

## 1. UVOD U PLANIRANJE SAOBRAĆAJA

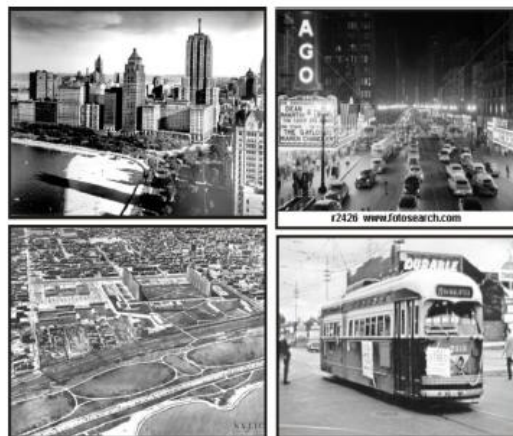
Planiranje saobraćaja u gradovima, zasnovano na principima sistemske analize i uspostavljanju zakonitosti između vrste i intenziteta korišćenja zemljišta, započeto je sredinom prošlog veka u velikim gradovima SAD-a. To je pre svega nastalo kao potreba za rešavanjem sve složenijih problema izazvanih sve masovnijom upotrebom putničkih automobila. Istovremeno, takođe u SAD, došlo je do snažnog razvoja računarske tehnologije, što je omogućilo da se već u prvim studijama saobraćaja za Detroit, Čikago i Filadelfiju razviju softverski paketi koji su bili osnova daljeg razvoja i komercijalizacije računarskih programa za planiranje saobraćaja. Softverski paketi su 60-tih godina 20. veka našli primenu i u velikim gradovima Evrope.

## 2. OSNOVE PROCESA PLANIRANJA SAOBRAĆAJA U GRADOVIMA

Proces planiranja saobraćaja razvija se u proteklih 50 godina sa isto vremenim rastom zahteva koji se postavljaju pred saobraćajni sistem, kao i sa rastom raskoraka između tih zahteva i mogućnosti da se oni zadovolje. Zahtevi koji se postavljaju pred saobraćajni sistem posledica su razvoja nauke i tehnologije, životnog standarda stanovništva, globalne razmene dobara i informacija. Ubrzo posle II svetskog rata saobraćaj je postao osnovni problem funkcionisanja mnogih gradova zapadnoevropskih zemalja i SAD-a. Sve do 1950. godine, prognoze budućeg saobraćaja zasnivale su se na određivanju faktora porasta saobraćaja na bazi ocene godišnje stope rasta broja motornih vozila. Godine 1954. Mičel i Repkin uvode novi koncept u planiranju saobraćaja gradova. Analizirajući saobraćajna istraživanja utvrdili su da postoji tesna zavisnost između korišćenja zemljišta (vrste objekata i njihovih sadržaja) i obima i strukture saobraćaja [3]. Veliki broj studija u severnoameričkim gradovima sa najvišim stepenom motorizacije (Detroit (1953), Čikago (1955), Pitsburg (1958), Nju Džersi (1959)) rađen je po ovoj osnovi. Postavljeni su prvi temelji savremenih metoda planiranja saobraćaja koji su se razvijali na principima, tada takođe jedne nove naučne discipline, sistemske analize. Šezdesetih godina prošlog veka gradovi Evrope kreću istim putem primenjujući iskustva Severne Amerike. Prve studije ovakvog oblika rađene su u Velikoj Britaniji, a zatim u Nemačkoj, Švedskoj, Danskoj, Francuskoj i u ostalim zemljama Evrope.



*Slika 1: Detroit, Sjedinjene Američke Države, 1950-tih godina 20. veka*



*Slika 2: Čikago, Sjedinjene Američke Države, 1950-tih godina 20. veka*

Rane šezdesete godine karakteriše eksponencijalni rast stepena motorizacije, rast nivoa dohotka, jeftina energija i vizija rasta gradova male gustine. Optimizam ovog vremena okarakterisao je pogled da su razlozi saobraćajnog zagušenja u gradovima, nedostatak puteva i da se problem može rešiti dodatnom izgradnjom. Ovaj pristup se menja u periodu od 1963. do 1965. godine, sagledavanjem rezultata dosadašnjih istraživanja i uviđanjem da je zahteve za putovanjem nemoguće rešiti daljim uvećanjem saobraćajnih kapaciteta. Postalo je jasno da se saobraćajne studije ne mogu više baviti samo izgradnjom novih puteva, već da planiranje mora uključivati iskorišćavanje postojećih kapaciteta, mogućnost korišćenja javnog prevoza i ograničavanje korišćenja putničkih automobila kroz razne kontrolne mere [2].

Razvoj motorizacije u bivšoj Jugoslaviji, a time i pojava intenzivnog saobraćaja u gradovima, išli su znatno sporijim tempom. Uprkos tome, već 1963. godine započeta je izrada prve sveobuhvatne studije saobraćaja za Skoplje, u okviru obnove nakon katastrofalnog zemljotresa koji je zadesio Skoplje iste godine. Studiju je izradio tim američkih eksperata, uz saradnju stručnjaka iz Skoplja koji su jedno vreme boravili na obuci u Vašingtonu. Zatim su u periodu od 1965. do 1972. urađene studije saobraćaja za Ljubljanu, Novi Sad, Dubrovnik i Beograd, u saradnji domaćih timova i konsultantskih firmi iz SAD-a i Švedske. Sve ove studije su rađene u okviru izrade generalnih urbanističkih planova.

### **3. ODRŽIVI RAZVOJ GRADOVA I SAOBRAĆAJ**

Planiranje saobraćaja je posebno izazovan zadatak za gradove zemalja u razvoju koji doživljavaju visoku stopu rasta motorizacije od 10-15% godišnje uz istovremenu visoku stopu rasta gradskog stanovništva od preko 4% godišnje. Pretpostavka je da će se sadašnje relativno malo učešće zemalja u razvoju u ukupnom broju vozila u svetu od 30% u narednih dvadeset godina povećati na 43%. Na brži rast broja vozila u ovim delovima sveta uticaće ukupno povećanje broja stanovnika i porast broja ljudi sa kupovnom moći koja omogućava nabavku vozila. U slučaju da se ovaj trend realizuje nastaće pogoršanje uslova u saobraćaju, jer je malo verovatno da će se u skladu sa povećanim brojem vozila povećati i saobraćajne površine [10].

Problemi saobraćaja su mnogostruki i složeni. Da bi se lakše prišlo njihovom rešavanju, treba ih razložiti na probleme koji se odnose na zemljište, zbog potrebe obezbeđenja površina za različite namene u saobraćaju, na probleme koji su vezani za potrošnju energije i na probleme koji se odnose na degradiranje okoline. Nesrazmeran je porast broja vozila u odnosu na povećanje površina namenjenih saobraćaju. U evropskim gradovima u proseku je 20-25% zemljišta od raspoložive gradske površine angažovano za vozila, u Severnoj Americi čak 30% u proseku, za razliku od mnogih zemalja gradova u proseku gde to iznosi samo 10-15% od raspoloživog gradskog prostora. Saobraćaj je postao najveći i najbrže rastući potrošač energije. Na primer, na saobraćajni sektor u 1970. godini u Evropi je odlazilo svega oko 14% ukupne potrošnje energije, a samo 25 godina kasnije potrošnja u saobraćaju dostiže rast preko 21% [2]. Emisije ugljen-dioksida, ugljen-monoksida, dima, prašine i drugih gasova, svrstavaju saobraćaj među najveće zagađivače vazduha u gradovima. U sistematičnom prilazu, rešenja se mogu tražiti u administrativnim merama, urbanističkoj strategiji i saobraćajnom planiranju. Administrativne mere se odnose na radikalne mere za progresivno smanjenje korišćenja privatnih motornih vozila u gradovima.

Urbanistička strategija i saobraćajno planiranje treba da se orijentišu na uvođenje šinskih sistema za masovni prevoz putnika. U tom cilju neophodno je planiranje širenja sadašnjih gradova i prilagođavanje i oblikovanje urbanih celina za uvođenje ovih sistema. Obezbeđenje zadovoljavanja sadašnjih potreba bez ugrožavanja budućih generacija da zadovoljavaju svoje potrebe je izuzetno značajan globalni cilj. Jedan od najvećih izazova sa kojima se suočava savremeno društvo je ostvarivanje "zdrave" stope rasta bez degradacije i pustošenja prirodnih resursa i bez zagađenja životne sredine kako ne bi bilo ugroženo zadovoljavanje potreba budućih generacija. Pronalaženje podesne ravnoteže između ekonomskog rasta, očuvanja prirodnih resursa i unapređenja kvaliteta životne sredine je suština cilja poznatog kao održivi razvoj.

Usvajanjem Agende 21 (Deklaracija 178 država sveta o životnoj sredini i razvoju, Rio de Ženeiro, 1992.) koja predstavlja prekretnicu u nacionalnim politikama koje inkorporiraju energiju, ekologiju, ekonomiju, mnoge zemlje su ozbiljno preispitale svoj način razvoja. *Sustainability* - održivost, postaje najčešća reč koja se sreće u svim dokumentima u poslednje dve decenije. Ekološki prihvatljivi načini prevoza, "zeleni transport", upravljanje mobilnošću, "odgovorna" mobilnost, to su sve principi - pristupi koji se danas primenjuju. Stoga se otišlo još dalje te su nakon Agende 21, u danskom gradu Olburgu usvojene i tzv. "*Olburške zapovesti*" koje je prihvatilo više od 1.000 gradova u svetu. "Šesta zapovest" govori o boljoj mobilnosti s manje saobraćaja i upravo bi trebalo da bude glavna vodilja u daljem razvijanju *održivog saobraćaja* [11]: – smanjenje potrebe za kretanjima automobilom i promovisanje alternativa prihvatljivih za sve

- povećanje učešća javnog prevoza, pešačenja i korišćenja bicikala
- davanje prednosti nisko emisionim vozilima
- razvoj integrisanog i održivog plana mobilnosti u gradovima
- smanjenje uticaja saobraćaja na životnu sredinu i zdravlje građana.

Poslednjih decenija svedoci smo mnogih dokumenata nazvanih: "*green paper*", "*white paper*", "*Nacionalne strategije*", "*EU Direktive*" - dokumenata koji na gotovo istovetan način tretiraju probleme razvoja gradova i saobraćaja (u gradovima). Svi oni polaze od osnovnih postavke 3E: **ekonomija, ekologija, energija**. Sumirajući generalne zaključke iz većine od ovih dokumenata iz oblasti saobraćaja, direktive/politike za dalji razvoj kreću se uglavnom u pravcu upravljanja mobilnošću, razvoja pešačkog, biciklističkog i javnog gradskog saobraćaja. "Nova mobilnost" je čest izraz kojim se želi prikazati da se primenjuje nov pristup u planiranju grada - saobraćaja, tj. da se napravi jasna razlika između tzv. "stare mobilnosti". Pod ovim pojmom podrazumevamo klasičnu sliku s kraja prošlog veka, iz bilo kog većeg grada u svetu sa zagušenim ulicama, prenatrpanim vozilima javnog prevoza i javnim površinama prekrivenim parkiranim automobilima. To je paradigma vizije i prakse XX veka, veka tehnoloških i infrastrukturnih rešenja sa ciljem povećanja brzine kretanja i kapaciteta, bez obzira na posledice na okolinu.

Može se slobodno reći da osnovni problemi saobraćaja u gradovima potiču od visokog učešća putničkih automobila koji generišu veliku potražnju, odnosno "troše" najveći deo kapaciteta ulične mreže – saobraćajne ponude, a imaju najmanji specifičan učinak od svih sredstava i načina putovanja koji se pojavljuju u gradovima. Nova mobilnost podrazumeva kompleks prožimajućih sistema mobilnosti (kretanja) koji u prvom redu ima za cilj da ponudi visokokvalitetnu alternativu kretanjima

baziranim na automobilu. To je čitav set različitih transportnih sistema koji se primenjuju u mnogim gradovima sveta. Osnovni princip ovih novih mera je da se zasnivaju na činjenici da većina stanovnika mora da se opredeli za sredstva prevoza osim automobila, iz razloga što ga nemaju ili ne žele da ga imaju. U tom cilju lokalne vlasti bi trebalo da obezbede balans između različitih načina prevoza uz obezbeđenje uslova za razvoj svakog od njih.

Nemogućnosti opsluživanja odnosno nemogućnosti izvršavanja osnovnog zadatka saobraćajnog sistema – zadovoljenje zahteva za prevozom, treba dodati i najveći doprinos gradskih saobraćajnih sistema u ukupnom narušavanju životne i ambijetalne celine gradova. Uvođenje novih zakona i regulativa u pogledu karakteristika vozila ("čista vozila"), sigurno vodi ka smanjenju količine aerozagađivača i nivoa buke. Međutim, veliki broj vozila na uličnoj mreži, smanjenje mogućnosti i komfora obavljanja drugih ljudskih aktivnosti, saobraćajne nezgode kao direktna posledica ovih zagušenja, problemi su koji se moraju rešavati uvođenjem i razvijanjem novih strategija i alternativa korišćenju putničkih automobile. Smanjenje saobraćajnih zagušenja i nivoa zagađenja od strane urbanih saobraćajnih sistema, postavlja se kao prioritet strategije saobraćajne politike evropskih gradova. Osnovni cilj je približavanje viziji **održive mobilnosti**, odnosno **održivog saobraćajnog sistema** koji:

- podržava slobodu kretanja, zdravlje, bezbednost i kvalitet življenja sadašnjih i budućih generacija
- ne ugrožava životnu sredinu i podržava ekonomski prosperitet gradova i pruža jednaku šansu svima.

Novi pristup u saobraćajnoj politici evropskih gradova naglasak postavlja na optimizaciju efikasnosti postojeće saobraćajne infrastrukture, upravljanje zahtevima za prevozom, kao i na promovisanje vidovne preraspodele u korist većeg korišćenja javnog prevoza i ostalih vidova prihvatljivijih za životno okruženje. U cilju utvrđivanja kako i na koji način različiti mehanizmi saobraćajne politike gradova utiču na dostizanje održive mobilnosti, Evropska komisija za transport je proteklih godina sproveda niz projekata u gradovima širom Evrope (OPIUM, PLUME, COST, SMILE...). Primena različitih mehanizama saobraćajne politike gradova podrazumeva sagledavanje posledica uvođenja novih mera na ostale vidove saobraćaja i celokupnu gradsku sredinu. Ovakav pristup prethodno zahteva uspostavljanje odgovarajuće informacione osnove sa ažurnim podacima o stanju posmatranog sistema saobraćaja.

#### **4. PROCES ANALIZE I MODELOVANJA**

Centralni deo procesa planiranja saobraćaja čini sam proces modeliranja. Pojam modeliranja zasniva se na uočavanju izvesne sličnosti između dva sistema. Sličnost može biti samo spoljašnja ili se može odnositi na izvesna svojstva i ponašanja sasvim različitih sistema. Odnos originala i modela postoji uvek ako između ta dva sistema može da se ustanovi sličnost, makar u jednom određenom vidu ponašanja. Tada se jedan od tih sistema može posmatrati kao original, a drugi kao model. Matematički model sistema je opis modela na nekom formalnom jeziku koji omogućava da se izvode zaključci o nekim osobinama ponašanja sistema pomoću formalnih procedura koje ga opisuju. Oblici matematičkih modela mogu da budu raznovrsni: jednačine, tabele, grafovi itd.

Saobraćajni modeli spadaju u grupu matematičkih modela, a koriste se za formalno opisivanje procesa koji nastaju u saobraćaju. Pojam „saobraćajni model“ odnosi se na

niz matematičkih jednačina (zakonitosti) koje opisuju ponašanje korisnika saobraćajnog sistema grada. Postojeći saobraćajni zahtevi rezultat su odlučivanja velikog broja korisnika saobraćajnog sistema, kako, gde i na koji način obaviti svako pojedinačno putovanje. Konačna odluka o putovanju rezultat je uticaja velikog broja različitih faktora, kao što su socio-ekonomske karakteristike korisnika, karakteristike lokacije, puta, pristupačnosti pojedinih vidova prevoza itd. Modeliranje zahteva za putovanjem podrazumeva uspostavljenje niza matematičkih modela koji bi simulirali ponašanje i odlučivanje korisnika prilikom njihovog putovanja. Modeliranje se obično preduzima u jednom od dva osnovna nivoa:

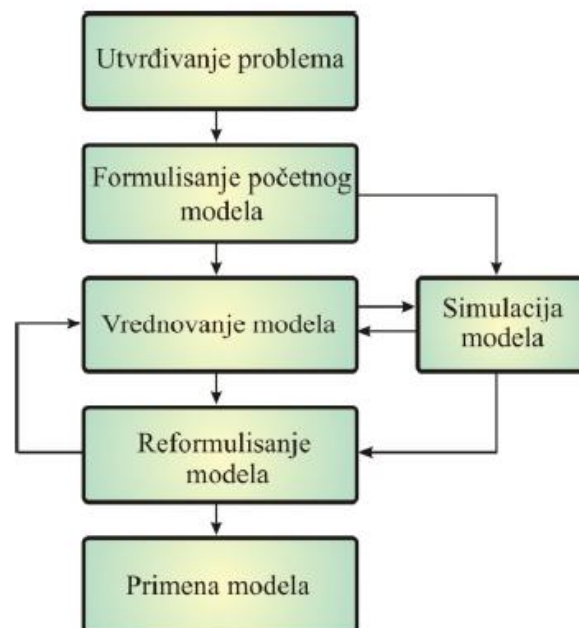
1. U procesu opisivanja postojećeg saobraćajnog sistema sa ciljem kalibracije i razvitka modela;
2. Kao i u procesu stvaranja buduće alternative sistema (npr. Predlaganje saobraćajnog menadžment plana), gde se kalibrisani saobraćajni model primenjuje u cilju testiranja karakteristika i uticaja budućeg predloženog sistema.

Razvoj ovih modela u planiranju saobraćaja zasniva se u pet faza, a postupak formiranja modela ima cikličan karakter koji treba da omogući da se struktura modela tokom ponavljanja unapređuje.

**I.** Prilikom rešavanja određenog zadatka oblikovanja modela treba da započne definisanje problema koji treba rešiti i utvrđivanjem ciljeva zadataka;

**II.** Formulisanje početnog modela zavisi od promenljivih koje će se obuhvatiti, nivoa njihovog nagomilavanja, klasifikacija i vremenske komponente modela. Po osnovnoj definiciji model treba da ima sposobnost da odslika pojavu koju simulira, pa prema treba da obuhvati one promenljive koje su referentne za problem o kome je reč. Vremenska komponenta može da predstavlja najsloženiji problem oblikovanje modela. Na osnovu nje modeli se dele na:

- dinamičke (koji pokušavaju da održe promene komponenti koje se menjaju kroz vreme)
- statičke (koji vremenske promene ne uzimaju u obzir)



**III.** U ovoj fazi oblikovanja vrši se provera valjanosti – vrednovanje modela. Pored uobičajenih statističkih mera koje se tom prilikom koriste vrši se i logička kontrola dobijenih rezultata. Rezultat tih ispitivanja može da bude dvojak:

- početni model zadovoljava postavljene zahteve (zatim se ide na primenu)
- početni model ne zadovoljava, pa je potrebna dogradnja i ponavljanje postupka

**IV** Kod primene modela mogu se javiti određene teškoće. Naime, i kada se ova opisna procedura uspešno sprovede može se desiti da model ne odrazi na pravi način promene koje će se dogoditi. Osnovni razlozi za to leže u složenosti urbanih sistema. Zbog toga se predlažu sledeće faze koje će dati najbolje rezultate u primeni modela:

1. primeniti modele da bi se odredio “priordan” tok primene posmatranog sistema
2. izoluju se “prihvatljive” i “neprihvatljive” karakteristike
3. definisati oblike razvoja koje su prema postavljenim ciljevima “poželjni”
4. formulisati delovanje koje bi uticalo da razvoj ide u željenom pravcu
5. rezultati ovih delovanja mogu se uneti u model koji se koristi za davanje prognoza.

U zavisnosti od samog pristupa u procesu modeliranja, da li je posredan ili neposredan, koriste se i različite grupe modela. Posredan pristup podrazumeva uspostavljanje ravnoteže između ponude i potražnje kroz četiri međusobno povezane podgrupe modela. Drugi pristup u postupku modeliranja robnih i putničkih tokova na neposredan način, udruživanjem u jednu fazu i jedan postupak za sve četiri grupe podmodela, pokušava da opiše i uspostavi ravnotežu tih tokova. Pri tome se primenjuje funkcija ponude i potražnje, zbog čega se i primenjen model u ovom pristupu naziva modelom potražnje.

Posredan pristup čini najčešće primenjivani i već sada skoro uobičajeni proces saobraćajnog modeliranja (TPM – Transport Planning Model) koje se još popularno naziva tradicionalni četvorostepeni lanac modela. Povezanost ove četiri grupe modela leži u činjenici da su izlazni rezultati jedne podgrupe modela ulazni podaci za narednu podgrupu:

1. Generisanje putovanja – ukupan broj putovanja koje proukuje ili privlači neka saobraćajna zona ili neka druga jedinica posmatranja;
2. Prostorna distribucija putovanja – prostorna raspodela putovanja između svakog para zona posmatranog područja;
3. Vidovna raspodela putovanja – raspodela ukupnog broja putovanja između svakog para zona na različite moguće načine prevoza (pešice, bicikl, putnički automobil, neki od oblika javnog prevoza...)
4. Raspodela tokova na mrežu (pripisivanje putovanja) – obuhvata pripisivanje svih putovanja od izvora ka cilju posmatranoj uličnoj mreži.

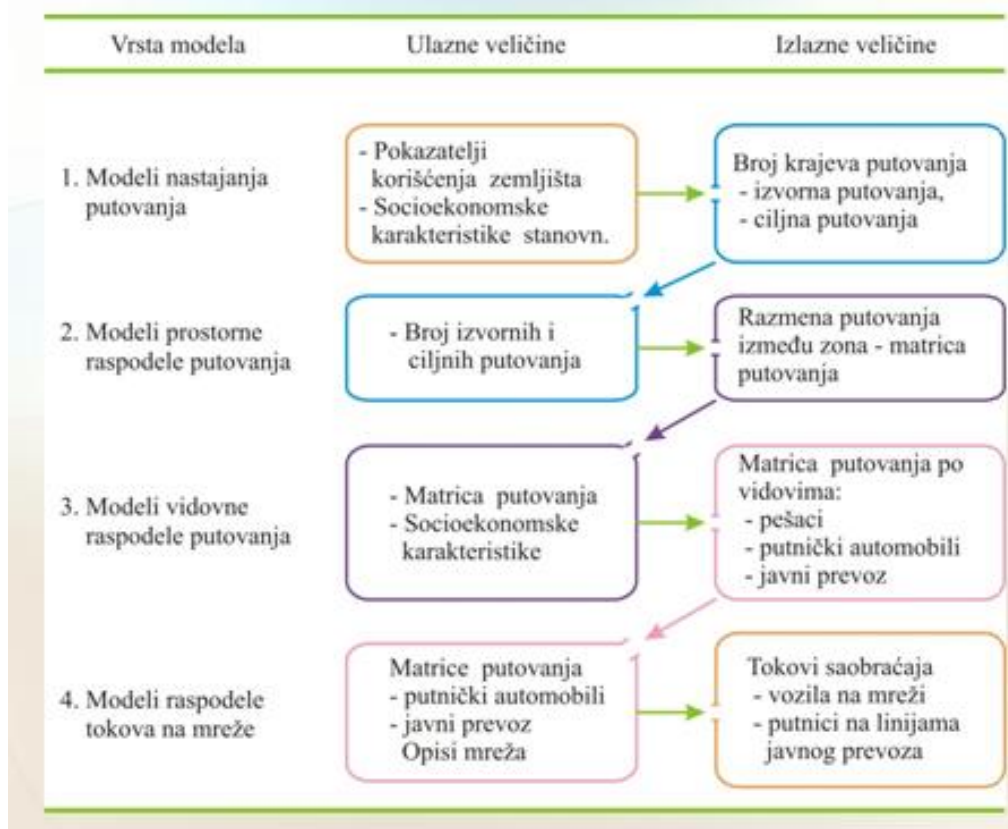
Proces analize i modelovanja može biti primenjen kroz seriju koraka, koji se u suštini sastoje od odgovora na narednih pet baznih pitanja vezanih za sam proces odlučivanja, kroz koji prolazi svaka osoba prilikom odlučivanja o procesu putovanja:

- 1. Treba li da putujem?**
- 2. Kuda bi trebalo da putujem?**
- 3. Kada bi trebalo da putujem?**
- 4. Kako bi trebalo da putujem (pešice ili nekim prevoznim sredstvom)?**
- 5. Kojim putem bi trebalo da idem?**



*Slika 5: Baza pitanja vezana za odlučivanje o procesu putovanja*

Svi koraci sem pitanja „Kada bi trebalo da putujem?“ formiraju četvorostepeni lanac saobraćajnih modela. Pojam „lanac“ modela proizilazi iz vezanosti ove četiri grupe saobraćajnih modela činjenicom da su neophodni ulazni podaci jedne grupe modela, izlazni podaci prethodne grupe, kao i postojanjem povratne veze koja zavisi od same kompleksnosti modela (Tabela 1). Pitanje koje se odnosi na vremensku distribuciju putovanja čini dodatnu neophodnu fazu procesa modeliranja zahtevanjem odgovora na odnose vršnog i vanvršnog perioda putovanja, kao i uticaja gustine saobraćajnog toka i zagušenja na odluku o putovanju.





U okviru svake od ove četiri grupe modela vremenom je istraživani i formiran veliki broj različitih metoda koje se razlikuju u matematičkim metodama koje koriste, obimu i stepenu agregiranosti podataka koji predstavljaju ulaz i izlaz iz modela, mogućnosti ispitivanja tačnosti dobijenih rezultata itd. Kalibracija parametara modela vrši se u sva četiri koraka, kako bi se odrazili specifični uslovi predmetnog područja studije, odnosno, svaki od modela približno realnom stanju.

## **5. MODELI PLANIRANJA SAOBRAĆAJA**

Nakon predviđanja namene zemljišta, kojim se želi ustanoviti gde će biti smeštene pojedine delatnosti i kakav će biti stepen iskorišćenja zemljišta, logičan sled svake faze četvorostepenog modela proizilazi iz suštine pitanja na koje svaka faza mora da odgovori [1]:

- I. Generisanje putovanja – koliko će putovanja stvarati te delatnosti?
- II. Prostorna distribucija putovanja – gde će ta putovanja biti usmerena?
- III. Vidovna raspodela putovanja – koja će prevozna sredstva biti upotrebljena?
- IV. Raspodela tokova na mrežu – koji će se putevi koristiti?

### **5.1 Generisanje ili nastajanje putovanja**

**Prva faza** u procesu definisanja modela putovanja na nekom posmatranom području jeste faza generisanja ili nastajanja putovanja. U okviru ove faze teži se pronalaženju modela koji bi najpribližnije izračunavao ukupan broj putovanja koji započinje ili se završava u okviru neke jedinice posmatranja područja ili grada za koji se radi studija saobraćaja. Ta jedinica posmatranja može biti saobraćajna zona, što je najčešći slučaj, ili neka veća (distrikt) ili manja jedinica posmatranja (analiza može biti svedena na statistički ili popisni krug ili čak jedinicu domaćinstva). U saobraćajnom planiranju, pod pojmom putovanja podrazumeva se kretanje u jednom smeru od izvora do cilja, pa prema tome, svakom putovanju možemo pripisati dva kraja putovanja – jedan na izvoru, a drugi na cilju. Način na koji se utvrđuje ukupan broj generisanih krajeva putovanja vezan je za uspostavljanje matematičke zavisnosti između broja putovanja sa jedne strane i faktora koji utiču na nastajanje putovanja sa druge strane jednakosti. Na nastajanje putovanja utiče veliki broj faktora koje možemo svrstati u faktore kojima se opisuje karakter i intenzitet korišćenja zemljišta, i faktore saobraćajne ponude. Najčešće se grupišu u faktore namene površina i socio-ekonomske karakteristike stanovništva. Dugogodišnje iskustvo i veliki broj istraživanja u ovoj oblasti dokazali su zavisnost saobraćajne potražnje od broja stanovnika posmatranog područja, stepena motorizacije, veličine materijalne proizvodnje i potrošnje. Osim ovih faktora, na ukupan obim potražnje za putovanjima utiče i veliki broj pokazatelja saobraćajnog sistema i njegove ponude, kao što su kapacitet i kvalitet saobraćajne mreže, pristupačnost područja, raspoloživost prostora za parkiranje, tarifna politika i ostali elementi saobraćajne politike grada. Podaci neophodni za utvrđivanje parametara modela prikupljaju se prvenstveno opsežnim anketama u domaćinstvima. Naime, istraživanja su pokazala da 80-90% putovanja počinje ili se završava u zoni stanovanja, odnosno da se odluke o putovanju donose na nivou domaćinstva. Dodatnim anketama (anketa na spoljnom kordonu, anketa spoljnih putnika) utvrđuju se podaci o putovanjima koja nemaju izvor u posmatranom području.

Nakon prikupljanja i obrade podataka, sledi postupak formiranja i kalibracije matematičkog modela zavisnosti ukupnog broja krajeva putovanja i prethodno pomenutih faktora. Uobičajeni metod utvrđivanja parametara modela jeste regresiona



analiza podataka iz saobraćajnih istraživanja, na nivou saobraćajne zone, nivou domaćinstva ili unakrsnom klasifikacijom.

### **5.1.1 Regresiona analiza**

Regresiona analiza na nivou zone je postupak koji se najčešće koristi u izradi saobraćajnih studija. Po tom postupku svaka zona se tretira kao jedinica posmatranja. Broj putovanja, iz sprovedenih istraživanja, koji započinje ili se završava u posmatranoj zoni, za određenu svrhu putovanja, predstavlja zavisno promenljivu. Za vrednosti nezavisno promenljive, uzimaju se prosečne zonske vrednosti broja zaposlenih, broja domaćinstava, stepena motorizacije, dohotka domaćinstava. U ovom pristupu se pretpostavlja linearna veza zavisno promenljive  $y$  i jedne ili više nezavisno promenljivih  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Dobijene vrednosti promenljivih definisanih na skupu podataka koji opisuju postojeće. Znači, na osnovu planiranih vrednosti odgovarajućih nezavisno promenljivih mogu se izračunati vrednosti budućeg obima putovanja. Osnovno ograničenje primene regresione analize za formiranje modela nastajanja putovanja je neophodnost linearne zavisnosti između zavisne i nezavisnih promenljivih. Takođe, primena ovih jednačina u prognozi pretpostavlja da u dobijene vrednosti regresionih koeficijenata relevantne za budućnost, odnosno da se uspostavljene zakonitosti neće bitno izmeniti u prognoziranom period.

### **5.1.2 Unakrsna klasifikaciona analiza**

To nije u pravom smislu regresiona analiza, već primena jedne vrste tehnika regresione analize. Njena primena ne podrazumeva linearnu zavisnost između nezavisne i zavisno promenljivih. Metod je prvobitno primenjen u SAD. Osnovna jedinica posmatranja je domaćinstvo. Postupak se sprovodi na taj način što se domaćinstva grupišu u homogene podgrupe, a za svaku od podgrupa se utvrđuju prosečne stope generisanja putovanja. Analizom podataka iz saobraćajnih istraživanja utvrđeno je da najveći uticaj na stope generisanja putovanja, odnosno na mobilnost domaćinstva, imaju veličina domaćinstva, stepen motorizacije i dohodak domaćinstva. Ključna pretpostavka kategorijske analize je da iste kategorije domaćinstva imaju istu dnevnu mobilnost i da se tokom vremena unutar iste kategorije domaćinstva mobilnost ne menja, odnosno ostaje približno ista. Prilikom analize nastajanja putovanja na nivou domaćinstva utvrđuju se izvorni krajevi putovanja. Za utvrđivanje ciljnih krajeva putovanja naglasak se stavlja na aktivnosti koje privlače putovanja, kao što su razne industrije, trgovine, ugostiteljski objekti, banke, obrazovne ustanove itd. Ako se ustanove stope privlačenja putovanja za razne vrste aktivnosti, po svrhama putovanja, u odnosu na npr. broj zaposlenih i lokaciju aktivnosti, tada se na osnovu predviđanja korišćenja zemljišta utvrđuje i broj privučenih putovanja u posmatranu zonu. Najveći problem u dosadašnjoj primeni modela generisanja putovanja, bilo da se radi o regresionoj analizi ili kategorijskoj, jeste nesavladavanje faktora saobraćajne ponude koji utiču na nastajanje putovanja.

### **5.2 Prostorna raspodela putovanja**

Prostorna raspodela putovanja podrazumeva utvrđivanje intenziteta povezanosti izvora i ciljeva putovanja, odnosno kako i gde su raspodeljeni krajevi putovanja započeti u prostornoj jedinici posmatranja. Ukoliko se prostorna raspodela vrši nakon

obavljenog postupka generisanja putovanja na nivou saobraćajnih zona, krajnji rezultat ove grupe modela jeste broj putovanja između svakog para zona posmatranog područja u okviru određenog vremenskog perioda, za različite svrhe putovanja. U modelima u kojima se u okviru generisanja vrši i raspodela na različite vidove prevoza, prostorna raspodela putovanja se vrši za svaki vid prevoza posebno. Rezultati se prikazuju izvorno-ciljnom matricom I-C u kojoj svaki od elemenata  $T_{ij}$  predstavlja broj putovanja iz izvorne zone „i“ u ciljnu zonu „j“ ( $i, j=1, 2, \dots, n$ ; n-broj saobraćajnih zona grada za koji se radi analiza).

U analizi postojećeg stanja, prostorna raspodela se utvrđuje anketiranjem učesnika u saobraćaju. Za prognozu prostorne raspodele putovanja koriste se različite metode. U dosadašnjoj praksi izdvojile su se dve grupe modela kojima se utvrđuje ova međuzonska

raspodela putovanja:

I. metode faktora rasta

II. sintetičke metode.

### **5.2.1 Metode faktora rasta**

Osnovna filozofija primene modela faktora rasta leži u činjenici da se postojeći broj međuzonskih putovanja, odnosno postojeća matrica može projektovati u budućnost primenom utvrđenih stopa rasta produkcija i atrakcija zona. U svojoj najjednostavnijoj formi, modeli koriste jedinstveni faktor u cilju utvrđivanja budućeg broja putovanja:

Postoji nekoliko metoda faktora rasta [1]:

- a) metoda jednakih faktora
- b) metoda prosečnog faktora
- c) Fratar metod
- d) Detroit metod.

Kompleksnije metode faktora porasta kao što je Fratar i Detroit metod, kombinuju nekoliko faktora koji proizilaze iz buduće namene površina i različitih zona. Iako su dosta jednostavni za upotrebu i daju dosta dobre rezultate u područjima sa stabilnim rastom, njihova upotreba ima veliki broj nedostataka:

- kao ulazne podatke zahtevaju postojeću matricu razmene putovanja, koja se dobija izvorno-ciljnim anketama koje su relativno skupe
- njihova primena na područjima u kojima se očekuju znatne izmene u korišćenju zemljišta, zahteva intervencije u postojećoj matrici putovanja
- možda i najbitniji nedostatak je dovodenje u vezu broja putovanja samo sa rastom zona odnosno, ne pretpostavlja se nikakav uticaj saobraćajnog sistema na raspodelu putovanja u prostoru.

### **5.2.2 Sintetičke metode**

Druga grupa modela danas ima znatno širu primenu u procesu planiranja saobraćaja, u gradovima, zbog svoje veće preciznosti, kao i zbog znatno manjeg broja ulaznih podataka neophodnih za njihovo razvijanje. Razvijanje metoda svodi se na utvrđivanje nekog od parametara uticaja na međuzonska putovanja, analiziranjem podataka o postojećim putovanjima (međuzonske matrice) i modifikovanjem njihovih vrednosti sve do momenta dok model na zadovoljavajući način ne simulira postojeće stanje. Procedura je još poznata i pod nazivom kalibracija. Za utvrđene parametre se pretpostavlja da će ostati konstantni u vremenu, čime se stvara mogućnost za primenu

modela u prognozi buduće međuzonske razmene. Osnovna pretpostavka je da je broj putovanja u direktnoj zavisnosti sa nastajanjem i privlačenjem putovanja svake zone, kao i u funkciji nekog merila prostorne odvojenosti između njih. Time se za razliku od modela faktora rasta, raspodela putovanja u prostoru dovodi u vezu, pored karakteristika korišćenja zemljišta, i sa karakteristikama prevoznog sistema.

### **5.3 Raspodela putovanja na vidove saobraćaja (vidovna ili načinska raspodela)**

Vidovna raspodela putovanja obuhvata podelu putovanja prema načinu ostvarenog kretanja, odnosno prema korišćenju određenog prevoznog sredstva. Ova raspodela najčešće podrazumeva podelu na nemotorizovana kretanja (pešice, bicikl), motocikl, kretanja automobilom, kao i sredstvima javnog prevoza (autobus, tramvaj, trolejbus). U lancu četvorostepenih modela putovanja modeli vidovne raspodele putovanja mogu se primenjivati:

- u toku nastajanja putovanja
- posle nastajanja putovanja
- u toku prostorne raspodele putovanja
- posle prostorne raspodele putovanja
- tokom raspodele tokova na mreže.

Najčešći način primene ove grupe modela je nakon izvršene prostorne raspodele putovanja. Tada se ukupna matrica putovanja, primenom odgovarajućeg modela, razlaže na elementarne matrice pojedinih vidova prevoza.

U zavisnosti na kom nivou su grupisani uticajni faktori na izbor vida prevoza, modeli vidovne raspodele se najčešće svrstavaju u tri osnovne grupe:

1. agregirani modeli – nezavisni podaci su agregirani na nivou saobraćajnih zona;
2. deagregirani modeli ili bihevioristički – modeli zasnovani na podacima o ponašanju pojedinih socioekonomskih kategorija putnika;
3. modeli vidovne raspodele u koracima (spe by step).

Kod prve grupe modela zakonitosti odnosa između pojedinih vidova prevoza se utvrđuju na bazi podataka o karakteristikama izvornih i ciljnih putovanja, kao što su stepen motorizacije, veličina dohotka, broj domaćinstava sa ili bez automobila itd. U ovom slučaju tzv. nezavisni podaci su agregirani na nivou saobraćajne zone pa se otuda i ova grupa modela naziva agregiranim modelima.

Kod modela kojima se odnos između pojedinih načina prevoza procenjuje na osnovu zakonitosti ponašanja pojedinaca, utvrđuje se verovatnoća da će putnik, koji pripada određenoj socioekonomskoj grupi stanovnika, izabrati jedan od alternativnih vidova prevoza.

Modeli vidovne raspodele u koracima zasnovani su na činjenici da uvek postoji određen broj stanovnika koji iz raznih razloga ne poseduju ili ne mogu da koriste putnički automobil, pa su samim tim upućeni na druge vidove prevoza. Modeli ove grupe u prvoj fazi procenjuju koliko putnika ima mogućnost izbora vida prevoza, a zatim se iz ove grupe izdvajaju oni koji se mogu opredeliti za javni prevoz i dodaju grupi koja nema mogućnost izbora, čime se utvrđuje ukupan broj korisnika javnog prevoza odnosno, individualnih prevoznih sredstava. Jedan od razloga zbog čega se ova grupa modela svrstava u najsloženije saobraćajne modele je taj što postoji veliki broj faktora koji utiče na izbor vida ili načina prevoza. Najveće probleme čini oni faktori koje je teško kvantifikovati ili to nije moguće postići nadovoljno puzdan način.

U većini slučajeva klasični modeli vidovne raspodele putovanja polaze od činjenice da raspodela zavisi od:

1. faktora zavisnih od karakteristika putovanja: svrha putovanja, dužina putovanja, period dana u kome se obavlja putovanje;
2. faktora zavisnih od karakteristika putnika: posedovanje automobila, dohodak, gustina naseljenosti i određene socioekonomske karakteristike domaćinstva;
3. faktora zavisnih od karakteristika saobraćajnog sistema: troškovi putovanja, vreme putovanja, nivo usluge, indeks pristupačnosti.

#### ***a) faktori zavisni od karakteristika putovanja***

Motivi zbog kojih se obavljaju putovanja u okviru unutargradskog područja su mnogobrojni i različiti i neophodno ih je grupisati u dve osnovne vrste

- putovanja sa primarnim motivom (svrhom) putovanja,
- putovanja sa sekundarnim motivom (svrhom) putovanja.

Putovanja sa primarnim motivom su ustaljena putovanja, tj. imaju svakodnevni karakter, kao što je odlazak na posao, u školu itd. Za ta putovanja je karakteristično veće učešće javnog prevoza. Nasuprot tome, povremeni odlazak u kupovinu, razonodu i sl. većina vlasnika automobila obavlja automobilom. Dužina putovanja, merena rastojanjem ili utroškom vremena između izvora i cilja evidentno ima značaja za izbor vida prevoza. Za kratka putovanja do nekoliko stotina metara putovanja se obavljaju pešice, na srednjim relacijama koristi se automobil ili javni gradski prevoz, a na većim udaljenostima međugradski autobus ili železnica.

#### ***b) faktori zavisni od karakteristika putnika***

Domaćinstva sa većim prihodima imaju veću mobilnost i češće koriste putnički automobil od domaćinstava sa nižim prihodima. Nasuprot tome, domaćinstva sa nižim prihodima više koriste sredstva javnog prevoza, pešačenje ili biciklistički prevoz. Posedovanje putničkog automobila, koje je inače u tesnoj vezi sa dohotkom domaćinstva, takođe ima neposredan uticaj na raspodelu putovanja na vidove. Domaćinstva koja poseduju automobil ostvaruju veći broj putovanja automobilom i obratno, ali i veći ukupan broj putovanja. Što se tiče gustine naseljenosti, prisutna je činjenica da je u zonama sa manjim gustinama (zone rezidencijalnog i porodičnog stanovanja) mreža linija javnog prevoza nerazvijenija i frekvencija vozila niža, pa je otuda i nivo korišćenja javnog prevoza niži, odnosno stanovnici su više upućeni na korišćenje automobila. Kada su u pitanju obeležja putnika može se reći da izbor vida prevoza uglavnom zavisi od dohotka, jer domaćinstva sa većim dohotkom imaju i viši stepen motorizacije i viši stepen korišćenja automobila.

#### ***c) faktori zavisni od karakteristika saobraćajnog sistema***

U dosadašnjoj primeni modela vidovne raspodele, uticaj karakteristika saobraćajnog sistema i sistema parkiranja na raspodelu putovanja na vidove saobraćaja, najčešće se izražava preko vremena putovanja i troškova putovanja, ili preko izvedenih pokazatelja kao što su novo usluge i indeks pristupačnosti.

### **5.3.1 Raspodela na vidove tokom nastajanja putovanja**

Ovakav način raspodele putovanja na vidove prevoza u stvari predstavlja utvrđivanje modela nastajanja putovanja po vidovima. Postupak je identičan sa formiranjem modela nastajanja ukupnog broja izvornih i ciljnih krajeva putovanja po zonama, s tim što se u ovom slučaju modeli kalibrišu za svaki vid putovanja posebno, istovremeno sa utvrđivanjem broja putovanja. Postoje dva načina za formiranje modela ovog tipa. Prvi je da se utvrdi ukupan broj putovanja bez obzira na vid prevoza, a da se posebno kalibriše model za putovanja javnim prevozom. U ovom slučaju broj putovanja putničkim automobilom se dobija kao razlika ukupnog broja putovanja i broja putovanja javnim prevozom. U drugom slučaju posebno se utvrđuje model za putovanja javnim prevozom, a posebno za putovanja automobilom.

Model se formuliše kao specijalni slučaj linearne regresijske analize ili kategorijske analize modela nastajanja putovanja. Zavisne promenljive višestrukog linearnog regresijskog modela predstavljaju ukupnu produkciju svake izvorne zone za svaki vid prevoza, odnosno ukupan privučeni broj putovanja u odredišnoj zoni za svaki vid prevoza. Na osnovu podataka iz ankete, primenom kategorijske analize, domaćinstva se klasifikuju u određene kategorije u zavisnosti od veličine, dohotka i posedovanja automobila, a zatim se izračunavaju prosečne vrednosti produkcije za svaki vid prevoza. Ukupna zonska produkcija za svaki vid prevoza se zatim utvrđuje množenjem prosečne mobilnosti za svaki vid prevoza sa brojem domaćinstava koje pripada određenoj kategoriji, a zatim se podaci sumiraju za sve kategorije domaćinstava unutar određene zone, određenim vidom prevoza. Modelom utvrđene vrednosti produkcije i atrakcije zona za putovanja različitim vidovima prevoza, primenom gravitacionog modela ili nekog drugog modela prostorne raspodele, dalje se raspoređuju između svakog para zona, a zatim na mrežu.

### **5.3.2 Raspodela na vidove krajeva putovanja**

Vidovna raspodela krajeva putovanja sastoji se u utvrđivanju ukupnog broja izvornih i ciljnih putovanja za svaku saobraćajnu zonu, a zatim u definisanju odnosa između javnog i individualnog prevoza na nivou krajeva putovanja. Primenom ovih odnosa na ukupan broj krajeva putovanja dobija se raspored krajeva putovanja po vidovima. U sledećem koraku, za svaki vid prevoza posebno se utvrđuje prostorna raspodela putovanja (matrice putovanja). Za svaku zonu, primenom modela nastajanja putovanja, utvrđuju se vrednosti produkcije i atrakcije, a zatim se ukupan broj putovanja raspodeljuje na individualni prevoz i putovanja putničkim automobilima primenom empirijski utvrđenih diverzionih krivih. Kao i kod prethodne grupe modela, i u ovom slučaju ne postoji mogućnost sagledavanja uticaja faktora saobraćajnog sistema na izbor vida prevoza i celokupnu saobraćajnu potražnju. Karakteristike sistema ni u ovom slučaju ne utiču na ukupan broj nastalih i privučenih putovanja unutar posmatranih zona, za sve svrhe putovanja.

### **5.3.3 Raspodela na vidove u okviru prostorne raspodele**

U ovom postupku raspodela sledi posle utvrđivanja ukupnog broja putovanja koji generiše određena jedinica posmatranja. Sprovodi se jednim od modela prostorne raspodele putovanja sa parametrima koji su kalibrisani prema karakteristikama javnog ili individualnog prevoza. Na primer, ukoliko se koristi gravitacioni model, što je najčešće slučaj, tada se faktori otpora posebno kalibrišu za javni, a posebno za

individualni prevoz. Zlazni rezultati su matrice putovanja individualnim i javnim vidovima prevoza. Model je relativno mlad i njegova osnovna predost je sagledavanje uticaja faktora saobraćajnog sistema, kako na vid prevoza, tako i na raspodelu putovanja u prostoru. Jedan od najčešće primenjivanih tipova ovog modela prikazan je modelom prostorne raspodele koji je korišćen prilikom izrade Studije Rijeke, Opatije i Crikvenice [5].

#### **5.3.4 Raspodela na vidove posle prostorne raspodele**

Raspodela putovanja na vidove prevoza posle prostorne raspodele je najrasprostranjeniji način utvrđivanja odnosa između različitih vidova prevoza (najčešće odnosa javnog i individualnog). Postupak se sastoji u tome što se prvo utvrdi ukupan broj izvornih i ciljnih krajeva putovanja (modeli generisanja putovanja) kao i međuzonska razmena (modeli prostorne raspodele putovanja) u obliku matrice putovanja za određenu svrhu putovanja svim vidovima prevoza, nakon čega sledi primena modela vidovne raspodele. Modeli vidovne raspodele mogu imati oblik diverzionih krivih, višestruke linearne regresije ili neki drugi oblike jednačine. Primena diverzionih krivih se obavlja na taj način što se vrednosti međuzonske razmene putovanja  $T_{ij}$  iz matrice putovanja množe odgovarajućim postotkom koji zavisi od npr. odnosa vremena putovanja javnim prevozom i putničkim automobilom za posmatrani par zona „i“ i „j“. Složenije metode vidovne raspodele posle prostorne raspodele putovanja, zasnivaju se na verovatnoći izbora pojedinog sredstva prevoza od strane pojedinog korisnika, u zavisnosti od karakteristika ponude saobraćajnog sistema. Ovakvim metodama se dovodi u vezu pojedinačna odluka svakog pojedinog putnika o izboru prevoznog sredstva, sa vremenom i troškovima putovanja. Široka upotreba ovih modela, posledica je njegove relativno jednostavne formulacije, široke mogućnosti kalibracije na različitim rezultatima snimanja postojećeg stanja, kao i činjenice da se njima relativno jednostavno može modelirati uvođenje novog sredstva prevoza. Nedostatak četvorostepenog lanca modela, kada se raspodela saobraćaja na vidove vrši nakon prostorne raspodele putovanja, jeste sagledavanje uticaja faktora saobraćajnog sistema samo u pogledu izbora vida prevoza. uticaj istih faktora na ukupan broj generisanih krajeva putovanja svake zone ostaje nepoznata veličina, kao i uticaj izmene nekog od parametara na prostornu raspodelu.

#### **5.4 Raspodela tokova na mreže**

Raspodela tokova na mrežu saobraćajnica poslednja je faza u okviru četvorostepenog lanca modela putovanja, čiji je zadatak da tokove putnika i vozila, između svakog para zona dobijenih prethodnim fazama modeliranja, pripíše sadašnjoj ili budućoj predviđenoj putnoj i uličnoj mreži. Modeli ove grupe najčešće se svrstavaju u dve veće celine u zavisnosti od obima i složenosti same procedure:

1. modeli raspodele tokova na alternativne puteve
2. modeli raspodele tokova na mreže saobraćajnica.

Prva grupa modela je starija i jednostavnija, jer cilj im je raspodela određenih tokova putnika i robe između jednog para izvorne i ciljne zone. Nastali su usled potrebe utvrđivanja privlačenja saobraćaja od strane novog puta, izgrađenog između dva područja. Metode ove grupe se još nazivaju i metodama „diverzionih krivih“ jer koriste empirijski utvrđene krive nekog od otpora putovanju u grafičkom ili analitičkom obliku.

raspodela tokova na mrežu saobraćajnica, zahteva znatno komplikovaniju proceduru zbog velikog broja zona, odnosno izvora i ciljeva putovanja, kao i velikog broja veza između njih. Zadatak ove grupe modela je da postojeću matricu putovanja ili vozila, dobijenu iz prethodnih faza četvorostepenog lanca modela, raspodeli i pripiše odgovarajućim elementima putne i ulične mreže. Ovakav postupak „opterećivanja“ mreže omogućen je samo razvojem računarske tehnologije. U zavisnosti od toga da li se uzima u obzir kapacitet saobraćajnica kao merilo otpora putovanju između dve tačke ili ne, razlikujemo dve metode u okviru ove grupacije:

- metoda „sve ili ništa“
- metoda kapacitetnog ograničenja.

Metoda „sve ili ništa“ danas se ređe koristi za raspodelu tokova na putnoj i uličnoj mreži, veće se uglavnom primenjuje na raspodelu tokova na idealizovanoj „spajder“ mreži i

za raspodelu putnika na mreži linija javnog prevoza.

Metoda kapacitetnog ograničenja otklanja nedostatke prethodne metode, uzimajući u obzir kapacitete mreža. Posledica ovakvog pristupa je uspostavljanje složenog procesa ravnoteže između potražnje za putovanjem, brzine putovanja i kapaciteta mreže. Primena ove grupe modela podrazumeva raspodelu tokova različitih vidova prevoza, utvrđenu prethodnim modelima, na mrežu. Samim tim u okviru ove grupe modela ne postoji nikakva mogućnost favorizovanja određenog vida prevoza.