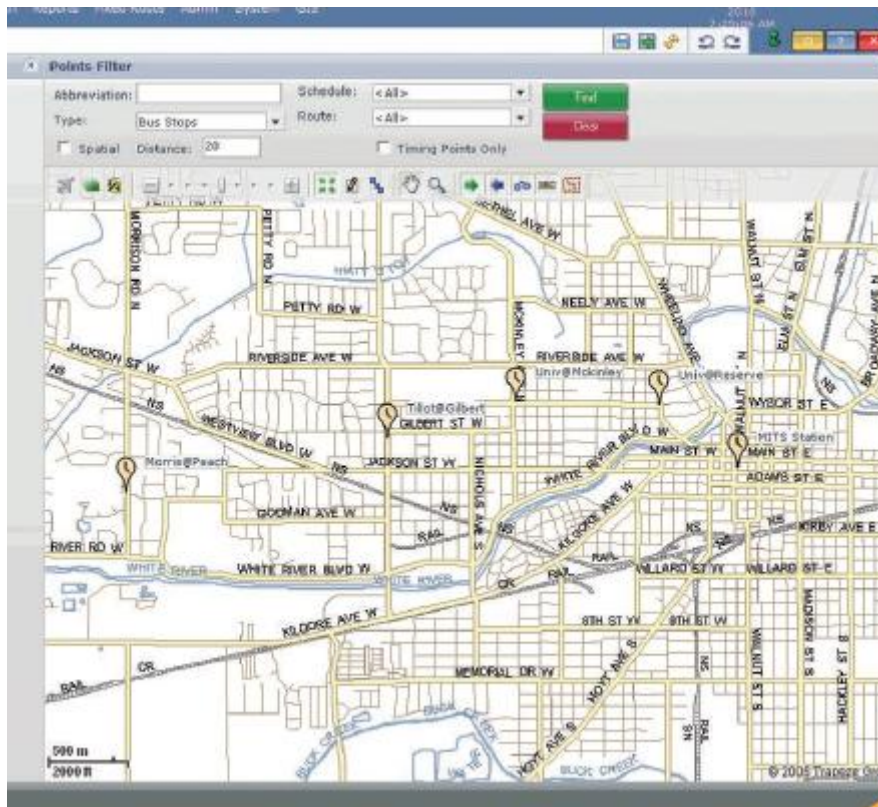


Slika 17. Određivanje rute u Trapeze sustavu

Izvor: [23]

Kod planiranja rasporeda vozila i rasporeda za vozače, krajnji je cilj minimiziranje operativnih troškova. Troškovi vozača ovise o funkciji, kapacitetu rada, stopi plaće te svim dodatnim fiksnim i varijabilnim troškovima. Planiranje voznih redova stvara troškove poput pripreme vozila za prijevoz, obavljanja sigurnosnih provjera prije odlaska i vrijeme potrebno za promjenu vozača, pri čemu je bitno uzeti u obzir da vozači imaju zajamčen minimalni broj sati rada. Potrebno je voditi računa i o plaćenim prekovremenim satima rada, te koliko je vremena na raspolaganju vozačima za pauzu i obrok. Troškovi vozila se baziraju na vremenu potrebnom za prijevoz, troškovima goriva, prijednim kilometrima i sl.





Slika 18. Određivanje stajališta u Trapeze programu

Izvor: [23]

Prije pronalaska optimalnog rješenja, Trapeze program omogućava određivanje ograničenja. Ograničenja su podijeljena na primarna i sekundarna. Primarna ograničenja se odnose na kontrolu upravljanja vozila, operativna pravila rada, raspored vozača, dok se sekundarna ograničenja odnose na kontrolu kvalitete pružene usluge i obavljenog prijevoza.

## 4.4. OpenTrack

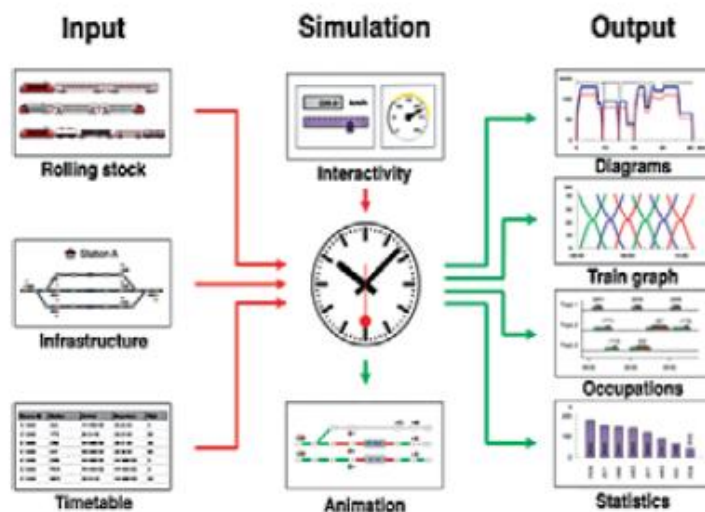
OpenTrack je jedan od najsofisticiranijih i najzastupljenijih računalnih programa koji se koristi za provjeru stabilnosti i izradu voznog reda. OpenTrack je simulacijski program koji je razvijen u Švicarskom saveznom institutu za tehnologiju u sklopu projekta čiji je cilj bio razviti takav računalni program koji će moći zadovoljiti kriterije svih korisnika bez obzira na tehničko-tehnološke razlike pojedinih sustava. [27]

OpenTrack se koristi najviše u željezničkom prijevozu, no može se koristiti i u javnom gradskom prijevozu putnika, bazirajući se na podsustav regionalne željeznice, monrail željeznice i Metro podsustav. OpenTrack simulacijski program omogućava simulaciju djelovanja svih elemenata vezanih uz infrastrukturu, vozila i vozne redove. Težište je na testiranju stabilnosti voznih redova, te na analizi utjecaja primjene vozila.

U programu OpenTrack ulazni podaci se obrađuju u tri različita modula:

- modul za upravljanje voznim parkom,
- modul za izradu voznog reda,
- infrastrukturni modul.

Korisnik unosi podatke, te se uneseni podaci u sustavu pohranjuju u bazu podataka, te se mogu koristiti za bilo koji simulacijski postupak.



Slika 19. Struktura simulacijskog programa OpenTrack

Izvor: [27]

Za simulaciju koriste se uneseni podaci korisnika, te podaci o infrastrukturi, vozilima i podaci o voznim redovima, uključujući i podatke iz tehnološkog procesa. Tijekom simulacije omogućen je animacijski prikaz kretanja vozila koji je prilagođen mreži i voznom redu. Nakon provedbe simulacije omogućava se prikazivanje izlaznih podataka u obliku tablica i grafikona, što omogućuje lakše čitanje prikazanih podataka. Iz prikazanih podataka moguće je pratiti utjecaj prometa na izvršenje voznog reda.

#### **4.5. Hastus**

Hastus je program koji služi za planiranje voznog reda. Razvijen je od tvrtke GIRO te ga koristi više od 250 autobusnih i željezničkih tvrtki u svijetu. Razvijen je prije 25 godina temeljem istraživanja na Sveučilištu u Montrealu kao zbirka optimizacijskih algoritama. Tokom godina zbirka algoritama, odnosno alati korišteni za optimizaciju istih su se prilagođavali potrebama prijevoznih tvrtki te su sada sposobni zadovoljiti potrebe prijevoznih firmi u korištenju kontrole i raspoređivanja osoblja i vozila. Praćenje vozila i osoblja može se promatrati odvojeno ili kombinirano.

Hastus se sastoji od tri podsustava:

- HASTUS-Bus,
- HASTUS-Macro,
- HASTUS-Micro.

Navedeni podsustavi su u potpunosti integrirani. Unatoč navedenom, HASTUS-Macro se može samostalno pokretati, bez uključivanja drugih dijelova sustava, dok HASTUS-Bus zahtijeva unos cjelokupne strukture sustava.

Podsustav HASTUS-Macro služi za analizu i određivanje potrebnog broja vozača. Pomoću matematičkih metoda i linearnog programiranja određuje približnu cijenu potrebni za pokrivanje određenog rasporeda vozila sa pripadajućim osobljem, držeći se zadanih uvjeta tvrtke. Sustav analizira i odabire smjene koje će rezultirati minimalnim troškovima, a s druge strane će omogućiti potreban broj vozača za zadovoljenje svih potreba i zahtjeva korisnika. Temeljem analize dobiva se potreban broj vozača, broj dodijeljenih sati i odrađenih sati radnika, broj putnika, broj isplaćenih prekovremenih sati, broj sati isplaćenih u pauzi, ukupni trošak po dodijeljenom satu i ukupni troškovi.

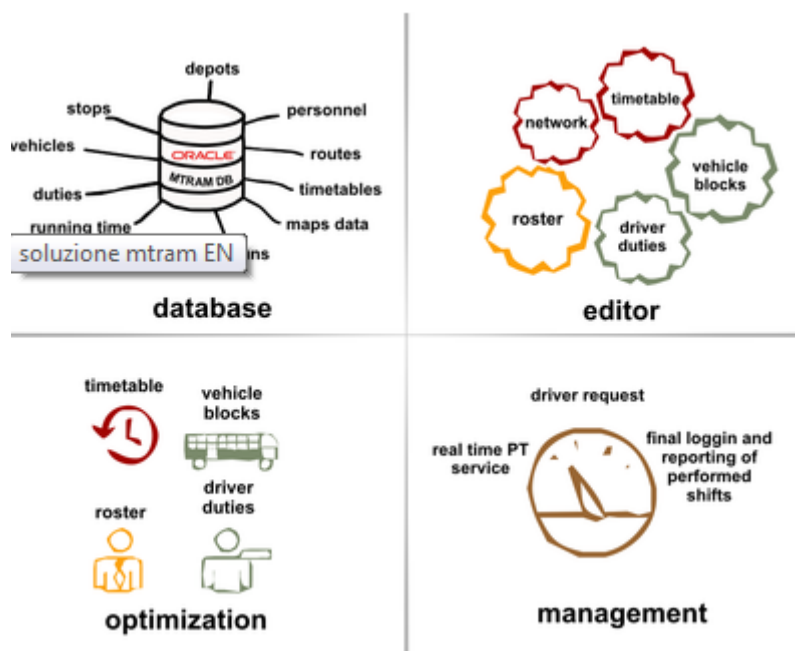
Podsustav HASTUS-Micro omogućuje detaljni raspored osoblja i izračunava točnu cijenu. Glavni cilj HASTUS sustava je smanjenje troškova vozila i osoblja.

#### **4.6. MTRAM**

MTRAM je softver dizajniran od tvrtke MAIOR koja ima sjedište u Italiji. MTRAM je dizajniran za rješavanje i upravljanje javnim prijevozom. Uključuje različite softverske module koji omogućuju optimizaciju rasporeda vožnji i rasporeda vozača, dizajniranje servisne mreže, povećanje kvalitete usluga i efikasnost.

MTRAM se sastoji od baze podataka koja čini jezgru sustava. Ona pohranjuje sve informacije koje su potrebne za rad sustava javnog gradskog prijevoza. Sadrži podatke o karti grada, o trasama na kojima se odvija prijevoz, podatke o uslugama, osoblju i vozilima. Svi navedeni podaci su međusobno povezani. Osim baze podataka MTRAM se sastoji i od sustava za uređivanje, sustava za optimizaciju i menadžmenta.





Slika 20. Struktura programa MTRAM

Izvor: [25]

Sustav za uređivanje omogućuje operaterima da putem aplikacija izvrše aktivnosti povezane sa izradom i modifikacijom karata, mrežnih podataka i pruženih usluga u javnom gradskom prijevozu. Također, služi za uređivanje voznih redova, raspoređivanja vozila i upravljanje službom za vozače. Aplikacije su povezane sa internetom i serverima te omogućuju multifunkcionalno radno okruženje.

Sustav optimizacije je jedinstvena vrijednost MTRAM programa, budući da pomoću algoritama omogućuje stvaranje inovativnih alata koji optimiziraju raspored vozila i službu vozača prema pravilima tvrtke te traže najbolja rješenja za ukupne troškove istih.

Sustav menadžmenta se sastoji od softverskih modula koji dopuštaju svakodnevne operacije kao što su dodjeljivanje vozila i vozača u danu, upravljanje izostancima radnog osoblja, ispunjavanju zahtjeva vozača (zamjena smjene, slobodni dani, praznici), te izvješćivanje o izvršenim smjenama. Sustav je u mogućnosti automatski računati i ažurirati podatke o isplata osoblja te može djelovati u svim vrstama sustava plaćanja. [25]

## **5. ANALIZA IZRADE VOZNOG REDA NA PRIMJERU GRADA ZAGREBA**

Poduzeće Zagrebački električni tramvaj (ZET) podružnica je Zagrebačkog holdinga koja upravlja javnim prijevozom putnika u Gradu Zagrebu. Javni prijevoz putnika obavlja tramvajima, autobusima ali i specijaliziranim vozilima. Također upravlja i uspinjačom.

Pri upravljanju javnim gradskim prijevozom nastoji se pružiti što bolja usluga putnicima uz ostvarenje što manjih troškova. Upravo zbog navedenog izrada voznog reda je vrlo važna budući cilj izrade voznog reda i jest pružiti što bolju uslugu uz što manje troškove.

Zagrebački električni tramvaj (ZET) pri izradi voznog reda koristi se programom INTERPLAN koji je dio ATRON sustava. Kao što je navedeno u četvrtom poglavlju ovog rada, ATRON je sustav koji služi za nadzor gradskog prijevoza. Pomoću njega se regulira broj tramvaja na liniji, mjeri se vrijeme dolaska i odlaska, te se ti podaci šalju na info-stupove koji se nalaze na tramvajskim stanicama i na taj način se informiraju putnici. Dio tog sustava je i program INTERPLAN pomoću kojeg se izrađuje vozni red.

Prije same izrade voznog reda potrebno je obaviti detaljno istraživanje, anketiranje i brojanje putnika (opisano u trećem poglavlju) te je potrebno dobivene podatke obraditi. Obradom podataka dolazi se do određivanja protoka putnika. Protok putnika je važan pri određivanju potražnje tijekom vršnih vremena i jedan od osnovnih veličina određivanje standarda usluge u javnom gradskom prijevozu. Izmjerenim protokom može se vidjeti popunjenost vozila u vršnim opterećenjima.

Detaljnim istraživanjem potrebno je obuhvatiti brojanje putnika u vozilu kroz nekoliko točaka uzduž svake linije, posebno se orijentirajući na dionice koje imaju velik broj putnika kako bi se odredile dionice sa maksimalnim opterećenjem. Godišnja brojanja mogu se ograničiti na dionice s maksimalnim protokom i dodatnim dionicama na svakoj liniji kako bi se usporedili rezultati sa prijašnjim brojanjem.[3] (vidjeti cjelinu 2.1.3. protok putnika).

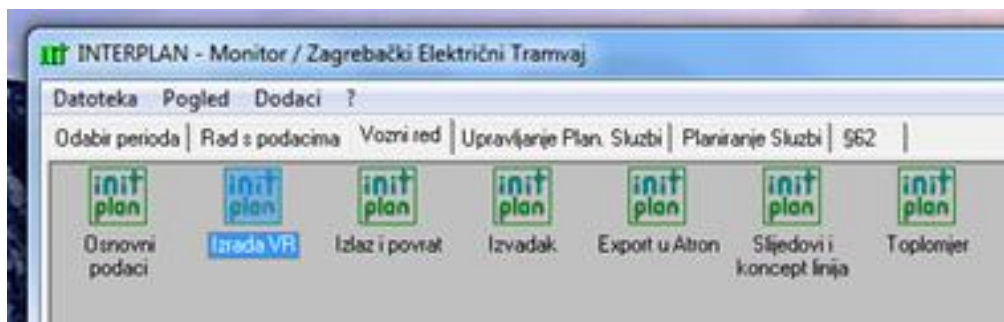
Nakon obavljene obrade podataka, kreće se u izradu voznog reda. Podaci o voznom redu preuzimaju se u ATRIES programu te se za izradu voznog reda koristi program Interplan. (Ranije u radu je navedeno da se u poduzeću ZET (Zagrebački električni tramvaj) vozni red izrađuje putem programa Interplan). Prvi korak pri izradi voznog reda je definiranje dnevnih karakteristika koje se sastoje od podataka dobivenih iz prethodnih anketa i brojanja putnika. (primjer dnevnih karakteristika vidljiv na slici 21.)

DNEVNE KARAKTERISTIKE									
AUTOBUSNA LINIJA 116 LJUBLJANICA - PODSUSED MOST									
SMJER: LJUBLJANICA - PODSUSED MOST					SMJER: PODSUSED MOST - LJUBLJANICA				
DATUM: 13.11.2012. (UTORAK)	MEDUST.	PUTNICI			DATUM: 13.11.2012. (UTORAK)	MEDUST.	PUTNICI		
STAJALIŠTE	RAZMAK (km)	UŠLI	IZAŠLI	PROTOK	STAJALIŠTE	RAZMAK (km)	UŠLI	IZAŠLI	PROTOK
Ljubljana	0.000	813	0	813	Podsused - most	0.000	507	0	507
Fallerovo	0.276	39	1	851	ZET	0.880	71	6	572
Dragutina Golika	0.430	115	11	955	Samoborska-Goljak	0.460	23	20	575
Hrvatskog sokola	0.665	56	34	977	Samoborska	0.688	182	11	746
Rudeška	0.245	132	30	1.079	Kovinska	0.729	181	52	875
Zagrebačka	0.890	126	115	1.090	Solidum	0.584	50	38	887
Slavenskog	0.675	165	91	1.164	KING CROSS	0.265	200	72	1.015
Špansko	0.610	76	63	1.177	R Terminali Jankomir	1.810	23	32	1.006
Savska Opatovina	0.335	69	166	1.080	Savska Opatovina	0.980	106	79	1.033
R Terminali Jankomir	1.175	29	55	1.054	Špansko	0.412	57	78	1.012
KING CROSS	1.315	69	217	906	Slavenskog	0.603	108	158	962
Solidum	0.574	23	124	805	Zagrebačka	0.685	146	79	1.029
Kovinska	0.517	16	124	697	Rudeška	0.855	74	78	1.025
Samoborska	0.631	8	113	592	Hrvatskog sokola	0.255	20	36	1.009
Samoborska-Goljak	0.815	5	63	534	Dragutina Golika	0.665	27	83	953
ZET	0.390	4	50	488	Ljubljana	0.695	0	953	0
Podsused - most	0.655	0	488	0					
MAX		813	488	1.177	MAX		507	953	1.033
UKUPNO	10.198	1.745	1.745	838.94	UKUPNO	10.566	1.775	1.775	825.38
							ULAZ	3.520	
							IZLAZ	3.520	
							UKUPNO:		50,28571
SMJER: LJUBLJANICA - PODSUSED MOST			1.745		SMJER: PODSUSED MOST - LJUBLJANICA			1.775	
BROJ PUTNIKA:			35		BROJ PUTNIKA:			35	
BROJ POLAZAKA:			150		BROJ POLAZAKA:			150	
STATIČKI KAPACITET:			9.306.58		STATIČKI KAPACITET:			9.387.09	
PUTNIČKI KM:			53.539.50		PUTNIČKI KM:			55.471.50	
MJESTO KILOMETRI:			17.38		MJESTO KILOMETRI:			16.92	
ISKORIŠTENJE KAPACITETA %:			5.33		ISKORIŠTENJE KAPACITETA %:			5.29	
SREDNJI PUT PUTNIKA KM:			1.48		SREDNJI PUT PUTNIKA KM:			1.72	
KOEFICIJENT IZMJENE PUTNIKA:			1.40		KOEFICIJENT IZMJENE PUTNIKA:			1.25	
NERAVNOMJERNOST PROTOKA:					NERAVNOMJERNOST PROTOKA:				

Slika 21. Prikaz dnevnih karakteristika za autobusnu liniju 116

Izvor: [19]

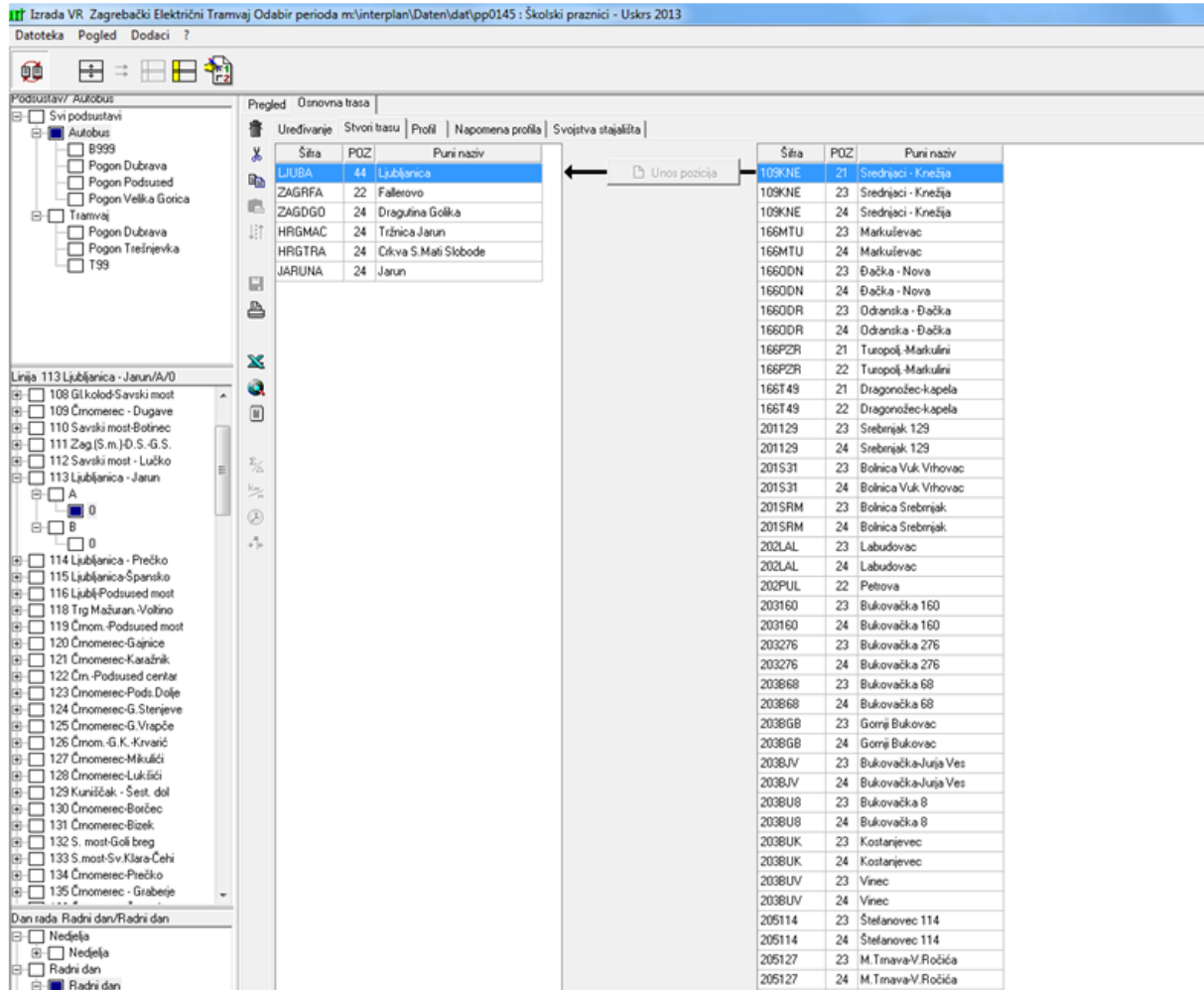
Zatim se u programu Interplan odabire funkcija IZRADA VR (izrada voznog reda), vidljivo na slici 22.



Slika 22. Program Interplan –izrada VR

Izvor: [19]

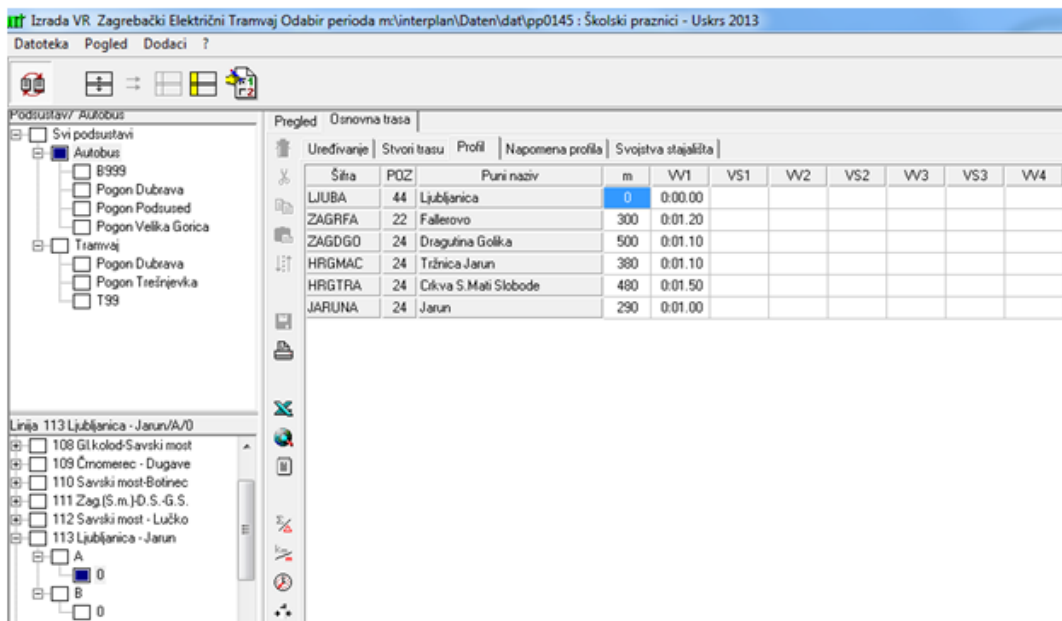
U izradi voznog reda (IZRADA VR) slijedi kreiranje trase, odnosno dodaju se stajališta, te se na taj način određuju rute kojima se kreće autobus.



Slika 23. Kreiranje trase-dodavanje stajališta (stajališnih točaka)

Izvor: [19]

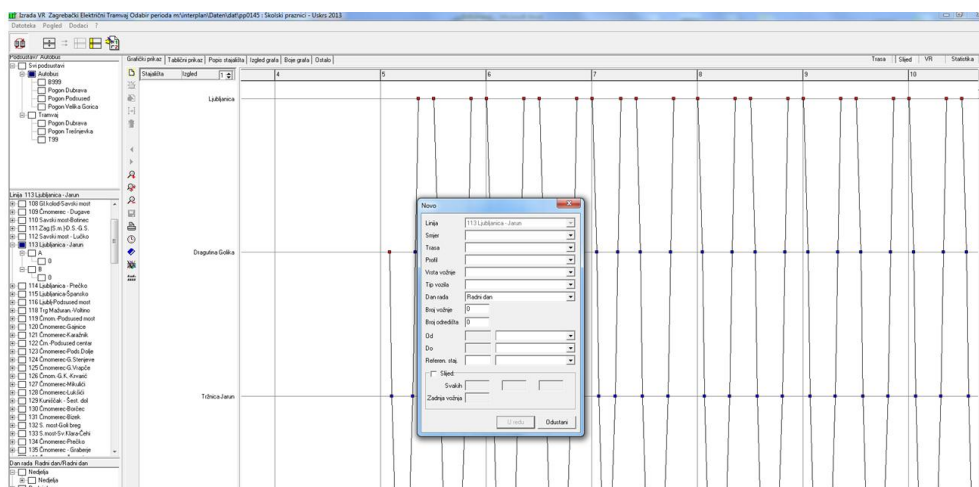
Nakon što je kreirana trase, odnosno nakon što su određene stajališne točke, dodaju se međustajališta, tj. određuju se međustajališne udaljenosti i dodaju se potrebna vremena za ista. (Slika 24.)



Slika 24. Dodavanje međustajališnih udaljenosti i vremena

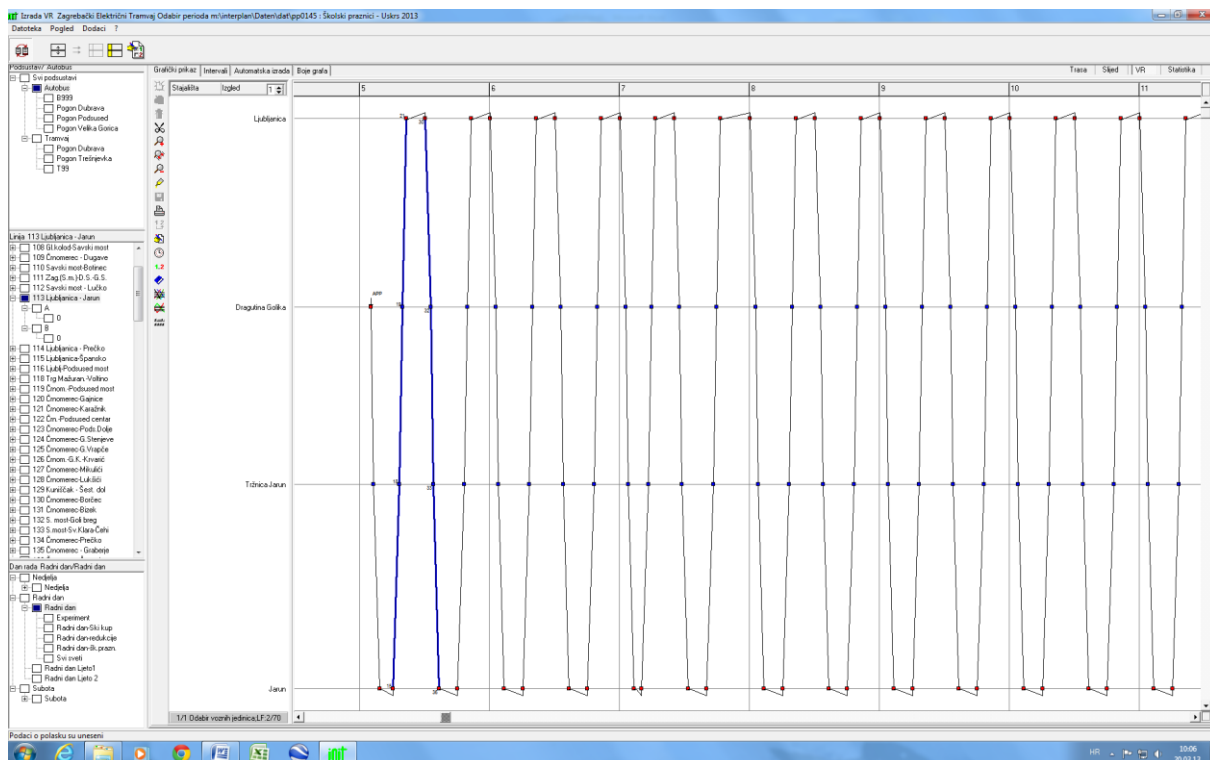
Izvor: [19]

Na vrijeme međustajališta utječe brzina kretanja autobusa, ukrcaj i iskrcaj putnika, gustoća prometa i sl. Potrebno vrijeme autobusa da pređe udaljenost između međustajališta se izračunalo temeljem gore navedenih faktora koji utječu na brzinu kretanja autobusa, te time i na ukupno vrijeme. Idući korak koji se provodi nakon dodavanja međustajališta je grafičko i numeričko kreiranje linije. Nakon što se unesu podaci za određenu liniju dobije se grafički prikaz linije. Iz grafičkog prikaza linije vidljivi su vremenski periodi između stajališta, polazaka autobusa, duljine putovanja i sl.



Slika 25. Kreiranje grafičkog prikaza linije

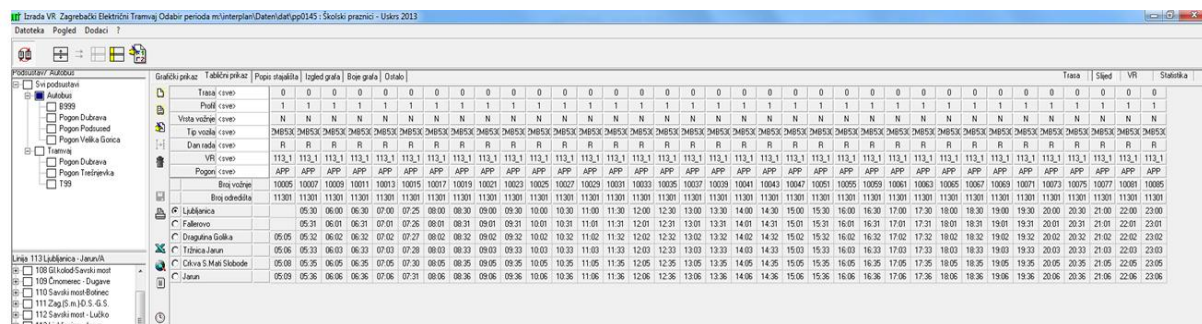
Izvor: [19]



Slika 26. Grafički prikaz gotove linije 113- Ljubljana-Jarun

Izvor: [19]

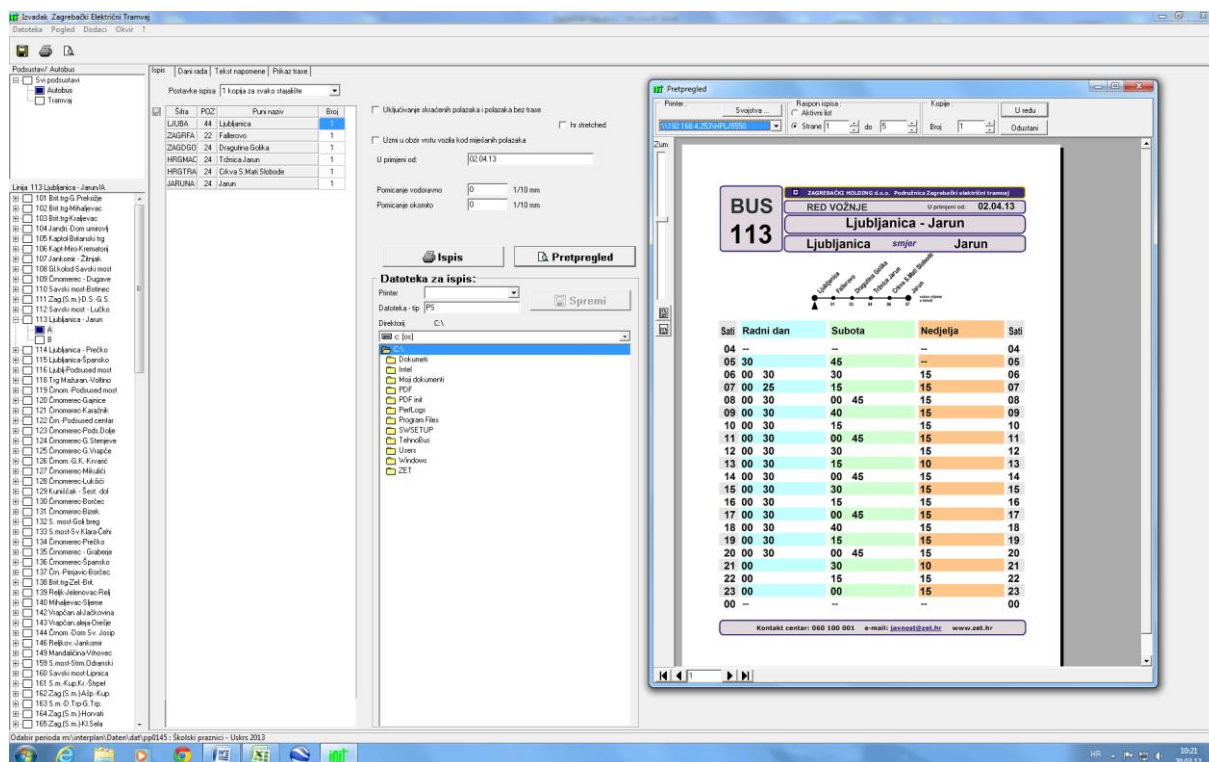
Uz grafički prikaz linije vidljiv je i numerički prikaz linije.



Slika 27. Numerički prikaz gotove linije 113- Ljubljana-Jarun

Izvor: [19]

Numeričkim i grafičkim prikazima prikazuje se linija u tabličnom prikazu gdje je iz prikazane tablice ili dijagrama lakše uočljiv redoslijed stajališta, vrijeme dolaska i odlaska vozila na stajalište, brzina vozila, sl. Temeljem dobivenih podataka lakše je planirati i analizirati vozni red te ujedno isti i prikazati. (Slika 28.)



Slika 28. Izrada izvotka iz voznog reda

Izvor: [19]

Nakon izrade voznog reda u Interplanu, podaci o linijama, trasama, stajalištima, polascima, tipovima vozila i pogonima se generiraju i transferiraju u sustav ATRIES – središnji program, gdje se podaci iz Interplana spajaju s vlastitom bazom podataka (datum važenja voznog reda, garažni brojevi vozila, popis svih vozača i servisnih radnika ZET-a, popis svih radio stanica, nazivi za displeje vozila i stajališta). Prilikom izrade voznog reda trebaju se uzeti u obzir svi faktori koji mogu utjecati na isti. U Gradu Zagrebu, odnosno u javnom gradskom prijevozu Grada Zagreba postoji ljetni i zimski vozni red. Za svaki vozni red karakteristične su drukčije vožnje i rasporedi. Za svaki događaj, okolnost i prigodu, vozni red se izrađuje posebno te se čuva u bazi podataka kako se ne bi ponovno morao raditi zbog gubitka vremena.



## 6. DISKUSIJA I PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA

### 6.1. Javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu

Javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu obavlja Zagrebački električni tramvaj (ZET), koji se brine i o uspinjači i žičari. Javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu organiziran je linijski, što znači da se vozila kreću između dva stajališta po unaprijed utvrđenoj trasi i redu vožnje. Čine ga mreža tramvajskih i autobusnih linija, prigradski vlakovi te taksi vozila (vidjeti pod poglavlje 2.1. Mreža linija javnog gradskog prijevoza).

Tramvajske linije se protežu od Dubca, Borongaja na istoku grada do Črnomerca, Ljubljanice na zapadu grada, te Remetinca, Sopota i Zapruđa na jugu, odnosno Šestina na sjeveru grada. Linije tramvajskog podsustava u Gradu Zagrebu se ističu svojom duljinom, što utječe na predviđanje dolaska vozila na pojedino stajalište i ukupno na krajnje vrijeme od početnog do završnog stajališta. Najduže linije su Savski most-dubec, Prečko-Maksimir, Savski most-Dubrava, Črnomerec-Sopot, Mihaljevac-Zapruđe i Žitnjak-Kvaternikov trg. Linije su raspoređene na dnevne i noćne linije. Dnevnih linija ima 15 dok noćnih ima 4. Uslijed iznenadnih promjena kao što su radovi, nesreće i sl. linije se mogu mijenjati. Noćne linije tramvajskog prometa se često zamjenjuju sa autobusima radi održavanja mreže. Na jedno tramvajskoj liniji prometuje više tramvaja, a svaki tramvaj ima svoj vozni red. Ovisno o vrsti linije (dnevna ili noćna), ovisno o danu i vremenu tokom dana, vremenski slijed tramvaja na istoj liniji iznosi nekoliko minuta. U pravilu se ne čeka duže od 7 minuta do dolaska slijedećeg tramvaja na istoj liniji. Točnije, prosječan slijed tramvaja u vršnim opterećenjima iznosi 7,39 minuta, a u izvan vršnim opterećenjima (razdobljima) 7,90 minuta. Autobusne linije su raspoređene po čitavom gradu i ukupno ih ima 69. [19]



## 6.2. Kvaliteta javnog gradskog prijevoza u Gradu Zagrebu

Kada se govori o javnom gradskom prijevozu, odnosno o prijevozu putnika u gradskom prometu važno je napomenuti da javni gradski prijevoz putnika djeluje na području grada koje je strukturom složeno, a zadatak mu je povezivanje udaljenih prostora grada i ostalih sadržaja koji se nalaze u gradu i prijevoz ljudi, te je dostupan svima po unaprijed utvrđenoj tarifi. Rastom grada raste i broj stanovnika te se povećava složenost zadaća koje se odnose na logistički sustav i organizaciju prijevoza putnika.[7]

Da bi se kvalitetno izvršile zadaće i zahtjevi korisnika potrebno je logistički dobro organizirati javni prijevoz putnika te ostvariti kvalitetnu suradnju gradske uprave i prijevoznika. Zadaća gradske uprave je u suradnji sa tvrtkom koja upravlja prijevozom u gradu, što je u ovom slučaju ZET, podići kvalitetu javnog gradskog prijevoza na višu razinu čime će se omogućiti kvalitetnija prijevozna usluga koja će zadovoljiti postavljene kriterije. Kvaliteta prijevozne usluge se očituje u točnosti, sigurnosti, pouzdanosti, frekvenciji i brzini obavljanja prijevoza, a nastavlja se uvođenjem dodatnih mjera koje će zadovoljiti korisnika.[28]

Promatrano s aspekta ostvarivanja prijevoza, u logističkom smislu, kvaliteta javnog gradskog prijevoza, odnosno pružene prijevozne usluge može se promatrati po:

- voznom redu,
- brzini,
- frekvenciji,
- broju stajališta,
- tarifi,
- dodatnim uslugama.

Veća kvaliteta pojedinih kriterija utječe i na ukupnu kvalitetu prijevozne usluge. Kriteriji kvalitete nisu iste važnosti za sve korisnike javnog prijevoza. Jedna skupina korisnika može se izjašnjavati o važnosti kriterija, ali nema mogućnosti izbora između prijevoznih sredstava javnog gradskog prijevoza i osobnog automobila dok druga skupina korisnika ima mogućnost izbora. Upravo ta druga skupina korisnika predstavlja značajan pokazatelj stanja prometnog sustava i kvalitetu usluge.

## Kriteriji kvalitete usluge javnog gradskog prijevoza:[28]

- dostupnost,
- pristupačnost,
- informacija - pomaže putnicima kod planiranja putovanja,
- vrijeme značajno za planiranje i provedbu,
- briga o putniku – elementi usluge upotrijebljeni na način da postignu najveću moguću kompatibilnost između standarda usluge i zahtjeva korisnika.
- udobnost - elementi usluge uvedeni sa namjerom da putovanje učine opuštajućim i ugodnim,
- sigurnost,
- utjecaj na okoliš.

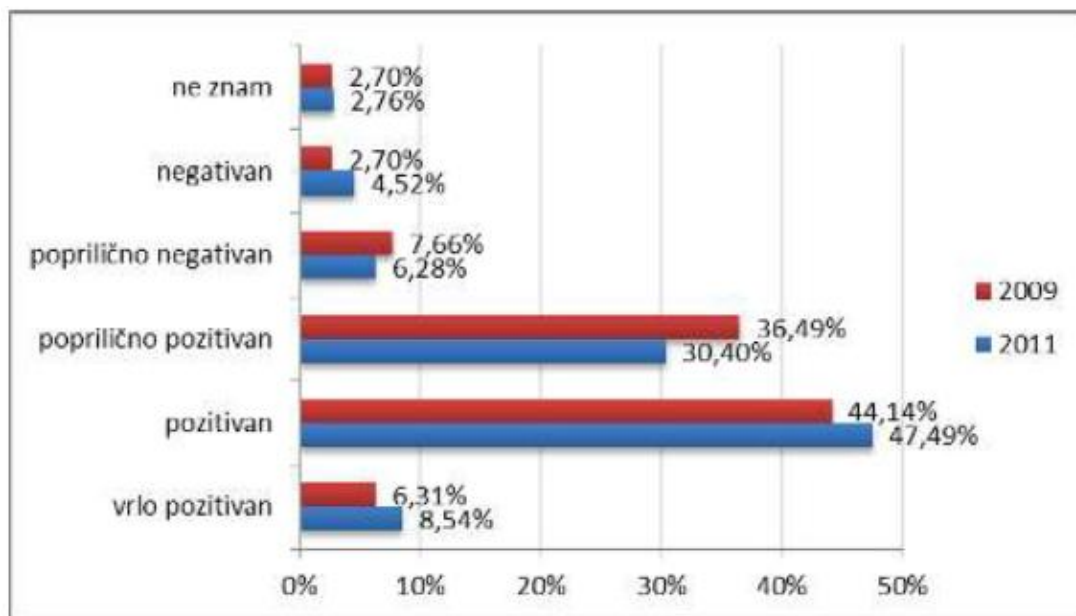
Kako bi se utvrdila kvaliteta javnog gradskog prijevoza u Gradu Zagrebu, provedeno je istraživanje u sklopu projekta kojeg su provodili CIVITAS grupa u suradnji sa Fakultetom prometnih znanosti i ostalih partnera. Cilj istraživanja bio je detektirati promjene stavova korisnika koji koriste usluge javnog gradskog prijevoza nakon uvođenja novih vozila u flotu ZET-a, novog sustava naplate i novog sustava informiranja na stajalištima. Istraživanjem je ispitano zadovoljstvo korisnika uslugama ZET-a, točnost, broj i frekventnost vozila, udobnost vozila i niz drugih parametara. [29]

Aspekt pružanja usluge	Prosječna ocjena	
	2009.	2011.
Točnost vozila	3	4
Brojnost i frekventnost vozila	3	3
Zagušenost unutar vozila	3	3
Rute vozila JGP-a	4	4
Presjedanja	3	4
Udobnost vozila	3	4
Čistoća vozila	3	4
Udobnost stajališta	3	3
Sigurnost u JGP-u	3	4
Vozači	4	4

Slika 29. Prosječne osjene korisnika JGP-a Grada Zagreba

Izvor: [29]

Istraživanje je pokazalo da unatoč modernizaciji i uvođenju novih vozila pomaci koji su ostvareni su zanemarivi u odnosu na ulaganja koja su izvedena kako bi se modernizirala flota vozila i unaprijedio javni gradski prijevoz. Također, istraživanjem je utvrđeno da je učestalost korištenja javnog gradskog prijevoza porasla u odnosu na prethodno istraživanje, te da su ipak zabilježeni pozitivni pomaci što se vidi u zadovoljstvu korisnika. [29] Zadovoljstvo korisnika je usmjereno na udobnost prijevoza i informiranja, dok je i dalje najbitnije korisnicima pravovremen dolazak i odlazak sa stajališta te mogućnost presjedanja na stajališnim čvorovima.



Slika 30. Zadovoljstvo korisnika s uslugama ZET-a

Izvor: [29]

Sukladno navedenom može se zaključiti da problemi koji se javljaju u javnom gradskom nisu pojedinačni već su međusobno povezani tako da pojedinačna pronalaženja rješenja nisu efikasna pri poboljšanju ukupne kvalitete već se trebaju međusobno nadovezivati.

### 6.3. Problem brojanja putnika

Brojanje putnika u javnom gradskom prijevozu u Gradu Zagrebu se i dalje u najvećoj mjeri obavlja putem osoba koje su zadužene za brojanje putnika (promatrači). U pravilu jedna osoba, odnosno promatrač obavlja brojanje na jednoj liniji za svako vozilo. Ako trasa bude opterećena tada može i više promatrača na jednoj liniji obavljati brojanja. Većinom se brojanja obavljaju odokativnom metodom i prema iskustvu. Dosadašnje brojanje putnika u vozilima ZET-a bilo je periodičko brojanje putnika s ciljem usklađivanja prijevozne ponude i potražnje odnosno racionalne distribucije vozila po linijama. ZET je zainteresiran za automatsko brojanje putnika u vozilima jer postojeća manualna tehnologija koja se primjenjuje u ZET-u zahtjeva dugotrajnu pripremu i obradu brojača i podataka i angažiranje većeg broja brojača čija točnost registriranja podataka ovisi o njihovoj motiviranosti za rad. Uvođenjem novih tehnologija kao što su validatori, koji služe za automatsko brojanje putnika, ZET je nastojao poboljšati sustav brojanja a time i više podataka o korištenju stanica i opterećenosti linije. Prilikom ulaska ili izlaska putnika putnik bi trebao prisloniti karticu te se na taj način registrirati u sustav koji takvog putnika bilježi da je u vozilu. Problem se javlja kada se putnici ne registriraju, te tada iako je putnik u vozilu, sustav ga ne bilježi te se stvara kriva slika o opterećenosti linije i protoku putnika što uzrokuje otežanu izradu voznog reda. Za rješenje problema brojanja putnika potrebno je uvesti noviju tehnologiju npr. postavljene brojači sa kamerama na ulazu u vozila koji bi automatski brojali izlazak i ulazak putnika te slati izvješća za svako vozilo. Na taj način bi se uklonile pogreške sadašnjim brojanjem putnika, no nedostatak je visoka cijena takve tehnologije te skupa provedba istog u sustav.

#### **6.4. Problem izrade rasporeda za vozače**

Problemi u procesu izrade rasporeda za vozače i vozila je kompleksan budući isti utječe na izradu voznog reda, posebno kada se definiraju službe za vozače. (detaljnije vidljivo u cjelini 3.3. Raspoređivanje rada vozača). Definiranje službi za vozače mora poštovati sporazum o radnom ugovoru između vozača i operatera. Dok postoje sličnosti u radnim ugovorima između različitih operatera, neke pojedinosti odredbi mogu biti vrlo različite. Novo razvijenim programima koji imaju sposobnosti fleksibilnog prilagođavanja tim ograničenjima, moglo bi se lakše i jednostavnije definirati službe a time i raspored vozača budući bi sustav automatski prikazivao broj sati određenog vozača i sl. Međutim, obavljanje opsežnih istraživanja u javnom gradskom prijevozu, kako bi se osiguralo uvođenje svih potencijalnih radnih pravila, zahtijevalo bi znatno veća sredstva nego što ih ima poduzeće koje obavlja prijevoz (ZET).

#### **6.5. Prijedlozi poboljšanja**

Kako bi poboljšali sustav izrade voznog reda, a ujedno i javni gradski prijevoz putnika u Gradu Zagrebu potrebno je povećati atraktivnost istog. Prethodno je u radu spomenuto da bi se uvođenjem novih tehnologija riješio problem brojanja putnika i izrade rasporeda vozača a time bi se olakšala izrada voznog reda. Također je spomenuto da se uvođenjem novih informacijskih sustava putnicima prezentira okvirno vrijeme dolaska vozila na stajalište.

Prema novom uvedenom informatičkom sustavu putnici na displeju vide okvirno vrijeme dolaska vozila. Prikazano vrijeme ne prikazuje u potpunosti točnu informaciju budući da na dolazak vozila na stanicu utječu faktori poput semafora, gužve u prometu ili prometnih nesreća. Informacija o vremenu dolaska vozila je više informativnog karaktera.

Poboljšanje u ovom vidu se može postići uvođenjem dodatnih informacija o nesrećama i zastoјima na određenoj liniji. (Primjer: Tramvajska linija 12 se proteže na djelu od Dubrave do Ljubljaniće, a putnik čeka tramvaj na stanici Draškovićeve. Predviđeno vrijeme dolaska tramvaja je 3 min. U međuvremenu se dogodi prometna nesreća nekoliko stanica prije stanice na kojoj putnik čeka tramvaj u kojoj se tramvaju onemogućeno prometovanje.

U tom slučaju na displeju se može prikazati informacija o prometnoj nesreći na određenoj lokaciji te da vozilo ne može stići u prikazanom vremenu, te se mogu prikazati alternativni pravci). Linije tramvajskog podsustava u Gradu Zagrebu se ističu svojom duljinom, što utječe na predviđanje dolaska vozila na pojedino stajalište i ukupno na krajnje vrijeme od početnog do završnog stajališta, te su moguće korekcije linija kako bi se smanjila duljina putovanja po liniji, a time i olakšala izrada voznog reda, odnosno omogućio bi se točniji prikaz informacija putnicima o vremenu dolaska vozila na pojedino stajalište.

Poboljšanja se također mogu postići uvođenjem aplikacija koja prate stanje javnog gradskog prometa. Aplikacije korisnici mogu skinuti na svoje mobilne uređaje te na taj način dobivati sve potrebne informacije.

Pri kontroli javnog gradskog prijevoza i pri izradi voznog reda ZET se služi programom Atron, odnosno Interplan. Predmetnim programima nastoje se provoditi kvalitetno praćenje prometa i unaprjeđenje istog. Problem predmetnih programa je što su zastarjeli, prijenos podataka od izrade do implementacije u vozilu je spor te nema rezervnih dijelova. Često dolazi do usporenja rada sustava te je potrebno isti nadograditi ili uvesti novi sustav.

Navedeni primjeri su donekle unaprijedili kvalitetu javnog gradskog prijevoza, ali problem se javlja što su navedeni primjeri fokusirani na pojedinačna poboljšanja. Pojedinačnim poboljšanjem pojedinih elemenata koji utječu na kvalitetu javnog prijevoza ne može se bitno utjecati na ukupnu kvalitetu već je potrebno cijeli sustav poboljšavati i njegove elemente međusobno nadopunjavati.

## 7. ZAKLJUČAK

Temeljem analize izrade voznog reda u javnom gradskom prijevozu može se zaključiti da je sam postupak izrade istog vrlo kompleksan proces budući se pristup izradi voznog reda u koji spada prikupljanje podataka, anketiranje, brojanje putnika te sama izrada temelji na procjeni i iskustvu. Samo brojanje putnika u vozilima ZET-a se obavlja periodički putem osoba (promatrača) čija točnost registriranja podataka ovisi o motiviranosti i koncentraciji.

ZET je nastojao poboljšati sustav uvođenjem validatora, jedne vrste automatskog brojanja putnika no takav sustav ima svojih nedostataka budući se putnici moraju registrirati, u suprotnome ih sustav ne prepoznaje. Također je izradom ovog rada utvrđeno da je izrada voznog reda skup podataka, programa i ograničenja vezanih za pružanje prijevozne usluge. Velik broj ograničenja, varijacija i varijabli te različiti zahtjevi putnika stvaraju poteškoće pri izradi voznog reda, zbog čega je izrada istog vrlo zahtjevan zadatak. Zbog različitih zahtjeva putnika određivanje službi za vozače i raspoređivanje osoblja je isto otežano. Vozači trebaju raditi u dvokratnim smjenama u kojima se nekad voze različite linije, ovisno o potrebi. Da bi se olakšao rad osoblja, raspoređivanje vozača te sama izrada voznog reda ZET je uveo program Interplan.

Pomoću programa Interplan uvedene su promjene u optimizaciji prijevoza. Prijevoz je točniji, smanjio se broj praznih vožnji, te je olakšano vođenje prometnih tokova. Programom Interplan se točno evidentira izlazak vozila, vremena dolaska vozila na stajalište, što je vidljivo na numeričkom i grafičkom prikazu.

Numeričkim i grafičkim prikazima prikazuje se linija u tabličnom prikazu gdje je iz prikazane tablice ili dijagrama lakše uočljiv redosljed stajališta, vrijeme dolaska i odlaska vozila na stajalište, brzina vozila, sl. Temeljem dobivenih podataka lakše je planirati i analizirati vozni red te ujedno isti i prikazati.

Također, ovim radom je utvrđeno da unatoč uvedenim promjenama, modernizacijom javnog gradskog prijevoza te nastojanju pružanja bolje prijevozne usluge i dalje postoji veliki prostor za napredak. Prije svega jer uvedena tehnologija biva zastarjela, a korisnici prijevozne usluge imaju sve veća i veća očekivanja i zahtjeve. Zahtjevi putnika nisu ujednačeni i jedinstveni već svaki putnik ima različit kriterij. Dok je jednima najvažniji kriterij brzina prijevoza i učestalost prijevoza drugima je najvažniji kriterij udobnost i sigurnost prijevoza. Da bi se zadovoljili kriteriji putnika, odnosno većina kriterija, potrebno je modernizirati cijeli sustav javnog prijevoza, što je vrlo skupo, praktički i nemoguće.

Dosadašnja poboljšanja sustava i nadogradnja istog je unaprijedilo kvalitetu javnog gradskog prijevoza u Gradu Zagrebu. Istraživanjima koja su provedena 2009. i 2011. godine utvrđeno je da se nastoji poboljšati kvaliteta javnog prijevoza i zadovoljstvo korisnika, no s druge strane izražen je problem zastarijevanja sustava, te potreba za nadogradnjom istog. Poboljšanja se mogu provesti i korekcijom linija koje su u Gradu Zagrebu veoma dugačke, što uzrokuje odstupanje vremena u stvarnosti od vremena prikazanog voznim redom. Na dugačkim linijama vrijeme dolaska vozila na stajalište se produljuje zbog dužine linije i mogućih nepredvidivih zastoja prometa, što za posljedicu ima kašnjenje vozila na stajalište.

Kako se zahtjevi putnika stalno mijenjaju, mijenja se i način rada prijevoznih sustava, te se sukladno navedenom i programi koji se koriste pri izradi voznog reda, praćenju javnog gradskog prijevoza te ostali programi trebaju nadograđivati raznim softverima, uz adekvatnu edukaciju osoblja, a sve u svrhu unaprjeđivanja funkcionalnosti javnog gradskog prijevoza, budući je ugradnja novog sustava vrlo zahtjevna i skupa.



## LITERATURA

### KNJIGE:

- 1.: Štefančić G.; Tehnologija gradskog prometa 1, Zagreb, 2008.
- 2.: Štefančić G.; Tehnologija gradskog prometa 2, Zagreb, 2008.
- 3.: Brčić D., Ševrović M.; Logistika prijevoza putnika, priručnik, FPZ, Zagreb 2002.
- 4.: Zelenika R.; Logistički sustavi, Ekonomski fakultet, Rijeka, 2005.
- 5.: Zelenika R., Brčić D.; Organizacija prijevoza putnika, autorizirana predavanja, FPZ, Zagreb, 2015.
- 6.: Hrvatska opća enciklopedija, 5, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2003.
- 7.: Županović I.; Tehnologija cestovnog prometa, FPZ, Zagreb, 2012.
- 8.: Bilić B., Jurjević M., Barle J.; Procjena pouzdanosti tehničkog sustava primjenom Markovljevih modela, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2010.
- 9.: Protega V.; Osnove tehnologije prometa, autorizirana predavanja, FPZ, Zagreb, 2011.
- 10.: Vukan R. Vuchic: Urban transit operations, planning and economics, 2005.
- 11.: Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B.: The Geography of transport systems (2 izd.). Routledge, 2009
- 12.: Fawcett, P. : Managing Passenger Logistics. The Comprehensive Guide to People and Transport. London: The Institute of Logistics and Transport, 2000.
- 13.: O'Flaherty, C. A.: Transport Planning and Traffic Engineering, London: Arnold, 1997.

### INTERNET STRANICE:

- 14.: <http://www.zakon.hr/z/307/Zakon-o-radu> (16.08.2016)
- 15.: <http://www.prometna-zona.com/gradski.php> (22.07.2016)
- 16.: <http://www.carobnidan.hr/zagreb-2016/kako-na-carobni-dan> (14.7.2016)
- 17.: <http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/viewFile/992/839> (14.8.2016)
- 18.: [https://www.scribd.com/document/145051394/Sustav-Za-Nadzor-i-Upravljanje Prometom](https://www.scribd.com/document/145051394/Sustav-Za-Nadzor-i-Upravljanje-Prometom) (28.08.2016)
- 19.: ZET- Sustav za nadzor i upravljanje u prijevozu u Gradu Zagrebu
- 20.: [www.motorna-vozila.com/vozni-park-i-rad-voznog-parka](http://www.motorna-vozila.com/vozni-park-i-rad-voznog-parka) (19.07.2016)
- 21.: <http://www.trapezgroup.com/myindustry/public-transit> (07.09. 2016)

- 22.: [www.passengertransport.co.uk/2011/09/trapeze-simplifies-data-management/](http://www.passengertransport.co.uk/2011/09/trapeze-simplifies-data-management/) (28.08.2016)
- 23.: <http://www.trapezegroup.com> (30.08.2016)
- 24.: <http://www.giro.ca/en/> (30.08.2016)
- 25.: <http://www.maior.it/soluzioni/tp1/mtram-scheduling> (30.08.2016)
- 26.: <http://www.steerdaviesgleave.com/casestudies/developing-hamiltons-b-line-lrt-maximum-state-readiness> (13.09.2016)

#### ČASOPISI I OSTALO:

- 27.: Haramina H., Schobel A., bojić M.; Računalno modeliranje i simulacija željezničkog prometa na relaciji Savski Marof-Dugo Selo primjenom programskog alata OpenTrack, *Željeznice* 21, 2014.
- 28.: Trbušić T.; Povećanje kvalitete javnog putničkog prijevoza, izazov ali i neminovna potreba, Connex, Slovenija, 2004.
- 29.: Matulin M., Mrvelj Š.; Kvaliteta usluge u javnom gradskom prijevozu 2009-2011, FPZ, 2012.
- 30.: Zakon o prijevozu u cestovnom prometu, NN 82/13
- 31.: Bekken, J.-T., & Feamley, N. : Long-term demand effects in public transport, 2005.
- 32.: J. Edward Anderson: Calculation of Performance and Fleet Size in Transit Systems
- 33.: Jugović, Poletan T.: Prilog definiranju kvalitete transportno - logističke usluge na prometnom pravcu, 2007.
- 32.: Dr. Radovan Banković: Javni gradski putnički prevoz, izabrana poglavlja, Beograd, 1977

## POPIS SLIKA

Slika 1.: Prikaz mreže dnevnih tramvajskih linija ZET-a .....	4
Slika 2.: Linija javnog gradskog prijevoza u Washingtonu sa stajalištima i terminalima .....	5
Slika 3.: Prikaz brze željeznice (LRT) u Manchesteru .....	10
Slika 4.: Prikaz voznog parka Zeta-a (tramvaj, autobus) .....	12
Slika 5.: Prikaz vijeka trajnja prijevoznog sredstva .....	12
Slika 6.: Automatsko brojanje putnika .....	21
Slika 7.: Validator .....	22
Slika 8.: Primjer rasporeda kad vozilo ide sa linije na liniju.....	29
Slika 9.: Dodavanje stajališta .....	31
Slika 10.: Numerički prikaz linije .....	35
Slika 11.: Grafički prikaz linije .....	36
Slika 12.: Program Interplan .....	39
Slika 13.: Baza podataka u programu Interplan .....	40
Slika 14.: Kreiranje tramvajske linije u programu Interplan.....	41
Slika 15.: Kreiranje trase – dodavanje stajališta u programu Interplan .....	41
Slika 16.: Polasci vozila s A i B terminala za tramvajsku liniju 6 .....	42
Slika 17.: Određivanje rute u Trapeze sustavu.....	44
Slika 18.: Određivanje stajališta u Trapeze programu .....	43
Slika 19.: Struktura simulacijskog programa OpenTrack .....	46
Slika 20.: Struktura programa MTRAM .....	49
Slika 21.: Prikaz dnevnih karakteristika za autobusnu liniju 116 .....	51
Slika 22.: Program Interplan –izrada VR .....	51
Slika 23.: Kreiranje trase-dodavanje stajališta (stajališnih točaka).....	52
Slika 24.: Dodavanje međustajališnih udaljenosti i vremena.....	53
Slika 25.: Kreiranje grafičkog prikaza linije .....	53
Slika 26.: Grafički prikaz gotove linije 113- Ljubljana-Jarun.....	54
Slika 27.: Numerički prikaz gotove linije 113- Ljubljana-Jarun.....	54
Slika 28.: Izrada izvotka iz voznog reda .....	55
Slika 29.: Prosječne osjone korisnika JGP-a Grada Zagreba .....	58
Slika 30.: Zadovoljstvo korisnika s uslugama ZET-a .....	59