

MODELI RASPODJELE PUTOVANJA U SISTEMIMA JGP-A

SAŽETAK: Savremene metode planiranja saobraćaja u gradovima neraskidivo su, od samog nastanka, povezane sa primjenom računarske tehnologije. Bez upotrebe računara ne bi bilo moguće obraditi i analizirati ogromnu količinu podataka koji se prikupljaju za potrebe saobraćajnih istraživanja. Takođe, razvoj i primjena različitih modela i simulacionih procesa u analizi i prognozi saobraćaja može se na zadovoljavajući način obaviti jedino upotrebom računara. Brži i moćniji računari dostupni svima i jednostavnije programiranje, pospješili su razvoj različitih pristupa istim problemima koji su kao rezultat dali veliki broj alternativnih modela i postupaka koji se mogu koristiti u različitim fazama planiranja saobraćaja. Poseban značaj primjena savremene računarske tehnologije ima u oblasti razvoja i primjene modela putovanja na mreži linija javnog gradskog prevoza – JGP-a.

Modeli raspodjele putovanja na mreže JGP-a, kako sa teoretskog tako i sa praktičnog stanovišta, iz više razloga predstavljaju jednu od najsloženijih formi saobraćajnih modela i kao takvi predstavljaju noviju oblast u planiranju saobraćaja. Osnovni problem kod razvoja i primjene ovih modela predstavlja adekvatna baza podataka vezanih za prostornu i vidovnu raspodjelu putovanja, kao i izbor mjerodavnog – vršnog opterećenja na osnovu kojeg se dimenzionišu prevoznici kapaciteti u sistemu JGP-a. Uobičajeni postupak za prikupljanja ovih podataka sprovodi se putem obimnih anketa koje iziskuju značajna finansijska sredstva i složenu organizaciju.

KLJUČNE RIJEČI: planiranje, simulacioni proces, model, mreže, kapacitet, vršno opterećenje.

1. Uvod

Kada su u pitanju obilježja putnika može se reći da izbor vida prevoza uglavnom (ako ne i isključivo) zavisi od dohotka, jer domaćinstva sa većim dohotkom imaju i viši stepen motorizacije (više automobila na raspolaganju) i viši stepen korišćenja automobila. U današnjim uslovima, mogućnost slobodnog izbora prevoznog sredstva nemaju sve strukture stanovništva, jer pojam slobodnog izbora podrazumeva postojanje više mogućnosti da se jedno putovanje obavi određenim pravcem u željeno vrijeme. Slobodan izbor odgovarajućeg vida prevoza podrazumeva najčešće posedovanje sopstvenog vozila, izvesno poznavanje sistema saobraćajnica, postojanje parkirališta u blizini polazišta i odredišta prevozne potrebe i postojanje sistema javnog prevoza na relativno bliskom rastojanju od polazišta i odredišta putovanja, poznavanje mreže linija javnog prevoza, reda vožnje, sistema naplate prevoza i pouzdanosti intervala nailaska vozila. Ovde može biti i više podistema javnog prevoza ili više linija svakog od njih, što povećava mogućnost izbora.

Da li će korisnik realizovati svoju prevoznu potrebu određenim sistemom zavisi od sledećih faktora: informisanosti, pristupačnosti, ušteda u vremenu, udobnosti i pogodnosti, individualnih sklonosti i društvenog prestiža, troškova, bezbednosti.

Korisnici prevoza ocenjuju da većoj uštedi u vremenu doprinosi kratak interval između vozila i brzina prevoza u najopštijem smislu, naročito dostupnost sredstava putničkog prevoza. Motiv za što kraćim vremenom, najizraženiji je kod onih koji svakodnevno putuju

od zone stanovanja do zone rada. Zahtjevi korisnika prevoza kad je u pitanju ušteda u vremenu, koju treba da ostvari odgovarajući vid prevoza, odnose se na ukupno skraćanje putovanja, koje se može podeliti na:

- skraćanje rastojanja koje korisnik prevoza prepešači do stanice, odnosno parkirališta;
- skraćanje vremena čekanja na stanici;
- skraćanje vremena potrebnog za prevoz;
- skraćanje vremena presjedanja i
- skraćanje vremena na kraju putovanja, računajući do cilja.

Udobnost i pogodnost prevoza značajni su faktori koji utiču na opredeljenje korisnika pri izboru načina prenošenja. Udobnost kao potreba i zahtjev korisnika prevoza može se sagledati sa psihološkog i fiziološkog aspekta, pa će opredeljenje za određeni vid prevoza zavisiti od toga kako je rešeno pitanje provetranosti, toplotna izolacija i grejanje vozila kao i pitanje ukrcavanja i iskrcavanja putnika, koji je stepen čistoće, potresa, buke i mogućnosti psihičkog stresa u vozilu, kolika je širina sedišta, da li postoji odgovarajući prostor za noge putnika koji sede, u kojoj meri je sedište prilagođeno telesnim karakteristikama putnika, kakva je dostupnost prevoznih sredstava, može li se smestiti ručni prtljag i dr. Štaviše, korisnici prevoza pridaju znatnu važnost i nekim faktorima iz domena organizacije prevoza: presjedanja iz vozila u vozilo, redovnost i tačnosti prevoza, način informisanja, naplate i kontrole karata i sl.

Za savremenog čoveka u velikoj meri karakteristično je nastojanje da „iskoči iz koloseka“ prosečnog, uobičajenog i svakodnevnog. Čovek se danas trudi da okolinu uveri u svoju individualnost onim što poseduje i čime se profesionalno bavi. Putnički automobil u vlasništvu i korišćenje ovog vida prevoza, još uvek su simbol društvenog prestiža i pokazatelj materijalnog položaja i važnosti pojedinca, pruža osećaj nezavisnosti u vremenu i prostoru, a kod pojedinca zadovoljava iskonsku želju da se upravlja sistemom koji se pokorava komandama, čime se stiče osećaj moći. Prednosti individualnog prevoza onako kako ih vide korisnici moraju se imati u vidu pri proceni važnosti i utvrđivanju redosleda pojedinih faktora koji utiču na izbor prevoznog sredstva. Što se tiče sredstava javnog masovnog prevoza, neke operativno-tehničke prednosti mogu formirati sklonosti korisnika prema pojedinim vidovima ovog prevoza.

Šinski prevoz po pravilu omogućuje udobnije putovanje od autobusnog koji koristi saobraćajnice sa ostalim saobraćajem. Prevoz je naročito udoban na linijama metroa i lakih šinskih sistema čije se trase ne ukrštaju u nivou. U gusto naseljenim područjima, komercijalna brzina šinskog sistema veća je od brzine kojom se kreću putnička vozila. Korisnici prevoza bolje se snalaze na zgusnutoj mreži metro linija nego na razgranatoj mreži autobuskih i tramvajskih linija. Štaviše, sistem informisanja putnika može se pojednostaviti i učiniti razumljivijim na linijama metroa i lakih šinskih sistema. Čak i putnici koji ne koriste redovno ove linije, mogu se brzo i sa lakoćom upoznati sa mrežom linija, prevoznom uslugom i tarifnom strukturom, čime se ispunjava uslov informisanosti korisnika.

Prednosti autobusnog prevoza ogledaju se u tome što ovaj vid prevoza, zbog veće gustine i elastičnosti linija, omogućuje pristup i manjim stambenim i radnim zonama. Prava autobuske linije može se lako izmeniti i na taj način izbeći zastoje nastali u saobraćaju. U vozilu je, najzad vozač kome se putnici mogu obratiti za potrebnu informaciju.

Sa stanovišta korisnika, prevozna alternativa za isključivo korišćenje putničkog automobila kao vida prevoza je tzv. „Park and Ride“ sistem, kombinovano korišćenje automobila i metroa ili lakog šinskog sistema, naročito u slučajevima kada je putovanje prema centru ili gusto naseljenom gradskom području neophodno obaviti u vršnom satu. Tada se sopstvenim vozilom (umesto peške) dođe do najpogodnije stanice masovnog prevoza i tu izvrši presjedanje.

Novi vidovi javnog masovnog prevoza („kabinska železnica“), mogu se po ostvarenoj brzini, udobnosti putovanja i sistemu za obaveštavanje putnika meriti sa učinkom metroa ili lakog šinskog sistema. Automatizacijom sistema javnog prevoza postižu se kratki intervali između vozila čak i vanvršnih perioda tako da se prevoz može koristiti stalnim ritmom u toku čitavog dana. Ovi sistemi imaju znatno manji kapacitet i teško se mogu formirati složene mreže linija tako da nisu ozbiljni konkurenti postojećim klasičnim sistemima.

Kodiranje mreže JGP-a mnogo je složenije nego što je to slučaj kod uličnih i putnih mreža. Opterećenje mreže najčešće se izražava u broju putnika / sat, a za kapacitet dionice se uzima kapacitet podsistema JGP-a na toj dionici. Najvažniji elemenat prilikom raspodjele putovanja (opterećivanje) je utvrđivanje impedanse (otpora) svake moguće putanje između para zona (izvora i cilja) pomoću mnogobrojnih pokazatelja. Generalno pravilo je da od ukupnih transportnih zahtjeva, manji otpor putanje omogućava privlačenje većeg broja putovanja na sebe. Za razliku od putovanja putničkim automobilom, kod putovanja JGP-a postoji još jedan pokazatelj koji komplikuje izračunavanje otpora, a to je mogućnost presjedanja kako sa linije na liniju, tako i sa transportnog podsistema na transportni podsistem. Zbog velikog broja pokazatelja koji utiču na odabir putanje, oni se dele na pet kategorija: vremenski pokazatelji, dužinski pokazatelji, pokazatelji učestanosti, pokazatelji troškova, izvedeni pokazatelji.

2. Vremenski pokazatelji

U nastavku će se definisati svi vremenski pokazatelji čije su jedinice mere izražene u minutama (Tabela 1).

Tabela br.1: Vremenski pokazatelji [min]

Oznaka	Pokazatelj	Opis
AT	Vrijeme pristupa	Vrijeme pešačenja od izvorne adrese do početnog stajališta
ET	Vrijeme izlaza	Vrijeme pešačenja od krajnjeg stajališta do ciljne adrese
OWT	Vrijeme čekanja	Vrijeme čekanja na polaznom stajalištu
TWT	Vrijeme presjedanja	Vrijeme čekanja na presjedačkom
	Vrijeme vožnje u vozilu	Vrijeme vožnje u vozilima JGP uključujući tu i vrijeme zadržavanja vozila na stajalištima
TS	Vrijeme vožnje u podsistemu	Vrijeme vožnje u vozilima JGP-a u zavisnosti od transportnog podsistema(npr.: autobusima)
WT	Vrijeme pešačenja na presjedanju	Vrijeme pešačenja u slučaju presjedanja
JT	Vrijeme putovanja	Ukupno vrijeme putovanja od izvorne do ciljne adrese
RT	Vrijeme vožnje	Ukupno vrijeme putovanja od početnog do krajnjeg stajališta
PJT	Doživljeno vrijeme putovanja	Doživljeno ukupno vrijeme putovanja od izvorne do ciljne adrese

Pri tome, važe sljedeći obrasci:

$$JT = AT + OWT + IVT + TWT + WT + ET$$

$$RT = IVT + TWT + WT$$

$$PJT = f(AT, ET, OWT, TWT, RT, WT)$$

3. Dužinski pokazatelji

U nastavku će se definisati svi dužinski pokazatelji čije su jedinice mere izražene u metrima (Tabela 2).

Tabela br. 2: Dužinski pokazatelji [m]

Oznaka	Pokazatelj	Opis
AD	Dužina pristupa	Dužina pešačenja od izvorne adrese do početnog stajališta
ED	Dužina izlaza	Dužina pešačenja od krajnjeg stajališta do ciljne adrese
IVD	Dužina vožnje u vozilima	Dužina vožnje u vozilima
DS	Dužina vožnje u podsistemu	Dužina vožnje u vozilima JGP-a u zavisnosti od transportnog podsistema(npr.: autobusima)
WD	Dužina pešačenja na presjedanju	Vrijeme pešačenja u slučaju presjedanja
JD	Dužina putovanja	Ukupna dužina putovanja od izvorne stanice do ciljne adrese
RD	Dužina vožnje	Ukupna dužina putovanja od početnog do krajnjeg stajališta
DD	Direktna dužina	Direktno rastojanje između izvorne i ciljne adrese

Pri tome, važe sledeći obrasci:

$$JD = AD + IVD + WD + ED$$

$$RD = IVD + WD$$

4. Pokazatelj učestanosti

U nastavku će se definisati svi pokazatelji učestanosti (Tabela 3).

Tabela br. 3: Pokazatelji učestanosti

Oznaka	Pokazatelj	Opis
NT	Broj presjedanja	Broj presjedanja
SF	Broj mogućih putovanja	Broj mogućih putovanja između dvije zone (broj polazaka/vremenski interval)

5. Pokazatelj troškova

U nastavku će se definisati svi pokazatelji troškova koji se izražavaju u novčanim jedinicama (Tabela 4).

Tabela br.4: Pokazatelji troškovi [novčana jedinica]

Oznaka	Pokazatelj	Opis
FA	Cena putovanja	Cena jednog putovanja od izvorne do ciljne zone

6. Izvedeni pokazatelji

U nastavku će se definisati izvedeni pokazatelji koji se dobijaju kao rezultat kombinacije svih prethodno navedenih pokazatelja (Tabela 5).

Tabela br. 5: Izvedeni pokazatelji

Oznaka	Pokazatelj	Opis
IMP	Funkcija otpora	Otpor putanje
JV	Brzina putovanja	Brzina putovanja između izvorne i ciljne zone
DV	Direktna brzina	Brzina putovanja u slučaju kretanja i direktnim rastojanjem
PS	Procenat vožnje po transportnom podsystemu	Procenat korišćenja pojedinog transportnog podsystema u zavisnosti od rastojanja koje se sa njim prelazi prilikom putovanja

Na osnovu svega rečenog, može se zaključiti da se modeli raspodjele putovanja na mrežama JGP-a koriste da bi se dobili sledeći podaci:

- podaci o broju putnika: broj putnika na liniji, broj putnika na dionici, broj putnika koji ulaze u vozila JGP-a, broj presjedanja ili broj putnika na stajalištu itd.;
- podaci o sistemu JGP-a: ukupno vrijeme putovanja na sistemu, ukupan broj presjedanja, ukupan transportni rad i ukupno transportno vrijeme na sistemu, itd.;
- podaci o redu vožnje: podaci o polascima i dolascima svakog individualnog putovanja na sistemu, itd.

7. Metod zasnovan na principima transportnog sistema

Metod zasnovan na principima transportnog sistema (*transport system-based procedure*) koristi princip „sve ili ništa“ prilagođen javnom prevozu putnika na taj način što putnici biraju najbržu putanju bez uzimanja u obzir reda vožnje i trase linija. U obzir se uzima samo vrsta transportnog sistema na nekoj dionici, jer on direktno utiče na brzinu putovanja. Rezultat omogućava uvid u strukturu prevoznih zahtjeva, što je idealno za planerske svrhe („idealna mreža linija“). Ovom metodu kao ulazni podaci nisu potrebni redovi vožnje ili mreža linija, što znači da osnovna mreža može sadržati samo: sve puteve i železničke pruge u mreži ili samo one dionice koje opslužuju linije javnog prevoza.

Zbog toga što se individualne linije ne uzimaju u obzir na mestima presjedanja nije potrebno definisati presjedačko vrijeme na stajalištima na kojima se presjeda, ali je moguće uključiti vrijeme presjedanja između različitih transportnih sistema (npr. između autobusa i voza). Naravno, ovaj metod ima najviše smisla u slučaju ako u sistemu JGP-a postoje različiti transportni sistemi.

7.1. Opis procedure

Traženje putanje sa najmanjim otporom za svaki izvor–cilj, par se sastoji u izračunavanju otpora putanje, koji se sastoji iz: vremena putovanja na dionici, presjedačkom vremenu za svaki transportni sistem, presjedačkom vremenu na specifičnim čvorovima.

Na dionicama preko kojih ide više transportnih sistema sa različitim vremenima putovanja, uzima se u obzir najkraće vrijeme putovanja. Ukupni prevozni zahtjevi između para izvorno ciljne zone, sabiraju se samo na jednu putanju koja ima najmanji otpor.

8. Metod zasnovan na principima linija JGP-a

Metod zasnovan na principima linija JGP-a (line-based procedure) idealan je za gradske mreže sa kratkim intervalima na linijama, gde koordinacija između polazaka u redu vožnje i nije toliko bitna. On omogućava dobijanje podatka o vremenima čekanja putnika prilikom presjedanja na presjedačkim stajalištima u zavisnosti od intervala na liniji na koju se presjeda. Njegova najveća prednost je što omogućava kratko računarsko vrijeme čak i za velike mreže. Ovaj metod sastoji se iz tri koraka: traženja putanja, izbora putanja, raspodjele na putanje.

8.1. Traženje putanja

Ovim korakom traže se sve moguće putanje između dvije saobraćajne zone, pri čemu one ne predstavljaju putanju već samo rutu, zato što ovaj korak ne uzima u obzir red vožnje.

$$IMP = IVT + TWT \times Fac1 + NT \times Fac2$$

gdje su:

IMP – Otpor putanje,

IVT – Vrijeme vožnje u vozilima JGP uključujući i vrijeme zadržavanja vozila na stajalištima,

TWT – Vrijeme čekanja na presjedačkom stajalištu (50 % od prosečnog intervala na liniji na koju se presjeda),

NT – Broj presjedanja,

Fac1, Fac2 – Podešavajući faktori.

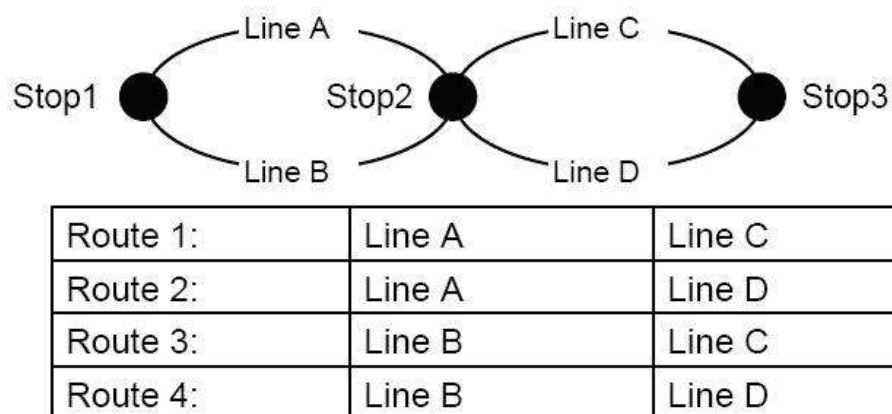
Za različite podešavajuće faktore Fac1 i Fac2 mogu se izračunavati i različite putanje.

Svaka putanja između dvije saobraćajne zone može da sadrži „n“ potputanja. Svaka potputanja se opisuje kao dio putanje pri čemu je to dio koji se odnosi na pješaćenje ili na dio koji ne zahtjeva presjedanje. Prva i poslednja potputanja uvek su konektori (Tabela 6).

Tabela br. 6: Primjer mogućih potputanja

Podputanja	Izvorni čvor	Ciljni čvor	Linija
1	Zona „I“	Polazno stajalište	Konektor
2	Polazno stajalište	Presjedačko stajalište	Linija A
...	Presjedačko stajalište	Presjedačko stajalište	Linija B
n-1	Presjedačko stajalište	Završno stajalište	Linija C
n	Završno stajalište	Zona „J“	Konektor

Da bi se uzele u obzir i druge linije, kao npr. paralelne linije, procedura traženja putanja ispituje za svaku dionicu da li ima neka druga alternativna linija koja opslužuje tu dionicu bez presjedanja. Za svaku takvu nađenu alternativnu liniju, procedura generiše novu potputanja. Tako npr. novo kreirana putanja može imati ista presjedačka stajališta kao i stara, pri čemu se može odvijati drugim linijama (Slika 1). Sve ovako generisane putanje u proceduri traženja putanja uzimaju se u obzir u sledećem koraku izbora putanja.



Slika br. 1. Kombinacija mogućih potputanja između Stajališta 1 i Stajališta 2

8.2. Izbor putanje

Ovim korakom međusobno se upoređuju sve putanje koje su generisane u prvom koraku, pri čemu se brišu sve one koje imaju ekstremno neatraktivne putanje. Tako će na primjer putanja biti obrisana ako je:

- otpor putanje otpora putanje najkraće putanje x faktor + konstanta, ili
 - broj presjedanja na putanji minimalnog broja presjedanja + konstanta.
- Otpor putanje računa se pomoću parametara opisanih u sledećem koraku.

8.3. Raspodjela na putanje

Ovim korakom, uz pomoć funkcije otpora, porede se izabrane putanje iz prethodnog koraka i njima se pridodaju putovanja iz izvorno ciljne (IC) matrice. Izračunavanje otpora prilikom izbora putanje:

$$\text{IMP} = \text{PJT} \times \text{Fac1} + \text{FA} \times \text{Fac2}$$

gde su:

IMP – Otpor putanje,

PJT – Doživljeno ukupno vrijeme putovanja od izvorne do ciljne adrese,

FA – Cena jednog putovanja od izvorne do ciljne zone,

Fac1, Fac2 – Podešavajući faktori.

Ovdje treba dodati da srednje vrijeme čekanja na polaznom stajalištu i srednje vrijeme čekanja prilikom presjedanja putnika, zavise od intervala slijeđenja na liniji JGP-a (mHead) na koju putnici ulaze na polaznom stajalištu i stajalištu na kojem presjedaju:

1. srednje vrijeme čekanja na polaznom stajalištu= $A \times (\text{mHead})^E$,
2. srednje vrijeme čekanja na presjedačkom stajalištu= $A \times (\text{mHead})^E$
 - Sa $A=0,5$ i $E=1$, vrijeme čekanja će biti aproksimirano sa polovinom intervala slijeđenja,
 - Sa $A=1,5$ i $E=0,5$ dobija se funkcija kvadratnog korena koja bolje aproksimira vrijeme čekanja na polaznom stajalištu u slučaju kada su dugački intervali slijeđenja između vozila i kada putnici bolje poznaju red vožnje. Za vrijeme čekanja na presjedačkom stajalištu ove vrijednosti bolje aproksimiraju situaciju kada postoji koordinacija između redova vožnje za linije koje imaju dugačke intervale slijeđenja.

Raspodjela prevoznih zahtjeva na različite putanje zavisi od otpora samih putanja i računa se uz pomoć jednog od modela raspodjele putovanja. Pri tome, parametar opisuje osjetljivost putnika prema povećanju otpora na putanji na taj način što velika vrijednost ovog faktora znači da će se putanja sa malim otporom mnogo više koristiti nego ona sa velikim.

8.3. Metod zasnovan na principima reda vožnje

Metod zasnovan na principima reda vožnje (*timetable-based procedure*) idealan je za prigradske i železničke mreže, jer u obzir uzima egzaktne redove vožnji, gde su intervali između polazaka veliki i gdje je koordinacija između polazaka vrlo važna. Postoji tri tipa ove metode i to: Princip reda vožnje 1; Princip reda vožnje 2; Princip reda vožnje 3.

Prve dvije zasnovane su na istom algoritmu traženja konekcije između linija, ali sa različitim pristupom distribucije prevoznih zahtjeva za vrijeme presjedanja. Treća ima potpuno drugačiji pristup koji omogućava veliki broj alternativa. Mana ovog modela je što zahtjeva mnogo više računarskog vremena u odnosu na metod zasnovan na principima linija JGP-a, a i unos podataka je mnogo zahtjevniji, jer se prilikom unosa zahtjeva precizno vrijeme svakog polaska i dolaska na mreži. Međutim, sa druge strane, kao izlaz dobijaju se vrlo precizni rezultati svakog parametra.

8.4. Princip reda vožnje 1

Kod ove procedure metod pronalaženja najbolje putanje zasnovan je naročito na vremenima polaska i vremenima dolaska. Za različita vremena polaska, mogu se izračunati i različite najbolje konekcije između dvije saobraćajne zone, koje mogu biti različite u zavisnosti od linija JGP-a ili / i različitih presjedačkih stajališta, koje se mogu koristiti. U nekim slučajevima moguće je ostvariti nekoliko različitih konekcija u toku analiziranog perioda koje se međusobno upoređuju uz pomoć funkcije otpora koja raste pri svakom presjedanju kroz faktor presjedanja. Nizak faktor presjedanja favorizuje konekcije sa što kraćim vremenom putovanja, dok visok faktor presjedanja daje prednost konekcijama sa malim brojem presjedanja. Ova procedura podrazumeva da putnici nisu baš upoznati sa redom vožnje i da do svog polaznog stajališta manje više dolaze slučajno. Pošto putnik dođe do polaznog stajališta, on koristi prvu konekciju koja mu je u ponudi ne uzimajući u obzir ni jednu drugu iako bi ona druga možda bila i brža.

Traženje konekcija počinje od traženja svih mogućih vremena polazaka za putovanje od izvorne saobraćajne zone „i“. Vrijeme polaska zavisi od vremena polaska vozila JGP-a na linijama koje opslužuju stajalište, a koje je povezano preko konektora sa saobraćajnom zonom „i“. Za svako vrijeme polaska postupak traženja konekcija traži „najbolje“ putanje iz saobraćajne zone „i“ ka saobraćajnoj zoni „j“. Ovaj postupak pronalazi putanje sa najmanjim otporom kao „najbolje“ putanje. Otpor putanje meri se u minutama na sledeći način:

$$IMP = JT + NT \times Fac$$

gdje su:

IMP – Otpor putanje,

JT – Ukupno vrijeme putovanja od izvorne do ciljane adrese,

NT – Broj presjedanja,

Fac – Podešavajući faktor (faktor presjedanja).

Putanja sa najmanjim otporom reprezentuje konekciju zato što su poznati podaci o tačnom vremenu polaska i dolaska na polazno stajalište, kao i podaci o presjedačkim i krajnjem stajalištu. Ova procedura izračunava i upoređuje sve konekcije po redosledu kako bi se identifikovale i obrisale one koje su manje atraktivne. Samo povoljne konekcije izdvajaju se i koriste u sledećem koraku, a one nepovoljne se izbacuju prema sljedećim pravilima:

- ako je : $JT > \min JT \times Fac + C$ ili
- ako je : $NT > \min Nt + C$

Faktori (Fac) i konstante (C) određuju se od strane korisnika.

Svaka tekuća konekcija puni se putnicima koji dolaze na stajalište između vremena polaska prethodne konekcije i tekuće konekcije. Broj putnika i njihovo vrijeme dolaska na polazno stajalište dati su u matrici prevoznih zahtjeva i vremenskoj distribuciji putnika.

8.5. Princip reda vožnje 2

Kod ove procedure sve je isto kao kod procedure „Princip reda vožnje1“, osim što ova procedura podrazumeva da putnici imaju znanje o redu vožnje. Putnici sami biraju konekciju kojom će putovati, a izbor se zasniva na osnovu pokazatelja za svaku konekciju koji zavise

prvenstveno od vremena polaska. Tako npr. sporija konekcija će verovatno biti atraktivnija za studente koji moraju biti na nastavi u 8:00 (npr. polazak je u 7:00, a dolazak u 7:45, što znači da konekcija traje 45 min), u odnosu na bržu konekciju koja traje 30 minuta, ali je polazak u 8:00, a dolazak u 8:30. Ovo utiče na to da je način traženja i izbora konekcije identičan kao kod procedure „Princip reda vožnje1“, a razlika se jedino ogleda u načinu raspodjele prevoznih zahtjeva na konekcije.

8.6. Princip reda vožnje 3

Ovaj metod zasniva se na tzv. Branch&Bound algoritmu. On pretpostavlja da putnici posjeduju red vožnje i da ulaze u sistem JGP-a uzimajući u obzir samo polaske linija na polaznom stajalištu. Za svako izvorno ciljno putovanje ne traži se samo najbolja konekcija već se traži nekoliko mogućih konekcija. Pri tome, izračunava se otpor svake konekcije pomoću kojeg se pravi njihov međusobni raspored. Izračunavanje otpora prilikom traženja svake konekcije vrši se na sljedeći način:

$$\text{IMP} = \text{JT} \times \text{Fac1} + \text{NT} \times \text{Fac2} \times \text{TSysIMP} \times \text{Fac3}$$

gde su:

IMP – Otpor konekcije,

JT – Ukupno vrijeme putovanja od izvorne do ciljne adrese,

NT – Broj presjedanja,

TSysIMP – Otpor transportnog sistema (npr.: tarifa, komfor),

Fac1, Fac2, Fac3 – Podešavajući faktori.

Pri tome, nova nađena konekcija će biti obrisana u sljedećim slučajevima:

ako je: $\text{IMP} > \text{minIMP} \times \text{Fac} + \text{C}$, ili

ako je: $\text{JT} > \text{minJT} \times \text{Fac} + \text{C}$, ili

ako je $\text{NT} > \text{minNT} + \text{C}$

Ova pravila omogućavaju da se određene konekcije eliminišu i za vrijeme trajanja samog procesa traženja konekcija. Takođe, moguće je specificirati gornji limit za broj presjedanja u jednoj konekciji.

9. Zaključna razmatranja

U ovom radu došlo se do nekoliko zaključaka koji se odnose na modele putovanja javnim gradskim prevozom, a pre svega na modele raspodjele putovanja na mrežama JGP-a koji se koriste da bi se dobili sledeći podaci, a to su:

- Podaci o broju putnika: broj putnika na liniji, broj putnika na dionici, broj putnika koji ulaze u vozila JGP-a, broj presjedanja ili broj putnika na stajalištu itd.
- Podaci o sistemu JGP-a: ukupno vreme putovanja na sistemu, ukupan broj presjedanja, ukupan transportni rad i ukupno transportno vreme na sistemu, itd.
- Podaci o redu vožnje: podaci o polascima i dolascima svakog individualnog putovanja na sistemu, itd.

Pri tome, detaljnije su razmatrani modeli koji su prvenstveno namenjeni opterećivanju mreža JGP-a i to: Metod zasnovan na principima transportnog sistema, Metod zasnovan na principima linija JGP-a i Metod zasnovan na principima reda vožnje.

Model raspodjele putovanja u javnom prevozu koji je zasnovan na principu linija JGP-a, ima sljedeće karakteristike:

- Model uzima u obzir nekoliko putanja sa malim otporom gde se vreme čekanja na stajalištu prilikom presjedanja sa linije na liniju grubo izračunava preko prosečnog intervala polazaka na linijama.
- Koordinacija polazaka u redu vožnje ne uzima se u obzir.
- Broj presjedanja, vreme putovanja i vreme vožnje mogu se izračunati sa velikom tačnošću, ako sve linije imaju mali interval polazaka.
- Za većinu mreža javnog gradskog prevoza, potrebno računarsko vreme za ovu metodu mnogo je kraće od vremena potrebnog za metode zasnovane na principima reda vožnje. Ovo je naročito izraženo za mreže koje imaju konstantne intervale između polazaka na linijama. U mrežama koje imaju puno linija sa po jednim polaskom, vreme uštede je malo.
- Uzimajući u obzir da se prosečno vreme čekanja na polaznom stajalištu i prosečno vreme čekanja prilikom presjedanja izračunavaju preko prosečnog intervala polazaka na linijama, procedura omogućava dobijanje prosečnih rezultata samo u slučaju da je red vožnje takav da na linijama nema jednog polaska već da ih ima više, a još bolje sa fiksnim intervalima.
- Zbog toga što ova metoda ne uzima u obzir koordinaciju između polazaka po redu vožnje, ova metoda je dobra za javni prevoz u gradskim sredinama gde najčešće egzistira intervalski red vožnje. Iz istog razloga dobra je i za upoređivanje dva scenarija: prvog koji reprezentuje postojeće stanje sa redom vožnji koji je ovog trenutka u upotrebi i koji je poznat, sa drugim scenarijom, gde red vožnje još uvek nije poznat.
- Ova metoda nije pogodna za prigradske sredine i za prevoze koji se odvijaju na velikim daljinama, jer se oni obično odvijaju sa dugačkim intervalima gde su bitna uklapanja između polazaka.

Model raspodjele putovanja u javnom prevozu koji je zasnovan na Principu reda vožnje 3, ima sljedeće karakteristike:

- Model izračunava sve moguće konekcije u izabranom vremenskom periodu.
- Traženje konekcija uslovljeno je vrijednostima otpora konekcije,
- Vreme čekanja prilikom presjedanja, kao i koordinacija između polazaka u redu vožnje, uzima se u obzir.
- Svi parametri mogu se izračunati i u toku samog postupka traženja konekcija.
- Moguće je istovremeno tražiti konekciju sa najkraćim vremenom putovanja ili konekciju sa najmanjim brojem presjedanja.
- Prikazani model raspodjele putovanja realistično dočarava ponašanje putnika u JGP-u zato što putnici obično imaju neke informacije o redu vožnje i tada donose odluku o tome koju će konekciju izabrati.

- Ova procedura pogodna je kada se želi analizirati neki vremenski period (ceo dan ili nekoliko sati).

Model raspodjele putovanja u javnom prevozu koji je zasnovan na Principu reda vožnje 2, ima sljedeće karakteristike:

- Model izračunava „najbolje“ konekcije za sva moguća vremena polazaka u izabranom vremenskom periodu.
- Vreme čekanja prilikom presjedanja, kao i koordinacija između polazaka u redu vožnje, uzima se u obzir.
- Svi parametri mogu se izračunati u izabranom vremenskom periodu.
- Nije moguće istovremeno izračunati konekciju sa najkraćim vremenom putovanja i konekciju sa najmanjim brojem presjedanja.
- Prikazani model raspodjele putovanja realističnije dočarava ponašanje putnika u JGP-u u odnosu na model raspodjele putovanja zasnovanog na Principu reda vožnje 1. Obično putnici imaju neke informacije o redu vožnje pre polaska i tada donose odluku o tome koju će konekciju izabrati od ponuđenih. Kod modela raspodjele putovanja zasnovanog na Principu reda vožnje 1, putnici dolaze na stajalište slučajno i nemaju nikakvu predstavu o redu vožnje.

LITERATURA

- Banković, R. (1982). *Javni gradski putnički prevoz*. Beograd: Nučna knjiga.
- Banković, R. (1984). *Planiranje gradskog javnog putničkog prevoza*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Bogdanović, R. (2002). *Ka održivom gradu*. Beograd: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Jovanović, N. (1990). *Planiranje saobraćaja*. Beograd: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- „OPIUM“ – Operational Project for Integrated Urban Management. Project funded by the European Commission under the Transport RTD Programme of the 4TH Framework Programme.
- Opsenica, M. (2010). *Saobraćajni sistemi*. Niš: VŠSS.
- Overgaard, R. (1971). *Planiranje saobraćaja u gradovima* (prevod).
- Vračarević, R., Basarić, V. (2012) *Vidovna raspodjela putovanja: formalizacija ili strategija?*. Sombor: TES.
- Vračarević, R. (2012). *Osnove planiranja saobraćaja – skripta*. Novi Sad: FTN.
- Internet [www.people.hofstra.edu]

Željko Petrić
Šejla Hasanović

Summary

Modern methods of urban traffic planning have been inextricably linked to the application of computer technology since its inception. Without the use of computers, it would not be possible to process and analyze the vast amount of data collected for traffic research purposes. Also, the development and application of various models and simulation processes in traffic analysis and forecasting can only be satisfactorily accomplished through the use of computers. Faster, more powerful computers accessible to everyone and simpler programming have accelerated the development of different approaches to the same problems that have resulted in a large number of alternative models and procedures that can be used at different stages of traffic planning. The application of modern computer technology is of particular importance in the field of development and application of travel models on the network of public urban transport lines – UGP.

Models of distribution of journeys to UGP networks, both from a theoretical and practical point of view, represent for many reasons one of the most complex forms of traffic models and as such represent a newer area in traffic planning. The main problem in the development and implementation of these models is an adequate database related to the spatial and visual distribution of travel, as well as the selection of the relevant – peak load on the basis of which the transport capacities in the PPP system are dimensioned. The usual process for collecting this data is through extensive surveys that require significant funding and complex organization.

Key words: planning, simulation process, model, networks, capacity, peak load.