Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Miha Smole

Primerjava med zaporednim in simultanim modelom

Diplomska naloga št.: 3071

Mentor:
doc. dr. Marijan Žura

Ljubljana, 29. 6. 2009

POPRAVKI

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MIHA SMOLE** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**PRIMERJAVA MED ZAPOREDNIM IN SIMULTANIM MODELOM**«

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 15.6.2009

....

(podpis)

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil mentorju doc. dr. Marijanu Žuri za vse nasvete in vodenje pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi mojim najbližjim, mami Lizi, očetu Ivanu, sestri Vesni, teti Ani in vsem prijateljem za vso potrpežljivost in moralno podporo med študijem.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	**519.61/.64:656.025(043.2)**
Avtor:	**Miha Smole**
Mentor:	**doc. dr. Marijan Žura**
Naslov:	**Primerjava med zaporednim in simultanim modelom**
Obseg in oprema:	**56 str., 12 pregl., 14 sl., 43 en.**
Ključne besede:	**logit model, hierarhični model, izbira prometnega sredstva, zaporedni model, simultani model**

Izvleček:

Ker se promet stalno povečuje, je vprašanje izbire prometnega sredstva verjetno največji dejavnik pri načrtovanju prometa in transportne politike.

Namen naloge je prikazati razliko med zaporednim in simultanim modelom, ki ju uporabljamo pri prometnem planiranju za izračun distribucije potovanj in izbire prometnega sredstva. Pri zaporednem modelu izračun poteka v treh korakih. Najprej izračunamo generacije potovanj, nato distribucije potovanj in nazadnje še izbiro prometnega sredstva. Pri simultanih modelih pa gre za sočasni izračun faz distribucije in izbire prometnega sredstva. Poseben primer simultanega modela je EVA-model, pri katerem izračun prvih treh faz poteka hkrati.

V prvem delu naloge so predstavljene metode za pridobivanje potrebnih podatkov za izvedbo prometne študije. V drugem delu sta predstavljena oba modela (zaporedni in simultani). V tretjem delu naloge je predstavljena zadnja faza pri prometnem planiranju, imenovana obremenjevanje mreže.

V zadnjem delu pa je na praktičnem primeru prikazana primerjava med zaporednim in simultanim modelom s pomočjo programskega paketa PTV Vision.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	**519.61/.64:656.025(043.2)**
Author:	**Miha Smole**
Supervisor:	**Assist. Prof. Dr. Marijan Žura**
Title:	**Comparison between sequential and simultaneous model**
Notes:	**56 p., 12 tab., 14 fig., 43 eq.**
Key Words:	**logit model, nested logit, modal split, sequential model, simultaneous model**

Abstract:

Due to the fact that traffic is constantly growing bigger, the question of choosing our means of transportation is the biggest factor during traffic planning and transport politics.

The purpose of this thesis is to show the difference between sequential and simultaneous models that we use in traffic planning for our calculations of trip distribution and mode choice.The calculation of the logit model consists of three steps. First, we calculate the trip generations, then the trip distribution and last the mode choice. But in the simultaneous model there is a matter of simultaneous calculation of the phases of distribution and mode choice. A specific case of a simultaneous model is the EVA-model by which the calculation of the first three phases runs simultaneously.

In the first part of this thesis there are shown the methods of acquiring the needed information for the implementation of a traffic study. In the second part both models (the sequential and the simultaneous models) are presented. And in the third part the last phase of traffic planning also known as the traffic assignment is described.

The conclusion of this thesis consists of a practical case which shows the comparison between the sequential and the simultaneous model using the program package called the ptv vision.

KAZALO VSEBINE

KAZALO PREGLEDNIC

KAZALO SLIK

1 UVOD

Potovanje se pojavi, ko se nekdo premakne iz mesta (prostora), kjer je opravljal določeno aktivnost, na drugo mesto, kjer bo opravljal novo aktivnost. Začetna točka potovanja se imenuje *izvor*, končna točka pa *ponor (destinacija)*. Določeno potovanje se lahko opravi z enim transportnim sredstvom, za neko drugo potovanje pa je treba uporabiti več transportnih sredstev (npr.: kolo in avtobus).

Gibanje človeka med dvema zaporednima točkama ob uporabi enega prometnega sredstva imenujemo pot – potovanje (»*journey*«). Iz tega sledi, da je lahko določeno potovanje sestavljeno iz več poti.

Potovanje, ki izvira v točki A in ima svojo destinacijo v točki D, je lahko, na primer, sestavljeno. Potnik najprej potuje s kolesom od točke A do točke B, nato pa svojo pot nadaljuje z vlakom od točke C do točke D.

Število potovanj je zelo pomembno pri načrtovanju in gradnji prometne infrastrukture. Gradnja prometne infrastrukture je finančno in časovno zelo zahtevna in nemogoče je, da bi se cesta zgradila čez noč. Hkrati imajo ceste tudi izredno dolgo življenjsko dobo in posledično tudi dolgoročne vplive. To je pripeljalo do tega, da so postale nepogrešljiv del urbanističnega in prometnega načrtovanja.

Zato je seveda izredno pomembno, da naredimo dobro prometno študijo prihodnjih potovanj, da bo zgrajena prometna infrastruktura služila svojemu namenu za dobo, za katero je predvidena. Prometne študije so svoj razvoj doživele nekje v 60. letih 20. stoletja. V Sloveniji je bila prva taka študija izdelana leta 1964.

V svoji diplomski nalogi sem se posvetil primerjavi med zaporednimi in simultanimi modeli, s katerimi izračunamo distribucijo in izbiro prometnega sredstva.

Želel sem ugotoviti ali je kakšna razlika v rezultatih, če izbiro prometnega sredstva izvršimo po distribuciji (zaporedni model) ali če hkrati z izračunom distribucije izvedemo tudi izbiro prometnega sredstva (simultani model).

Primerjavo med obema modeloma sem izdelal v programu Visum na praktičnem primeru.

2 ZBIRANJE PODATKOV

Preden začnemo kakršnokoli prometno analizo, si moramo jasno določiti namen in cilj naše analize. Toda za analizo so potrebni podatki, s katerimi med analizo operiramo. Pridobivanje teh podatkov, s katerimi računamo, je bistvenega pomena, zato je treba temu posvetiti zelo veliko pozornosti.

V tem poglavju je predstavljeno, kako pridobimo dobre in natančne podatke, ki jih potrebujemo. Bistveno je, da pridobimo podatke, ki nam povedo, kje se začnejo in končajo potovanja, kateri faktorji vplivajo, da se nekdo odloči potovati, in kako bo potoval.

2.1 Študijsko območje in sistem coniranja

Preden se lotimo pridobivanja podatkov, je treba določiti študijsko območje, za katerega bo narejen izračun. To območje imenujemo tudi kordon.

Pri določanju meje študijskega območja (kordona) moramo upoštevati naslednje zahteve:

- v študijsko območje moramo vključiti tudi področja, ki trenutno niso urbanizirana, so pa v načrtu gradnje v obdobju, za katerega izdelujemo prometni načrt;
- meja študijskega območja mora sekati glavne vpadnice samo enkrat.

Ko določimo meje študijskega območja, ga razdelimo na »notranje« in »zunanje« prometne cone. Vsaka cona ima tudi namišljeno točko – centroid, iz katere se začnejo in končajo vsa potovanja. »Zunanje« cone ležijo zunaj študijskega območja in se z oddaljenostjo od centroida večajo. Meje med »notranjim« in »zunanjim« območjem modela morajo biti locirane tako, da opisujejo vplivno območje ukrepa.

V »notranje« območje moramo vključiti celoten promet, da lahko ugotovimo potovalne značilnosti. Znotraj con naj bi prevladovala ena vrsta izrabe zemljišč (stanovanja, industrija, trgovsko središče).

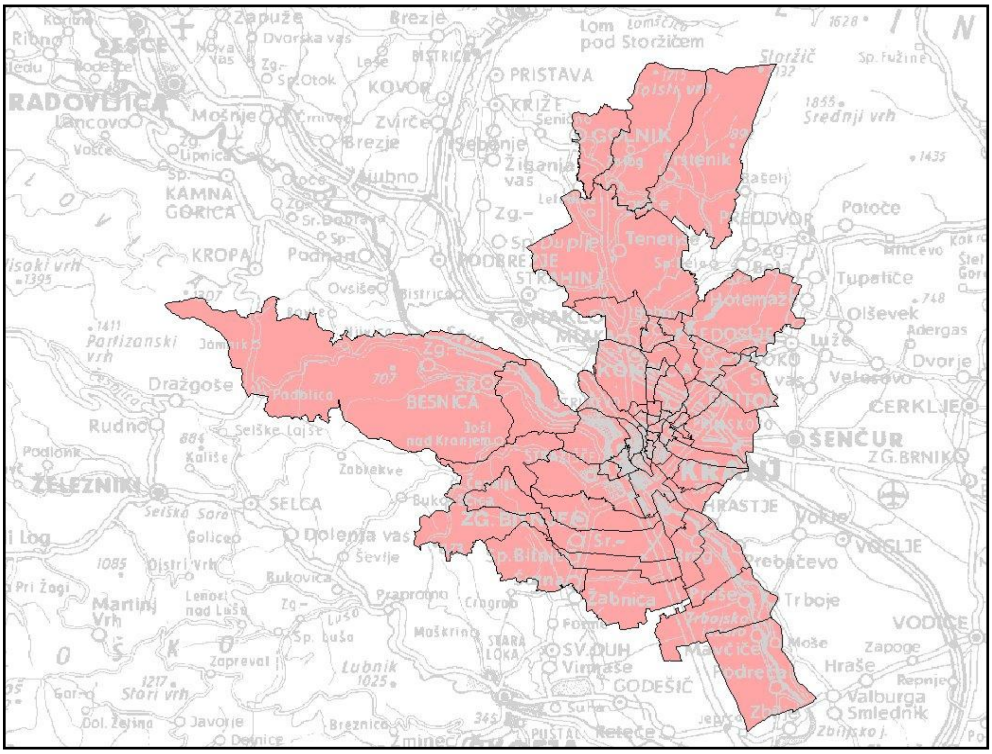
2.2 Velikosti con

Velikost prometnih con je odločilni faktor pri natančnosti prometnega modela. Če so cone prevelike, ne bomo dobili želene ravni natančnosti, ne glede na kakovost podatkov matrike potovanj. Lahko pa tudi izgubimo del prometa, ki je posledica tega, da potovanja znotraj ene cone ne upoštevamo.

Cone tudi ne smejo biti premajhne, ker za vsako cono potrebujemo veliko količino vhodnih podatkov, kar pa poveča možnost napake in posledično poveča stroške študije. Optimalna cona je tista, ki ima od 1.000 do 2.000 prebivalcev. Seveda imamo lahko tudi večje ali manjše, velikost je namreč odvisna tudi od zahtevane natančnosti prometnega modela. Število con je odvisno od velikosti mreže. Širše regionalne študije imajo od 300 do 500 prometnih con, za manjše prometne modele pa je dovolj že okoli 100 con. Dobro je tudi, da so cone približno enako velike in čim bolj pravilnih oblik, ker s tem zmanjšamo možnost napake pri določanju razdalj.

Meje con naj upoštevajo naslednje:

- naravne ovire (reke, kanali, železnice, parki);
- izrabo površin (znotraj cone naj bi prevladovala ena vrsta izrabe površin, npr. stanovanja, industrija, trgovina itd.);
- administrativne meje (krajevne skupnosti, občine, popisni okoliši, statistični okoliši ...);
- razmejitve, ki jih uporabljajo druge organizacije (npr. elektrodistribucijski rajoni ...).



Slika 1: Prikaz kordona, razdeljenega na cone

2.3 Pridobivanje potrebnih podatkov

Ponavadi študije delamo za več let naprej in je zato treba temu posvetiti veliko pozornosti. Zbiranje podatkov v prometni študiji večinoma predstavlja najobsežnejši del, ki je hkrati tudi najdražji. Zato je zelo pomembno, da že na samem začetku točno vemo, kako bomo študijo delali. S tem je seveda povezano, katere podatke potrebujemo.

Preden se lotimo zbiranja podatkov za prometne študije, najprej popišemo vso prometno infrastrukturo, ki je trenutno na voljo v našem študijskem območju. Nato naredimo popis uporabe zemljišč (število stanovanjskih področij, število industrijskih področij, gostota naseljenosti …). Podatki o uporabi zemljišč so izredno pomembni pri izračunu generacije potovanj. Preverimo tudi, ali lahko pri prometni študiji uporabimo že obstoječe podatke ali modele. Izredno pomembna koraka pri zbiranju podatkov sta kalibracija in validacija modela. Kalibriranje modela pomeni, da določimo vrednosti parametrov, tako da bi kar najbolje zagotovili maksimalno skladnost med opazovanimi vrednostmi (izmerjenimi) in izračunanimi vrednostmi s pomočjo modela. Validacija pa pomeni, da preverimo veljavnost in ustreznost kalibriranega modela. Za validacijo ne smemo uporabiti podatkov, ki smo jih uporabili v kalibraciji kajti samo tako lahko opravimo neodvisno kontroliranje modela.

Ko imamo zbrane podatke o obstoječi prometni infrastrukturi, začnemo izvajati ankete, kjer pridobimo še preostale manjkajoče podatke (velikost gospodinjstev, število zaposlenih, število avtomobilov na gospodinjstvo …), ki so potrebni za izvedbo študije. Pomembno je tudi, kdaj ankete izvajamo, saj se lahko zbrani podatki v različnem obdobju zelo razlikujejo. Ko delamo ankete, se izogibamo t. i. neobičajnim prometnim intervalom. To pomeni, da anket ne izvajamo med dopusti (julij, avgust), pred prazniki …

Podatke najlažje pridobimo s pomočjo t. i. izvorno-ciljne potovalne ankete. Znanih je več vrst izvorno-ciljnih anket. V praksi se najpogosteje izvaja anketa na domu, s katero pridobimo daleč največ potrebnih podatkov. Vendar pa je slabost anketiranja na domu ta, da je postopek zelo zahteven in tudi zelo drag.

3 MODELI ZA IZRAČUN POTOVANJ

Pod besedo model si po navadi razlagamo pomanjšani posnetek realnosti, ki je narejen v nekem določenem razmerju, ki nam pove dejanske mere predmeta. Lahko rečemo, da je nekakšen približek (abstrakcija realnosti). Pri modelu vedno izločimo lastnosti, ki nam v danem trenutku ne koristijo in se osredotočimo samo na bistvene. Sama beseda model izvira iz latinske besede *modus* (mera, način).

Znani sta dve vrsti modelov: fizikalni in analitični. Fizikalni modeli so neuporabni za potrebe prometnih študij. Uporabnejši so analitični modeli, ki temeljijo na matematični osnovi. Sestavljeni so iz matematičnih enačb, kjer je spremenljivka Y izpeljana iz več neodvisnih spremenljivk X:

$$Y = f(X_i, a_j) \tag{3.1},$$

kjer je:

Y *odvisna (iskana) spremenljivka;*

X_j *neodvisna ali znana spremenljivka;*

a_j *parameter.*

Poleg te delitev lahko modele delimo še glede na način prikaza (fizičen, abstrakten), glede na končno uporabo (opisni, napovedovalni, noramativni). V diplomski nalogi je predstavljen predvsem klasičen model povpraševanja, ki je primer vzorčnega modela predvidevanja (*causal prognosis model*).

Modeli se uporabljajo zaradi lažje predstavljivosti. Posebej so uporabni modeli, ki so v obliki računalniškega programa, saj omogočajo vključitev kompleksnih procesov, katere lahko enostavno pregledamo in po potrebi popravimo. Bistveno za modele je tudi, da izpolnjujejo določene kriterije. Posebej pomembni kriteriji so:

- natančnost: rezultati modela in opazovanja se morajo ujemati do razumne mere;

- enostavnost: enostavni modeli so bolj stabilni in verjetnost napake je manjša;
- teoretične osnove: formulacija modela mora bazirati na dobrih teoretičnih osnovah.

3.1 Agregirani in disagregirani modeli

V prometnem inženirstvu modele delimo še na agregirane in disagregirane. Agregirani modeli so t. i. modeli prve generacije, ki temeljijo na opazovanju skupin. Pri teh modelih pri izračunih upoštevamo povprečne vrednosti posameznih opazovanih skupin oziroma odnose na conskih ravneh. Lahko rečemo, da agregirani modeli temeljijo na statističnih povezavah (povprečne vrednosti skupin). Na slabost takšnih modelov so v 60. letih prejšnjega stoletja opozarjali številni raziskovalci (Warner, Oi, Shuldiner), vendar so se modeli prve generacije vseeno uporabljali nekje do leta 1980.

Disagregirani modeli so nekakšna nadgradnja oziroma izboljšava modelov prve generacije. Bistvo teh modelov je, da temeljijo na obnašanju posameznikov (čas potovanja, izbira prometnega sredstva, namen potovanja ...). Disagregirani modeli, imenovani tudi modeli druge generacije, ne temeljijo več na statističnih povezavah kot agregirarni model, ampak gre za verjetnostne povezave. Osnovno izhodišče, ki opisuje te modele, se glasi: *Verjetnost, da bo posameznik izbral dano možnost, je funkcija social-ekonomskih karakteristik in relativne privlačnosti dane možnosti.* Bistvo teh modelov je, da združimo posameznike v skupine, ki imajo sorazmerno podobno mišljenje oz. način življenja (zaposleni, študentje, dijaki ...). Pri tem načinu združevanja so upoštevane tudi značilnosti posameznih skupin in s tem smo tudi bližje dejanskemu stanju.

Disagregirani modeli so bili dolgo dejansko neizvedljivi, saj je za ta model potrebno pridobiti ogromno podatkov. Ko so se z razvojem spremenile metode pridobivanja podatkov (ankete po gospodinjstvih) in ko se je zgodil napredek računalniške tehnike skupaj s programsko opremo, so tudi ti modeli zaživeli v praksi.

Zdaj se agregirani modeli uporabljajo samo še za manjša študijska območja in povsem preproste primere prometnega načrtovanja. Za kompleksnejše in obsežnejše prometne študije so v uporabi samo disagregirani modeli.

3.2 Zaporedni modeli

Pri zaporednih modelih izračun poteka v treh korakih, saj vsako fazo modela izračunamo posebej. Faze, ki tvorijo zaporedni model so:

- generacija potovanj;
- distribucija potovanj;
- izbira prometnega sredstva.

3.2.1 Generacija potovanj

Namen prve faze v zaporednega modela je, da napovemo število potovanj za posamezno cono v proučevanem območju. V tej fazi se uporabljata dva modela:

- model produkcije: ta model računa skupno število potovanj, produciranih za cono, neodvisno od cone destinacije;
- model atrakcij: ta model računa skupno število potovanj, privabljenih v cono, neodvisno od cone izvora.

Število prihodnjih potovanj je odvisno od vzorca izrabe površin, socialno-ekonomskih značilnosti potnikov in značilnosti transportnega sistema. Najboljše izide generacije potovanj dobimo, če naredimo razčlembo glede na namen potovanja in druge karakteristike. Modeli produkcij in atrakcij prinašajo boljše izide, če so potovanja klasificirana.

Klasifikacija glede na namen potovanja

Vsako potovanje, ki ga opravimo, ima neki namen. Zato moramo pri študijah med seboj razlikovati namen, saj s tem povečamo realnost napovedi matrik prometnega povpraševanja, boljše pa je tudi prikazovanje sprememb v prometnih vzorcih koničnih in medkoničnih intervalov.
Včasih zadošča, da ločimo samo med dvema namenoma potovanj:

- potovanje v delovnem času (»working time«) in
- potovanja za vse druge namene (»non-working time«).

Boljša klasifikacija namenov potovanj pa je naslednja delitev:

- dom – služba;
- dom – službena pot;
- dom – drugo;
- drugo – službena pot;
- drugo – drugo.

Klasifikacija glede na čas odhoda potovanja

Tu potovanja delimo na čas, ko se pojavijo. Delimo jih na tista med prometnimi konicami (zjutraj ali zvečer) in tista, ki se pojavijo zunaj obdobja konic.

Potovanja, ki se zgodijo z namenom dela ali izobraževanja, se po navadi pojavijo med konicami in jih imenujemo obvezna potovanja (»mandatory trips«). Potovanja, ki so namenjena nakupovanju, druženju in drugemu, pa imenujemo neobvezna potovanja (»optional trips«).

Klasifikacija glede na osebne karakteristike

Potovanje je močno pogojeno z družbeno-ekonomskimi faktorji, zato je takšna delitev potovanj zelo koristna. Za to klasifikacijo uporabljamo naslednje karakteristike:

- raven prihodka;
- lastništvo avtomobila;
- velikost in struktura gospodinjstva.

Najpogostejša karakteristika, ki jo uporabljamo za osebno karakteristiko, je lastništvo avtomobila.

Klasifikacija glede na obliko transporta

Glede na obliko transporta se uporabljajo naslednje kategorije:

- hoja;
- kolo;
- avtomobil (po potrebi razdelimo na voznika in potnika);
- javni transport.

3.2.1.1 Produkcije

Produkcije (»Produktion«) opisujejo vsa potovanja, producirana v coni kot funkcija številnih osebnostnih in karakterističnih posebnosti okolja. Celotno število potovanj, produciranih v coni, je izračunano brez upoštevanja cilja potovanja.

Število produkcije v poljubni coni lahko zapišemo z naslednjo enačbo:

$$Pi = f(z_1, z_2, z_3, \ldots) \tag{3.2},$$

kjer je:

Pi *produkcije iz cone i;*

Zi *vplivni faktor na produkcije.*

Produkcije potovanj so odvisne od dejavnikov, ki jih lahko razdelimo v tri skupine:

- Karakteristike gospodinjstev:
  - dohodek;
  - lastništvo vozil;
  - število zaposlenih članov gospodinjstva;
  - število otrok, ki hodijo v šolo;
  - starost članov gospodinjstev.
- Karakteristike cone:
  - namembnost zemljišč;
  - cena zemljišč;
  - gostota pozidave in poselitve;
  - stopnja urbanizacije.
- Dostopnost:
  - obseg transportnih opcij iz cone;
  - kakovost transportnih opcij iz cone.

Karakteristike cone in karakteristike gospodinjstva se v študijah zelo pogosto uporabljajo, saj so izrednega pomena. Posebej pomembna je karakteristika gospodinjstev, ki je ponavadi ključnega pomena ali bo nekdo potoval ali ne. Zato moramo pri zbiranju podatkov posebno pozornost nameniti podatkom o gospodinjstvu.

Karakteristika dostopnosti pa se skoraj nikoli ne uporablja za izračun produkcij. Toda mogoče navidez nepomembna stvar je v resnici precej pomembna. S tem, ko v naših izračunih ne upoštevamo karakteristike dostopnosti, v resnici zanemarimo vse spremembe, ki se pojavijo ob spremembi transportnega sistema.

3.2.1.2 Atrakcije

Atrakcije (»Attraction«) so vsa potovanja, ki se končajo v določeni coni; ni pomembno, kje je njihov začetek. Število atrakcije je odvisno od privlačnosti posamezne cone.
Zapišemo jih lahko z naslednjo enačbo:

$$A_i = f(z'_1, z'_2, z'_3, \ldots) \quad (3.3),$$

kjer je:

Ai *produkcije iz cone i;*

Zi *vplivni faktor na atrakcije.*

Kot je bilo že rečeno, so atrakcije odvisne od privlačnosti posameznih con. Privlačnost con pa lahko razdelimo v tri skupine:

- število zaposlenih;
- raba zemljišč (industrija, izobraževalne ustanove, trgovine, dejavnosti, rekreacija, transfer …);
- dostopnost (obseg transportnih opcij v cono, kakovost transportnih opcij v cono).

Cone, ki po navadi najbolj privlačijo potovanja, so največkrat tam, kjer je največ delovnih mest in trgovskih središč. Prvenstveno je vzrok v tem, da so ta območja ključnega pomena za vsakdanje življenje.

Kot pri izračunu produkcij tudi pri izračunu atrakcij najpogosteje uporabljamo faktorja: število zaposlenih in raba zemljišč. Tudi tu sta omenjena faktorja izrednega pomena, saj imata močan vpliv na število atrakcij posamezne cone.

Vendar tako kot pri produkcijah tudi pri atrakcijah ne upoštevamo faktorja dostopnosti. Tudi tu ima faktor dostopnosti lahko močan vpliv. Kako lahko sprememba sistema potovanja vpliva na atrakcije in produkcije, prikazuje naslednje poglavje.

3.2.1.3 Sprememba sistema potovanja

Sprememba sistema potovanja se po navadi odraža v štirih vrstah učinka:

- *generativni učinek*;
- *distributivni učinek*;
- *časovni učinek;*
- *učinek zamenjave*.

Generativni učinek spremembe sistema potovanja vpliva na povečanje ali zmanjšanje skupnega števila prevoženih kilometrov na enega potnika. Ponavadi generativni učinek nima vpliva na t. i. obvezna potovanja (šola, služba), najverjetneje pa se bo pojavil pri neobveznih potovanjih (izlet, obisk sorodnikov …).

Časovni učinek na spremembe v transportnem sistemu vpliva tako, da se zgodi premik začetka potovanj. To pomeni, da se bo, če so bile pred spremembo težave z zastoji ob neki določeni uri (7.00), zdaj, ob spremembi, več potnikov odločilo, da bodo na pot krenili prej ali pozneje. Ta fenomen se imenuje »širjenje konice«.

Toda ko bodo ti potniki videli, da so zastoji ob 7.00 manjši, se bo veliko potnikov zelo hitro vrnilo na prvotni čas konice. S tem bodo povzročili obnovo zastojev med časom konice in tako izničili nameravan učinek izboljšav.

Ker je dostopnost gotovo pomemben faktor pri določevanju produkcije in atrakcije con, je treba vložiti napor za razvitje modela, ki vključuje generativni in časovni učinek, ki ga povzroči sprememba v dostopnosti. Predlaganih je bilo več modelov, s tem da je do danes malo soglasja o natančnosti le-teh, predvsem zaradi težav pri merljivosti koncepta dostopnosti. Zaradi tega razloga je ta tip modela v praksi redko uporabljen.

3.2.1.4 Metode za izračun produkcij in atrakcij

Regresijska analiza

Regresijska analiza je najpogosteje uporabljena metoda za izračun produkcije in atrakcije. Je statistična metoda, ki nam pomaga analizirati odnos med odvisno spremenljivko ter eno ali več neodvisnimi spremenljivkami.
Zapišemo jo z naslednjo enačbo:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + B_3X_3 + \qquad (3.4),$$

kjer je:

Y *odvisna spremenljivka;*

X_i *neodvisna spremenljivka;*

a *konstantni faktor;*

b_i *regresijski koeficient.*

O enostavni regresiji govorimo, ko imamo samo eno neodvisno spremenljivko X_1. Ko imamo več neodvisnih spremenljivk (X_1, X_2, X_3 …), uporabljamo izraz večkratna oz. multipla regresija.

Ko se regresijska analiza uporablja za razvoj modelov produkcije in atrakcije, neodvisne spremenljivke Xi predstavljajo sociološko-ekonomske vplivne faktorje oziroma dejavnike, ki vplivajo na število atrakcij in produkcij (lastništvo vozil, prihodek gospodinjstva, število zaposlenih …).

Odvisna spremenljivka Y v tem primeru predstavlja število potovanj, produciranih ali privabljenih v določeno cono.

Konstantni faktor *a* in regresijski koeficienti b_i so ocenjeni (kalibrirani). Ocenimo jih s pomočjo ekonomskih podatkov, zbranih preko baznega leta. Za kalibracijo se največkrat uporablja metoda najmanjših kvadratov.
Pri računu s pomočjo regresijske analize se predpostavi, da se konstantni faktor *a* in regresijski koeficienti b_i časovno ne spreminjajo.

Problemi pri uporabi regresijske analize

Problemi, ki se pojavijo pri uporabi regresijske analize, so predvsem multikolinearnost in konstanta v enačbi regresijske analize.

Fenomen mulitkolinearnosti se pojavi, ko se med eno ali več neodvisnimi spremenljivkami X_i pojavi soodvisnost. Ta težava je težko rešljiva, saj je v praksi zelo težko izbrati popolnoma neodvisne spremenljivke. Zato v praksi poskusimo te spremenljivke izbrati tako, da le-te ostanejo maksimalno neodvisne, kolikor se le da.

Drugi problem je konstanta v regresijski enačbi. Če generacije računamo na osnovi conskih podatkov je potrebno, da gre regresijska enačba skozi izvor. Povedano drugače, potrebno je, da je v regresijski enačbi konstanta enaka nič. Če konstanta ni enaka nič, se lahko pojavi napaka, kar prikazuje naslednji primer.

Primer

Imamo cono A, kjer je 400 prebivalcev. Za to cono s pomočjo regresijske enačbe izračunamo število produkcij. To izračunamo z naslednjo enačbo:

$$P = 125 + preb. \qquad (3.5),$$

kjer je:

P *produkcije;*

125 *regresijska konstanta;*

preb. *prebivalci.*

Ta enačba nam da rezultat, da je za cono A s 400 prebivalci število produkcij 525. Če se cona A zdaj razdeli na dve enako veliki coni, vsaka z 200 prebivalci, vidimo, da ima po zgornji enačbi vsaka cona zdaj 325 produkcij oziroma 700 iz celotne cone. To pa je v nasprotju s prvotno izračunanim rezultatom.

Analiza kategorij

Pri analizi kategorij je populacija študijskega območja razdeljena na več homogenih kategorij (skupin), ki so zasnovane na družbeno-ekonomskih karakteristikah.
Za izračun produkcij s pomočjo analize kategorij gospodinjstva razdelimo v kategorije glede na:

- dohodek in lastništvo vozil;
- število članov in lastništvo vozil.

Preglednica1: Izsledki analize kategorij za izračun produkcije

Oseb v gospodinjstvu	Lastništvo avtomobila na gospodinjstvo		
	0	1	2+
1	0,12	0,87	
2	0,5	1,12	2,23
3	1,24	1,34	2,98
4+	1,03	1,58	2,99

Vir: Immers, Traffic Demand Modelling, Heverlee, 1998

Analiza kategorij se zelo redko uporablja pri izračunu atrakcij, saj je velik problem z zbiranjem zadostnih podatkov, s katerimi bi lahko dobili verodostojne rezultate.

Problemi pri uporabi analize kategorij

Čeprav ima analiza kategorij določene prednosti, kot sta preprostost metode in dejstvo, da so nelinearnosti lahko prilagodljive, ima tudi pomanjkljivosti.

Največja pomanjkljivost je potreba po velikem številu podatkov. Kajti v praksi bomo hitro imeli tri kategorije lastništva vozil, 6 kategorij za prihodke gospodinjstva in 5 za velikost in sestavo gospodinjstva, kar znese 90 kategorij (3 x 6 x 5).

Če upoštevamo še dejstvo, da je potrebnih minimalno 50 opazovanj na kategorijo, da pridemo do verodostojnih podatkov, opazimo, da je potrebnih minimalno okoli 5.000 opazovanj. Vidimo, da majhno povečanje števila kategorij vodi do ogromnega povečanja potrebnih podatkov.

3.2.2 Distribucija potovanj

Prva faza zaporednega modela napove število potovanj, to je število produkcij in atrakcij oziroma začetkov in koncev potovanj po posameznih prometnih conah. Druga faza zaporednega modela pa nam pove porazdelitev potovanj med prometne cone. Cilj te faze je porazdeliti produkcije in atrakcije ter dobiti število potovanj za posamezno cono.

Porazdelitev predstavimo s t. i. izvorno-ciljno matriko (origin-destination table ali O-D table). Izvorno-ciljna matrika je dvodimenzionalna matrika, kjer vrstice predstavljajo potovanja, ki se začnejo v coni *i*, stolpci pa predstavljajo potovanja, končana v coni *j*. Celice v glavni diagonali predstavljajo t. i. znotrajconska potovanja (»intrazonal trips«), ki se začnejo in končajo v isti coni.

Preglednica 2: Izvorno-ciljna matrika

	1	2	j	n	$\sum_j T_{ij}$
1	T_{11}	T_{12}		T_{1n}	O_1
2	T_{21}	T_{22}		T_{2n}	O_2
i			T_{ij}		O_i
m	T_{m1}	T_{m2}		T_{mn}	O_m
$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_j	D_n	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

(Vir: Immers, Traffic Demand Modelling, Heverlee, 1998)

V preglednici 2 T_{ij} predstavlja število potovanj, ki se bodo izvršila med izvorno cono i in ciljno cono j. O_i predstavlja število potovanj, ki se bodo začela v coni i, D_j pa število potovanj, ki se končajo v coni j.

Vsota posamezne vrstice mora biti enaka skupnemu številu potovanj, ki se začnejo v tej coni; vsota vrednosti v stolpcu pa mora biti enaka skupnemu številu potovanj, ki se končajo v tej coni.

$$\sum_j T_{ij} = O_i \qquad \sum_i T_{ij} = D_j \tag{3.6),}$$

Izvorno-ciljne matrike potovanj lahko razdelimo tudi po namenu potovanj (služba, nakupovanje, šola, rekreacija ...), vrsti prometnega sredstva (avto, kolo, vlak …) in po času potovanja (jutranja konica, popoldanska konica ...).

V primeru take delitve je matrika potovanj takšna, da se s T^{kn}_{ij} označi število potovanj iz cone i v cono j z namenom k (služba), ki se bodo izvršila s sredstvom n (osebni avtomobil). V tem primeru O^{kn}_i predstavlja število potovanj, ki se bodo začela v coni i z namenom k (služba) in bodo opravljena s sredstvom n (osebni avtomobil).

Pomemben faktor pri distribuciji potovanj je poleg produkcij in atrakcij tudi cena potovanja med posameznimi conami. Ceno potovanja lahko izrazimo s faktorji, kot so: razdalja med conami, čas potovanja, denarna vrednost …

Kombinacija razdalje med conami, časom potovanja, denarno vrednostjo in še drugimi faktorji pa se običajno imenuje generalizirani stroški potovanja. Običajno so generalizirani stroški predstavljeni kot linearna funkcija, ki jo lahko napišemo z naslednjo enačbo:

$$C_{ij} = \sum_m a_m \cdot t_{ij}^m + \sum_n a_n \cdot F_{ij}^n + \delta \tag{3.7),}$$

kjer je:

C_{ij} *generalizirani strošek;*

t_{ij}^{m} *čas m (m = vožnja, čakanje, prestopanje, hoja);*

a_m *koeficient, ki predstavlja pomembnost posameznega časovnega atributa m;*

a_n *koeficient, ki predstavlja pomembnost posameznega stroškovnega atributa n;*

F_{ij}^{m} *denarni strošek n (cestnina, parkiranje,vstopnina v mestno središče, vozovnica);*

δ *dodatek za posamezni tip ceste (varnost, udobje, zanesljivost).*

(vir: Pretnar, G. 2004. Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo)

Generalizirani strošek je uporaben, ko distribucije potovanj računamo s pomočjo sintetičnih metod (gravitacijski model, model elektrostatičnega polja …). Poleg sintetičnih metod poznamo tudi analogne metode oz. metode faktorjev rasti.

3.2.2.1 Metoda faktorjev rasti

Ko uporabljamo metodo faktorjev rasti, že imamo neko predhodno osnovno matriko potovanj, ki smo jo pridobili s pomočjo predhodne študije ali anket na terenu.
Poznamo več vrst metod faktorjev rasti. Glede na to, ali imamo napovedi za produkcije in/ali atrakcije ločimo:

- metodo enotnega faktorja rasti;
- enojno (mehko) omejene metode;
- dvojno (trdo) omejene metode.

Metoda enotnega faktorja rasti

Metoda enotnega faktorja rasti je najstarejša in hkrati najpreprostejša metoda. Pri tej metodi predpostavimo, da se bo opazovano študijsko območje v prihodnosti razvijalo enakomerno. To pomeni, da za izračun potrebujemo samo eno oceno rasti potovanj na obravnavanem območju.

Torej lahko zapišemo:

$$T_{ij} = E \cdot t_{ij} \tag{3.8},$$

kjer je:

T_{ij} *število potovanj iz cone i v cono j v prihodnosti;*

t_{ij} *zdajšnje število potovanj iz cone i v cono j;*

T *skupno število potovanj v prihodnosti;*

t *zdajšnje število skupnih potovanj (dobimo iz anket);*

E *faktor rasti.*

Prednost enotnega faktorja rasti je v tem, da je izredno preprost za uporabo. Slabost pa je ta, da preceni potovanja v razvitih conah in podceni potovanja v nerazvitih conah.

Enojno omejena metoda faktorjev rasti

Tudi metoda enojno omejenega faktorja rasti je precej preprosta, saj tudi tu v enem samem koraku iz matrike zdajšnjih potovanj dobimo matriko prihodnjih potovanj.
Če vemo, kakšna bo rast produkcij E_i, lahko vrstice v izvorno-ciljni matriki pomnožimo s faktorjem rasti E_i in dobimo:

$$T_{ij} = E_i \cdot t_{ij} \tag{3.9}.$$

Podoben princip lahko uporabimo, če poznamo faktorje rasti ciljnih con E_j. V tem primeru dobimo naslednjo enačbo:

$$T_{ij} = E_j \cdot t_{ij} \tag{3.10}.$$

Dvojno omejena metoda faktorjev rasti

Ta metoda je nekoliko zahtevnejša, saj imamo dva različna faktorja rasti produkcij E_i in atrakcij E_j. Lahko bi sicer pri izračunu uporabili povprečno vrednost E_{ij} = 0,5 (E_i + E_j), vendar je ne uporabimo, ker bi dobili zelo slab približek, ki ne bi izpolnil nobene izmed dveh omejitev. Zato rajši uporabimo t. i. iterativne metode, s katerimi lahko izračunamo izvorno-ciljne matrike, tako da zadostimo obema omejitvama v nekem želenem odstopanju (1–5 %). Najbolj znana in uporabna je *Furnessova metoda,* pri kateri uvedemo dva pomožna faktorja A_i in B_j. Zdaj lahko zapišemo:

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot E_i \cdot E_j \cdot A_i \cdot B_j \qquad (3.11).$$

Če zdaj namesto A_i in B_j uvedemo nove spremenljivke $a_i = E_i * A_i$ in $b_j = E_j * B_j$, lahko zgornjo enačbo zapišemo:

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot a_i \cdot b_j \qquad (3.12).$$

Faktorja a_i in b_j moramo izračunati tako, da zagotovimo veljavnost naslednjih enačb:

$$\sum_j T_{ij} = O_i \qquad \sum_i T_{ij} = D_j \qquad (3.13).$$

S to metodo dobimo že v samo nekaj interakcijah rešitve, ki po navadi za največ 3–5 % odstopajo od ciljnih vrednosti. Tej metodi po navadi rečemo tudi biproporcionalni algoritem.

3.2.2.2 Gravitacijski model

Gravitacijski model je najbolj znan sintetični model za izračun distribucije potovanj. Bistvo sintetičnih metod je, da poskušamo razumeti vzroke distribucije potovanj. Za vse sintetične metode velja, da število potovanj med dvema poljubnima conama narašča z naraščanjem atrakcij in pada z naraščanjem oddaljenosti.

Kot že ime pove, izhaja iz analogije z Newtonovim gravitacijskih zakonom, ki pravi: *Dve telesi se privlačita s silo, ki je premo sorazmerna produktu njunih mas in obratno sorazmerna kvadratu razdalje med njima.*

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \tag{3.14),}$$

kjer je:

F *sila;*

G *gravitacijska konstanta;*

m *masa telesa;*

r *razdalja med telesoma.*

Analogno tej formuli bi lahko podobno formulo zapisali tudi za število potovanj med dvema poljubnima conama:

$$T_{ij} = \alpha\frac{O_i D_j}{d_{ij}^{\ 2}} \tag{3.15),}$$

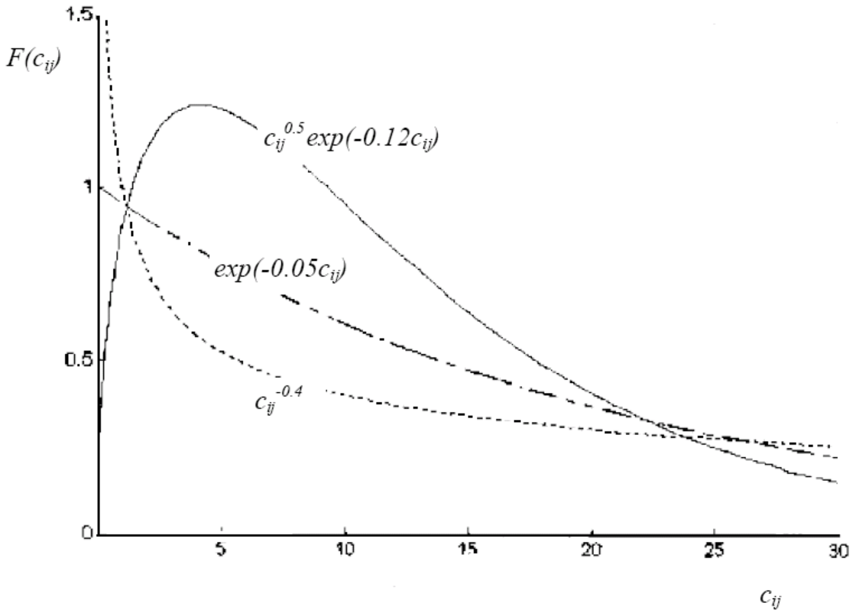
kjer je T_{ij} število potovanj med conama, O_i predstavlja produkcijo cone i, D_j predstavlja atrakcijo cone j, d_{ij} pa je razdalja oz. oddaljenost med conama i in j. Toda spoznali smo že, da razdalja med conama ni bistveno merilo za potovanje. Zato uvedemo t. i. generalizirani strošek, ki smo ga že spoznali. Namesto d_{ij} (razdalja med conama i in j) uvedemo novo funkcijo oddaljenosti, ki je v odvisnosti od generaliziranih stroškov C_{ij}.

$$T_{ij} = \alpha \cdot O_i \cdot D_j \cdot f(C_{ij}) \tag{3.16).}$$

Seveda ima lahko t. i. funkcija upora potovanja več oblik. Spoznajmo samo najpogosteje uporabljene. Te so:

- $F(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha}$ negativna potenčna funkcija;
- $F(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}}$ negativna eksponentna funkcija;
- $F(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha} \cdot e^{-\beta c_{ij}}$ kombinirana funkcija.

Potenčna in eksponenta funkcija imata samo en parameter za kalibracijo. Kalibracija pomeni, da neznani parameter (α, β) določimo tako, da zagotovimo maksimalno skladnost med izračunanimi vrednostmi s pomočjo modela in z opazovanimi vrednostmi (izmerjenimi).



Slika 2: Oblike analitičnih funkcij za določene vrednosti prametrov (α, β).

3.2.3 Izbira prometnega sredstva

Kot smo videli, je v tradicionalnem modelu povpraševanja logično zaporedje. Produkcije in atrakcije nam povedo število potovanj, ki jih lahko pričakujemo za opazovano območje. Model distribucije nam poda smeri potovanj, tj. določuje izvor in cilj potovanj.

Seveda pa potovanje ne vključuje samo izbire, kam potovati, ampak tudi s čim. Izbor transporta med dvema točkama oziroma potovanjema na različne načine transporta se imenuje »modal split« (načinska porazdelitev). Torej bistvo tega dela je, da določimo število potovanj, ki bodo opravljena z vsako vrsto prometnega sredstva, ki je na voljo v študijskem območju (osebno vozilo, mestni avtobus, tramvaj itd.).

Tako kot na atrakcijo in produkcijo vpliva veliko faktorjev, tako je tudi pri izboru načina potovanja. Prvi faktor je dostopnost do različnih prevoznih sredstev. Ljudje, ki imajo na voljo samo en način prevoznega sredstva, se imenujejo »ujetniki« (capitives) načina prevoza.

Besedna zveza ujetniki načina prevoza se najpogosteje uporablja glede javnega prevoza za ljudi, ki nimajo avtomobila; njihov cilj potovanja je preveč oddaljen, da bi lahko šli peš ali uporabili katero drugo prevozno sredstvo.

Lahko imamo tudi t. i. ujetnike avtomobila. O tem govorimo takrat, ko do določenega cilja ni drugega prevoza kot avtomobil. Ljudje, ki niso ujetniki enega ali drugega načina prevoza, se imenujejo potniki izbora (»choice travellers«). Predpostavlja se, da ti potniki temeljijo svoj izbor načina potovanja na racionalnem razmišljanju. Faktorje, ki so pomembni v tem primeru, lahko razdelimo v tri skupine:

- **Lastnosti potnika**
    - razpoložljivost in/ali lastništvo avtomobila;
    - posedovanje vozniškega dovoljenja;
    - struktura gospodinjstva (mlad par, par z otroki, upokojenci, samski itd.);
    - prihodek;
    - odločitve sprejete drugje (npr. nujnost uporabe vozila na delu);
    - gostota prebivalstva;
    - tip stanovanja;
    - raven izobrazbe.

- **Značilnosti potovanja**
    - namen potovanja (služba, šola, rekreacija);
    - dolžina potovanja;
    - čas v dnevu.

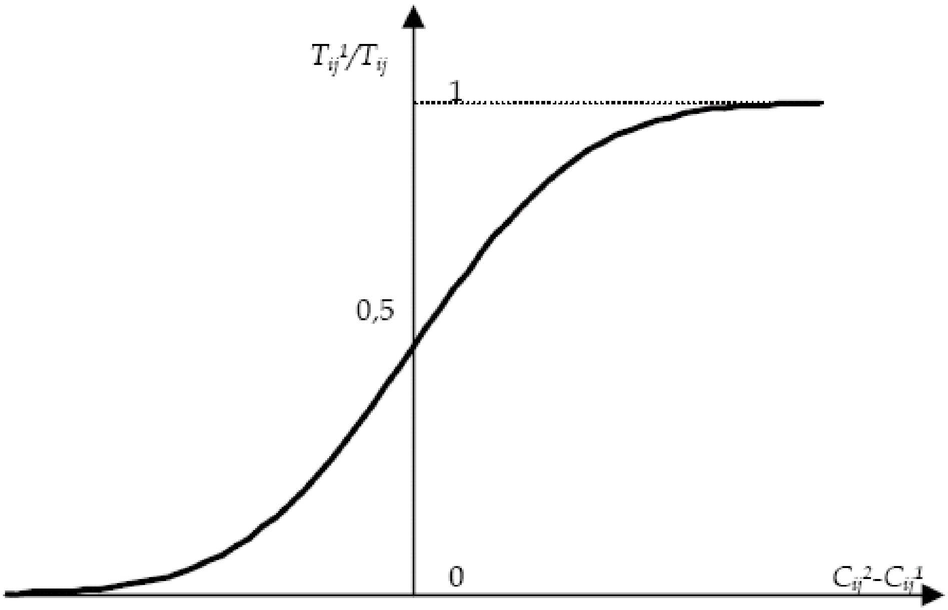
- **Lastnosti načina prevoza**
  - čas vožnje;
  - dodatni čas (parkiranje, čakanje, prestopanje);
  - cena potovanja;
  - zanesljivost, udobje, varnost, prestiž.

V začetku se je predpostavljalo, da je treba izbiro prometnega sredstva izvršiti pred fazo distribucije (takoj po fazi generacije). Produkcija in atrakcija z drugimi besedami predstavljata konca enega potovanja. Od tu tudi izvira ime tega modela, ki se imenuje *trip end modal split*.

Pri uporabi modela *trip end* pri izračunu upoštevamo samo značilnosti potnika, ne pa tudi značilnosti prometnega sistema. Tega niti ne moremo upoštevati, saj cilj potovanja še ni znan (distribucija potovanj). Osnovna predpostavka modela je, da se z rastjo dohodka ljudi povečuje tudi število vozil in uporaba le-teh.
Ti modeli so – gledano na kratko obdobje – precej natančni, vendar pa so neobčutljivi na spremembe v prometni politiki (omejitev vožnje v mestih, drage parkirnine, izboljšanje javnega prometa …). Ta način je bil posebej značilen za ZDA.

Ker v modelu *trip end* niso bile upoštevane značilnosti potovanja in transportnega sistema, so se pozneje razvili t. i. modeli trip interchange. Pri teh modelih se faza izbire prometnega sredstva izvrši po fazi distribucije. Tukaj se pojavi drug problem, kajti v modelu trip interchange izredno težko vključimo značilnosti potnika pri izbiri prometnega sredstva, saj so značilnosti že agregirane v izvorno-ciljnih matrikah, ki smo jih dobili ob poračunu distribucije.

Dolgoletna opazovanja so pokazala, da lahko obnašanje potnikov najlažje in tudi najbolje ponazorimo s t. i. S-krivuljo (Slika 2). Krivulja ponazarja odvisnost deleža potovanj s posameznimi prevoznimi sredstvi (avtomobil, kolo, vlak …) glede na razlike med danimi prevoznimi sredstvi. Razlike med prevoznimi sredstvi, kot smo že spoznali, najlažje predstavimo s pomočjo t. i. generaliziranih stroškov.



Slika 3: S-krivulja (izbira prometnega sredstva v odvisnosti od stroškov)

3.2.4 Teorija diskretnih izbir

Diskretna teorija je osnovna teorija, ki je uporabna v situacijah, kjer se pričakuje, da se bodo ljudje odločali med medsebojno specializiranimi možnostmi. Diskretna teorija izbir izvira iz znanosti psihologije in ekonomije.

Osnovni princip te teorije je, da se posameznik spopade s situacijo, v kateri mora izbirati med številnimi možnostmi, da se bo odločil za tisto, ki bo imela največjo korist. Vendar pa so koristi težko opazne in merljive. Spoznali bomo model logit.

3.2.4.1 Model logit

Model logit je najbolj znan model diskretnih izbir. Tukaj se mora posameznik odločiti, katero alternativo bo izbral za svoje potovanje.

Model logit rešujemo s pomočjo Gumblove porazdelitvene funkcije, ki je veliko bolj preprosta za uporabo kot Normalna porazdelitev.

Gumblova porazdelitvena funkcija

Pri Gumblovi porazdelitvi sta pomembna dva glavna parametra, in sicer α (alfa) in β (beta), kjer prvi pomeni lokacijo in drugi merilo porazdelitve. Pri Gumblu obstajata maksimalna in minimalna porazdelitev, kjer je vsaka izmed njiju primerna za nek določen primer oziroma opis določenega pojava ter določitve njegove ekstremne vrednosti.

Maksimalno Gumblovo porazdelitev prikazuje naslednja funkcija:

$$F(X) = \exp\left[-e^{-\frac{X-\alpha}{\beta}}\right] \qquad (3.17),$$

ki ima gostoto verjetnosti:

$$f(X) = \frac{1}{\beta} * \exp\left[-\frac{X-\alpha}{\beta}\right] * \exp\left[-e^{-\frac{X-\alpha}{\beta}}\right] \qquad (3.18).$$

Za maksimalno porazdelitev veljajo naslednje karakteristike:

matematično upanje	$\alpha + 0{,}5772 * \beta$;
mediana	$\alpha - \beta * \ln(\ln(2))$;
standardna deviacija	$\frac{\beta * \Pi}{\sqrt{6}}$;
koeficient simetrije	1,13955;
koeficient sploščenosti	5,4;
koeficient variacije	$\frac{\beta * \Pi}{\sqrt{6} * (\alpha + 0.5772\,\beta)}$.

Model logit se uporablja, ko naredimo naslednje tri predpostavke:

- rešujemo s pomočjo Gumblove porazdelitvene funkcije;
- verjetnostna porazdelitev za vse termine napak je identična (enaka varianca);
- verjetnostna porazdelitev je za vse termine napak statistično neodvisna.

Na podlagi teh treh predpostavk lahko zapišemo enačbo:

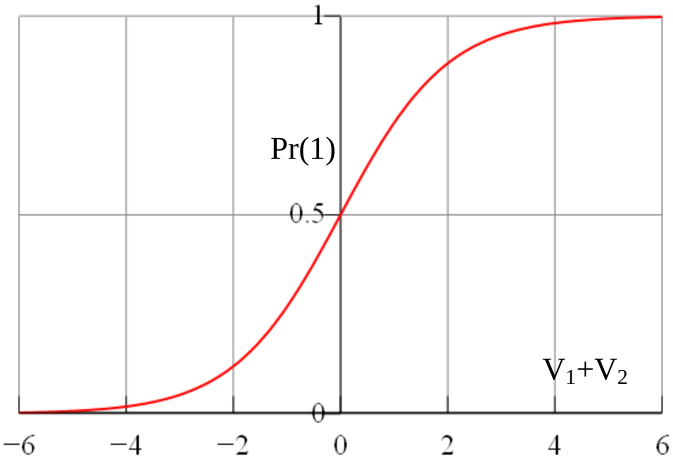
$$\Pr(a) = \frac{\exp(\mu V_a)}{\sum_{k=1}^{k} \exp(\mu V_k)} \qquad (3.19).$$

Grafični prikaz modela logit

Vzemimo, da imamo možnost izbirati med dvema alternativama (1 in 2). Verjetnost, da bo izbrana alternativa 1, je:

$$\Pr(1) = \frac{1}{1 + e^{-(V_1 - V_2)}} \qquad (3.20).$$

Tako smo Pr (1) zapisali kot funkcijo (V_1 + V_2). To funkcijo grafično prikazuje naslednja slika:



Slika 4: Logistična krivulja

Prikazana krivulja se imenuje logistična krivulja. Po pričakovanjih so verjetnosti za obe mogoči alternativi enaki 0,5, če sta opazovani koristi enaki. To pomeni, da velja $V_1 - V_2 = 0$. Če je V_1 večji od V_2, se Pr (1) asimptotično približuje 1. V obrnjenem primeru, ko je V_2 večji od V_1, pa se Pr (1) asimptotično približuje 0.

Model logit je dober in preprost instrument, s katerim analiziramo situacije izbir, vendar se moramo zavedati omejitev tega modela.

Model logit nam namreč da nepravilne rezultate v naslednjih primerih:

- kadar dve alternativi nista neodvisni (pogoji napak alternativ so v tem primeru soodnosni);
- kadar je odstopanje med alternativami veliko.

Poglejmo si primer, ko s pomočjo modela logit dobimo napačne izračune. Predpostavimo, da 50 % potnikov v določenem mestu za prevozno sredstvo izbere avtomobil, preostalih 50 % pa kot prevozno sredstvo izbere avtobus. To pomeni, da je korist obeh potovalnih možnosti v enakem razmerju. Zdaj pa vzemimo, da se avtobusno podjetje odloči, da bo polovico avtobusov pobarvalo na modro in drugo polovico avtobusov na rdeče.

Model logit bo napovedal, da ima vsaka izmed alternativ (avtomobil, rdeči avtobus, modri avtobus) možnosti, da bo izbrana. To bo pomenilo, da se bo delež avtomobilov znižal s 50 % na 33 %.

Seveda se to v realnosti ne zgodi, saj ostane odstotek potnikov, ki izbere avtomobil, enak. Potniki, ki so izbrali avtobus, pa se med seboj razdelijo enakomerno na rdeče in modre avtobuse.

Napaka v rezultatih je zaradi dejstva, da pogoji napak niso statistično odvisni. Obe možnosti izbora avtobusa sta enaki in pogoji napak so zato popolnoma soodnosni.

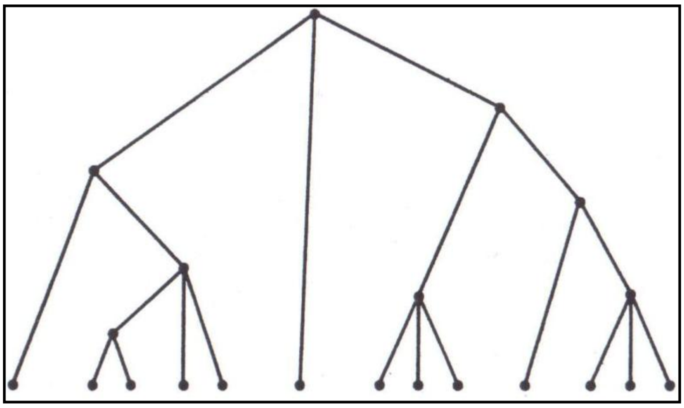
Če hočemo torej model logit uporabljati v najpreprostejši obliki, moramo zagotoviti, da so alternative opazovane kot čisto različne in neodvisne.

3.3 Simultani model

Simultani modeli služijo za sočasen izračun faz distribucije in izbire prometnega sredstva. V literaturi je najpogosteje uporabljen hierarhični model, medtem ko nekateri modeli omogočajo tudi istočasni izračun vseh treh faz (generacija, distribucija, izbira prometnega sredstva). Najbolj znan model je t.i. EVA model.

3.3.1 Hierarhični model

Ta model je nekakšna nadgradnja modela logit. Uporabljamo ga, če je določeno število alternativ soodnosnih. V tem primeru je naša izbira razdeljena na večje število faz ali ravni. Pomembno je seveda, da ostanejo alternative na istih ravneh ustrezno ločljive. Če je šlo pri modelu logit za sočasno izbiro, imamo pri hierarhičnem modelu opravka z zaporedno izbiro, saj se izbori na različnih ravneh zgodijo drug za drugim. Shemo hierarhičnega modela prikazuje spodnja slika.



Slika 5: Hierarhični model izbire

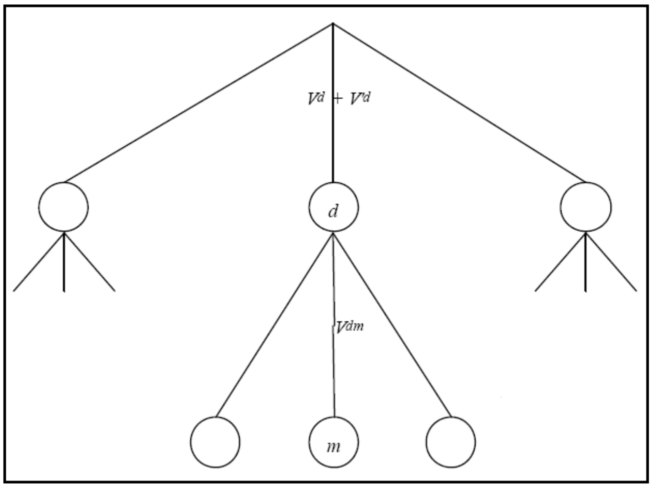
S pomočjo hierarhičnega modela lahko rešujemo problem sočasne izbire cilja potovanja in načina potovanja. Pri sočasnem izračunu za opis privlačnosti oziroma koristi vpeljemo linearno funkcijo uporabnosti U_{jq} za posameznika q:

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq} \tag{3.21}$$

kjer V_{jq} predstavlja karakteristike sistema, ε_{jq} pa predstavlja kombinacijo napak pri merjenju in subjektivnega odločanja posameznika. Zgodi se lahko, da dva posameznika z enakimi lastnostmi izbereta dve povsem različni možnosti. Zgodi se tudi, da posameznik ne izbere vedno najboljše možnosti.

Do tega pride zaradi različnih vzrokov. Lahko se zgodi, da ni upoštevana karakteristika, ki je zelo pomembna za posameznika. To se zgodi zaradi pomanjkanja podatkov. Vzrok so tudi napake pri meritvah ter nepravilna opredelitev funkcije koristi.

Računanje sočasnega izračuna distribucije in izbire prometnega sredstva rešuejmo na sledeč način. Imamo D mogočih ciljev potovanj, obseg mogočih načinov potovanja pa merimo z M_d. Predpostavimo, da se bo nekdo, ki se je odločil za potovanje, odločil za cilj d ε D in način potovanja m ε $M_{d.}$ To strukturo izbire prikazuje naslednja slika.



Slika 6: Prikaz računa s pomočjo hierarhičnega modela

UMNL model

UMNL (*Utility maximizing nested logit)* model je razvil McFadden (1973) in temelji na teoriji verjetnosti. Model opisujejo sledeče enačbe:

$$P_n = P_{n/m} \times P_m \tag{3.22),}$$

$$P_{n/m} = \frac{\exp(V_n / \mu_m)}{\sum_{n' \in N_m} \exp(V_{n'} / \mu_m)} \quad (3.23).$$

$$P_m = \frac{\exp(\mu_m \Gamma_m)}{\sum_{m'=1}^{M} \exp(\mu_{m'} \Gamma_{m'})} \quad (3.24).$$

$$\Gamma_m = \ln \sum_{n' \in N_m} \exp(V_{n'} / \mu_m) \quad (3.25).$$

Enačba (3.21) predstavlja verjetnost, da bo izbran način potovanja n. V enačbi (3.22) V_n predstavlja opazovano korist, ki se spreminja s potovalnim načinom n, znotraj posamezne izbire cilja m. Enačba (3.25) pa predstavlja t.i. logaritmično vsoto. V vseh formulah μ_m predstavlja empirično določen parameter.

Vse alternative znotraj enega niza morajo biti soodnosne, kar pomeni, da mora za vrednost parametra μ_m veljati naslednja enačba:

$$0 > \mu_m < 1 \quad (3.26).$$

Vse bolj ko se μ_m približuje vrednosti nič, vse bolj so koristi v posameznem gnezdu (nest) m soodnosne.

V primeru, da v posameznem gnezdu ena sama alternativa ni soodnosna od ostalih, se hierarhični model sesuje v multinominalni logit (MNL) model. Vrednost parametra μ_m je v tem primeru enaka 1.

Daily-jev ne-normaliziran hierarhični model

Daily-jev ne-normaliziran hierarhični model (*The Daly non-normalizde nested logit model*) je alternativa UMNL (*Utility maximizing nested logit*) z izjemo, da model ne vključuje obratne vrednosti parametra logaritmične vsote v funkciji koristi v določenem gnezdu.

Definirajo ga naslednje enačbe:

$$P_n = P_{n/m} \times P_m \tag{3.27.}$$

$$P_{n/m} = \frac{\exp(V_n)}{\sum_{n' \in N_m} \exp(V_{n'})} \tag{3.28.}$$

$$P_m = \frac{\exp(\mu_m \Gamma_m)}{\sum_{m'=1}^{M} \exp(\mu_{m'} \Gamma_{m'})} \tag{3.29.}$$

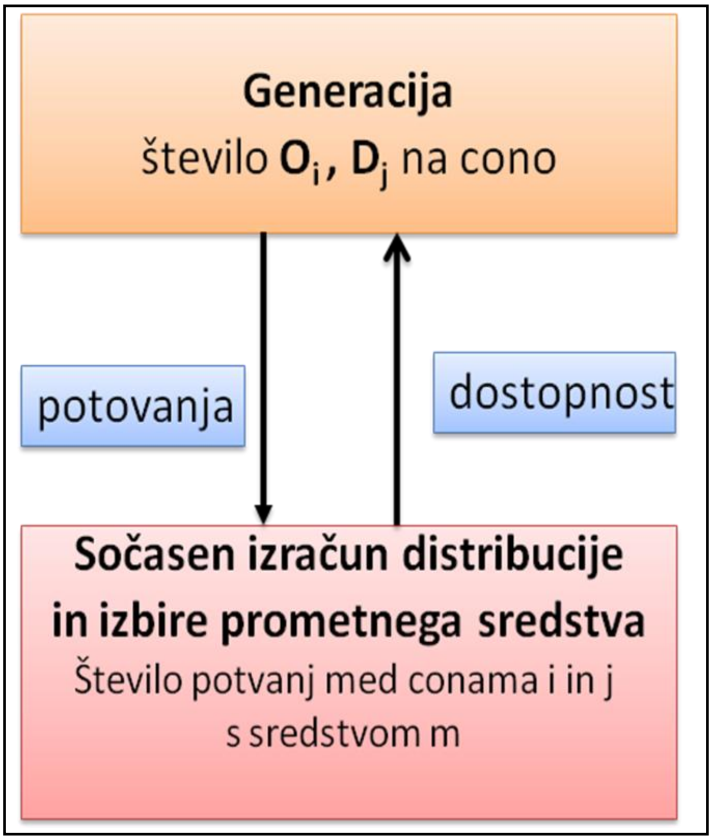
$$\Gamma_m = \ln \sum_{n' \in N_m} \exp(V_{n'}) \tag{3.30.}$$

NNNL (*The Daly non-normalizde nested logit)* model je enakovreden UMNL (The *Utility maximizing nested logit)* modelu samo kadar velja $\mu_m = \mu$ za vse m v obeh modelih. Interpretacija obnašanja NNNL (*The Daly non-normalizde nested logit)* modela temelji zgolj na logiki mejne in pogojne izbire možnosti.

3.3.2 EVA model

Model EVA je poseben primer simultanega modela pri katerem izračun prvih treh faz (generacija, distribucija, izbira prometnega sredstva) poteka sočasno. Model se je začel razvijati leta 1970. Razvil ga je dr. Dieter Lohse, profesor na univerzi v Dresdnu. Ime je sestavljeno iz prvih črk imena posameznih faz modela (**E**rzeugung – generacija, **V**erteilung – distribucija, **A**ufteilung – izbira prometnega sredstva).

Pri izračunu generacij pri EVA modelu je bistveno, da so nameni potovanj predstavljeni kot pari izvorno – ciljnih matrik oziroma skupin (dom-delo, delo-dom, prosti čas-prosti čas).
V fazi generacije uporabimo sistematične kategorije (tip gospodinjstev, aktivnosti, lastnosti oseb) za izračun produkcij, atrakcij in kapacitetnih omejitev.



Slika 7: Model EVA

Med izračuni generacij potovanj sta izvora potovanja (Q_i) in cilj potovanja (Z_j) izračunana iz relevantnih strukturnih podatkov, frekvenc in parametrov za vse pare dejavnosti.

Za sočasen (simultani) izračun generacije, distribucije in izbire prometnega sredstva model EVA uporablja 3-ali n-linearni sistem enačb z različnimi posplošenimi funkcijami generaliziranih stroškov $f(BW_{ij})$.

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} BW_{ijk} \cdot fq_i \cdot fz_j \cdot fa_k = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} V_{ijk} = Q_i \quad (3.31),$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} BW_{ijk} \cdot fq_i \cdot fz_j \cdot fa_k = \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} V_{ijk} \leq Z\max_j \quad (3.32),$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} BW_{ijk} \cdot fq_i \cdot fz_j \cdot fa_k = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} V_{ijk} = VK_k \quad (3.33),$$

kjer je:

V_{ijk} število potovanj med conama i in j s prevoznim sredstvom k.

Naknadno lahko izvorno-ciljno matriko delimo oziroma spremenimo glede na namen potovanja (dom-delo, delo-dom, dom-prosti čas, prosti čas-prosti čas). Če naprimer upoštevamo še dodatno omejitev (dom-delo), se nam zgornji sistem 3 linearnih enačb spremeni v sistem 5 linearnih enačb.

Funkcije oddaljenosti, ki so v odvisnosti od generaliziranih stroškov $f(BW_{ij})$ si ponavadi predstavljamo kot funkcije verjetnosti, ki nam povedo, kakšna je verjetnost, da bo za potovanje v cono j izbrano prevozno sredstvo k. Funkcije oddaljenosti so običajno eksponentne in jih zapišemo s sledečo enačbo:

$$f(w) = \exp(-\beta w) \quad (3.34).$$

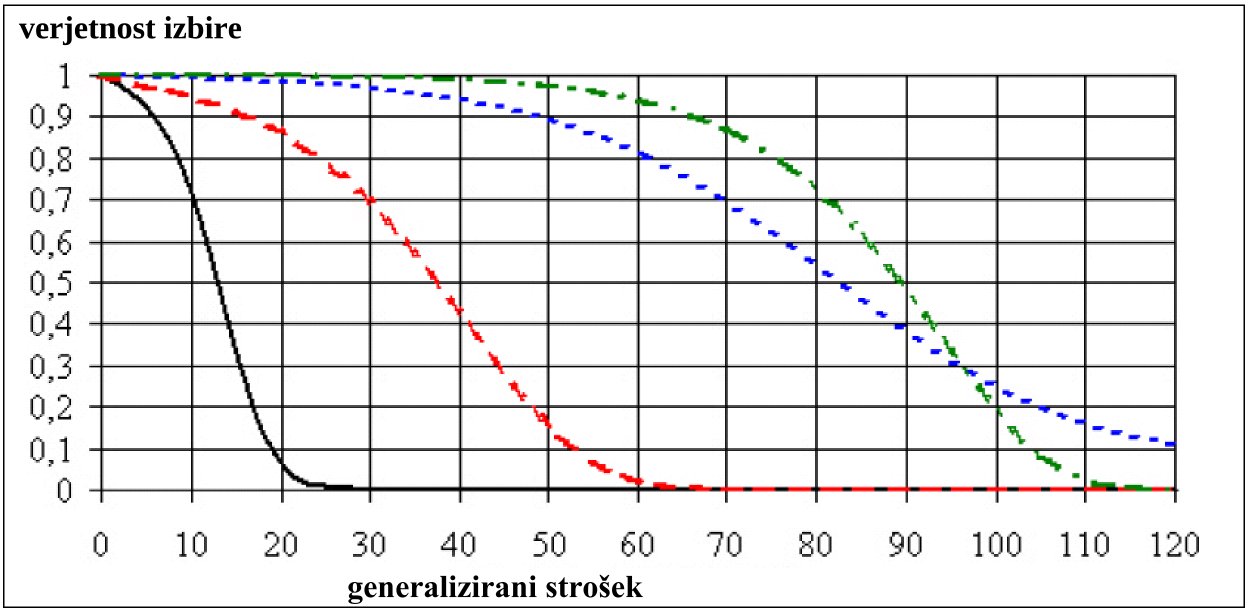
Pri EVA modelu pa je Lohse razvil posebno funkcijo imenovano funkcija odpora, ki se bolje prilagaja obnašanju potnikov in je kombinacija večih funkcij.

Osnovno funkcijo EVA opisuje sledeča enačba:

$$f(w) = (1 + w)^{-\phi(w)} \quad (3.35),$$

kjer je:

$$\Phi(w) = \frac{E}{1 + \exp(F - G \cdot w)} \quad (3.36).$$



Slika 8: Primeri obnašanja funkcije EVA za različne vrednosti parametrov E, F in G
(vir: D. Lohse: Travel demand modelling with EVA)

Prednost modela EVA je, da izračuni potekajo hitro in je zato zelo uporaben pri obravnavanju večjih študijskih območjih. Model je vgrajen tudi v številne programske pakete, ki so dostopni na trgu. Najbolj znan programski paket, ki ima vgrajen model EVA je paket PTV Vision.

4 OBREMENJEVANJE MREŽE

Tudi samo za en način potovanja (avtomobil, kolo …) pogosto obstaja več mogočih poti med startom in ciljem. Sedaj, ko imamo izračunana vsa potovanja se posvetimo obremenjevanju mreže, ki ga lahko imenujemo tudi model izbire poti (model traffic assignment). V fazi obremenjevanja prometne mreže dobimo naše končne rezultate, ki nas po navadi za neki konkretni primer tudi zanimajo. To pomeni, da kot rezultat dobimo prometne tokove, poti med posameznimi conami, zavijalce v križiščih.

Obremenjevanje mreže si najlažje predstavljamo kot model izbire poti. Ta izbira poti po navadi poteka v treh korakih. Pri prvem koraku poiščemo vse mogoče poti, ki obstajajo med posameznimi conami v našem študijskem območju. Pri drugem koraku ocenjujemo najdene poti glede na kriterije, ki jih imenujemo funkcije upora (generalizirane stroške). V zadnjem koraku pa opišemo, kako se posamezniki odločajo pri izbiri svoje poti.

Najzahtevnejši korak pri obremenjevanju mreže je prav zadnji korak, kjer moramo izbrati t. i. najboljše poti med vsemi ponujenimi možnostmi. Ta izbira je seveda odvisna od mnogih dejavnikov, med kateri so najpomembnejši potovalni časi, dolžine poti, generalizirani stroški posameznih poti, kapacitet posameznih poti …

Seveda obstaja več metod za obremenjevanje mreže. Te se med seboj razlikujejo v tem, v kolikšni meri upoštevajo dejavnike, ki vplivajo na izbiro poti.

4.1 Metoda vse ali nič

Metoda vse-ali-nič je najbolj preprosta metoda za obremenjevanje mreže, saj ne upošteva nobenih kapacitetnih omejitev. To pomeni, da si bodo vsi vozniki izbrali najkrajšo pot za svoje potovanje. S tem bodo na tej poti nastali zastoji, ki pa jih metoda vse-ali-nič ne upošteva. Postopek metode vse-ali-nič je takšen, da najprej opišemo cestno mrežo z vsemi vozlišči in povezavami. Nato za vsako cono določimo t. i. drevo najkrajših poti do vseh preostalih con. Potovanja med posameznima paroma con pripišemo na linke, ki ležijo na najkrajši poti.

Ta metoda obremenjevanja mrež nam daje dobre rezultate le, če prometne obremenitve niso tako velike, da bi lahko nastajali zastoji, ker bi vsi izbrali isto pot, in če med izvornimi ter ciljnimi conami ni veliko različnih mogočih poti. Metoda ima edino prednost v tem, da je zelo preprosta, pomembna pa je kot sestavni element drugih, kompleksnejših metod.

4.2 Obremenjevanje z upoštevanjem kapacitetnih omejitev

Vse metode z upoštevanjem kapacitetnih omejitev temeljijo na principu ravnovesja, ki ga je razvil angleški znanstvenik John Glen Wardrop leta 1952. V svojih študijah je predlagal dva principa. Prvi princip se glasi:
Ko je doseženo ravnovesje v nasičenih razmerah, se promet uredi tako, da ne more nihče zmanjšati svojih stroškov. [5]

Ker prvi princip z inženirskega pogleda na prometno ravnovesje ni bil najbolj uporaben, je predlagal drugi princip, ki se glasi:
Ko je doseženo socio-ekonomsko ravnovesje v nasičenih omrežjih, bi moral biti promet urejen tako, da so povprečni (skupni) stroški minimalni. [5]
Obstaja več metod obremenjevanja z upoštevanjem kapacitetnih omejitev. Spoznali bomo dve metodi.

Inkrementalna metoda

Kot nam že ime metode pove, gre tukaj za obremenjevanje mreže po korakih (inkrementih). Teh korakov je lahko od 3 do največ 12. V prvem koraku poiščemo najkrajše poti med posameznimi conami. Nato mrežo obremenimo z nekim odstotkom vseh potovanj (10 %) med posameznimi conami. Ko to naredimo, spet preračunamo potovalne čase med conami za druga potovanja in nato spet obremenimo mrežo z delom potovanj. To ponavljamo, dokler ne porazdelimo vseh potovanj.

Metoda je preprosta in zelo uporabna za dokazovanje mogočih zastojev ob koničnih urah. Ima pa slabost, do katere pride, če pot v prvem koraku preveč obremenimo, saj metoda ne omogoča preusmerjanja prometa z enega odseka na drugega.

Ravnovesna metoda

Ravnovesna metoda sodi v skupino interaktivnih metod. Omenjeno je bilo že, da metoda vse-ali-nič služi kot pomoč pri zahtevnejših metodah. Pri prvem koraku ravnovesne metode uporabimo metodo vse-ali-nič, da določimo najkrajše poti med posameznimi conami in da izračunamo potovalne čase. Naslednji korak je enak kot pri inkrementalni metodi, ko dodamo del potovanj (10 %) na mrežo. Toda pri ravnovesni metodi se prometne obremenitve po vsaki interakciji ne le dodajo, ampak se tudi preusmerjajo z ene poti na drugo. Ta postopek ponavljamo tako dolgo, dokler ne dosežemo želene tolerance.

4.3 Stohastično obremenjevanje

Stohastično obremenjevanje ali tudi naključno obremenjevanje pomeni, da vozniki, ki potujejo med dvema conama, izberejo različne poti, saj vsi vozniki ne poznajo enako podrobno prometnih uporov in tudi različni ljudje različno ocenjuje upor poti.

To lastnost upoštevajo t. i. stohastični oz. naključni modeli za obremenjevanje mrež. Ti predpostavljajo, da se dojemanje prometnega upora med vozniki spreminja skladno z določeno statistično verjetnostjo porazdelitvijo. Stohastični modeli se delijo na:

- statistične modele obremenjevanje mreže;
- dinamične modele obremenjevanje mreže.

Statistične modele lahko imenujemo tudi 2D-modeli. Pri statističnih modelih sta prometno povpraševanje in ponudba neodvisna od časa. Izračunani prometni tokovi se s časom ne spreminjajo oziroma so konstantni v primerno dolgem časovnem intervalu.

Dinamični modeli, imenovani tudi 3D-modeli, so nekakšna nadgradnja statističnih modelov, ki pri svojih izračunih upoštevajo še časovno komponento. S tem poleg izbire možnosti različnih poti dobimo še možnost izbire časa začetka potovanja. Prednost dinamičnih modelov obremenjevanja mreže je ta, da se promet razporeja prostorsko in časovno. S tem se naši izračuni veliko bolj ujemajo z realnimi razmerami.

5 PRAKTIČNI PRIMER

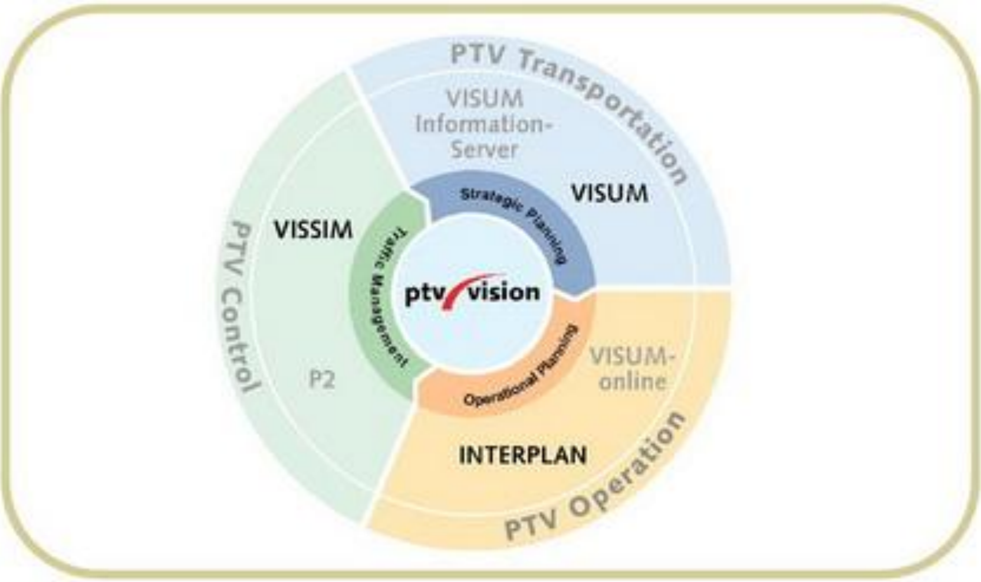
5.1 Programsko orodje PTV Vision

Ker sta računalniška tehnika in programska oprema tako napredovali, se skoraj ne da narediti nobene prometne študije brez uporabe računalnika. Tudi sam sem se ga poslužil pri izdelavi svoje diplomske naloge.

Na trgu obstaja veliko programskih paketov za izdelovanje prometnih modelov. Med seboj se razlikujejo v uporabi različnih uporabljenih metod in faz prometnega modeliranja. Pri izdelavi diplomske naloge sem uporabljal programsko orodje PTV Vison, ki je last nemškega proizvajalca PTV AG, katerega zastopnik za Slovenijo je družba Appia (vir: www.appia.si).

Programski paket PTV Vision se uporablja za prometno načrtovanje, dimenzioniranje križišč, izdelavo krmilnih diagramov. Programsko orodje je zasnovano tako, da nam omogoča izvedbo optimizacije poljubnega prometnega omrežja, z namenom prihraniti čas in zmanjšati izgube, ki nastajajo zaradi zastojev v prometu. Prav tako se orodje izkaže kot nenadomestljiv pripomoček pri optimizaciji javnega transporta (vozni redi avtobusov, optimizacija lokacij postajališč ...). (vir: www.appia.si)

Program omogoča delo na projektih državne in tudi lokalne velikosti omrežja. Prednost pred drugimi podobnimi orodji se kaže v popolni združljivosti osebnega in javnega transporta, omogoča "on-line" dostop do podatkov in upravljanje z njimi (pregled trenutnih prometnih obremenitev na daljavo, vodenje prometnih tokov ...). (vir: www.appia.si)

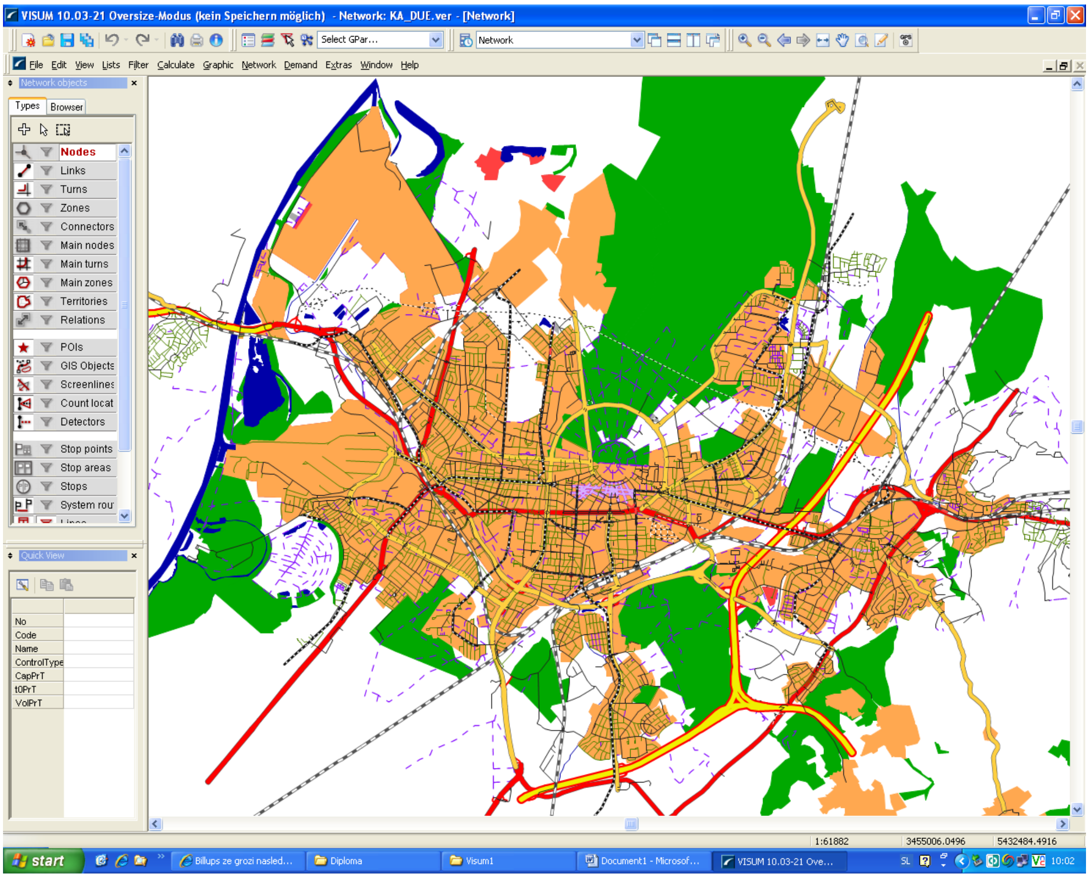


Slika 9: Moduli programskega paketa PTV Vision (vir: www.appia.si)

Na zgornji sliki vidimo, da je programski paket PTV Vision glede na namen obdelave razdeljen na tri modele (strateški, operativni, mikroskopski). Strateški moduli so namenjeni za izračun povpraševanja in obremenjevanja mreže. Moduli so trije. Operativni modeli pokrivajo področje operativnega vodenja prometa, kot so: vodenje prometa v času obvozov in različnih prireditev, optimizacija voznih redov mestnih avtobusov ipd. Zadnji modeli pa so t. i. mikrosimulacija in programi za krmiljenje signalnih naprav. Ti modeli so namenjeni prikazu realnih in prihodnjih razmer v prometu.

Moduli za povpraševanje so trije. Osnovni je Visum, ki služi kot pripomoček za izdelavo OD-matrik. Generacijo prometnih tokov tvorimo na podlagi dejanskih poti, ki jih uporabniki opravijo v karakterističnem delovnem dnevu. Poleg generacije in distribucije prometnih tokov je modulu lahko dodan tudi modul MULLI, ki uporabniku omogoča izvajanje matematičnih operacij nad matrikami. Ima tudi možnost uporabe t.i. disagregiranega modela verige aktivnosti.

Visum je informacijsko planersko orodje za analizo in napovedi potovanj. V programskem orodju so združeni planerski vidiki za osebni in javni transport. Spekter uporabe se razteza od strateškega planiranja prometnega omrežja večjega merila do operativnega načrtovanja prometnega omrežja manjšega merila. Praktično neomejeni zemljepisno-informacijski podatki, ki so na voljo za celotno evropsko prometno omrežje in veliko število dodatnih orodij, omogočajo uporabnikom izdelavo kakovostnega informacijskega sistema. Upoštevajoč navedeno ne preseneča, da je Visum vodilno orodje na svojem področju, tj. v Evropi in Sloveniji, ki poleg naštetega uporabniku nudi tudi prijazno delovno okolje. Visum uporablja klasični agregirani model in za obremenjevanje cestne mreže ponuja naslednje metode: vse-ali-nič, inkrementalno obremenjevanje, ravnovesno metodo, stohastično obremenjevanje (statično in dinamično). Visum lahko hkrati obremenjujemo z več različnimi prometnimi sredstvi – t. i. multimodalno obremenjevanje. (vir: www.appia.si)



Slika 10: Delovno okno programa Visum

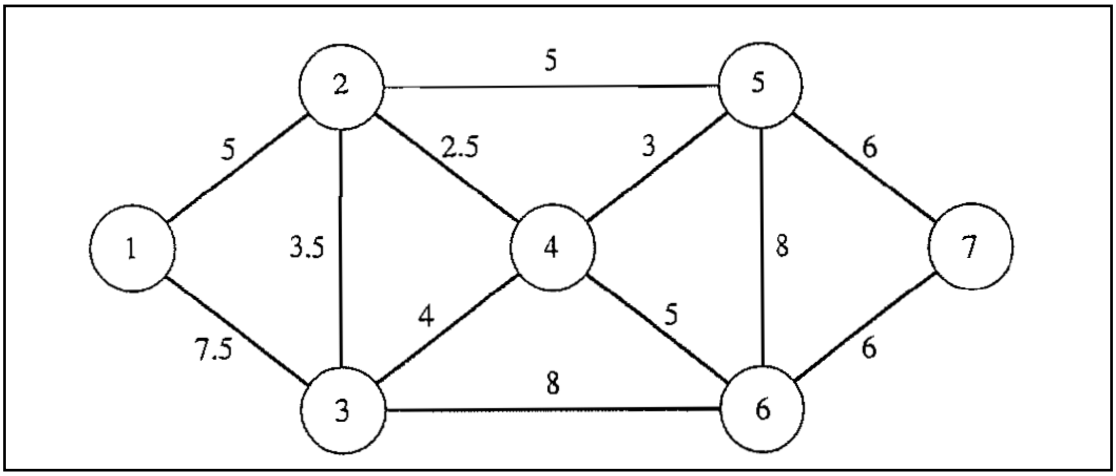
5.2 Praktičen primer

V praktičnem primeru moje diplomske naloge sem se posvetil primerjavi med zaporednim in simultanim modelom distribucije in izbire prometnega sredstva. Pri zaporednih modelih se vsaka faza modela (generacija, distribucija, izbira prometnega sredstva, obremenjevanje) računa posebej, medtem ko gre pri simultanih modelih načrtovanja za sočasni izračun faz distribucije in izbire prometnega sredstva.

Primerjavo sem naredil na enostavnem primeru študijskega območja, ki je obsegalo 7 con (Preglednica 3), ki so bile med seboj povezane, kot prikazuje slika 11. Na sliki so podani tudi potovalni časi med posameznimi conami, če potnik potuje z osebnim avtomobilom.

Preglednica 3: Osnovni podatki o conah

	št. zaposlenih	Št.delovnih mest
1	780	66
2	3450	397
3	711	65
4	4000	270
5	1010	120
6	3200	60
7	818	120



Slika 11: Potovalni časi med conami

Zaporedni model

Generacija potovanj

V praktičnem primeru sem se omejil zgolj na potovanja dom-služba. Produkcije in atrakcije sem izračunal z uporabo naslednje odvisnosti:

$$P_i = 1.7 * zaposleni \qquad (5.1).$$

$$A_j = 3.4 * dm \qquad (5.2).$$

Distribucija potovanj

Distribucije potovanj sem izračunal s pomočjo gravitacijskega modela. Za funkcijo upora sem uporabil

$$f(u) = e^{-2} \qquad (5.3).$$

Izbira prometnega sredstva

Izbiro prometnega sredstva sem izračunal z uporabo logit modela.

$$P_{oa=\frac{e^{-2t_{oa}}}{e^{-2t_{oa}+e^{-2t_{bus}}}}} \qquad (5.4).$$

Obremenjevanje mreže

Za obremenjevanje mreže sem uporabil metodo vse-ali- nič.

Simultani model

Generacija potovanj

V praktičnem primeru sem se omejil zgolj na potovanja dom-služba. Produkcije in atrakcije sem izračunal z uporabo naslednje odvisnosti:

$$P_i = 1.7 * zaposleni \quad (5.5).$$

$$A_j = 3.4 * dm \quad (5.6).$$

Distribucija potovanj in izbira prometnega sredstva

Za simultani izračun sem uporabil model EVA, ki omogoča sočasen izračun distribucije in izbire prometnega sredstva. Za uteževanje sem uporabil logit funkcijo

$$f(u) = e^{-2} \quad (5.7).$$

Obremenjevanje mreže

Za obremenjevanje mreže sem uporabil metodo vse-ali- nič.

Primerjava rezultatov

Pri primerjavi je najprej narejena primerjava matrik osebnih vozil za zaporedni in simultani model in komentar rezultatov. Nato pa še primerjava matrik javnega prometa in komentar rezultat.

Na koncu pa je narejena še primerjava rezultatov obremenjevanja mreže

Primerjava matrik

Osebna vozila

Preglednica 4: Rezultati zaporednega modela za osebna vozila

Cone			1	2	3	4	5	6	7
		23574,56							
	23575	Vsota	1418	8528	1384	5778	2577	1295	2596
1		1317	0	1304	9	4	0	0	0
2		5826	1401	0	1068	3350	7	0	0
3		1194	9	1027	0	158	0	0	0
4		6738	8	6124	300	0	288	19	0
5		1690	0	58	1	1365	0	195	71
6		5420	0	14	5	900	1976	0	2525
7		1389	0	0	0	3	306	1080	0

Preglednica 5: Rezultati simultanega modela za osebna vozila

Cone			1	2	3	4	5	6	7
		23575							
	23575	Vsota	1380	8547	1386	5785	2580	1298	2599
1		1317	0	1305	8	4	0	0	0
2		5826	1365	0	1076	3378	7	0	0
3		1194	9	1030	0	155	0	0	0
4		6739	7	6137	295	0	281	18	0
5		1690	0	61	1	1359	0	198	71
6		5420	0	15	5	886	1987	0	2527
7		1389	0	0	0	2	305	1082	0

Preglednica 6: Primerjava rezultatov med zaporedni in simultanim modelom za osebna vozila

Cone			1	2	3	4	5	6	7
	1		1,03	1	1	1	1	1	1
1		1	0	1	1,06	1,07	1,04	1,04	1,04
2		1	1,03	0	0,99	0,99	0,97	0,97	0,98
3		1	1,09	1	0	1,01	1,04	1,03	1,04
4		1	1,1	1	1,02	0	1,02	1,03	1,04
5		1	1,06	0,96	1,02	1	0	0,99	1
6		1	1,06	0,97	1,02	1,02	0,99	0	1
7		1	1,06	0,97	1,03	1,03	1	1	0

Vidimo, da je največje odstopanje 10%.

Preglednica 7: Analiza rezultatov za osebna vozila

Multiple R	0,999979
R-kvadrat	0,999958
Povprečni R - kvadrat	0,999957
Standardna napaka	7,220152
Opazovanja	49

Koeficient R^2 je skoraj enak 1, kar kaže odlično ujemanje rezulatov obeh modelov.

Javni promet

Preglednica 8: Rezultati zaporednega modela za javni promet

Cone		173							
	173	Vsota	10	57	22	61	19	2	1
1		9	0	9	0	0	0	0	0
2		39	9	0	7	23	0	0	0
3		15	0	7	0	8	0	0	0
4		62	0	41	15	0	5	0	0
5		27	0	0	0	25	0	1	0
6		20	0	0	0	6	13	0	1
7		1	0	0	0	0	1	0	0

Preglednica 9: Rezultati simultanega modela za javni promet

Cone			1	2	3	4	5	6	7
		172							
	172	Vsota	9	57	22	61	19	2	1
1		9	0	9	0	0	0	0	0
2		39	9	0	7	23	0	0	0
3		15	0	7	0	8	0	0	0
4		61	0	41	15	0	5	0	0
5		27	0	0	0	25	0	1	0
6		20	0	0	0	6	13	0	1
7		1	0	0	0	0	1	0	0

Preglednica 10: Primerjava rezultatov med zaporednim in simultanim modelom za javni promet

Cone			1	2	3	4	5	6	7
	1	Vsota	1,03	1	1,01	1	1	0,99	1
1		1	0	1	1,06	1,07	1,04	1,04	1,04
2		1	1,03	0	0,99	0,99	0,97	0,97	0,98
3		1,01	1,09	1	0	1,01	1,04	1,03	1,04
4		1	1,1	1	1,02	0	1,02	1,03	1,04
5		1	1,06	0,96	1,02	1	0	0,99	1
6		1	1,06	0,97	1,02	1,02	0,99	0	1
7		1	1,06	0,97	1,03	1,03	1	1	0

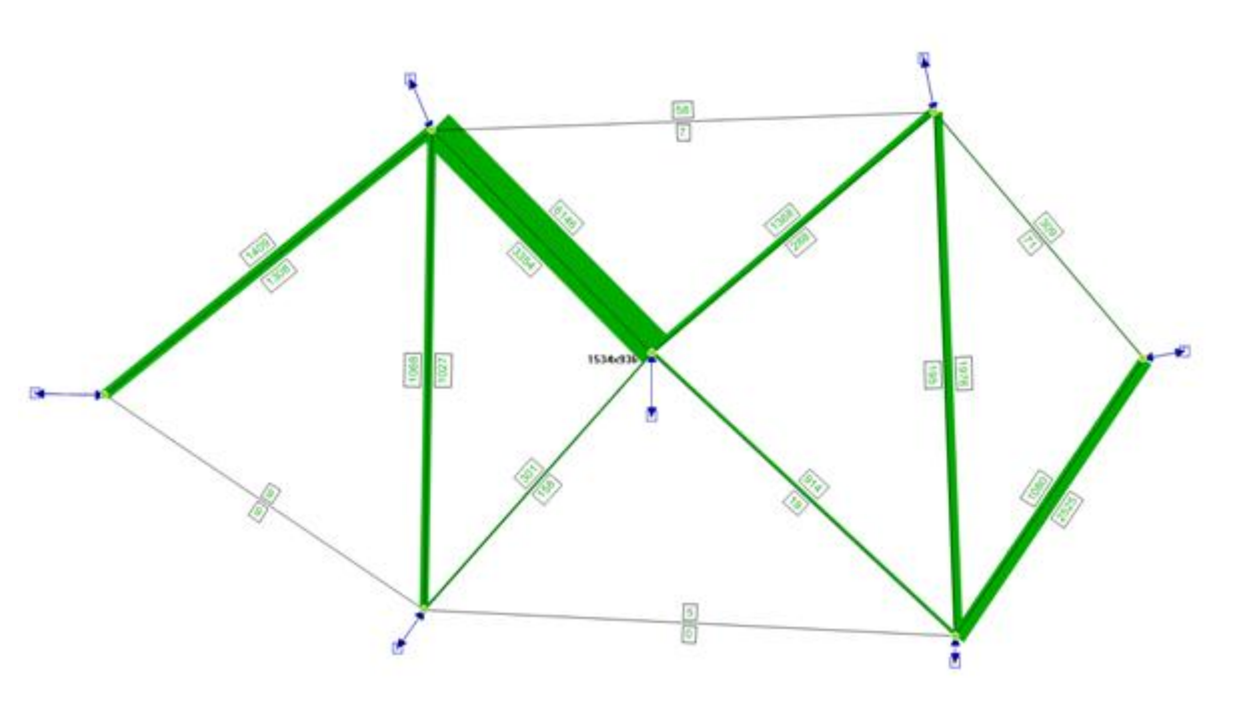
Vidimo, da je največje odstopanje 10%

Preglednica 11: Analiza rezultatov za javni promet

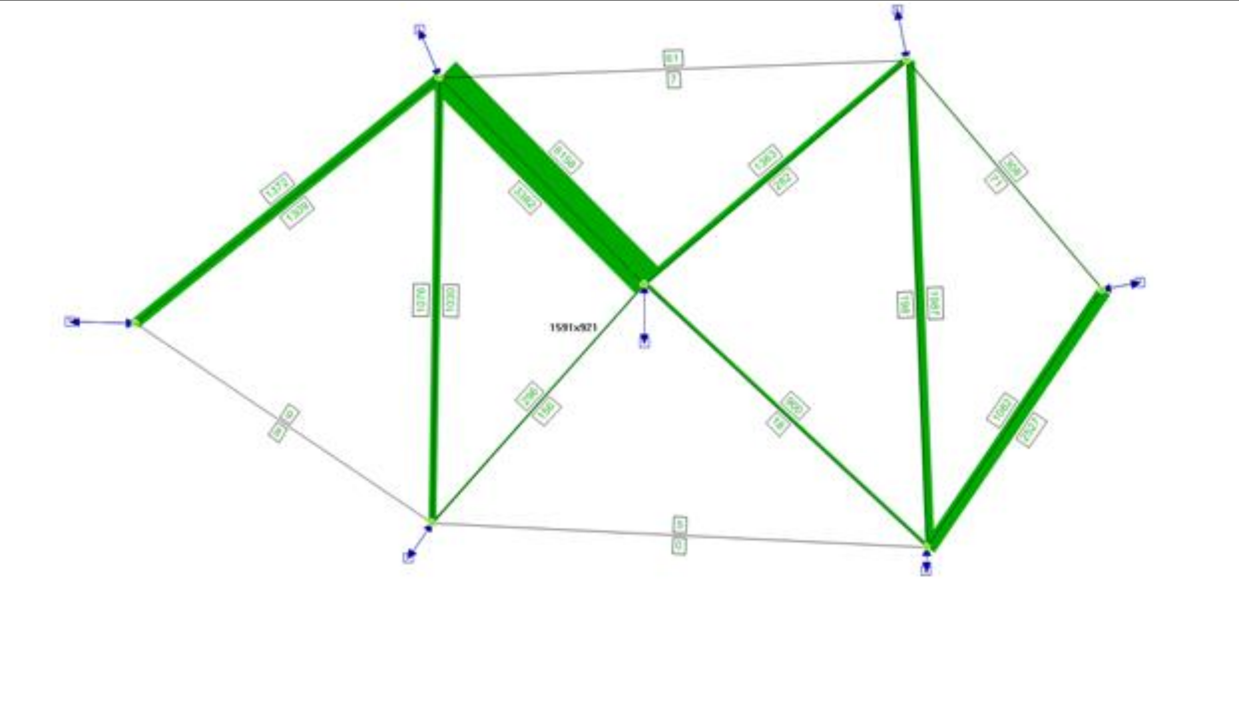
Analiza rezultatov	
Multiple R	0,999966
R-kvadrat	0,999932
Povprečni R - kvadrat	0,999931
Standardna napaka	0,066164
Opazovanja	49

Koeficient R^2 je skoraj enak 1, kar kaže odlično ujemanje rezulatov obeh modelov.

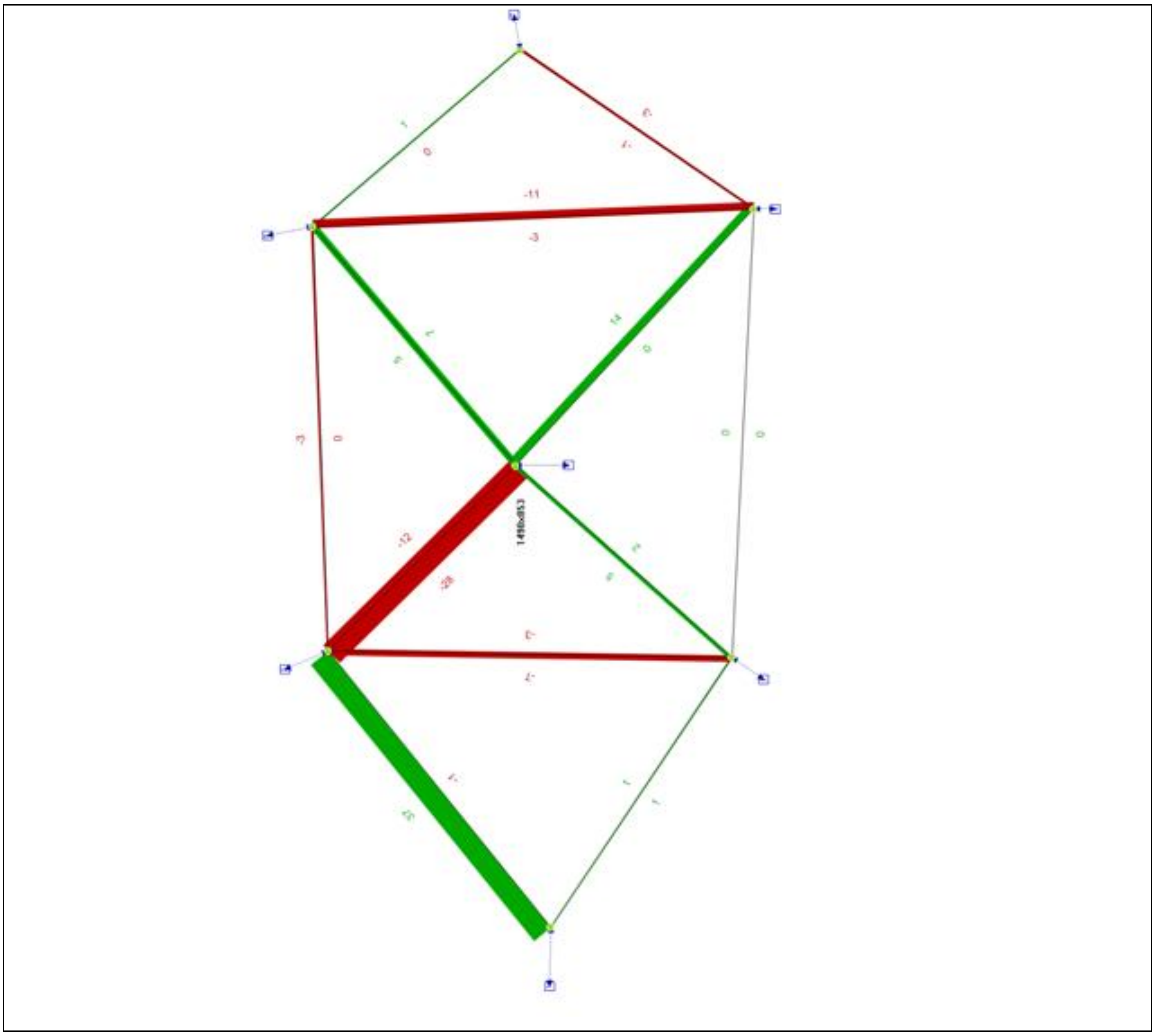
Primerjava rezultatov obremenjevanja



Slika 12: Rezultati zaporednega izračuna obremenjevanja mreže



Slika 13: Rezultati simultanega izračuna obremenjevanja mreže



Slika 14: Primerjava med zaporedni in simultanim izračunom obremenjevanja mreže

Preglednica 12: Razlika med zaporedni in simultanim modelom pri obremenjevanju

	zaporedni		simultani		GEH	
link	osebna	jp	osebna	jp	osebna	jp
1	1308	9	1309	9	0,027645	0
1	1409	9	1372	9	0,992239	0
2	9	0	8	0	0,342997	0
2	9	0	9	0	0	0
3	1068	7	1076	7	0,244339	0
3	1027	7	1030	7	0,093545	0
4	158	8	156	8	0,159617	0
4	301	15	296	15	0,2894	0
5	3354	23	3382	23	0,482472	0
5	6146	41	6158	41	0,152994	0
6	7	0	7	0	0	0
6	58	0	61	0	0,388922	0
7	0	0	0	0	0	0
7	5	0	5	0	0	0
8	288	5	282	5	0,355409	0
8	1368	25	1363	25	0,135308	0
9	19	0	18	0	0,232495	0
9	914	6	900	6	0,464862	0
10	195	1	198	1	0,214013	0
10	1976	13	1987	13	0,247113	0
11	2525	1	2527	1	0,039794	0
11	1080	0	1082	0	0,06083	0
12	71	0	71	0	0	0
12	309	1	308	1	0,056934	0

Primerjava rezultatov obremenjevanja kaže, da so razlike zelo majhne. Zahteve priročnika DMRB so, da je GEH manjši od 5 v 85% odsekov, pri nas je ta zahteva daleč izpolnjena na vseh odsekih.

6 ZAKLJUČEK

Izbira prevoznega sredstva je najverjetneje eden najpomembnejših klasičnih modelov pri načrtovanju transporta. Do tega pride zaradi ključne vloge, ki jo javni transport igra pri načrtovanju transportne politike. Javni transport skoraj brez izjeme bolje izkorišča zmogljivosti cest kot osebni. Nadalje podzemni in drugi modeli, ki temeljijo na železnici, ne zahtevajo dodatnega prostora na cestah (čeprav včasih lahko potrebujejo kakšno obliko rezerve) in zato ne prispevajo k zastojem. Če bi nekatere voznike uspeli prepričati o uporabi javnega transporta, bi drugi vozniki pridobili zaradi izboljšanih storitev, ki bi jih bilo mogoče nuditi ob zmanjšanju prometa. Malo verjetno je, da bi lahko vsem lastnikom avtomobilov omogočili parkiranje v mestnih predelih, ne da bi žrtvovali velike industrijske površine za ceste in parkirišča.

Vprašanje izbire prometnega sredstva je zato verjetno največji dejavnik pri načrtovanju prometa in transportne politike. Zadeva glavnino sredstev, s katerimi se prevažamo v mestnih predelih, količino urbanega prostora, namenjenega prometu, in končno obseg možnosti, ki je na voljo potnikom. Vprašanje je enako pomembno v medmestnem transportu, saj železnice lahko ponudijo učinkovitejši način transporta (v smislu porabljenih sredstev, vključno s prostorom), čeprav se pojavlja tudi smernica, s katero bi se povečal transport po cestah.

Pomembno je, da se razvijejo in uporabljajo modeli, ki upoštevajo tiste lastnosti potovanja, ki vplivajo na posameznikovo izbiro prevoznega sredstva.

Ugotovil sem, da se analiza diskretnih izbir uporablja, ko se posameznik sooči s situacijo, v kateri mora izbirati med številnimi medsebojno specializiranimi možnostmi. Multinominalni logit (MNL) model (McFaden, 1973), je najbolj pogosto uporabljen model diskretne izbire, ki temelji na principih maksimizacije uporabnosti. Njegova prednost je enostavna matematična struktura in preprosto ocenjevanje. Njegova slabost pa je, da morajo vse alternative biti neodvisne, saj v nasprotnem primeru dobimo napačne rezultate ter, da bo imelo uvajanje nove ali izboljšanje alternative enak sorazmeren učinek na vse ostale alternative. Najbolj znana sprostitev multinominalnega logit (MNL) modela je »nested« (NL) ali hierarhični (HL) logit model, ki dovoljuje medsebojno odvisnost med pari alternativ v istem gnezdu. V tem primeru je postopek izbire razdeljen na več faz oziroma gnezd. Ko pa pride do tega, da v posameznem gnezdu ena sama alternativa ni soodnosna od ostalih, se model poenostavi v multinominalni logit (MNL) model.

Zaključim lahko, da imajo v literaturi modeli postopnega izbora oz. zaporedni modeli prednost pred simultanimi modeli. Preizkus obeh modelov na praktičnem primeru pa kaže, da sta oba pristopa precej enakovredna. Razlike v rezultatih so majhne in znotraj običajno predpisanih toleranc. Seveda pa sprejemanje dokončnih odločitev zgolj na enem primeru ni sprejemljivo, zato je potrebno problematiko še podrobneje preučiti.

VIRI

Rotar, H. 2004. Napovedovanje prometnih obremenitev v urbanih območjih. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Immers, Traffic Demand Modelling, Heverlee, 1998

Schiller, C. EVA a Travel Demand Model and its Application, Dresden University of Technology

APPIA d.o.o.
www.appia.si (10.4.2009)

Pretnar, G. 2004. Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

PTV AG: VISUM user manual 9.3, 2005

PTV AG: VISUM 10 Quickstart, 2008

Wikipedia.org
http://en.wikipedia.org/wiki/John_Glen_Wardrop (25.3.2009)

Koželj, Ž. 2007. Metode zbiranja podatkov za potrebe napovedovanja prometne obremenitve. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

D. Lohse: Travel demand modelling with EVA

Rijavec, R., Marseti_, R. 2006. Preusmerjanje avtocestnega prometa. Prispevek na 8. Slovenskem kongresz o cestah in prometu, Portorož
http://www.drc.si (10.4.2009)

Koppelman, F., Wen, C. Alternative nested logit models: structure, properties and estimation, Deparment of Civil Engeniring and Transportation Center, Illinosis, 1997

Žura, M. 2007. Prometno planiranje, Ljubljana, zapiski s predavanj