

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

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



Univerzitetni študij gradbeništva,
Prometna smer

Kandidat:

Janez Auser

**ANALIZA PROGRAMSKEGA VMESNIKA
ZA IZMENJAVO PODATKOV POD
MIKROSKOPSKIM IN MAKROSKOPSKIM
PROMETNIM MODELOM**

Diplomska naloga št.: 3104

Mentor:
doc. dr. Marijan Žura

Somentor:
asist. mag. Robert Rijavec

Ljubljana, 2010

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **JANEZ AUSER** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»ANALIZA PROGRAMSKEGA VMESNIKA ZA IZMENJAVO PODATKOV MED
MIKROSKOPSKIM IN MAKROSKOPSKIM PROMETNIM MODELOM«**

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

Ljubljana, 8. marec 2010

.....

(podpis)

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil mentorju doc. dr. Marijanu Žuri, somentorju asist. mag. Robertu Rijavcu, mag. Roku Marsetiču in Simonu Detellbachu za vse nasvete in vodenje pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi svojim najbližjim za vztrajnost in potrpežljivost med študijem.

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 004.42:519.61/.64:65.012.2:656(043.2)
Avtor: Janez Auser
Mentor: doc. dr. Marijan Žura
Somentor: asist. mag. Robert Rijavec
Naslov: Analiza programskega vmesnika za izmenjavo podatkov med
mikroskopskim in makroskopskim prometnim modelom
Obseg in oprema: 70 str., 8 pregl., 22 sl.

Ključne besede: prometno planiranje, mikroskopski prometni model, makroskopski
prometni model, programski vmesnik

Izveček:

Planiranje in upravljanje prometa dobiva vse večji pomen, zato so predstavljene osnovne prometnega planiranja. Sočasno se razvijajo orodja za napoved, upravljanje in simuliranje prometa. Na voljo je mnogo programskih paketov, tako smo mnogokrat postavljeni pred izbiro, za kateri programski paket bi se odločili, da bo ustrezen za reševanje naše naloge, hkrati pa tudi cenovno sprejemljiv, razpoznaven, uporabniku enostaven za uporabo. V nalogi so predstavljene različne skupine programskih orodij.

Namen naloge je analizirati delovanje programskega vmesnika za izmenjavo podatkov med dvema modeloma, ki promet obravnavata na različnih nivojih – makroskopskem in mikroskopskem.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:519.61/.64:65.012.2:656(043.2)
Author: Janez Auser
Supervisor: assist. prof. dr. Marijan Žura
Co-supervisor: mag. Robert Rijavec
Title: Analysis of software interface for data exchange between
microscopic and macroscopic traffic model
Notes: 70 p., 8 tab., 22 fig.
Key words: transportation planning, microscopic traffic model, macroscopic
traffic model, software interface

Abstract:

Planning and traffic management is becoming more and more important, that is why the basics of transport planning are presented. At the same time is also ongoing development of tools for predicting, managing and simulating traffic. There is a lot of software packages, so we are often confronted with a choice of which software package would be appropriate to address our project, while it is also affordable, identifiable, clear-to-use. In this work are also presented different groups of software tools.

The purpose of the present work is to analyze the functioning of the software interface for data exchange between the two models, which deal with traffic at different levels: macroscopic and microscopic.

KAZALO

1	UVOD	1
2	PROMETNO PLANIRANJE.....	3
2.1	Kaj je prometno planiranje?	3
2.2	Analiza transportnega sistema	7
2.3	Ponudba in povpraševanje iz vidika prometnega planiranja.....	11
3	ORODJA ZA ANALIZO PROMETA.....	14
3.1	Razvrstitev orodij za analizo prometa.....	14
3.2	Smernice za izbiro nalogi primernega prometnega orodja	16
3.3	Modeliranje in simulacija	20
3.3.1	Kaj je modeliranje?	20
3.3.2	Kaj je simulacija?	21
3.3.3	Simulacije za prometne analize	21
3.4	Makroskopski modeli	24
3.4.1	Model prometnega povpraševanja (<i>Traffic Demand Model</i>)	25
3.4.1.1	Struktura modela prometnega povpraševanja	26
3.4.1.2	Teorija diskretnih odločitev.....	28
3.4.1.3	Cone (področja/območja) in mreža.....	29
3.4.1.1	Generacija prometa (produkcije in atrakcije).....	30
3.4.1.2	Distribucija.....	33
3.4.1.3	Izbira prometnega sredstva	34
3.4.1.4	Obremenjevanje prometne mreže.....	35
3.4.2	VISSUM (PTV AG)	37
3.4.3	Synchro (TrafficWare).....	41
3.5	Mikroskopski modeli.....	43
3.5.1	SimTraffic (TrafficWare)	44
3.5.2	VISSIM (PTV AG)	45
3.5.3	Primerjava VISSIM – Synchro	46
4	PROGRAMSKI VMESNIK ZA IZMENJAVO PODATKOV	50

4.1	Praktična uporaba vmesnika in ugotovitve	54
4.1.1	Link	55
4.1.2	Križišča različnih oblik.....	56
4.1.2.1	Križišča s tremi kraki	56
4.1.2.2	Križišča s štirimi kraki	57
4.1.2.3	Križišči s petimi kraki.....	58
4.1.2.4	Izven nivojsko križišče z različnimi rešitvami.....	59
4.1.2.5	Krožno križišče.....	60
4.1.3	Različna prometna signalizacija	61
4.1.4	Mreža.....	63
4.2	Zbrane ugotovitve o delovanju	64
5	ZAKLJUČEK.....	66
6	VIRI IN LITERATURA.....	68
6.1	Uporabljeni viri	68
6.2	Ostali viri	69

KAZALO SLIK

Slika 1: Smernice za reševanje prometnih strategij (vir: Transport Analysis Guidance (TAG), Department for transport, 2005)	6
Slika 2: Delovanje transportnega sistema v odvisnosti od sistema dejavnosti (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	9
Slika 3: Zasnova napovednega modela z opisom (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	10
Slika 4: Ponudba in povpraševanje obstoječe in izboljšane transportnega sistema v odvisnosti od prometnih volumnov in nivoja uslug (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	12
Slika 5: Število izdelanih variant pada z večanjem nivoja podrobnosti (vir: An Introduction to Urban Travel Demand Forecasting, 1977).....	23
Slika 6: Primernost orodja glede na obseg modela in stopnjo podrobnosti modela (vir: Highway Capacity Manual 2000, 2000).....	23
Slika 7: Shematski prikaz EVA modela (vir: Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja, 2004).....	25
Slika 8: Struktura modela prometnega povpraševanja (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	27
Slika 9: Izvozno – ciljna matrika – O(rigin) D(estination) table (Vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	33
Slika 10: Moduli programskega paketa ptv vision (vir: PTV AG: PTV VISION, http://www.ptvag.com)	38
Slika 11: Transportni model VISUM (vir: VISUM User Manual 9.3, 2005)	41
Slika 13: Primer *.csv datoteke	51
Slika 14: Shematski prikaz izdelovanja testnih primerov	53
Slika 15: Skice preizkušenih linkov	55
Slika 16: Skica mreže in križišča (križišče s tremi kraki).....	56
Slika 17: Skica mreže in križišča (križišče s štirimi kraki).....	57
Slika 18: Skica mreže in križišča (križišče s petimi kraki)	58
Slika 19: Skica mreže in skice modeliranja izven nivojskega križišča	59
Slika 20: Skica mreže in križišča (krožno križišče).....	60

Slika 21: Skica mreže in križišča z različno prometno ureditvijo, ki jo

dopušča VISUM 61

Slika 22: Skica mreže in križišč 63

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Spremenljivke neodvisnega transportnega sistema (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)	12
Preglednica 2: Pregled ustreznosti orodij za izbrane naloge (vir: Traffic Analysis Toolbox Volume II, 2004)	18
Preglednica 3: Pregled nekaterih parametrov, ki vplivajo na uporabnost in ceno prometnega orodja (vir: Traffic Analysis Toolbox Volume II, 2004)	19
Preglednica 4: Primerjava metod za analizo (vir: Synchro Studio 7, 2006)	43
Preglednica 5: Primerjava nekaterih vhodnih podatkov za VISSIM in Synchro/SimTraffic (vir: Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operations, 2002).....	47
Preglednica 6: Kazalci učinkovitosti (MOE) za VISSIM in Synchro/SimTraffic (vir: Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operations, 2002).....	47
Preglednica 7: Podatki, ki jih vsebuje posamezna *.csv datoteka (vir: Synchro Studio 7, 2006)	51
Preglednica 8: Zbrani rezultati testiranja.....	65

1 UVOD

Promet in transport predstavljata temelj ekonomiji povsod po svetu; posledično ima vsaka sprememba transportne mreže, dobra ali slaba, ekonomski vpliv. Kljub stalnim prizadevanjem za širjenje in izboljšanje prometne mreže, pa prometnemu povpraševanju, ki iz desetletja v desetletje narašča, ni zadovoljeno. Vsaka širitev ali nadgradnja prometne infrastrukture je poseg v prostor, ki pa je v naseljenih območjih in mestih že omejen. Vse bolj se zavedamo tudi dragocenosti prostora, v katerega posegamo za zadovoljitev transportnih potreb, in posledic, ki jih stalno naraščanje prometa prinaša s seboj.

Posledično planiranje in upravljanje prometa dobiva vse večji pomen. Sočasno se razvijajo tudi orodja za napoved, upravljanje in simuliranje prometa, ki jih lahko razdelimo glede na način delovanja – analitična ali simulacijska – in na nivo podrobnosti, s katerim opisujejo prometne procese (npr. mikroskopski simulacijski modeli ali makroskopski simulacijski modeli).

Analitična orodja so lahko tako statična kot dinamična, njihova glavna značilnost je izračun rezultata preko računskega postopka. Tukaj se pokaže prednost simulacijskih orodij, saj ta sledijo in prikažejo prometne procese v delovanju.

Orodja za podrobnejše modeliranje so zahtevnejša za uporabo, saj je potrebno vložiti vanje več časa, tako za osvojitve uporabe, kot tudi za postavitev in zagon prometne mreže. Pri vsem tem ni problematično samo modeliranje prometne mreže, ampak tudi zbiranje podatkov. Podroben model bolj občutljiv za spremembe, tako da je primernejši za kratkoročne napovedi. Prometnih nalog se moramo torej lotiti z ustreznim orodjem glede na željene rezultate.

Na tržišču je mnogo programskih paketov, ki služijo za reševanje prometnih nalog in s tem nastane dilema, za katerega se odločiti. Reševanje prometnih nalog je denarno in časovno omejeno, zato na odločitev ne vpliva le tehnična plat orodja, ampak tudi lastnosti samega orodja, kot so njegova razpoznavnost, težavnost uporabe, hitrost spoznavanja uporabnost, ...

Namen naloge je analizirati delovanje programskega vmesnika za izmenjavo podatkov med dvema modeloma, ki promet obravnavata na različnih nivojih – makroskopskem, kjer so vozila združena v prometne tokove in mikroskopskem, kjer so vozila obravnavana posamezno.

V uvodu diplome je predstavljeno prometno planiranje z namenom, seznanitve z delovnim področjem in problematiko, pri čemer postavim temelje za razumevanje pristopa k reševanju prometne problematike.

V drugem delu so predstavljena orodja za reševanje prometnih nalog. Ta del je zastavljen široko in opisno, s predstavitvijo široke palete orodij, ki so nam v pomoč pri delu. Opredeljena je tudi primernost uporabe orodja, glede na tip naloge, s katero se spopadamo. Poleg tega so predstavljene tudi simulacije in simulacijska orodja, ki sem jih uporabljal pri praktičnemu delu svoje naloge.

V tretjem, zadnjem delu, je predstavljen praktični del naloge. V tem delu sem analiziral programski vmesnik za izmenjavo podatkov med makroskopskim in mikroskopskim simulacijskim modelom in predstavil rezultate.

2 PROMETNO PLANIRANJE

2.1 Kaj je prometno planiranje?

Prometno planiranje zajema vse dejavnosti (široke ali specifične), ki se izvedejo pred izvedbo transportnih projektov ali ukrepov. Je eno od funkcionalnih planiranj, kot so tudi planiranje izrabe in namembnosti zemljišč, ki služijo v zdravstvene namene, izobraževalne, bivalne, ... Skupaj se združujejo v tako imenovan celovit načrt ali celostno načrtovanje, ki določa cilje in prizadevanja skupnosti in služi v obče dobro.

Izraz celostno načrtovanje (*comprehensive planning*) uporabljajo prostorski planerji pri načrtovanju uporabe zemljišč. Z načrtovanjem določijo cilje in prizadevanja družbe na nekem območju, da bi bil tej družbi omogočen čim boljši razvoj in napredovanje. Rezultat celostnega načrtovanja so ukrepi, ki vplivajo na razvoj transporta, bivalnih površin, izrabe zemljišč, ...

Prometno planiranje zajema mnogo nalog, od prepoznavanja nastalih in bodočih problemov, predložitve rešitve in ukrepov (izdelava variant) ter vrednotenja rešitev, predvsem pa skuša odgovoriti na vprašanja, kot so:

- koliko denarnih sredstev bo potrebno,
- kakšni bodo nivoji uslug,
- komu bo poverjeno upravljanje,
- razporeditev sredstev med osebnim in javnim prometom, ...

Prometno planiranje je torej obsežna panoga, ki ne zajema samo uporabo različnih programskih orodij, ampak za uspešno delovanje zahteva znanje različnih strok. Zato se od prometnih inženirjev pričakuje, da se lahko uspešno spopadejo z naslednjimi nalogami:

- upoštevanje socialnih, ekonomskih in ekoloških vidikov,
- razumevanje in upoštevanje pravnih, regulativnih in surovinskih pogojev pri delu,
- razumevanje in ustvarjanje prometnih načrtov in strategij, ki bodo zadovoljili socialnim, ekonomskim in ekološkim potrebam,
- načrtovanje potrebnih transportnih projektov, sistemov in služb,
- razumevanje komercialnih vidikov delovanja transportnih sistemov in služb,

- poznavanje in uporaba ustreznih orodij in postopkov in
- sposobnost vodstva, s poudarkom na komunikaciji, osebnih sposobnosti in vodenja projekta.

Britansko društvo za prometno planiranje (*The Transport Planning Society*, www.tps.org.uk) na svoji spletni strani gosti tudi knjižnico dokumentov, ki opisujejo zahteve, katerim mora prometno planiranje zadostiti za doseg ciljev in kako so se te zahteve razvijale skozi čas. V dokumentu *Strokovni okvir za prometno planiranje (Considerations in establishing suitable institutional arrangements for the professional activities of transport planners: A professional framework for transport planning)* avtorji navajajo več definiciji prometnega planiranja, izmed katerih sta zanimivi naslednji dve:

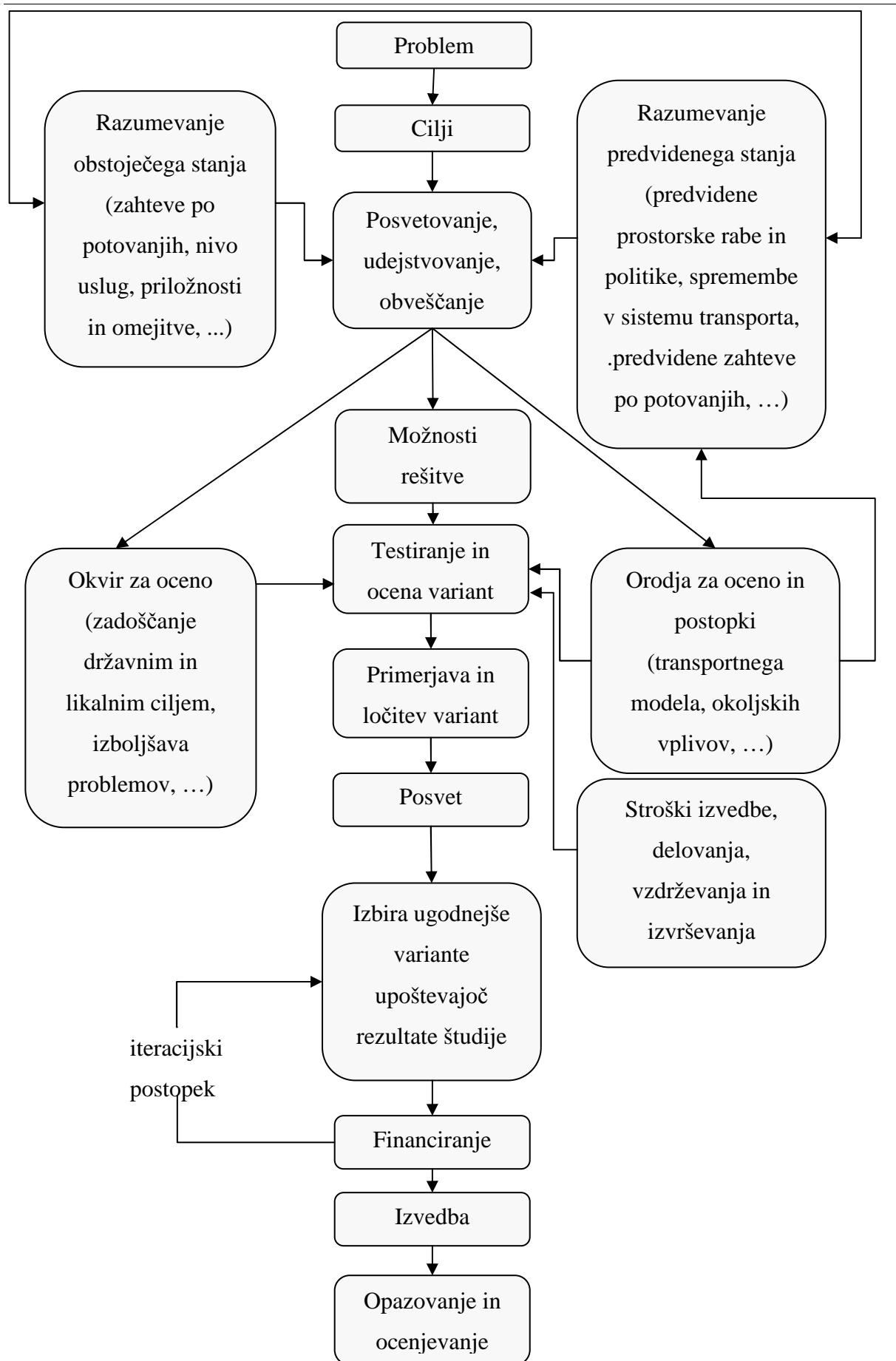
»Prometno planiranje si prizadeva poiskati optimalno kakovost, pravočasnost in razporeditev prometnih naložb v skladu z razvojem posameznih gospodarskih razvojnih ciljev.«
(Techniques of Transport Planning, Meyer, 1971)

»Prometno planiranje se ukvarja z analizo in vrednotenjem preteklih, sedanjih in bodočih problemov, povezanih s povpraševanju po transportu ljudi, blaga in informacij v okviru razvoja ekonomije, družbe in izrabe zemlje ter ustreznih prizadevanj skupnosti. Prometno planiranje je mehanizem, ki poskuša uravnorežiti potrebe po dostopnosti na eni strani in okoljske, družbene in privatne posledice transporta na drugi strani; vodi k razvoju politik in projektov, ki se lahko uporabijo v družbeno korist.«

Posodabljanje definicije pojma nakazuje na razvoj zahtevnosti področja, kakor tudi na potrebo vključevanja širšega kroga strokovnjakov; le-ti ni nujno, da izhajajo iz vrst gradbenih inženirjev.

Ena glavnih nalog prometnega planiranja je preučitev različnih scenarijev, oz. preučitev različnih variant, ki rešujejo sedanje, že nastale probleme (onesnaženje zaradi prometa, zastoji, cena prevoza, ...) in preprečujejo (ali pa vsaj omilijo) bodoče probleme, ki pa so večinoma še neznani.

Pristop k reševanju celotnega problema je prikazan na spodnji shemi. Pristop k reševanju prometnih strategij se vedno prilagaja posameznemu problemu, ki ga obravnavamo:



Slika 1: Smernice za reševanje prometnih strategij (vir: Transport Analysis Guidance (TAG), Department for transport, 2005)

Prometni problemi se lahko rešujejo z različnimi pristopi, ki jih lahko razdelimo v naslednje kategorije:

1. izboljšanje upravljanja obstoječe prometne mreže in prometnih objektov (optimiziranje obstoječega stanja z ukrepi kot so »*car pool*«, rezervirani pasovi za avtobuse, »*park & ride*«, pa tudi fleksibilnimi delovnimi časi, ki omilijo jutranjo ali popoldansko konico),
2. gradnja in razširitev prometne mreže in objektov (obvoznice, avtoceste, ...),
3. zmanjšanje potrebe po potovanju (skrajšanje potovalnih časov ali poti, krajšanje razdalje med delovnimi mesti in bivališči),
4. zvišanje stroškov prevoza (davki na osebna vozila, parkirnine, cestnine, ...),
5. nove možnosti (uvajanje novih transportnih tehnologij, delo/učenje na daljavo s pomočjo medmrežja, ...).

Seveda se za uspešno reševanje uporablja kombinacija navedenih pristopov.

Prometne študije oz. prometno modeliranje predstavlja orodje za oceno in testiranje variant. S pridobljenimi rezultati se nadalje za zastavljen primer lahko izbira bolj ugodna varianta.

Študije so lahko usmerjene na posamezni koridor, križišče, tehnologijo transporta, posamezno fazo izvedbe, lokacijo projekta, vplivno območje projekta, ...

Prometne študije so torej orodja, ki v prvi vrsti omogočajo razvijanje različnih rešitev (variant) izbrane naloge, pa tudi izbiranje in vrednotenje posameznih elementov prometnega sistema.

2.2 Analiza transportnega sistema

V današnjem svetu lahko opazujemo nenehni napredek in vse hitrejše spremembe - tako družbene kot tehnološke - ti dejavniki so pomembni za analizo transportnega sistema, saj obstaja močna povezava med transportom in družbo. Ekonomske in družbene dejavnosti so običajno prostorsko ločene dejavnosti. Enako velja za surovinska nahajališča in proizvodnjo,

ter za proizvodnjo in trgovino – transport je zahteva po obvladanju prostorske oddaljenosti, pri čemer hočemo prenesti ljudi ali blago.

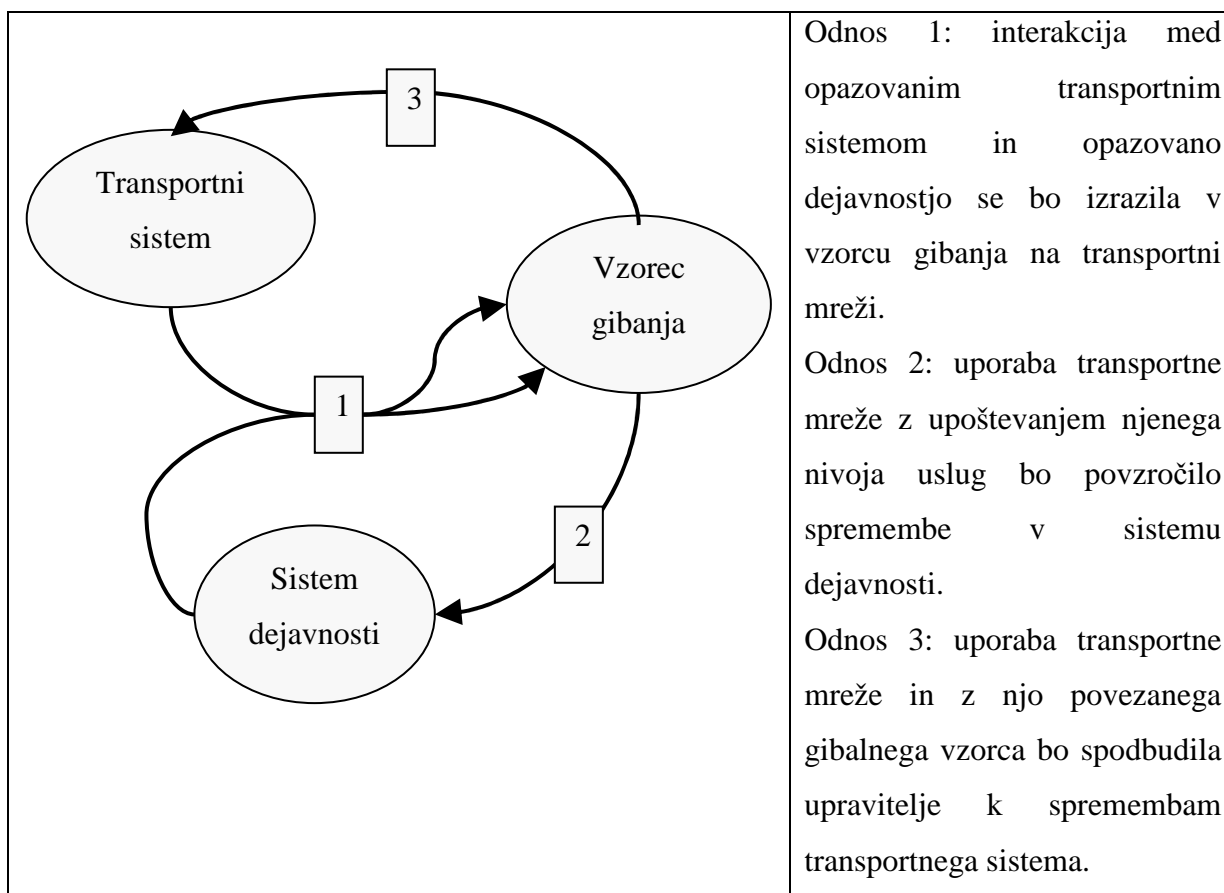
Zaradi močne povezave med družbo in transportom, velja izpostaviti tri ključne faktorje, ki značajno vplivajo na delovanje transportnega sistema:

- **potrebe in zahteve po transportu** – s tem, ko se spreminja število in struktura prebivalstva, njihovi dohodki in namen izrabe zemljišč, se spreminjajo tudi vzorci povpraševanja oz. zahteve po transportu;
- **transportna tehnologija** – nove tehnologije predstavljajo nabor novih alternativ, s katerimi lahko zelo vplivamo na transport. Poleg uvajanja mestnih vlakov in hitrih avtobusnih linij, so pomembni tudi ukrepi, ki vplivajo na izrabo in učinkovitost trenutne prometne situacije (pasovi rezervirani za več potnikov v osebni avtomobilu – *HOV (High-occupancy vehicle)*, *carpool*, cestninjenje, ...)
- **vrednostni sistem** – transportni sistem in njegove spremembe ima vplive tudi na prostor, v katerega je umeščen. Ti vplivi se lahko kažejo v pospešenem razvoju območja, ki je lažje dostopno, lahko pa neko območje stagnira ali celo nazaduje zaradi neučinkovitega transportnega sistema. Polega tega so vse bolj pomembni vplivi transportnega sistema na okolje.

Predpostavki:

- pojem *transportni sistem* se nanaša na transportne načine, mrežo, terminale, službe, itd. ; obravnavamo ga kot koherentni več-modalni sistem (oziroma *multimodalni sistem*, v katerem ima uporabnik na izbiro več prometnih sredstev);
- zaradi medsebojnih vplivov moramo transportni sistem (v prostoru, v katerega je umeščen) obravnavati v sklopu s socialnimi, ekonomskimi in političnimi vzorci v prostoru – družbene, ekonomske in politične dejavnosti zajamemo skupaj z izrazom *sistem dejavnosti*.

Sistem dejavnosti in transportni sistem sta tesno prepletena – razvoj enega sistema vpliva na razvoj drugega. Izvori in cilji potovanja, izbrane poti, število potnikov, količina blaga, ... – vse to lahko zajamemo v pojem *vzorec gibanja*.

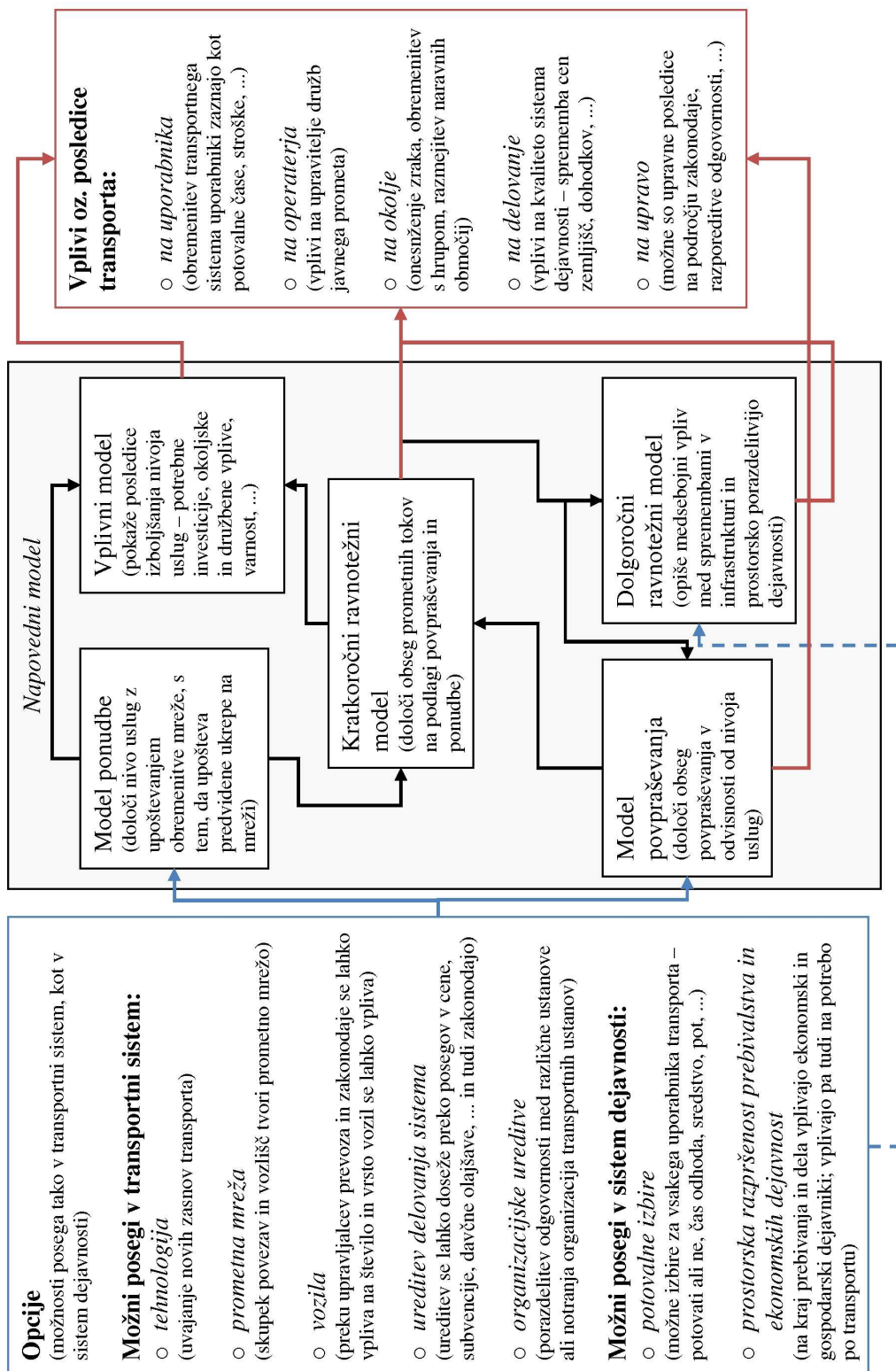


Slika 2: Delovanje transportnega sistema v odvisnosti od sistema dejavnosti (vir: *Traffic Demand Modelling, 1998*)

Sistem dejavnosti, ki vsebuje kombinacijo družbenih in ekonomskih aktivnosti (vključno s političnimi in ostalimi posvetovalno - izvršnimi dejavnostmi) predstavlja povpraševanje. Transportni sistem predstavlja ponudbo. Produkt ravnovesja med ponudbo in povpraševanjem je vzorec gibanja.

Z analizo transportnega sistema želimo poseči v samo družbo, da bi bila uporaba transportnega sistema čim bolj učinkovita in služila razvoju celotne skupnosti na obravnavanem območju. Na transportni sistem in sistem dejavnosti lahko vplivamo z dejavnostmi, ki jih zajamemo s pojmom *transportne možnosti*. Pri tem pa nas zanimajo posledice oziroma vplivi, ki jih bodo transportne možnosti povzročile – za to uporabimo *napovedni model*. Na eni strani imamo torej transportne možnosti, ki med svojim delovanjem

povzročijo transportne vplive; le-te želimo napovedati, za kar potrebujemo ustrezne napovedne modele.



Slika 3: Zasnova napovednega modela z opisom (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)

Prikazana zasnova modela je še vedno preveč splošna za uporabo, vendar služi kot osnova za razumevanje poteka analize prometa. Klasični model prometnega povpraševanja (*traditional traffic demand model*) lahko umestimo v prikazani model:

- model povpraševanja predstavlja model produkcij/atrakcij (generacije potovanj), model distribucije in model izbire prometnega sredstva,
- model ponudbe se izraža s tako imenovanimi funkcijami izgube časa, ki predstavljajo razmerje med potovalnimi časi in prometnimi volumni,
- kratkoročni ravnotežni modeli se uporabljajo v modelih obremenjevanja prometne mreže,
- dolgoročni ravnotežni modeli, ki prikazujejo vpliv prometnih tokov na sistem dejavnosti, so pogosto uporabljeni v napovedih, ki izračunajo posledice transportnega sistema zaradi mogočih bodočih družbeno ekonomskih sprememb (malo uporabljeno v praksi) in
- vplivni modeli, ki izračunajo vplive prometa na onesnaženost zraka, nivo hrupa in varnost.

2.3 Ponudba in povpraševanje iz vidika prometnega planiranja

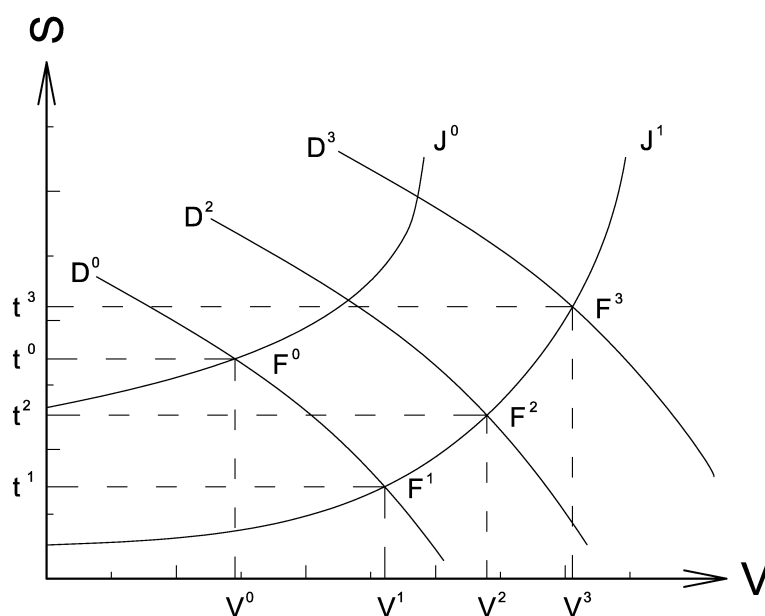
Za predstavitev prometnega sistema moramo modelirati dve med seboj sodelujoči strani – *ponudbo* in *povpraševanje*. V prometnem sistemu predstavlja ponudbo prometna mreža (ceste in križišča) skupaj z delovanjem in upravljanjem (hitrostne omejitve, semaforji, prometno aktivni znaki, ...). Povpraševanje pa predstavljajo uporabniki oz. potniki v prometnem sistemu in njihovo obnašanje – kam, kdaj in kako bodo potovali. Uporabnik, ki želi uporabiti prometni sistem, predstavlja povpraševanje; prometni sistem, sestavljen iz prometne infrastrukture, pa predstavlja ponudbo, ki omogoči promet od ene točke do druge.

Delovanje transportnega trga, ki deluje samostojno (neodvisno od ostalih trgov), opišemo z naslednjimi spremenljivkami in soodvisnostmi (funkcijami):

	<i>Spremenljivke</i>		<i>Soodvisnosti</i>
T	transportni sistem	J	funkcija ponudbe $S=J(V, T)$
A	sistem dejavnosti	D	funkcija povpraševanja $V=D(S, A)$
F	vzorec toka		
S	nivoj uslug (npr. potovalni časi, ...)		
V	prometne obremenitve		

Preglednica 1: Spremenljivke neodvisnega transportnega sistema (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)

Funkcija ponudbe predstavlja ponudbo, ki jo transportni sistem lahko nudi ob različnih prometnih obremenitvah, zaradi česar jo lahko povežemo tudi z nivojem uslug. Funkcija povpraševanja opisuje obseg transportnih tokov kot funkcijo nivoja uslug v danem sistemu dejavnosti. Na prometni mreži, kjer imamo možnost izbire prometnega sredstva, je vzorec toka (*flow pattern* F) definiran kot kombinacija transportnih tokov (prometnih obremenitev/volumnov) s pripadajočim nivojem uslug (ta je lahko predstavljen s potovalnimi časi, cenami vozovnic, ...).



Slika 4: Ponudba in povpraševanje obstoječe in izboljšane transportnega sistema v odvisnosti od prometnih volumnov in nivoja uslug (vir: Traffic Demand Modelling, 1998)

Na prikazani sliki (Slika 4) predstavlja J^0 ponudbo obstoječega sistema in ponudbo novega, izboljšanega sistema - J^1 . Izboljšan sistem J^1 nudi krajše potovalne čase (in s tem višji nivo uslug) pri enakih, pa tudi večjih obremenitvah. Povpraševanje je prikazano s krivuljami D^0 do D^3 . Nivo uslug - S je opredeljen s potovalnim časom t . Večji potovalni čas predstavlja manjši nivo uslug, saj uporabnik porabi več časa v prometni mreži. Povpraševanje se z manjšanjem nivoja uslug zmanjšuje; nasprotno pa je ponudba vse večja (na račun udobja).

Nov prometni sistem predstavlja izboljšavo – večji nivo uslug pri večjih obremenitvah. Prepoznavanje problema pomanjkanja kapacitet in izboljšava prometne mreže pa se ne zgodita čez noč, kar se bo odrazilo na povečanju prometnih tokov do trenutka, ko bo predstavljen nov prometni sistem (nove prometne obremenitve - V^1 pri zmanjšanih potovalnih časih - t^1).

Izboljšan prometni sistem bo za seboj potegnil tudi razvoj na drugih področjih – lažja dostopnost bo prinesla gospodarsko rast in razvoj novih podjetij. Krajši potovalni časi oz. večje udobje prometnega sistema bo pritegnil nove uporabnike. Večja oddaljenost stalnega bivališča od delovnega mesta bo postala sprejemljivejša. Navedeni proces se imenuje premik dejavnosti in posledično poveča povpraševanje - D^2 ; nadaljevanje procesa pripelje do naslednje stopnje povpraševanja - D^3 . Dolgoročno bo zaradi premika dejavnosti doseženo ravnovesje F^3 , ki pa je hipotetično, saj se z večanjem prometnih obremenitev uvajajo tudi izboljšave prometnega sistema.

Seveda ni nujno, da bo dolgoročno ravnovesje med prometnim povpraševanjem in ponudbo nudilo večjo stopnjo udobja, kot obstoječi sistem v današnjem času, vendar pa bo sistem imel več uporabnikov.

3 ORODJA ZA ANALIZO PROMETA

Za analizo prometa nam je na voljo več orodij – programski paketi, metodologije in postopki, ki se običajno uporabijo za naslednje naloge:

- vrednotenje, simuliranje ali optimiziranje delovanja prometnih sistemov in objektov,
- modeliranje obstoječega stanja in napoved stanja projektiranih variant,
- vrednotenje različnih analitičnih vidikov (planiranja, projektiranja ali vodenja).

Transportna naloga gre skozi več stopenj, kot so planiranje, izboljšave, projektiranje, uvajanje, itn., pri čemer pa vsaka stopnja zahteva svoji težavnosti primerno orodje. Prve stopnje vključujejo manj podrobna orodja, kot so orisno načrtovanje ali prometno povpraševanje, medtem ko zadnje stopnje zahtevajo bolj podrobna orodja, kot so prometne simulacije.

3.1 Razvrstitev orodij za analizo prometa

Orodja za analizo prometa lahko razvrstimo v naslednje kategorije (kategorije so povzete po priročniku *Traffic Analysis Toolbox* od agencije *Federal Highway Administration – FHWA*):

- Skicirno – načrtna orodja: služijo za splošno oceno vplivov na prometno povpraševanje in prometno delovanje, ki jih bodo prinesle izboljšave ali spremembe v prometnem sistemu. Omogočajo vrednotenje variant brez poglobljene inženirske analize; so najpreprostejša in tudi najcenejša orodja za prometno analizo, seveda pa so s tem zelo omejena, analitično groba in predstavitveno pomanjkljiva.
- Modeli prometnega povpraševanja: služijo, kakor je bilo že omenjeno v začetnem poglavju, za napoved prometnega povpraševanja, s tem da upoštevajo izbiro cilja, čas potovanja, prevozno sredstvo, prometno mrežo, ... Njihova glavna pomanjkljivost se kaže pri uvajanju inteligentnih transportnih sistemov (ITS) ali operacijskih strategij v prometno mrežo, kar je posledica slabe predstavitve dinamične narave prometa v teh modelih.
- Analitična oz. deterministična orodja: večina orodij iz te skupine uporablja postopke iz HCM (*Highway Capacity Manual*). Primerna so za analizo delovanja prometnih

elementov manjšega obsega, so pa omejena pri analizi prometne mreže ali vplivov na prometni sistem.

- Orodja za optimizacijo prometnih naprav: so namenjena predvsem za izračun optimalnih semafornih faz posameznih križišč, glavne ceste ali mreže.
- Makroskopski simulacijski modeli: zasnovani so na determinističnih razmerjih med pretokom, hitrostjo in gostoto prometnega toka. Posamezna vozila so združena v prometni tok na odsekih. Njihova prednost pred mikroskopskimi simulacijami je v skromnejši zahtevnosti računalniške opreme. Njihova slabost se pokaže, če želimo oceniti vpliv sprememb transportnega sistema, saj pri tem ne upoštevajo generacije in distribucije potovanj in izbiro prometnega sredstva. Prav tako ne nudijo tako podrobne analize prometnih izboljšav kakor mikroskopske simulacije.
- Mezoskopski simulacijski modeli: združujejo karakteristike makroskopskih in mikroskopskih simulacijskih modelov; prometni tok je obravnavan kot posamezno vozilo s svojimi in voznikovimi značilnostmi in odzivom na cestne karakteristike; gibanje pa je obravnavano iz makroskopskega vidika in je opisano s povprečno hitrostjo na obravnavanemu odseku oziroma linku.
- Mikroskopski simulacijski modeli: prikazujejo gibanje posameznega vozila s teorijami kot so sledenje vozila in menjava voznih pasov. S stohastičnim procesom (statistično distribucijo prihodov) vozila vstopajo v prometno mrežo in imajo običajno že izbran cilj, tip vozila in tip voznika – gibanje vozila se nato spremlja (zapisuje) v kratkih intervalih (v eni sekundi ali delčkih sekunde). Glavni dejavniki, ki vplivajo na kalibracijo in validacijo modela, so občutljivostni faktorji voznika. Mikroskopske simulacije so omejene z računalniško strojno opremo – ta omejuje tudi velikost mreže in število simulacij, ki se jih lahko izvede.

V revijah in na medmrežju najdemo tudi modele, ki jih FHWA v zadnji izdaji (julij 2004) še ne omenja – bodisi zato, ker so še v razvoju, ali pa še niso prišla v splošno uporabo. Nekateri novejši modeli so:

- Nanoskopski simulacijski modeli: so modeli, ki so še v razvoju; osredotočeni so na še bolj podrobno modeliranje voznikovega mišljenja, dojemanja, sprejemanja odločitev in napak. Pravila v mikroskopskih simulacijah izvirajo iz varnostnih zahtev, medtem

ko pravila v nanoskopskih simulacijah temeljijo na razumevanju človeškega mišljenja in zaznavanja, zato bodo nanoskopski simulacijski modeli močno orodje pri ugotavljanju prometne varnosti. Prometna (ne)varnost se že ugotavlja s prometnimi mikroskopskimi simulacijami, vendar z uporabo nadomestnih parametrov.

- Hibridni simulacijski modeli: hibridni modeli združujejo simulacijske modele s tem, da skušajo izrabiti prednosti posameznega modela, pri čemer pa se izognejo njegovim slabostim. Mikroskopske modele odlikuje podroben prikaz prometnih procesov, vendar pa je njihova hiba kalibracija in modeliranje sistema. Makroskopski in mezoskopski modeli pa promet simulirajo manj podrobno, vendar so hitrejši in lažji za uporabo. S hibridnimi modeli želijo zajeti večje območje z bolj grobim orodjem, medtem ko bi posamezne točke zanimanja prikazali podrobneje.

3.2 Smernice za izbiro nalogi primernega prometnega orodja

Za prometne naloge nam je na voljo mnogo komercialnih programskih orodij. *Synchro* spada v skupino orodij za optimiziranje prometa, *SimTraffic* je pa mikroskopsko simulacijsko orodje. Kljub temu, da je to diplomsko delo bolj osredotočeno na simulacijske modele, pa je vseeno smotno povedati besedo ali dve tudi o tem, kako izbrati primerno orodje za prometno nalogo, s katero se soočimo.

V prvem koraku moramo vedeti, kakšne rezultate želim dobiti z našo analizo, oziroma v kakšen analitični kontekst spada naša naloga – je to planiranje (kratkoročne in dolgoročne študije), projektiranje (že odobreni in financirani projekti, pri katerih je potrebna analiza različic, da se določi najboljšo varianto; na tem mestu niso mišljeni projekti v smislu projektiranja cest, kot so utrditev vozišča, poravnave, ipd.) ali delovanje/izvedba (podobno vrednotenje kot pri projektiranju, vendar da v teh analizah optimiziramo ali vrednotimo že obstoječe prometne sisteme).

V naslednjem koraku s pomočjo naslednjih sedmih kriterijev izberemo analitično orodje, primerno za nalogo:

1. **geografski obseg** (*Kaj je naše študijsko območje?*) – orodje mora biti zmožno obdelati študijsko območje, ki ga zajema naloga,

2. **vrste objektov** (*Katere vrste prometnih objektov hočemo vključiti v analizo?*) – možnost modeliranja različnih cestnih objektov (avtoceste, priključki na avtoceste, cestnine, posebni pasovi, ...) z orodjem,
3. **način potovanja / izbira prometnega sredstva** (*Katere izbire prometnega sredstva želimo uporabiti?*) – možnost analiziranja potovanj (izbire) z različnimi prometnimi sredstvi, kot so osebni avto, avtobus, vlak, kolo, peš promet, ...,
4. **prometno upravljalne strategije in programi** (*Katere strategije upravljanja želimo preučiti?*) – možnost analiziranja različnih prometnih upravljanj (vodenj), kot so koordinacija SSN, ipd.,
5. **odziv uporabnikov prometnega sistema** (*Katere odzive uporabnikov želimo preučiti?*) – možnost ocene odziva uporabnika prometnega sistema na predvidene prometne strategije ali ukrepe - sprememba poti, prometnega sredstva, ...
6. **prikaz uspešnosti ukrepov** (*Katere rezultate želimo dobiti?*) – možnost, da dobimo rezultate, kot so uspešnost varnostnih ukrepov, učinkovitost (volumni, dolžina poti na vozilo, ...), mobilnost (potovalni čas, hitrost, potovalni časi na vozilo), produktivnost (prihranek na stroških) in okoljski kazalci (emisije, poraba goriva, raven hrupa), ...
7. **uporabnost in cena orodja** (*Katere lastnosti orodja so pomembne za nas?*) – za izbran nalogo je pomembno, da vemo, kaj nam orodje nudi, glede na nalogo, ki jo imamo in rezultate, ki jih želimo dobiti, pri tem pa upoštevamo tudi ceno orodja, vloženi trud, razumljivost uporabe, razširjenost in uveljavljenost uporabe orodja, potrebno strojno opremo, uporabniško pomoč, zmožnost predstavitve ali animacije, ...

	skicirno načrtna orodja	modeli prometnega povpraševanja	analitična deterministična orodja	orodja za optimizacijo prometa	makroskopske simulacije	mezoskopske simulacije	mikroskopske simulacije
planiranje	ustrezno	ustrezno	možno	neustrezno	možno	možno	neustrezno
projektiranje	neustrezno	možno	ustrezno	ustrezno	ustrezno	ustrezno	ustrezno
vodenje / upravljanje	možno	neustrezno	ustrezno	ustrezno	ustrezno	ustrezno	ustrezno
nekaj razpoložljivih orodij na trgu	IMPACTS SMITE SPASM TEAPAC QuickZone	CUBE/MINUTP EMME/2 QRS II TransCAD TRANSIMS	aaSIDRA HCS TRAFFIX ICU TS/PP	PASSER Synchro TRANSYT-7F SOAP-84 PROGO	BTS TRAF-CORFLO VISTA KRONOS FREQ12	CONTRAM DYNAMIT-P DYNASMART- P MesoTS	CORSIM/TSIS Paramics SimTraffic VISSIM WATSim

Preglednica 2: Pregled ustreznosti orodij za izbrane naloge (vir: Traffic Analysis Toolbox Volume II, 2004)

Prvih šest kriterijev se nanaša na same karakteristike orodja, katere moramo upoštevati glede na nalogo, ki jo moramo rešiti. Sedmi kriterij pa je pomemben, da izberemo pravo orodje glede na nivo detajlov in glede na ceno ter ni vezan na tehnično plat orodja. Bolj »groba« orodja so lažja za uporabo in hitreje vrnejo rezultate, medtem ko bolj »fina« orodja zahtevajo več znanja uporabe, podatkov, nastavitvev in potrebujejo določen čas, da dajo verodostojne rezultate. V spodnji tabeli je predstavljenih nekaj parametrov sedmega kriterija.

	skicirno načrtna orodja	modeli prometnega povpraševanja	analitična / deterministična orodja	orodja za optimizacijo prometa	makroskopske simulacije	mezoskopske simulacije	mikroskopske simulacije
cena	nizka cena	visoka cena	nizka cena	nizka cena	srednja cena	visoka cena	visoka cena
zahtevnost priučitve	nič/malo šolanja	veliko šolanja	nič/malo šolanja	zmerno šolanja	zmerno šolanja	veliko šolanja	veliko šolanja
prijaznost do uporabnika	lahka uporaba	zahtevna uporaba	lahka uporaba	zmerne zahtevne uporaba	zmerne zahtevne uporaba	zahtevna uporaba	zahtevna uporaba
stopnja vhodnih podatkov	malo	veliko	malo	malo	veliko	veliko	veliko
animacija / prezentacija	ne omogoča	deloma omogoča	ne omogoča	ne omogoča	deloma omogoča	mogoča	mogoča

Preglednica 3: Pregled nekaterih parametrov, ki vplivajo na uporabnost in ceno prometnega orodja (vir: Traffic Analysis Toolbox Volume II, 2004)

Dane kriterije uporabljamo v obliki matrik, kjer z ustreznimi utežmi vrednotimo orodja.

Pri uporabi orodij za analizo prometa se moramo zavedati tudi izzivov in omejitev, ki jih njihova uporaba prinaša. Pri pravilni uporabi predstavljajo uporabno in učinkovito orodje, ki pomagajo pri reševanju prometnih nalog, napačna uporaba je lahko časovno in finančno požrešna, z malo ali celo neuporabnimi rezultati.

3.3 Modeliranje in simulacija

3.3.1 Kaj je modeliranje?

Modeliranje je proces, v katerem se razvije (proizvede) model. Model predstavlja konstrukcijo in delovanje nekega sistema, ki nas zanima. Model je podoben, a hkrati enostavnejši od sistema, ki ga predstavlja.

Eden od namenov modela je, da omogoči uporabniku modela, da predvidi oz. vidi učinke, ki jih imajo morebitne spremembe, ki se zgodijo v sistemu. Na eni strani mora biti model dober približek resničnega sistema zanimanja in vsebovati večino značilnosti; na drugi strani pa prevelika kompleksnost ni dobrodošla, saj onemogoča razumevanje in eksperimentiranje. Se pravi – dober model je premišljen kompromis med realnostjo in poenostavitvami.

Pomemben korak v modeliranju je tudi validacija (potrjevanje) modela; model testiramo v znanih pogojih in preverjamo rezultate z dogajanjem v resničnem sistemu.

V splošnem se za simulacije uporabljajo matematični modeli. Ti so deterministični (vhodne in izhodne spremenljivke so stalne vrednosti) ali stohastični (vsaj ena od vhodnih ali izhodnih spremenljivk je verjetnostna), statični (čas ne vpliva na rezultate) ali dinamični (čas ima vpliv). Simulacijski modeli so običajno stohastični in dinamični.

3.3.2 Kaj je simulacija?

Delovanje modela, ki je bil ustvarjen skozi proces modeliranja, je simulacija sistema, ki ga model predstavlja. Model se lahko spremeni in se z njim eksperimentira; da bi eksperimentirali s sistemom, je običajno drago, nepraktično ali celo nemogoče. Simulacija torej predstavlja orodje, s katerim vrednotimo delovanje obstoječega ali bodočega sistema, pod drugačnimi pogoji ali v delovanju skozi čas.

Simulacija se uporabi v primeru spremembe obstoječega sistema ali v primeru izgradnje novega sistema z namenom, da se zmanjša možnost napak, prebogatih ali preskromnih rešitev in da se optimizira delovanje sistema.

3.3.3 Simulacije za prometne analize

Simulacijski modeli prometa imajo kar nekaj prednosti pred bolj tradicionalnimi postopki analize na osnovi kapacitet. Velja izpostaviti sledeče:

- možnost modeliranja večje skupine zaporednih, povezanih križišč (prometnih mrež) in opazovanje odziva na spremembe celotne mreže ali samo njenega dela,
- možnost prikaza zastojev pri uvajanju prometnih objektov in rešitev (npr. *spillback* – zastoj v križišču s prekratnim pasom za zavijalce) in
- možnost modeliranja neobičajnih prometnih rešitev, tako iz vidika geometrije, kot iz vidika prometne signalizacije.

Prometne simulacije so pomembno orodje pri komunikaciji med strokovnjaki, kot tudi med strokovnjaki in laično javnostjo, saj v realnem času nazorno prikažejo različne prometne scenarije in rešitve.

Imajo pa simulacijski modeli prometa tudi nekaj pomanjkljivosti v primerjavi s klasičnimi metodologijami izračuna, na katere velja biti pozoren, ko se odločamo za uporabo enega ali drugega:

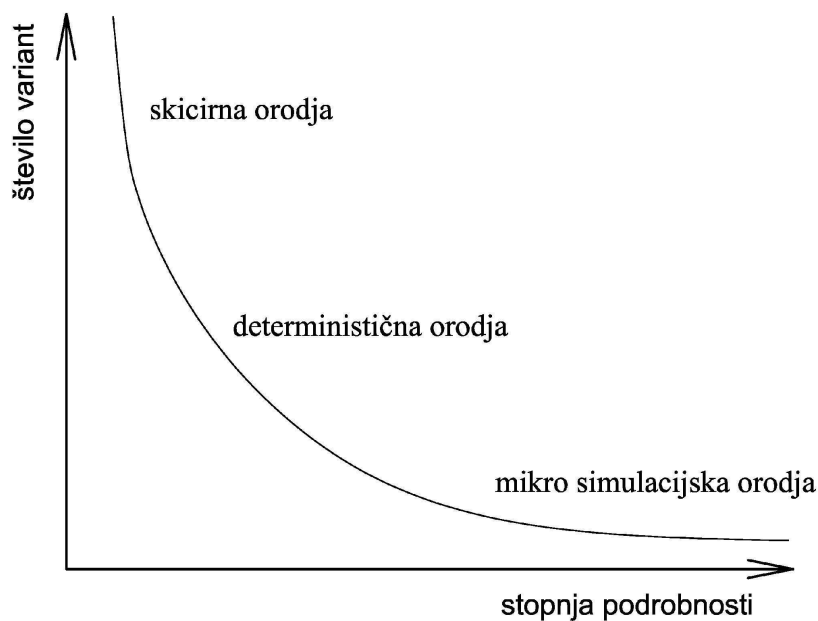
- za analizo problema je potrebno več vložene časa,

- potrebnih je več podatkov,
- majhne napake v nastavljenih parametrih lahko pripeljejo do velikih napak pri končnih rezultatih,
- vprašanje zanesljivosti analize – trenutno je bilo izvedeno relativno malo testiranj s strani prometne stroke; pomembno je tudi, da prometni inženir pravilno uporabi simulacijski model in
- večina simulacijskih modelov uporablja generacijo naključnega števila, zato se rezultati vsakega zagona analize nekoliko razlikujejo.

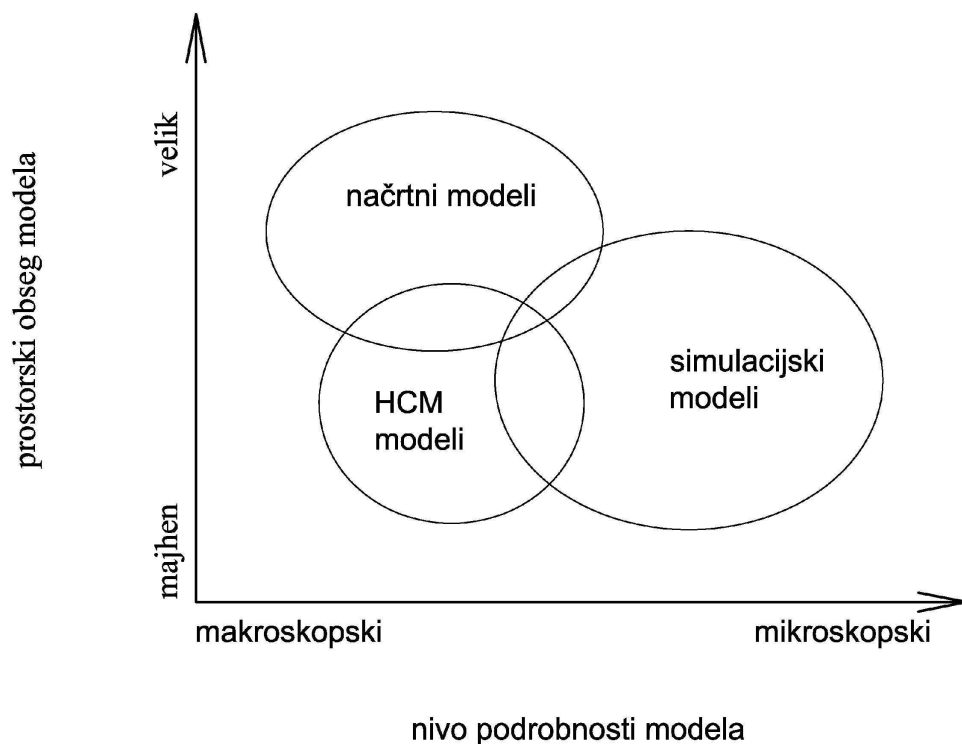
Poleg že navedenih prednosti simulacijskih modelov so situacije, kjer simulacije še posebej pridejo v poštev:

- pri dobro definiranih in kompleksnih prometnih problemih,
- pri križiščih, kjer količina prometa z zastoji vpliva na delovanje sosednjega križišča,
- pri izdelavi prometne simulacije za predstavitev prometnih rešitev ali ukrepov javnosti in
- pri odločanju za financiranje projekta, kjer s simulacijskimi modeli lahko potrdimo ali ovržemo prometne posege.

V podpoglavjih 3.4 in 3.5 so predstavljeni mikroskopski in makroskopski modeli za analizo prometa.



Slika 5: Število izdelanih variant pada z večanjem nivoja podrobnosti (vir: *An Introduction to Urban Travel Demand Forecasting*, 1977)



Slika 6: Primernost orodja glede na obseg modela in stopnjo podrobnosti modela (vir: *Highway Capacity Manual 2000*, 2000)

3.4 Makroskopski modeli

Makroskopski modeli obravnavajo večje območje in ne obravnavajo obnašanja posameznega vozila, ampak združujejo vozila v prometne tokove. Sestavljeni so iz štirih korakov: generacije, distribucije, izbire prometnega sredstva in obremenjevanja, ki predstavljajo ponudbo (prvi trije koraki) in povpraševanje (zadnji korak). Posamezni koraki so podrobneje predstavljeni v podpoglavju 3.4.1, kjer je predstavljen model prometnega povpraševanja.

Značilnost zaporednih modelov je, da se posamezne faze izračuna ponudbe in povpraševanja ločijo in računajo posamezno.

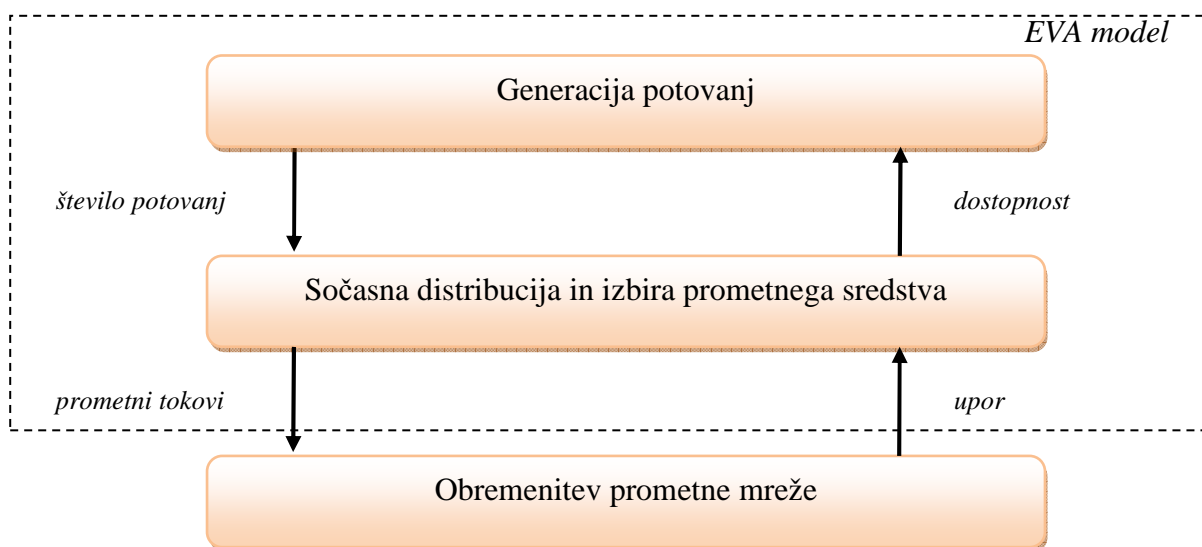
Agregirani modeli temeljijo na opazovanjih večjih skupin uporabnikov prometnega sistema in upoštevajo se povprečne vrednosti opazovane skupine, s čimer pa se zanemarijo značilnosti znotraj skupine.

Disagregirani modeli združujejo posameznike s podobnim obnašanjem v skupine. To so posamezniki, od katerih pričakujemo, da imajo podobne potovalne navade, glede na njihovo skupno lastnost (npr. zaposleni ali nezaposleni z ali brez avtomobila, študenti, dijaki, ...); povpraševanje po dejavnostih (delo, študij, prosti čas) ustvarja prometno povpraševanje (kako premagati razdaljo od npr. doma do točke zanimanja). Disagregirani modeli se izkažejo za boljše, ker upoštevajo dejavnike, ki vplivajo na povpraševanje, kot so omejitveni pogoji življenjskega ritma (mlade družine, samski, starostniki, ...), razporeditev aktivnosti glede na dan v tednu, verigo potovanj (npr. v službo, iz službe v trgovino ali na rekreacijo, potem domov), ... Ali kakor pravi osnovni postulat disagregiranega modela: »*Verjetnost, da bo posameznik izbral dano možnost, je funkcija socialno ekonomskih karakteristik in relativne privlačnosti možnosti.*«

Simultani modeli sočasno izračunajo faze distribucije in izbire prometnega sredstva. Dva primera simultanih modelov sta *model verige aktivnosti* in *EVA model*.

Model verige aktivnosti temelji na značilnostih obnašanja homogenih skupin posameznikov – ta so predstavljena z verigami aktivnosti. Račun poteka podobno kot v zaporednih modelih (generacija, distribucija, izbira prometnega sredstva), vendar posamezne faze niso samostojne.

EVA model izračuna faze generacije, distribucije in izbire prometnega sredstva sočasno. Odlikuje ga tudi hitrost računanja, ki dobi pomembnost pri obravnavanju večjih območij. Za osnovo služijo pari izvorno-ciljnih dejavnosti (delo - dom, dom - delo, dom - prosti čas, ...). Model v fazi generacije uporabi sistematične kategorije (tip gospodinjstva, osebe, dejavnosti, prostorski podatki) za izračun robnih pogojev (produkcije, atrakcije, kapacitetne omejitve, ...).



Slika 7: Shematski prikaz EVA modela (vir: Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja, 2004)

3.4.1 Model prometnega povpraševanja (*Traffic Demand Model*)

Naloga prometnega modela je izračun ravnovesja med sistemom dejavnosti in transportnim sistemom v podanih razmerah. Izračunani prometni tokovi se lahko uporabijo za načrtovanje prometnih objektov. V obzir se vzame tudi zunanje (negativne) vplive prometa, predvsem vplive na okolje, časovne in denarne izgube, slaba volja zaradi prometnih zastojev, ...

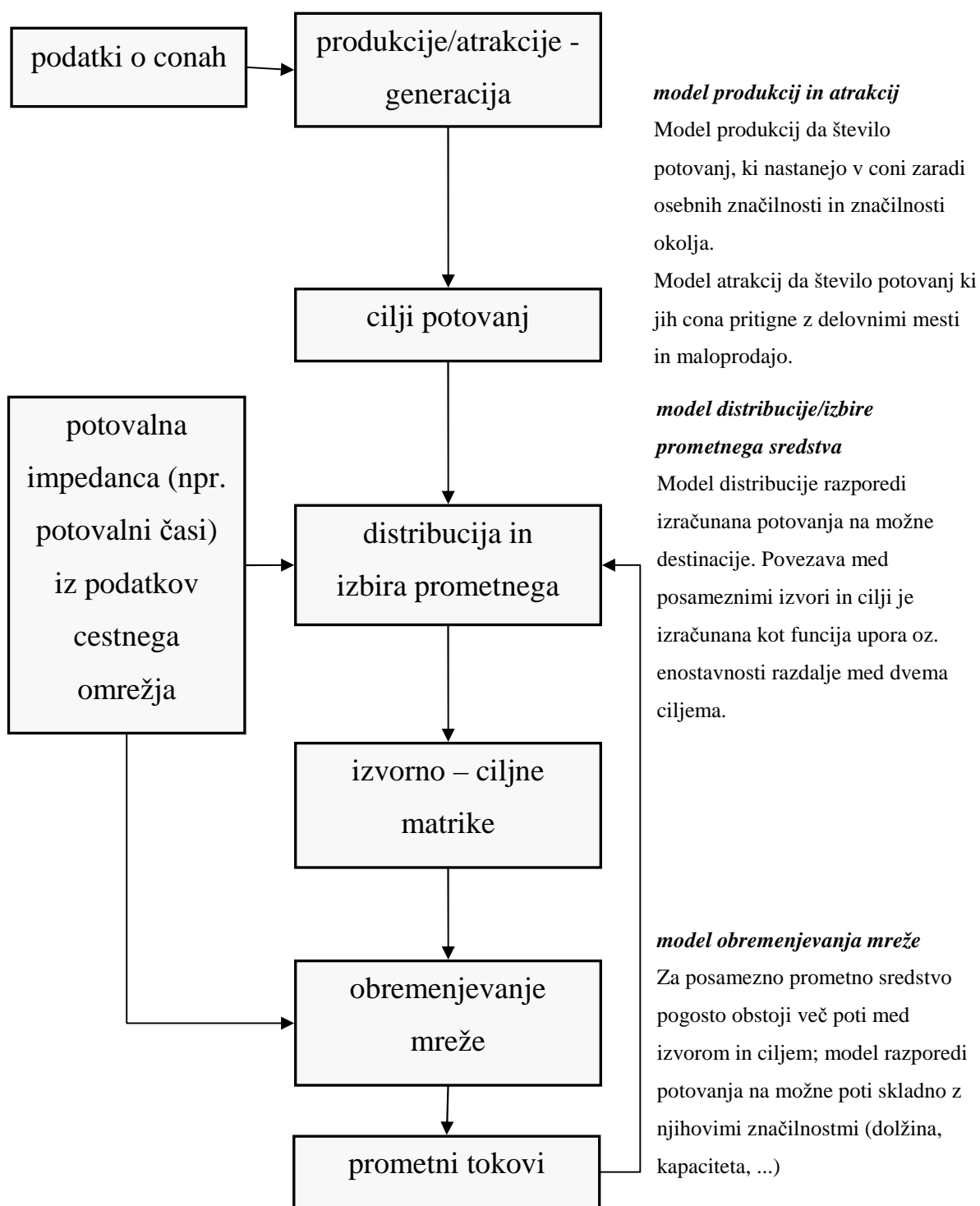
3.4.1.1 Struktura modela prometnega povpraševanja

Prometne obremenitve (gostota prometa, število potnikov, kolesarski promet, ...) nastanejo zaradi možnosti izbire, ki jo ima na voljo posamezni uporabnik prometne mreže. Posameznik se odloča med izbirami:

- potovati ali ne,
- čas odhoda,
- izbira cilja,
- izbira transportnega sredstva in
- izbira poti.

Za matematično formuliranje problema se običajno predpostavi, da se izbire lahko modelirajo posamezno. Izbira cilja, transportnega sredstva in časa odhoda se (zaradi tesne medsebojne odvisnosti) združi v en modelni segment.

Makroskopski modeli so, kot je bilo že omenjeno na začetku podpoglavja 3.4, sestavljeni iz štirih korakov: generacije, distribucije, izbire prometnega sredstva in obremenjevanja prometne mreže.



Slika 8: Struktura modela prometnega povpraševanja (vir: *Traffic Demand Modelling*, 1998)

3.4.1.2 Teorija diskretnih odločitev

Opazovani prometni tok je produkt vedenjskega vzorca izbire velikega števila posameznikov. Teorija, ki pojasni mnogo prometnih pojavov, je tako imenovana teorija diskretne izbire. Ta se lahko uporabi v primerih, ko ljudje lahko izbirajo med večjim številom in med seboj izključujočim možnostmi.

Teorija predvideva, da posameznik, soočen s situacijo, v kateri ima več možnih izbir, vrednoti uporabnost ali ugodje (*utility*) oz., neuporabnost ali neugodje (*disutility*) posamezne izbire. Uporabnost je odvisna od značilnosti izbire (značilnost osebnega prevoza, javnega prevoza, ...) kot tudi značilnosti posameznika, ki je postavljen pred izbiro; le ta se bo odločil za možnost, ki zanj predstavlja največjo uporabnost. Uporabnost posamezne izbire je težko (takoj) ovrednotiti in izmeriti, zato se opazuje značilnosti posamezne izbire (npr. potovalni čas, cena potovalnega sredstva, ...), ki se lahko izmerijo in vplivajo na posameznikovo predstavo o uporabnosti. Neugodje lažje opišemo, če uporabimo generalizirani strošek potovanja.

Modeliranje potovalnih navad je pomemben dejavnik pri analizi zahtev, kjer so agregirane zahteve skupek posameznih odločitev. Analiza potovalnih navad je običajno disagregirana, kar pomeni, da model predstavlja primer vedenjske izbire posameznih uporabnikov prometnega sistema (potnikov). Agregirani transportni modeli povpraševanja ali modeli prve generacije so osnovani ali na opazovanju relacij za skupino potnikov ali na povprečnih relacijah na nivoju con. Na drugi strani pa disagregirani modeli povpraševanja ali modeli druge generacije temeljijo na opazovanju izbir posameznega potnika. Pričakujemo, da tak pristop omogoča bolj resničen model.

3.4.1.3 Cone (področja/območja) in mreža

Zaradi obilice podatkov ni smotno analizirati podatke vsakega posameznika, zato si delo poenostavimo z modelom realnega stanja. V ta namen vpeljemo elementa *cone* in *mreže*, ki sta podrobneje predstavljena v nadaljevanju.

Cone (področja/območja)

Preučevano področje razdelimo na posamezne cone, pri katerih potem preučimo potovanja iz njih in v njih.

Pri tem ločimo področje zanimanja, pri katerem nas zanimajo prometni tokovi med posameznimi conami v področju zanimanja in vplivno področje, pri katerem pa nas zanimajo samo prometni tokovi, ki sekajo naše področje zanimanja – obe področji sta razdeljeni v cone, ki jim pravimo notranje in zunanje.

Pri conah vpeljemo še pojma *centroid* in *konektor*. Centroid predstavlja namišljeno točko cone, v kateri se vsa potovanja začnejo in končajo. Konektorji pa predstavljajo shematični prikaz lokalnih cest znotraj cone in povežejo centroid na prometno mrežo. Centroid je lahko povezan na prometno mrežo preko enega ali več konektorjev. Pri tem velja omeniti, da morajo biti cone prave velikosti – pri prevelikih conah ne zajamemo prometa znotraj cone, pri premajhnih pa povečujemo število podatkov, ki jih bomo morali obdelati.

Pri delitvi področja na cone upoštevamo predvsem lastnosti, ki vplivajo na produkcijo in atrakcijo prometa; cone morajo biti homogene. Za določitev mej si pomagamo z že postavljenimi administrativnimi mejami, npr. z mejami Statističnega urada RS za popisne okoliše (t.j. najmanjša in osnovna teritorialna enota).

Mreža

Prometni sistem je predstavljen z mrežo, ki jo sestavljajo vozlišča in povezave (v nadaljevanju *linki*), ki ta vozlišča povezujejo. Mreža je poenostavljen sistem dejanskega prometnega sistema. Z njo izračunamo potovalne čase med izvori in cilji potovanj.

Ko govorimo o prometni mreži, na kateri so prometne izbire osebni avto, kolesarski promet, pešci, ipd., Linki predstavljajo ceste, katerim lahko predpišemo različne lastnosti, kot so kapaciteta, hitrost, dolžina, potovalni časi in podobno. Vozlišča pa predstavljajo križišča in tudi prepletanja prometnih tokov, spremembo vrste ceste, mostove in druge infrastrukturne spremembe.

3.4.1.1 Generacija prometa (produkcije in atrakcije)

Cilj generacije prometa je napovedati skupno število potovanj, ki jih posamezne cone v študijskem območju zaradi svojih družbeno-ekonomskih značilnosti proizvedejo oz. pritegnejo. Za generacijo se uporabljata dva medsebojno povezana modela: model produkcij (izračuna število potovanj, ki jih proizvede posamezna cona, ne glede na cilj potovanj) in model atrakcij (izračuna število potovanj, ki jih posamezna cona pritegne, ne glede na izvor potovanj).

Z upoštevanjem namena potovanj in njihovih značilnosti, se dosežejo še boljši rezultati pri generaciji potovanj, to je pri modelu produkcij in atrakcij.

Potovanja lahko razdelimo glede na:

1) namen

Ugotovljeno je, da model produkcij/atrakcij vrne boljše rezultate, v kolikor se potovanja razdelijo glede na namen in če se za vsak namen ustvari svoj model. Večina potovanj se začne in konča doma (ima svoj izvor in cilj v domu), zato je glavna delitev na potovanja, ki:

- se začnejo doma (od katerih potem ločimo delovna potovanja (na delovno mesto) in nedelovna potovanja (šola, nakupi, prosti čas, ...) in
 - se ne začnejo doma.
- 2) čas odhoda (na potovanje)
- Poznamo čase, ko so ceste polne in zopet čase, ko so le te bolj prazne. Tudi potovanja razdelimo glede na tiste, ki se zgodijo v konici in tiste, ki so izven konice; potovanja z namenom prihoda na delovno mesto ali v izobraževalno ustanovo opišemo kot *obvezna* potovanja, medtem ko potovanja, ki se zgodijo v prostemu času (z namenom nakupovanja, rekreacije) in niso vezana z obveznostmi, opišemo kot *izbirna* potovanja.
- 3) osebnostne značilnosti
- Zelo velik vpliv na potovalne navade imajo družbeno-ekonomski faktorji, kot so na primer višina dohodka, velikost gospodinjstva, število avtomobilov na gospodinjstvo, ... zato je njihova klasifikacija pogosto uporabna.
- 4) uporabo transportnega sredstva
- Danes se pogosteje uporablja izbira prometnega sredstva (peš, kolo, avto, javni prevoz) v fazi obremenjevanja prometne mreže in ne toliko pri razvijanju modela produkcij in atrakcij.

Dejavniki, ki vplivajo na generacijo prometa

Kakor je že bilo omenjeno, se za generacijo prometa uporabljata dva modela: model produkcij in model atrakcij. Ločimo tudi generacijo prometa za osebni prevoz in prevoz blaga.

Na produkcijo osebnega prometa vplivajo parametri kot so: značilnosti gospodinjstva (dohodki, status družinskih članov – število zaposlenih, šolajočih, ..., število avtomobilov), značilnosti cone (uporaba in cena zemljišč, gostota poseljenosti in stopnja urbanizacije) in dostopnost (kvaliteta in kvantiteta prevoznih izbir iz cone).

Značilnosti gospodinjstva in cone se redno uporabljata v prometnih študijah, medtem ko se dostopnost uporablja manj. Se je pa potrebno zavedati, da (v kolikor se dostopnost zanemari), prometni model ni občutljiv na spremembe v transportnem sistemu. Glavni vplivi dostopnosti se kažejo pri generaciji prometa, obremenitvi prometne mreže, času odhoda in izbiri prometnega sredstva. Zaradi očitnega vpliva na prometni model so razviti mnogi modeli, ki upoštevajo dostopnost v svojem računu; kljub temu pa je točnost modelov vprašljiva, saj se sama dostopnost težko vrednoti (kaj nekomu pomeni kvaliteta transporta).

Na atrakcijo osebnega prometa vpliva število zaposlenih, raba zemljišč (industrijska, izobraževalna, komercialna, upravna, prosto časovna, ...) in dostopnost (kvaliteta in kvantiteta prevoznih izbir do cone). Cone, ki privabijo največ prometa, so cone z delovnimi mesti; poleg zaposlenih s svojim delovanjem pritegnejo tudi dobavo in ostale storitve.

Na produkcijo in atrakcijo prometa za prevoz blaga vplivajo parametri kot so: število zaposlenih v podjetju, promet podjetja, velikost industrijskega kompleksa, vrsta podjetja , ...

Metode za generacijo prometa

Za napoved generacije potovanj poznamo več metod:

- **Metoda faktorjev rasti:** je primerna, ko poznamo sedanjo generacijo. Bodočo generacijo napovemo z linearno povezavo sedanjega stanja s prihodnjim.
- **Multipla linearna regresija:** pri tej metodi predpostavimo, da med številom potovanj in družbeno ekonomskimi lastnosti gospodinjstev v izbrani coni obstaja povezava; ta je lahko linearna ali nelinearna.
- **Kategorijska analiza:** osnovo metode predstavlja število potovanj, ki jih posamezno gospodinjstvo naredi glede na svoje karakteristike.

3.4.1.2 Distribucija

Z modelom generacija potovanj, opisanem v prejšnjem poglavju, smo dobili odhode iz posamezne cone in prihode v posamezno cono. Dobili smo podatke o produkcijah in atrakcijah con, ne vemo pa, od kod ali kam je promet šel.

Cilj distribucijskega modela je v razporeditvi potovanj. Želimo odgovoriti:

- kam bodo uporabniki potovali iz posamezne cone
- iz kje bodo pripotovali uporabniki v posamezno cono

Porazdelitev potovanj predstavimo z izvorno – ciljno matriko. Izvorno – ciljna matrika je sestavljena iz m vrstic in n stolpcev; vrstice predstavljajo izvore potovanj, stolpci pa cilje. Ker so cone večinoma tako izvorne kot ciljne, je število vrstic in stolpcev enako in imamo kvadratno matriko $m \times n$. Diagonalni členi, od zgornjega levega člena do spodnjega desnega, predstavljajo conska potovanja – potovanja, ki se izvršijo v sami coni. Vsi ostali členi pa predstavljajo potovanja med conami. Cilj distribucije potovanj je izračunati člene matrike T_{ij} , ki predstavljajo potovalne čase med dvema conama.

	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	$\sum_j T_{ij} = T$

Slika 9: Izvorno – ciljna matrika – *O(ri)gin D(estination) table* (Vir: *Traffic Demand Modelling, 1998*)

Za izračun distribucij je na voljo več modelov, ki pa jih lahko razdelimo na analogne in sintetične modele ali metode. Poglavitna razlika med njima je v potrebnih podatkih za izračun

– analogne metode za izračun potrebujejo predhodne terenske raziskave ali že opravljene prometne študije, medtem ko sintetične metode uporabljajo merilo neugodnosti potovanja.

Analogne metode imenujemo tudi metode faktorjev rasti, saj dobimo napovedane vrednosti z večanjem (faktoriranjem) vrednosti obstoječih izvorno ciljnih matrik.

Sintetične metode imenujemo tudi gravitacijske metode ali gravitacijski modeli zaradi podobnosti z Newtonovim gravitacijskim zakonom. Sintetični metodi sta tudi logit model in model interventnih priložnosti.

3.4.1.3 Izbira prometnega sredstva

V fazi izbire prometnega sredstva porazdelimo potovanja na različna potovalna sredstva (peš, s kolesom, avtomobilom, javni prevoz). Najpomembnejša je predvsem izbira med osebnim avtomobilom in javnim prevozom; za reševanje prometnih zastojev in negativnih vplivov prometa na okolje se vse bolj vzpodbuja uporaba javnega prevoza.

Na izbiro prometnega sredstva vpliva mnogo dejavnikov, v prvi vrsti predvsem razpoložljivost; za ljudi, ki nimajo možnosti izbire med različnimi prometnimi sredstvi, lahko rečemo, da so obsojeni na razpoložljivega. Gospodinjstvo z nizkimi dohodki, ki si ne more privoščiti avtomobila, je obsojena na javni prevoz. Gospodinjstva, ki so izven dosega javnega prevoza ali pa uporaba le-tega ni smotrna, so obsojena na osebni avto.

Za tiste, ki pa imajo izbiro različnih prometnih sredstev, pa predpostavimo, da ta izbira temelji na razumnih odločitvah. Ločimo med naslednjimi dejavniki, ki vplivajo na odločitev izbire prometnega sredstva:

- karakteristike potnika – izbira prometnega sredstva, pa tudi posedovanje osebnega avtomobila, je tesno odvisna od družbeno ekonomskih značilnosti posameznika;
- karakteristike prometnega sredstva – najpomembnejši karakteristiki prometnega sredstva sta strošek le-tega in potovalni čas, ki je potreben z njim, upošteva pa se tudi dostopnost, udobnost, zanesljivost, ipd.;

- karakteristika potovanja – za različne namene utegnemo uporabiti različna prometna sredstva, pri čemer je verjetno, da bomo za rutinska potovanja (v službo ali v šolo) izbrali javni prevoz, za druga (rekreacija, nakupi, zabava) pa osebni.

Za izbiro prometnega sredstva uporabljamo analogne in sintetične modele, izračun pa lahko poteka sočasno ali zaporedno.

Analogne modele ločimo na dve skupini: prvi izbiro izvršijo pred fazo distribucije (*trip end*), drugi pa po fazi distribucije (*trip interchange*). »Trip end« modeli upoštevajo samo značilnosti potnika in predvidevajo, da z naraščanjem stopnje dohodka raste tudi mobilnost posameznika. Ti modeli so uporabni predvsem v kratkoročnih napovedih, saj pri dolgoročnih napovedih ne upoštevajo ukrepov prometne politike. »Trip interchange« upošteva tudi značilnosti potovanja in transportnega sredstva, vendar pa se značilnosti potnika težje vključijo, saj je izbira izvedena po fazi distribucije in so značilnosti potnika že upoštevane v izvorno-ciljnih matrikah.

Sintetični modeli so verjetnostni modeli in so podobni verjetnostnim modelom (*logit*) za distribucijo.

3.4.1.4 Obremenjevanje prometne mreže

Zadnja faza prometnega planiranja predstavlja obremenjevanje prometne mreže – z njo dobimo končne rezultate, ki nas zanimajo: prometne obremenitve na posameznem odseku, prometne tokove med posameznimi conami, strukturo zavijalcev v križišču in podobno. Faza obremenjevanja je ravnovesje, ki se vzpostavi med prometnim sistemom (ponudbo) in prometnimi tokovi (povpraševanjem).

Prometno obremenjevanje lahko predstavlja tudi model izbire poti, v katerem izbira poteka v treh koraki: iskanje vseh možnih poti, ocenjevanje najdenih poti in izbira najboljše poti.

Razvitih je več metod obremenjevanja:

- **Obremenjevanje po metodi vse ali nič.** Najbolj enostavna metoda, ki pa ne upošteva kapacitetnih omejitev prometnega sistema, posledično pa vsi vozniki izberejo isto, to je najboljšo pot.
- **Obremenjevanje z upoštevanjem kapacitetnih omejitev.** Temelji na Wardopovih principih ravnovesja, ki pravita:
 1. *Ko je doseženo ravnovesje v nasičenih razmerah, se promet uredi tako, da ne more nihče zmanjšati svojih stroškov.*
 2. *Ko je doseženo družbeno ekonomsko ravnovesje v nasičenih omrežjih, bi moral biti promet urejen tako, da so povprečni (skupni) stroški minimalni.*

Enostavne modele lahko rešimo analitično, bolj zahtevni modeli pa zahtevajo algoritemski pristop, pri katerem pa se ravnovesju približujemo. Izpeljanih je več metod:

- inkrementalna metoda
- ravnovesna metoda
- metoda učnega procesa
- **Stohastično obremenjevanje.** Pri stohastičnem ali naključnem obremenjevanju se predpostavlja, da uporabniki prometnega sistema nimajo popolnega pregleda in informacij o razmerah na omrežju. S tem je bolj izraženo iskanje in uporaba poti, ki niso najboljše.
- **TRIBUT metoda.** Metoda upošteva pri razporejanju prometa enakovredno potovalni čas in stroške. S tem lahko upoštevamo vpliv cestninjenja. Upoštevamo, da je uporabnik ceste pripravljen plačati za prihranek časa, odvisno od njegove preference.
- **Multimodalno obremenjevanje.** Metoda omogoča hkratno obremenjevanje z različnimi vrstami prometa.
- **Intermodalno obremenjevanje.** Metoda omogoča obremenjevanje s kombiniranimi vrstami prometa, če so dana na izbiro. S tem lahko modeliramo tudi uvajanje prometnih ukrepov, kot je »park & ride«, saj kombiniramo med seboj osebni prevoz in javni prevoz.

Kalibracija in validacija

Kalibracija modela je postopek, v katerem zagotovimo čim večje ujemanje med vrednostmi, dobljenih s pomočjo modela, in vrednostmi, dobljenimi z opazovanji.

Kalibriran model pa še vedno ni pripravljen za napoved, zato sledi validacija. Validacija modela predstavlja primerjavo med napovedanimi in opazovanimi rezultati; le-ti ne smejo biti uporabljeni za kalibracijo.

Model, ki je prestal validacijo, se lahko uporabi za prometno napoved v predvidenem letu. Pri tem je treba v obzir vzeti, da so prometni modeli osnovani na analizi opazovanj potovalnih navad v sedanjem času, zato so veljavni samo za okoliščine, ki ne odstopajo preveč od opazovanih okoliščin. Natančnost napovedi se torej z vsakim prihodnjim letom zmanjšuje, ker modeli ne vsebujejo postopnih sprememb, ki nastajajo v potovalnih navadah.

3.4.2 VISSUM (PTV AG)

Podjetje PTV AG ponuja programski paket *ptv vision*, katerega del je tudi samostojni program *VISUM*. Paket *ptv vision* pokriva vsa področja planiranja in vodenja prometa, *VISUM* pa predstavlja makroskopski simulacijski model, s katerim lahko naredimo klasični štiri stopenjski zaporedni model, v katerem imamo zastopano povpraševanje in ponudbo. Z njim lahko določimo vplive obstoječih ali načrtovanih prometnih posegov, pri katerih pa lahko ločimo prometno mrežo za osebni prevoz (*PrT*) in prometno mrežo ali vozne linije za javni prevoz (*PuT*).



Slika 10: Moduli programskega paketa ptv vision (vir: PTV AG: PTV VISION, <http://www.ptvag.com>)

Model prometne mreže

Z modelom prometne mreže opišemo prostorske in časovne strukture transportne ponudbe. Zaradi tega je model prometne mreže sestavljen iz različnih objektov, s katerimi zajamemo prometne karakteristike; nekateri so bili že predstavljeni v podpoglavju 3.4.1: *cone*, *vozlišča*, *linki* in *konektorji*. Poleg teh pa VISUM za izdelavo modela prometne mreže uporablja še naslednje:

- dovoljene smeri (*turns*), s katerimi opišemo, katere smeri vožnje so dovoljene v vozlišču,
- ustavljanja ali postaje (*stops*), ki določajo točke ali področja, kjer potniki javnega prevoza lahko vstopajo ali izstopajo,
- linije javnega prevoza (*lines*), s katerimi določimo posamezne vozne poti javnega prevoza v prostoru in
- ozemlja (*territories*), s katerimi opišemo četrti ali območja – to so s poligoni opisana območja, znotraj katerih lahko natančno izračunamo kazalce osebnega in javnega prevoza.

Transportno ponudbo pa predstavljajo tudi transportni sistemi, ki jih v VISUM-u ločimo glede na:

- vrsto: osebni prevoz (*PrT*), javni prevoz (*PuT* in *PuTAux*, kjer slednji predstavlja »pomožni« javni prevoz, ki ga lahko opišemo bolj ohlapno in z njim modeliramo možnosti kot so »park & ride«) in »peš« promet (*PuTWalk*) in
- način transporta: to je vrsto vozila, na primer avto, kolo, vlak, ...

Vsi objekti v prometni mreži so opisani s pripadajočimi značilnostmi oz. atributi, med katerimi pa ločimo *podatkovne attribute* (kot so npr. številka vozlišča, dolžina linka, ...) in *izračunane attribute* (npr. število vstopajočih na postaji javnega prevoza). Skoraj vsem objektom pa lahko predpišemo svoje, uporabniške attribute (*user defined attributes*), ki lahko služijo za dodatne ali začasne podatke in se lahko uporabijo kot pogoj pri filtriranju ali pa tudi pri izračunih.

Vnos podatkov, oblikovanja in urejanje prometne mreže (*linki, vozlišča, cone, konektorji, ...*) poteka preko grafičnega uporabniškega vmesnika (GUI). Geografske podatke in prometne podatke lahko vnašamo preko GIS podatkovne baze.

Prometno povpraševanje

VISUM opiše prometno oziroma potovalno, povpraševanje z izvorno ciljno matriko. Njeni elementi predstavljajo število potovanj od izvora do cilja. Elementi izvorno ciljne matrike predstavljajo število potovanj med dvema conama glede na časovni interval analize, kar pomeni, da vsebuje samo potovanja, katerih odhod se zgodi znotraj obravnavanega časovnega intervala. Lahko vsebuje vsa potovanja v prometnem sistemu in pravimo, da je celotna, totalna; lahko vsebuje potovanja posameznega prometnega sredstva (avto, javni prevoz, peš, ...); lahko se loči na posamezne skupine ljudi (zaposleni, študenti, upokoenci, ...); lahko je ločena po namenu potovanja (služba, nakupi, prosti čas, ...).

Prometno povpraševanje ločimo na:

- *opazovano*; z njim opišemo število potovanj in njihovo distribucijo v določenem časovnem intervalu obstoječega prometnega sistema in s tem predstavimo posnetek

trenutnih, obstoječih prometnih razmer – dobimo približek trenutnega, današnjega prometnega povpraševanja, saj je za opis uporabljen reprezentativen vzorec uporabnikov,

- *izračunano*; z njimi opišemo število potovanj in njihovo distribucijo na osnovi predpostavk – lahko izračunamo današnje prometne povpraševanje, če za vhodne podatke uporabimo podatke obstoječega stanja (raba zemljišč, prebivalstvo, prometni sistem, ...), lahko pa izračunamo bodoče prometno povpraševanje, če uporabimo za vhodne podatke napovedano stanje (raba zemljišč, prebivalci, ...).

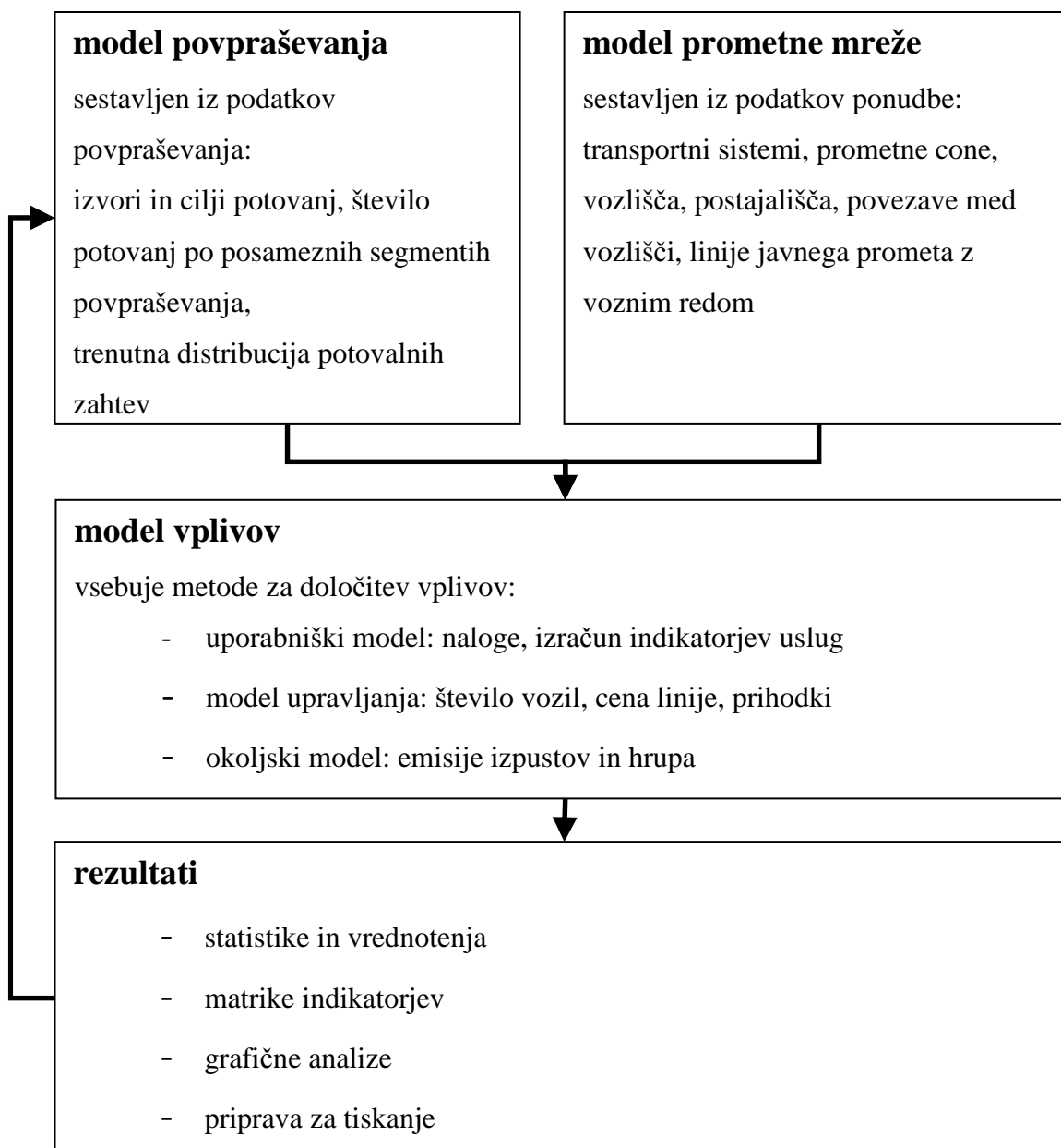
VISUM za izračun povpraševanja uporablja objekte prometne mreže imenovani *sloji povpraševanja (demand strata)*, s katerimi opiše *skupine povpraševanja* (katere ločijo uporabnike sistema glede na dejavnike, ki vplivajo na generacijo prometa – glej 3.4.1.1) in *dejavnosti* (namen potovanj). Posamezen sloj povpraševanja (*demand stratum*) je torej kombinacija, ki vsebuje eno skupino povpraševanja (npr. zaposleni, študenti) in eno dejavnost oz. namen potovanja (služba, študij, prosti čas); VISUM ga lahko generira samodejno za izbrane dejavnosti in skupine ali pa ga vnesemo sami.

Vplivni modeli

Glede na področje zanimanja ali opazovano stran lahko ustvarimo več vplivnih modelov, ki se razlikujejo glede na vidik, ki ga hočemo opazovati. Tako lahko ločimo:

- vplive na uporabnike prometnega sistema,
- vplive na operaterje javnega prevoza,
- vplive na splošno javnost in
- vplive na okolje.

Transportni model



Slika 11: Transportni model VISUM (vir: VISUM User Manual 9.3, 2005)

Synchro je samostojno programsko orodje, ki je, kot trdijo avtorji, namenjeno za makroskopsko analizo in optimizacijo časovnih intervalov prometne mreže in posameznih semaforiziranih križišč. Program ne omogoča izračuna prometnih obremenitev na osnovi prometnega povpraševanja in ponudbe, ampak je namenjen izračunu kapacitet križišč. Je del

programskega paketa Synchro Plus; slednega sestavljajo že omenjeni program, program SimTraffic s pripadajočim kontrolnim vmesnikom in 3D Viewer, ki je namenjen prostorski predstavitvi simulacij iz programa SimTraffic.

Synchro za analizo signaliziranih križišč uporablja tri neodvisne metode: ICU (*Intersection Capacity Utilization*), HCM (*Highway Capacity Manual*) in lastno – percentil zamud.

Prednost ICU metode je v enostavnosti uporabe in ponovljivosti, hkrati pa je tudi zelo zanesljiva. Izračunan nivo uslug temelji na ICU metodi in služi za predstavo o tem, kako križišče deluje in koliko kapacitete je prometu še na voljo. Nivo uslug je kvalitativni opis delovanja v prometnem toku, ki je odvisen od hitrosti in časa potovanja, možnosti manevriranja, prometnih prekinitev in udobnosti ali priročnosti.

Osnova HCM metode je istoimenski priročnik, ki je namenjen planiranju in upravljanju prometa. Priročnik nudi podrobno analizo semaforiziranih križišč, vendar ravno zaradi kompleksnosti prihaja do nesoglasja pri izračunih, saj se interpretacija pristopov različnih programskih orodij ne sklada. HCM izračuni so osnovani na zamudah in so manj točni kot metode, ki temeljijo na kapaciteti.

Metoda zamud po Synchro-tu je namenjena načrtovanju in optimiziranju časovnih intervalov prometnih signalnih naprav. Značilnost metode je, da je prezahtevna za izračun »na roko« in da se rezultati pri ponavljajočih se računih ne ujemajo. V primeru prometno odvisnega krmiljenja prometnih svetlobnih signalnih naprav je ta metoda najboljša.

	Metoda zamud - Synchro	HCM metoda	ICU
kazalci učinkovitosti	zamude	zamude in v/c razmerje	v/c razmerje
namen uporabe	prometne operacije, svetlobni časi	prometne operacije in načrtovanje	prometno načrtovanje, vplivne študije, načrtovanje cest

pričakovana zanesljivost	10% do 27%	10% do 29%	3% do 10%
drugi viri za izračune	ne	HCM kompatibilni programi	preglednice v Excelu
potrebni časi pešcev	da	ne	da
podrobno modeliranje koordinacije SSN	da	ne	ne
podrobno modeliranje prometno odvisnega krmiljenja SSN	da	ne	ne

Preglednica 4: Primerjava metod za analizo (vir: Synchro Studio 7, 2006)

Prikaz analiz

Za prikaz rezultatov analiz ima Synchro na voljo 21 poročil. Na voljo imamo poročila o križišču, ICU poročila, HCM poročila za svetlobno signalizirana križišča in križišča, urejena s prometnimi znaki in poročila o nivoju uslug koridorja.

Delovanje prometnega sistema opiše z zamudami, zamudami zaradi ustavljanj, vsemi ustavljanji, ustavljanji na vozilo, potovalnimi potmi in časi, nivojem uslug, maksimalno dolžino zastoja, porabo goriva, izpusti, ...

3.5 Mikroskopski modeli

Mikroskopski modeli so nastali iz potrebe, da bi bolje razumeli in opazovali delovanje vsaj dela prometnega sistema na bolj podrobnem nivoju. Z njimi lahko natančno opišemo akcije in reakcije posameznih delov, ki sestavljajo promet.

Pri mikroskopskih modelih je promet opisan s posameznim vozilom, interakcijo med posameznimi vozili in interakcijo med cestno infrastrukturo in vozilom. Običajno je obnašanje voznika zajeto s skupkom pravil, ki opisujejo, kako vozilo pospešuje, zavira, menja pasove, pa tudi kako izbira poti do svojega cilja. Modele, ki opisujejo obnašanje, lahko razdelimo na:

- **model sledi vodjo**, s katerim opišemo pospeševanje in zaviranje vozila glede na ostala vozila in cestne značilnosti (omejitve hitrosti, zavrtost cest, ipd.),
- **model menjave pasov**, s katerim opišemo odločitev, kdaj voznik zamenja pas in
- **model izbire poti**, s katerim opišemo, kako se voznik odloči, katero pot bo ubral in kako se na poti odziva na promet in povratne informacije, ki jih dobi s poti.

Obremenjevanje v mikroskopskem modelu je stohastično – uporabniki nimajo popolne informacije o stanju na prometnem omrežju. Če pa je upoštevana še časovna komponenta, pa lahko ločimo na statično in dinamično obremenjevanje.

Pri statičnem obremenjevanju za vhodne podatke uporabimo rezultate faze obremenjevanja iz makroskopskega simulacijskega modela ali iz terenskih meritev (štetje prometa). Ti se nanesejo na robove omrežja, od koder jih program po stohastični distribuciji razporedi na omrežje.

Pri dinamičnem obremenjevanju je prometno omrežje razdeljeno na cone in število vozil določeno z izvorno – ciljno matriko za časovni interval. Promet se razporedi tako prostorsko kot časovno, tako da smo bližje pravim razmeram.

3.5.1 SimTraffic (TrafficWare)

SimTraffic izvede mikroskopsko simulacijo in animacijo prometa vozil; za vhodne podatke uporabi rezultate iz makroskopskega modela Synchro. Omogoča modeliranje nekaterih lastnosti, ki jih s Synchro-m ne moremo. Z njim modeliramo prometne mreže s signaliziranimi ali nesignaliziranimi križišči, vključno s krožnimi križišči. S programom predvsem preverimo svetlobne prometne signale in jih še bolj podrobno uskladimo za dobro

delovanje. Uporaben je tudi za analiziranje bolj zapletenih prometnih situacij, ki jih ne moremo modelirati na makroskopskem nivoju (na primer nejasnosti pri menjavanju pasov pri križiščih, ki imajo majhno medsebojno oddaljenost, učinek SSN na bližnja križišča, ki so urejena s prometnimi znaki, delovanje križišč v primeru velikih prometnih obremenitev, ...).

Nekatere parametre, kot so značilnosti voznika in vozila, vnesemo v SimTraffic-u. Karakteristike voznika in vozila, ki jih uporablja, temeljijo na parametrih, ki jih podaja zvezna administracija v Ameriki (*Federal Highway Administration*) za uporabo v prometnem modeliranju. Njegove glavne značilnosti so:

- možnost modeliranja prometne mreže s signaliziranimi in nesignaliziranimi križišči,
- preveritev in nastavitvev prometnih signalnih naprav,
- analiziranje bližnjih križišč z medsebojnim vplivom,
- simuliranje vplivov, ki jih ima signalizacija na bližnja nesignalizirana križišča in
- analiza delovanja križišč, na katerih prihaja do velikih zastojev.

Prikaz analiz

SimTraffic ima na voljo 4 poročila: povzetek simulacije, informacije o zastojih, časi prometno vodenih SSN in poročilo delovanja. V primeru, da spreminjamo katerekoli vrednosti, moramo simulacijo ponovno zagnati, da dobimo rezultate posodobljenih parametrov.

3.5.2 VISSIM (PTV AG)

VISSIM je del programskega paketa za prometno planiranje *ptv vision*. Uporablja se za mikroskopsko modeliranje prometnega toka in modeliranje prometno odvisnega ali fiksnega signalnega krmiljenja. Prometni tok je opisan diskretno, stohastično, po časovnih korakih. Z njim lahko rešujemo naloge, ki vsebujejo krožna križišča, signalizirana in nesignalizirana križišča in nivojska križanja. Za rezultate dobimo kazalce učinkovitosti (MOE – volumni, povprečne hitrosti, potovalni časi, zamude, dolžine zastojev, število ustavljanj, časovno-prostorski diagram), izpuste vozil in podatke za signalne naprave (največji, najmanjši in povprečni zeleni časi za signalno skupino ali fazo, ...). Posebnost orodja je tudi v možnosti

modeliranja objektov za pobiranje cestnine, kar je pomembno pri nalogah, ki morajo vključevati tudi te prometne ukrepe.

3.5.3 Primerjava VISSIM – Synchro

Oba programa imata svoje prednosti in slabosti, kar tudi vpliva na izbiro med njima. Synchro je na eni strani uporabniško prijazen in z njim razmeroma lahko ustvarimo podrobna poročila; na drugi strani pa je omejen pri modeliranju križišč. VISSIM pa zahteva več časa za vnos podatkov in časovno zahteven za izdelavo poročila. Njegova prednost pa se pokaže pri oblikovanju nekonvencionalnih križišč, zahtevnejših mrež in avtocestnih prepletanj prometnih tokov.

Velika prednost obeh orodij pa predstavlja 3D simulacija prometnih tokov (oziroma 4D simulacija, kakor jo imenuje PTV na svoji spletni strani, saj po njihovem predstavlja obnašanje tri dimenzionalnih objektov skozi čas, ki predstavlja četrto dimenzijo); nestrokovni javnosti namreč podatki kot so število zaustavljanj na vozilo, zamude na vozilo, ... ne ustvarjajo oprijemljivih predstav. Zato 3D predstavitve predstavljajo močno orodje pri komuniciranju.

Vhodni podatki	VISSIM	Synchro/SimTraffic
Prometni tokovi	se vnašajo na začetku zunanjih linkov	se vnašajo na križišču po zavijalcih
Vrste vozil	avto, <i>HGV</i> , avtobus, tramvaj, kolesarji, pešci,	avto, avtobus, tovornjak, poltovornjak, priklopnik in <i>carpool</i>
Faze in časi SSN	definiranje signalnih skupin	lažja vzpostavitev glede na VISSIM
Nesemaforizirana križišča	potrebno je podrobno opisati gibanje in prioritete vozil	enostavni vnos
Krožna križišča	možno, pri čemer je potrebno podrobno opisati gibanje in prioritete vozil	se lahko modelirajo v skladu s postopki <i>HCS 2000</i>

Javni prevoz	potrebno opisati linije javnega prevoza skupaj z začetnimi in končnimi točkami in postajališči; potrebno je opredeliti tudi čakanje na postajališčih	ni možno
--------------	--	----------

Preglednica 5: Primerjava nekaterih vhodnih podatkov za VISSIM in Synchro/SimTraffic (vir: Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operations, 2002)

Rezultati	VISSIM	Synchro/SimTraffic
Zamude približevanja	izračuna povprečne totalne zamude na vozilo, povprečni čas ustavljenega vozila, pretok vozil, povprečne totalne zamude na osebo, pretok oseb	izračuna zamude približevanja po pasovih
Število ustavljanj in kolone približevanj	izračuna povprečno dolžino zastoja, največjo dolžino zastoja in število ustavljanj na vozilo v zastoju	izračuna 50. percentil in 95. percentil dolžine zastoja, kakor tudi dolžino zastoja na pas
Nivo uslug	se lahko določi iz povprečnih zamud na vozilo	direktni rezultat iz programa
Časovno prostorski diagram	je na voljo	je na voljo
Izpusti	benzen, CO, CO ₂ , HC, NO _x , SO ₂ in podrobnosti o izpustih.	izpusti so predstavljeni v kilogramih na celotno trajanje simulacije - CO, NO _x in VOC

Preglednica 6: Kazalci učinkovitosti (MOE) za VISSIM in Synchro/SimTraffic (vir: Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operations, 2002)

Synchro prednosti in slabosti

Prednosti:

- v Synchro se lahko vnesejo vsi parametri iz HCM (*HCM - Highway Capacity Manual* – smernice, koncepti in postopki za izračun kapacitet in kvaliteto ponudbe različnih cestnih struktur, vključno z avtocestami, glavnimi cestami, križišči (krožnimi, signaliziranimi in nesignaliziranimi), ... z upoštevanjem učinkov prometa, pešcev in kolesarjev),
- Synchro omogoča obsežne prilagoditve časovnih parametrov,
- Synchro omogoča analizo in oblikovanje koordiniranih signalnih sistemov in njihovo optimizacijo,
- omogoča spreminjanje faz signalizacije in ustvarjanje lastno nastavljenih faz,
- možnost upravljanja večjega števila križišč preko enega prometno signalnega vodila,
- SimTraffic dopušča spremembe karakteristik voznika in vozila (npr. povprečne hitrosti, sprejemljivi razmaki, ...) in
- SimTraffic je enostaven za uporabo in ustvari 3D simulacijo z malo truda v primerjavi z drugimi modeli za prometne simulacije.

Slabosti:

- optimizacija v Synchro-tu ni zmeraj dosledna,
- enaki vhodni podatki nimajo vedno enakih rezultatov,
- ena datoteka v Synchro-tu dovoli samo eno izdelano varianto,
- SimTraffic je nepopolna simulacijska metoda,
- Synchro in SimTraffic v zasičenem toku slabo opišeta prometno dogajanje,
- zaradi razmeroma preproste uporabe in hitro dobljene prostorske simulacije obstaja možnost, da uporabnik zanemari proces kalibracije in validacije modela.

VISSIM prednosti in slabosti

Prednosti:

- omogoča prepletanje mestnih in izven mestnih prometnih površin,

- omogoča uporabo prometno odvisnega in prometno neodvisnega signalnega krmiljenja,
- omogoča oblikovanje pasov za izjemni promet (npr. pasovi samo za javni prevoz, pasovi za vsaj dva potnika – »HOV lanes«),
- omogoča prepletanje hitrega javnega prometa z glavnim prometnim tokom,
- parametri obnašanja voznika so nastavljivi, s čimer se omogoči fleksibilnost v kalibraciji in validaciji,
- izjemna prostorska predstavitev s prilagodljivim pogledom, z možnostjo vnosa svojih objektov v predstavitev za še večjo realnost (drevesa, stavbe, ...) in tekočo animacijo,
- število vozlišč, povezav in vozil je omejeno samo s strojno opremo,
- dinamična prometna obremenitev – možnost uporabe tabel izvorni ciljnih matrik,
- uvoz iz GIS datotek in
- modeliranje kompleksnih prometnih struktur (nivojska križanja, avtocestni križi, ...).

Slabosti:

- zahteva poglobljeno poznavanje prometnega inženirstva,
- veliko časa vloženega v učenje in spoznavanje programa,
- cena,
- kompleksnost programa zahteva podrobno poznavanje programa in njegovih značilnosti in
- že manjše nedoslednosti pri modeliranju lahko povzročijo velike napake pri analizi, zato je treba skrbno ustvariti model, kar pa zahteva čas in denar.

4 PROGRAMSKI VMESNIK ZA IZMENJAVO PODATKOV

V podpoglavju 3.5.3 sta bila predstavljena Synchro/SimTraffic in VISSIM s prednostmi in slabostmi, kakor tudi s potrebnimi vhodnimi podatki in rezultati. Glavna razlika med njima, ki bi jo izpostavil, je zahtevnost uporabe.

VISSIM je bolj zahteven za uporabo in modeliranje v njem zahteva več časa. Primeren je za izkušenejše prometne inženirje/analitike. Ravno njegove slabosti se pa pokažejo kot prednosti pri prometnih nalogah, kjer moramo modelirati nevsakdanje prometne pogoje – ravno njegova zahtevnost in širok nabor funkcij omogoča tudi fleksibilnost uporabe.

Synchro/SimTraffic pa odlikuje predvsem njegova prijaznost do uporabnika in hitra priučitev, kar pa postane tudi njegova hiba v razmerah, kjer imamo opravka z neobičajnimi prometnimi ureditvami in rešitvami.

Podjetje PTV AG je izdalo programski modul, ki izvozi podatke iz VISUM-a, ti pa so pripravljene za uvoz v Synchro. Glede na to, da je Synchro/SimTraffic eden bolj priljubljenih programov med uporabniki, je razumljivo, da PTV AG želi doseči tudi te, na drugi strani pa programski vmesnik predstavlja močno orodje – podatke iz modela prometnega povpraševanja lahko izvozimo v mikroskopski simulacijski model drugega podjetja, ki je bolj uporabniku prijazen, hkrati pa cenejši in omogoča hitrejše modeliranje prometnega omrežja. Prav tako omogoča koordinacijo in optimizacijo SSN, za kar je v VISUM-u potreben dodatni modul *NEMA*.

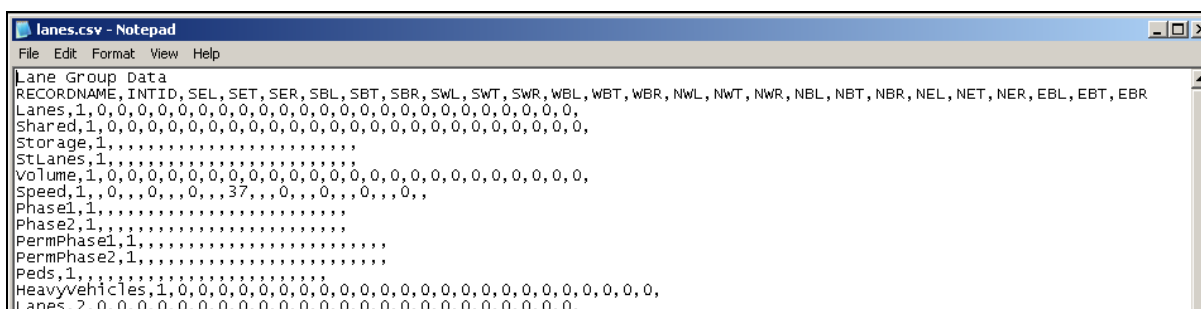
Izvoz podatkov

Izvoz podatkov je enostaven – dodatni modul v opravilni vrstici dovoli ukaz za izvoz podatkov v Synchro. V pogovornem oknu označimo katere podatke želimo zapisati in v katerem časovnem okvirju (izberemo *Analyze Period*). V izbrano mapo programski vmesnik zapiše datoteke s končnico *csv*, ki so pripravljene za uvoz v mikroskopski simulacijski model Synchro.

Vmesnik uporablja UTDF zapis in zapiše 4 datoteke: *lanes.csv*, *layout.csv*, *phasing.csv* in *timing.csv*.

volume.csv	podatki o volumnih, manj kot 10 zapisov na križišče
phasing.csv	podatki o časovnem planu, ki se ne spreminja (časovni cikel SSN)
layout.csv	podatki o lokaciji križišč in kako so med seboj povezana
lanes.csv	podatki o pasovih na linkih
timing.csv	podatki o časovnih načrtih

Preglednica 7: Podatki, ki jih vsebuje posamezna *.csv datoteka (vir: Synchro Studio 7, 2006)



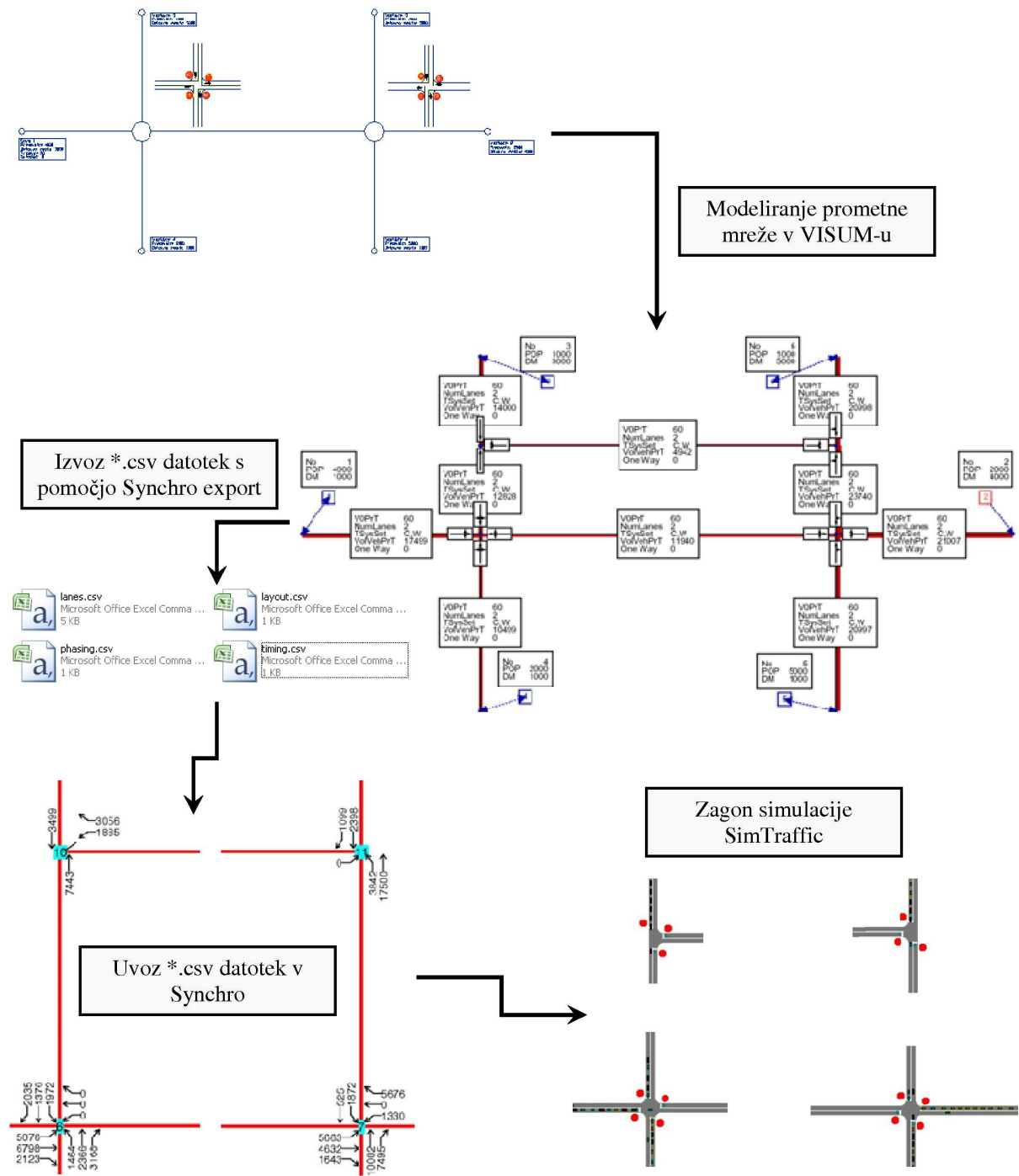
Slika 12: Primer *.csv datoteke

Zapis UTDF (*Universal Traffic Data Format*) je razvilo podjetje TrafficWare v želji, da bi obstajal enotni zapis za prometne spremenljivke; zapis je neodvisen in se ga lahko odpira in ureja z različnimi programi za urejanje teksta, tabel, ... Namenjen je tako hrambi kot prenosu podatkov v tekstovnih datotekah. Bistvo tega zapisa je, da se lahko ureja standardne prometne podatke preko teksta – ni potreben programski grafični vmesnik. Datoteke *.csv predstavljajo datoteke, ki imajo podatke med seboj ločene z vejico (*comma delimited*).

Uvoz podatkov

Datoteke, ki smo jih predhodno izvozili iz VISUM-a, nato v Synchro-tu uvozimo s pripadajočim ukazom.

Uvoz podatkov lahko opravimo za celotno mrežo ali pa za posamezna vozlišča, ki pa v Synchro-tu niso imenovana vozlišča (nodes), ampak križišča (*intersections*). Pomembno je, da najprej uvozimo datoteko *layout.csv*, saj so v njej shranjeni podatki o vozliščih in povezavah med njimi. Nato uvozimo datoteko *lanes.csv*, ki poleg zapisa o pasovih in prometnih ureditvah križišč hrani tudi podatke o prometnih obremenitvah na mreži. Datoteka *phasing.csv* se uporablja za zapis časovnih faz semaforiziranih križišč in je ne potrebujemo, če imamo v naši prometni mreži križišča brez svetlobne prometne ureditve. Datoteko *timing.csv* potrebujemo pri koordinaciji zelenih časov skupine križišč.



Slika 13: Shematski prikaz izdelovanja testnih primerov

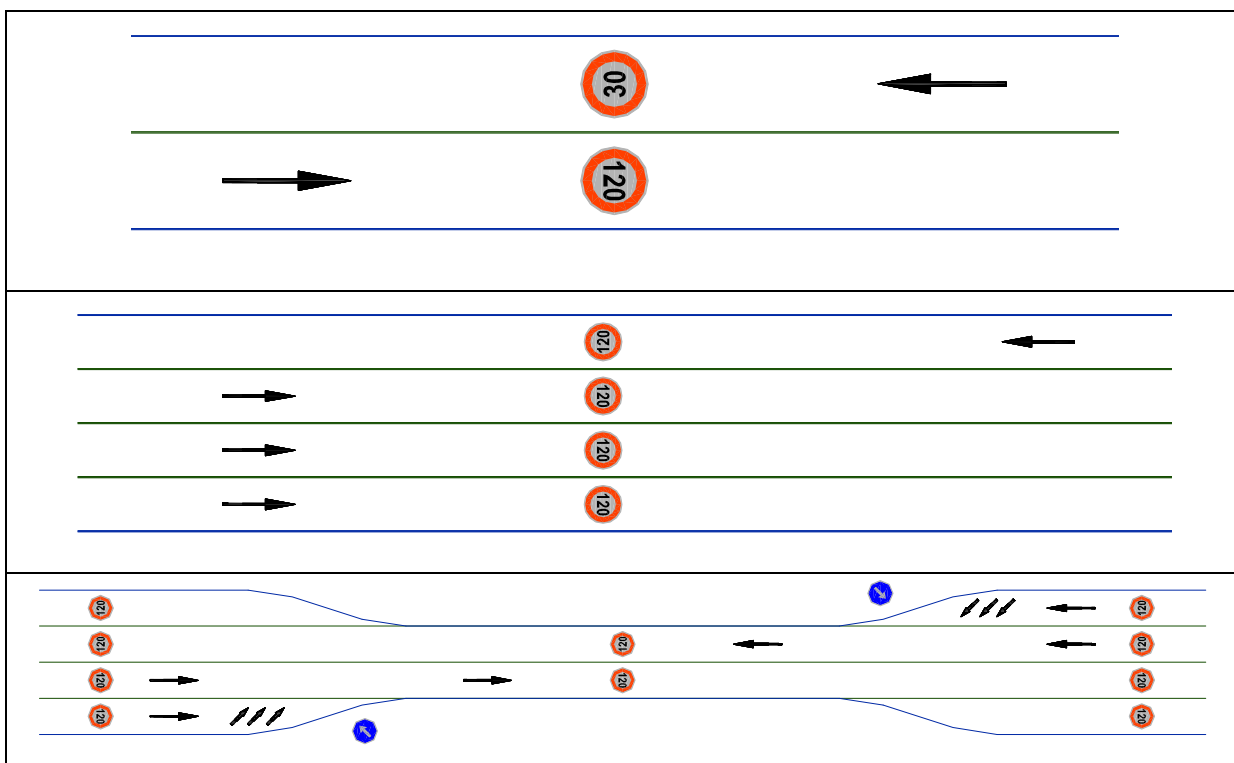
4.1 Praktična uporaba vmesnika in ugotovitve

Uvoz datotek povzroča kar nekaj preglavic, tako da se je izkazalo, da programski vmesnik ni zmožen prenesti poljubne mreže iz VISUM-a v Synchrono.

Za analizo sem uporabil študijske primere, izdelanih z VISUM-om. Uporabil sem zaporedni model, pri čemer sem izbiro prometnega sredstva zanemaril, saj Synchrono ne modelira javnega prevoza. S študijskimi primeri sem želel ugotoviti, kakšna oblike križišč in katero prometno signalizacijo sploh lahko uporabimo v naši mreži.

Podatki, ki jih izvozimo v *.csv datoteke, so zapisani v anglosaškemu merskemu sistemu, zato moramo pred uvozom v Synchrono-tu nastaviti ustrezne enote. Le-te, ko smo zaključili z uvozom podatkov, lahko spremenimo v metrične.

4.1.1 Link

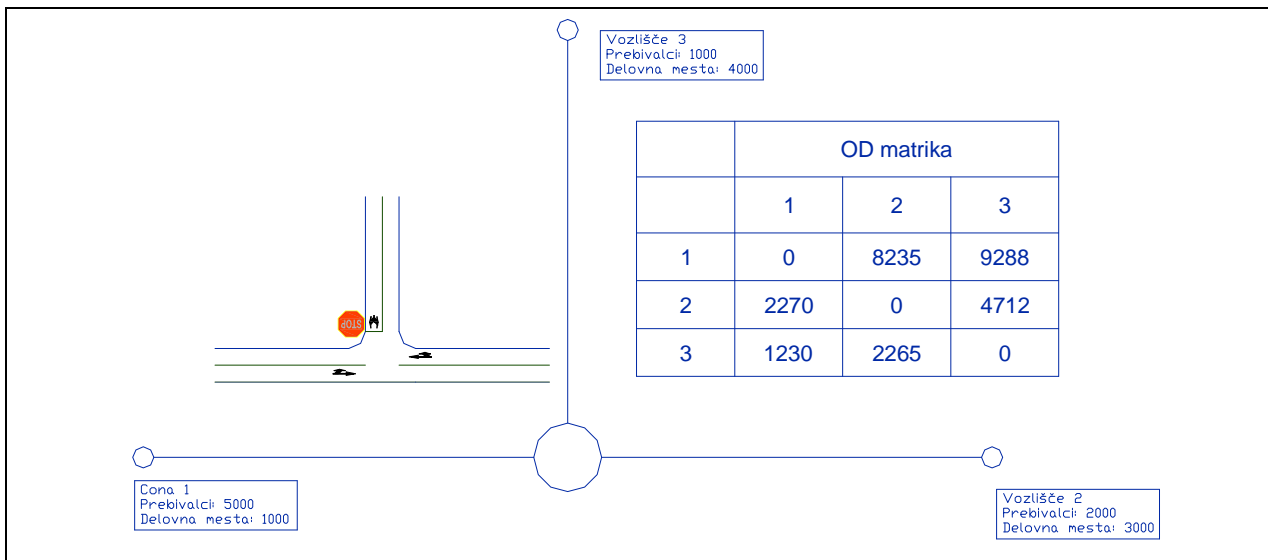


Slika 14: Skice preizkušanih linkov

- **različne hitrosti** (hitrosti se v Synchro ne prenesejo, kljub temu, da so zapisane v *.csv datoteko)
- **različno število pasov** (različno število pasov se ne prenese v Synchro)
- **zožitev na cesti** (zožitev na cesti deluje, vendar v VISUM-u ne smemo dodajati vozlišča naknadno z ukazom *Split Link*, ampak moramo vnesti nova vozlišča in povezave)

4.1.2 Križišča različnih oblik

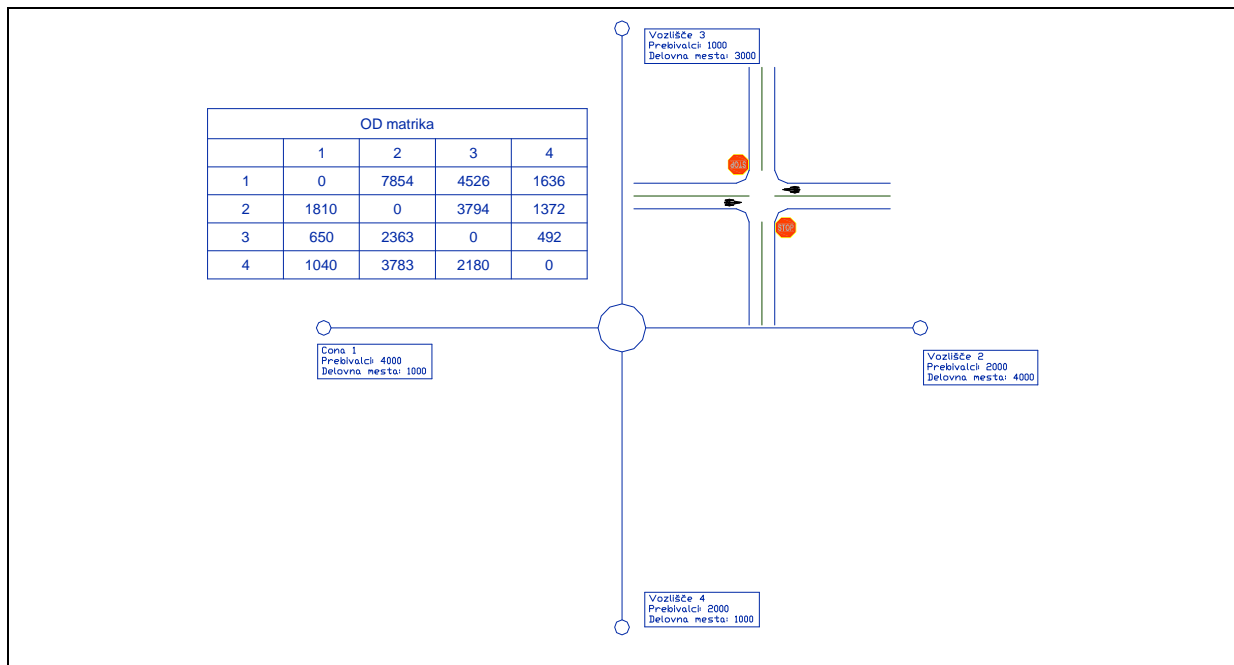
4.1.2.1 Križišča s tremi kraki



Slika 15: Skica mreže in križišča (križišče s tremi kraki)

- **križišče s tremi kraki**
- **križišče s tremi kraki, izmed katerih se en krak priključuje pod kotom**
- **križišče s trem kraki in neravnim linkom** (neravni link se izriše kot ravni; prometne obremenitve se ne prenesejo)

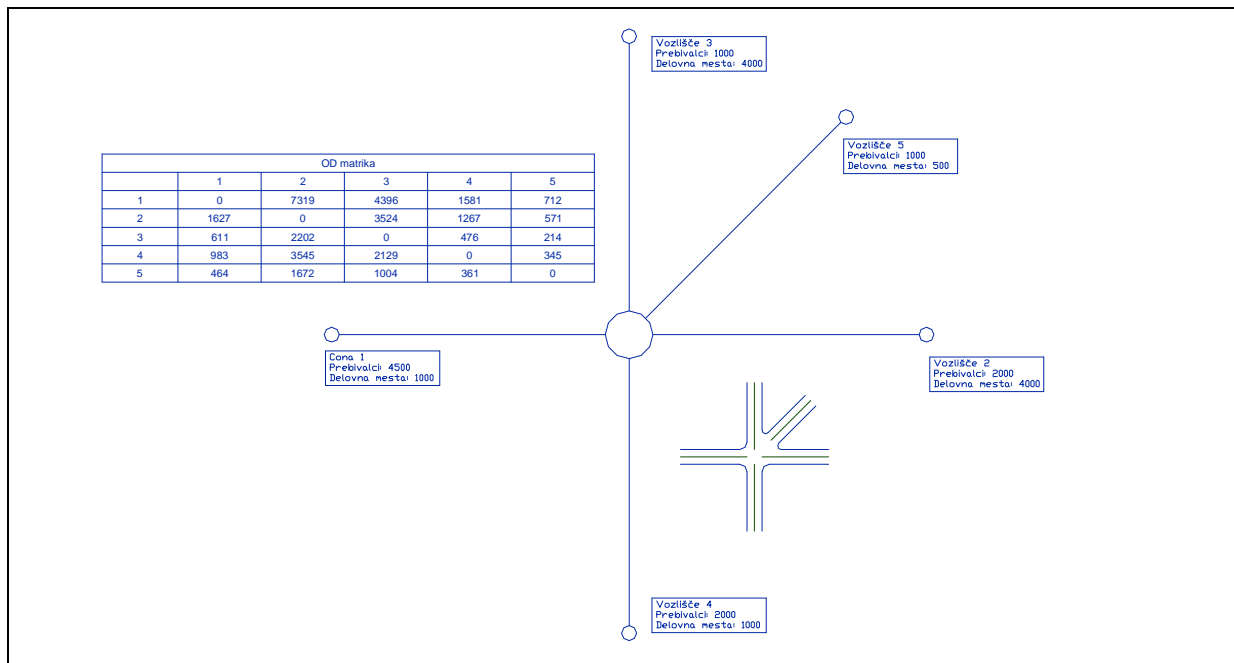
4.1.2.2 Križišča s štirimi kraki



Slika 16: Skica mreže in križišča (križišče s štirimi kraki)

- **križišče s štirimi kraki**
- **križišče s štirimi kraki, izmed katerih se en priključuje pod kotom:**
 - **45°** (obremenitve s kraka postrani se ne prenesejo, SimTraffic ne dela)
 - **< 45°** (obremenitve s kraka postrani se ne prenesejo, SimTraffic ne dela)
 - **> 45°**
- **križišče K oblike** (obremenitve s kraka postrani se ne prenesejo, SimTraffic ne dela)

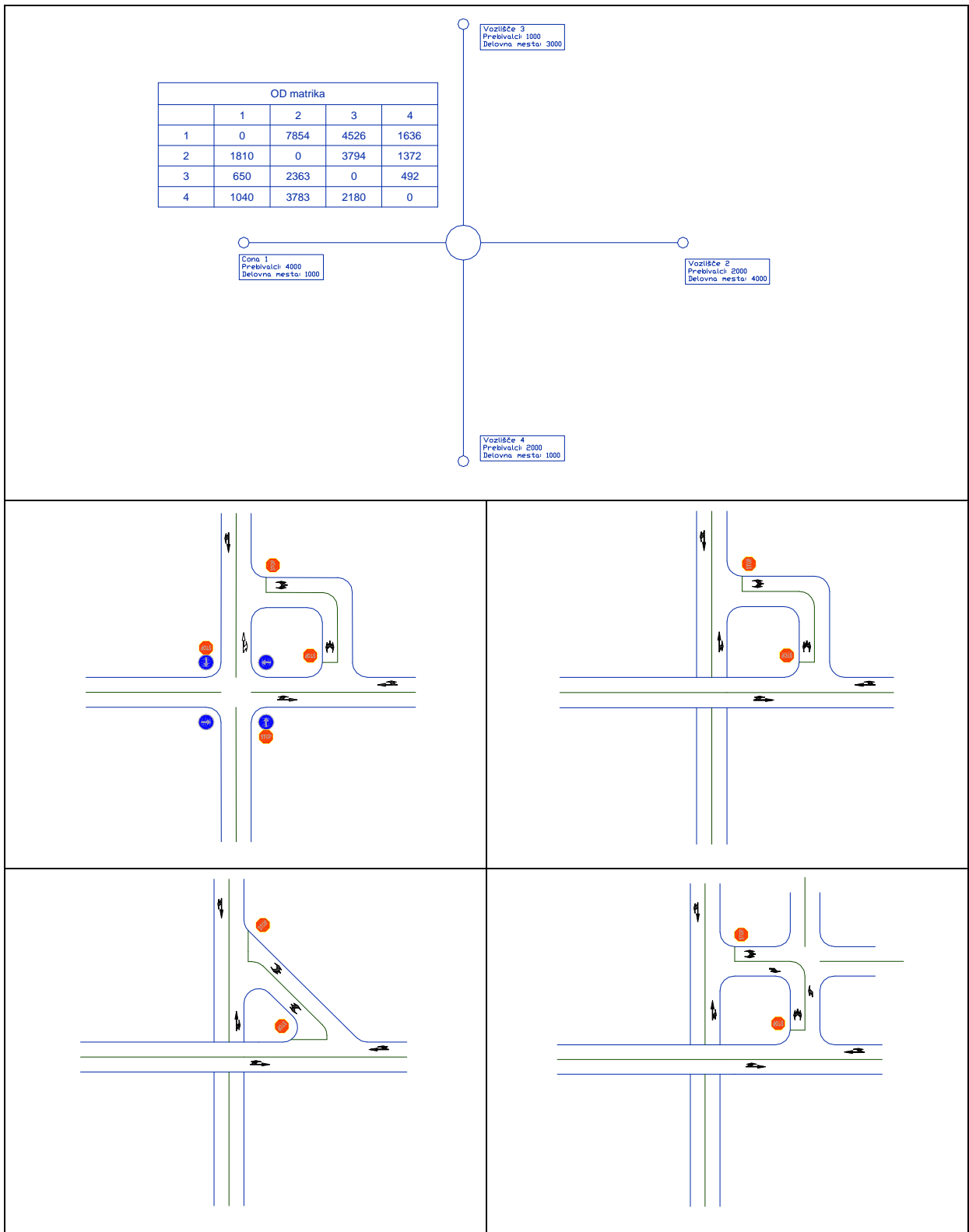
4.1.2.3 Križišči s petimi kraki



Slika 17: Skica mreže in križišča (križišče s petimi kraki)

- **križišče s petimi kraki** (obremenitve s kraka postrani se ne prenesejo, SimTraffic ne dela)
- **križišče s petimi kraki, pri katerem se krak postani priključuje pod kotom različnim od 45°** (obremenitve in pasovi s kraka postrani se ne prenesejo, SimTraffic ne dela)

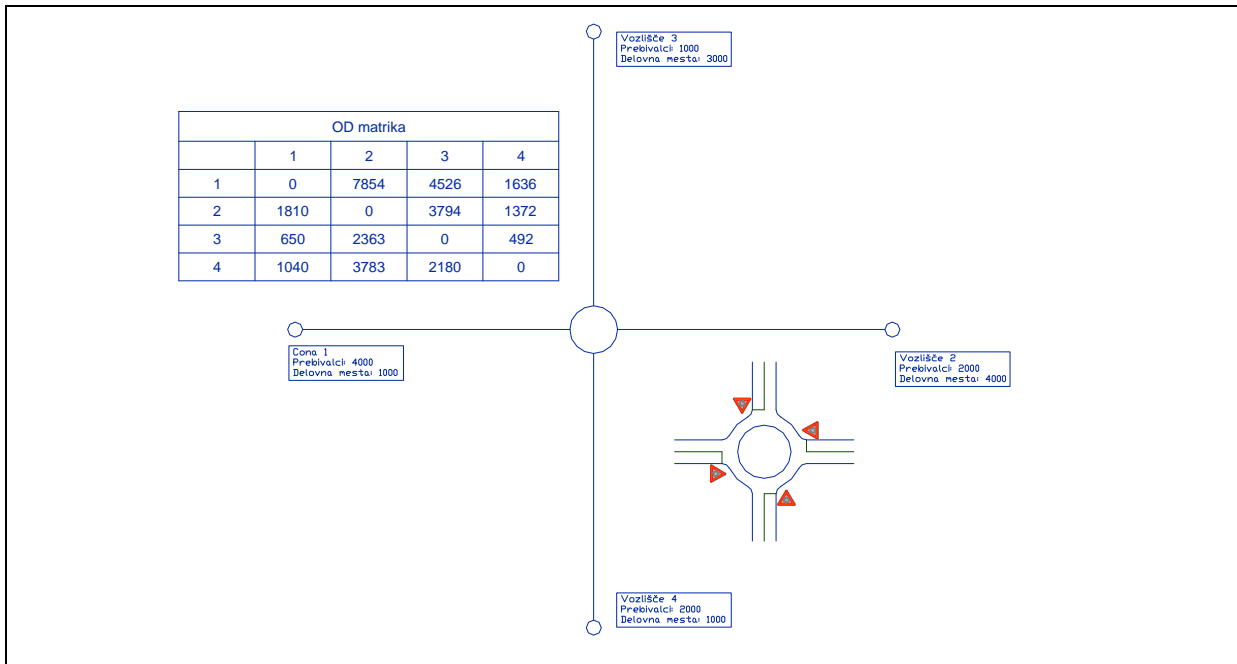
4.1.2.4 Izven nivojsko križišče z različnimi rešitvami



Slika 18: Skica mreže in skice modeliranja izven nivojskega križišča

- **izven nivojsko križišče** (izven nivojsko križišče dela samo pod pogojem, da ga modeliramo tako, kot je prikazano na zadnji skici – dodamo štirikrako križišče, v katerem sta dva linka neobremenjena, prepovemo ustrezna zavijanja)

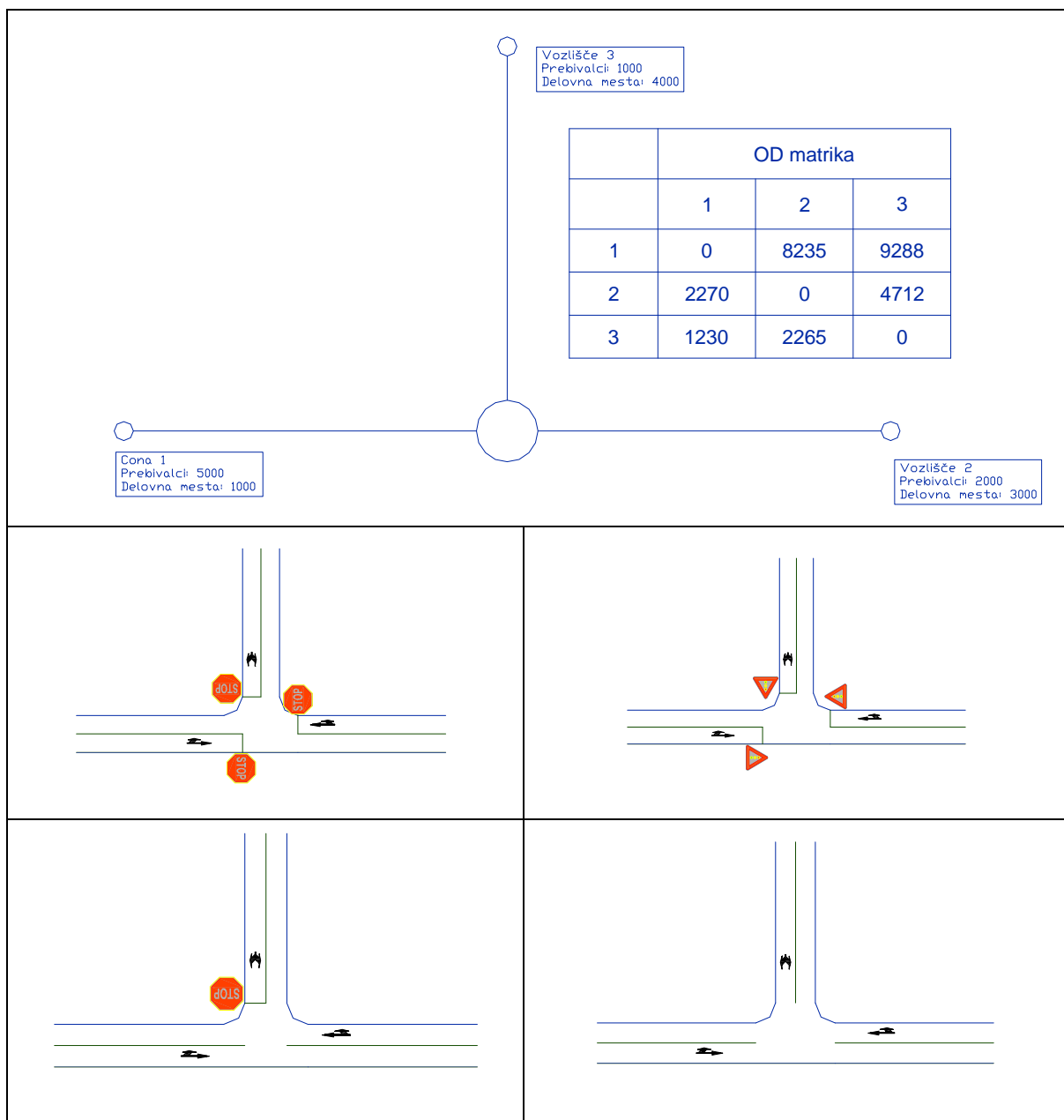
4.1.2.5 Krožno križišče



Slika 19: Skica mreže in križišča (krožno križišče)

- **krožno križišče** (namesto krožnega križišča dobimo v Synchro-tu semaforizirano križišče brez rdečih časov)

4.1.3 Različna prometna signalizacija

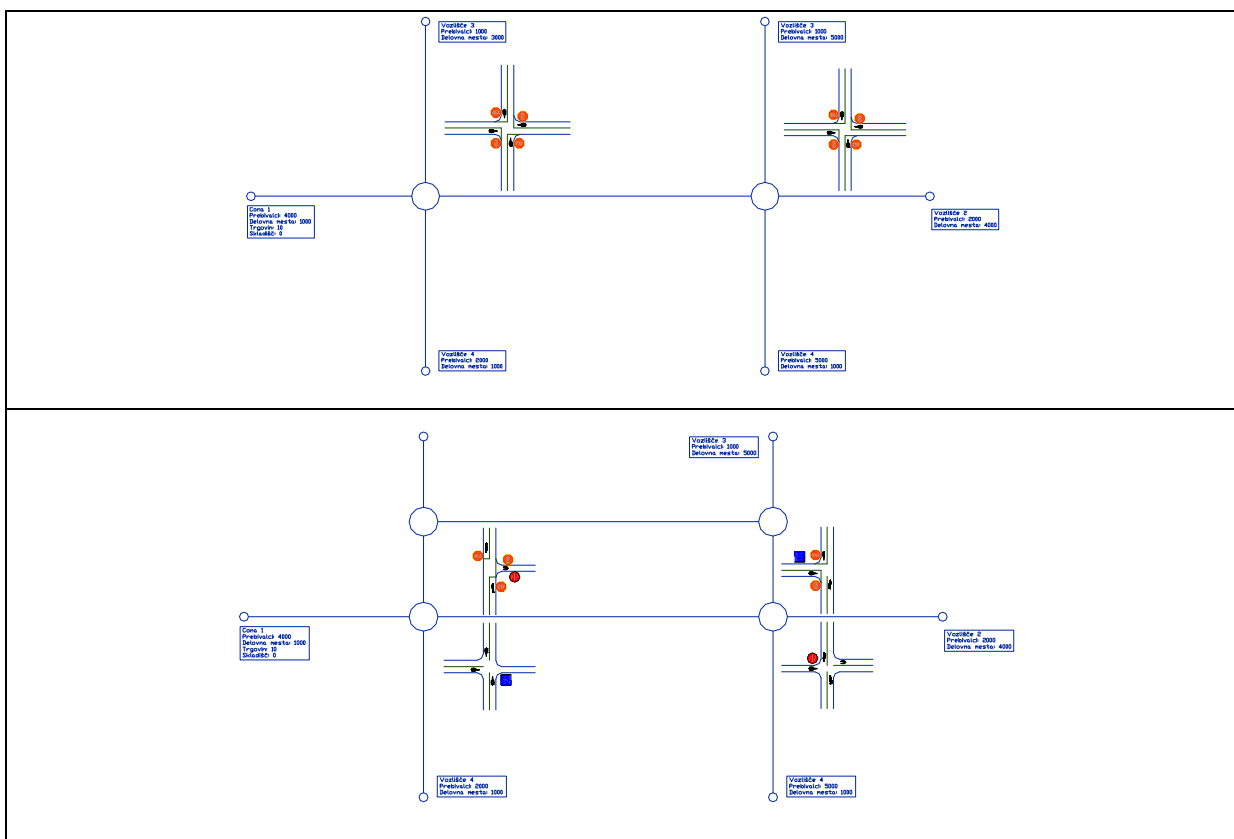


Slika 20: Skica mreže in križišča z različno prometno ureditvijo, ki jo dopušča VISUM

- stop znak na vseh smereh (*all way stop*)
- prednost vozil v eni smeri (*two way stop*) (namesto two way stop se prenese all way stop)
- signalizirano križišče (*signalized*) (VISUM Synchro Export odpove)

- **križišče brez prometne ureditve (*uncontrolled*)** (v Synchrono se prenese semaforizirano križišče brez rdečih časov)
- **križišče brez znane prometne ureditve (*unknown*)** (v Synchrono se prenese semaforizirano križišče brez rdečih časov)

4.1.4 Mreža



Slika 21: Skica mreže in križišč

- enostavna mreža z dvema križišči, ki imata na vseh smereh stop znak
- mreža s štirimi križišči in z enosmernim prometom (pasovi so izrisani, prometnih obremenitev v prepovedanih smereh ni)
- vpeljava tovornega prometa
- obračanje v križišču (ne prenesejo se prometne obremenitve zavijalcev za 180°; to je potrebno urediti naknadno)

4.2 Zbrane ugotovitve o delovanju

V tabeli Preglednica 8 so zbrani rezultati testiranja; pri tem velja povedati, da si je primer zaslužil oceno »deluje«, v kolikor so se podatki izvozili in uvozili brez posebnosti in je bilo mogoče zagnati SimTraffic. Oceno »ne deluje« so dobili vsi primeri, kjer je nastal problem pri izvozu/uvozu podatkov ali se le-ti niso ujemali z modelom v VISUM-u. Tak primer je predvsem razdelek prometna ureditev križišča, kjer se vsa križišča, ki so označena z »ne deluje«, uvozijo v Synchro in se zažene simulacija SimTraffic, prometna ureditev pa se ne ujema z modelirano.

Zbrane napake s kratkim opisom pa so bile poslane tudi lastniku programskega vmesnika, PTV AG, z namenom, da pripomore k odpravljanju pomanjkljivosti in izboljšavi.

Link	različne hitrosti	ne deluje
	različno število pasov	ne deluje
	zožitev na cest	deluje
Križišče	križišče s tremi kraki	deluje
	križišče s tremi kraki, izmed katerih se en krak priključuje pod kotom	deluje
	križišče s tremi kraki in neravnim linkom	ne deluje
	križišče s štirimi kraki	deluje
	križišče s štirimi kraki, izmed katerih se en priključuje pod kotom:	
	45°	ne deluje
	< 45°	ne deluje
	> 45°	deluje
	križišče K oblike	ne deluje
	križišče s petimi kraki	ne deluje
	križišče s petimi kraki, pri katerem se krak postani priključuje pod kotom različnim od 45°	ne deluje
	izven nivojsko križišče	deluje

	krožno križišče	ne deluje
Prometna ureditev križišča	stop znak na vseh smereh	deluje
	prednost vozil v eni smeri	ne deluje
	signalizirano križišče	ne deluje
	križišče brez prometne ureditve	ne deluje
	križišče brez znane prometne ureditve	ne deluje
Mreža	enostavna mreža z dvema križišči, ki imata na vseh smereh stop znak	deluje
	mreža s štirimi križišči in z enosmernim prometom	deluje
	vpeljava tovornega prometa	deluje
	obračanje v križišču	ne deluje

Preglednica 8: Zbrani rezultati testiranj

5 ZAKLJUČEK

Programska orodja za analizo prometnih nalog se naglo razvijajo – razvijajo se novi modeli (nanoskopski in hibridni), posodabljaajo se obstoječi, razvijajo se *online* aplikacije (vodenje prometa v realnem času). Razvoj kaže predvsem v smer mikroskopskih prometnih simulacij. Hkrati pa se kaže tudi težnja po standardnem zapisu podatkov v programu (UTDF), tako da bi se ti lahko prenašali med poljubnimi programi.

Analizirani programski vmesnik za izmenjavo podatkov ni zadostil pričakovanjem. Da bi ga uporabili v sedanji obliki, bi morali upoštevati dolg spisek omejitev, poenostavitev in pomanjkljivosti pri modeliranju v makroskopskem modelu. To pa seveda ni sprejemljivo, če želimo ustvariti model, ki čim bolj ustreza stvarnemu stanju. Tudi prilagajanje obstoječega sistema, da bi ustrezal za izvoz/uvoz podatkov, ni smotno; ne toliko zaradi zahtevnosti, pač pa zaradi časovne potratnosti. Orodje, glede na rezultate, umeščam v fazo razvoja; lahko ga uporabimo v enostavnih primerih (mnogokrat preveč enostavnih za praktično uporabo), hkrati pa je veliko stvari nedodelanih in praktična uporaba ni mogoča.

Seveda pa se ob prikazanem poraja mnogo zamisli, kako bi programski vmesnik lahko uporabili. Združujeta se modela z različnim opisom prometnega toka ki za delovanje potrebujeta različno vrsto in količino podatkov.

Lahko bi ga uporabili pri analiziranju »točk zanimanja« - zelo obremenjena, geometrijsko zahtevna križišča bi lahko prikazali s simulacijo.

Vplive uvajanje enosmernih cest, zapor prometa, U-obratov, zmanjšanja števila voznih pasov, ipd. bi lahko prav tako prikazali s simulacijo.

Vse spremembe prometnih obremenitev, ki bi bile posledica sprememb v prometnem sistemu, bi lahko predstavili s simulacijo.

Možna bi bilo tudi predstavitev, kjer bi za podlago služila karta prometnih obremenitev iz VISUM-a, simulacija prometa pa bi bila izdelana s SimTrafficom – tako bi jasno pokazali, kaj pomenijo dobljene prometne obremenitve v tekočem prometu.

Programski vmesnik tako ponuja kar nekaj možnosti uporabe, saj predvsem prihrani čas najprej pri modeliranju mreže, ki jo že imamo v makroskopskem modelu, nato pa še pri prometnih obremenitvah, ki jih dobimo ob uvajanju sprememb.

Predstavlja pomoč pri pripravljanju predstavitev, ki pa so močno orodje pri komuniciranju z javnostjo

Za orodje obstaja kar nekaj možnosti uporabe, tudi če bi se sprijaznili z nekaterimi omejitvami, vendar se pričakuje njegov nadaljni razvoj.

6 VIRI IN LITERATURA

6.1 Uporabljeni viri

An Introduction to Urban Travel Demand Forecasting. 1977. Prezentacija, Federal Highway Administration, Urban Mass Transportation Administration: 80 str.

An Overview of Urban Transportation Planning. 1976. Prezentacija, Federal Highway Administration, Urban Mass Transportation Administration: 76 str.

Anu, M. 1997. Introduction to Modeling and Simulation. Binghamton, NY, USA, State University of New York at Binghamton, Department of Systems Science and Industrial Engineering: 7 str.

<http://www.informs-sim.org/wsc97papers/0007.PDF> (8.3.2010)

Bayliss, D., Cuthbert, R., Stonham, P. in sod. 1996. A Professional Framework for Transport Planning. London, Transportation Planning Systems, Vol. 3, No. 1, 1996: str. 17-32.

<http://www.tps.org.uk/files/Main/Library/1996/frameworkpaper.pdf> (8.3.2010)

Ben-Akiva, M., Bierlaire, M. 2003. Discrete Choice Methods and Their Applications to Short Term Travel Decisions. V: Hall, R. W. Handbook of Transportation Science. 2nd ed. Norwell, Kluwer Academic Publishers: str. 9 - 37.

<http://books.google.si/books?id=FxNwLniV2GEC&printsec=frontcover&dq=Handbook+of+Transportation+Science&cd=1#v=onepage&q=&f=false> (8.3.2010)

Husch, D., Albeck, J. 2006. Synchro Studio 7, Synchro plus SimTraffic and 3D Viewer. Sugar Land, TX, Trafficware: 522 str.

Immers, L. H., Stada J. E. 1998. Traffic Demand Modelling. Heverlee, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Traffic Engineering and Infrastructure Planning Section: 114 str.

Jeannotte, K., Chandra, A., Alexiadis, V., Skabardonis, A. 2004. Traffic Analysis Toolbox, Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools. Washington, Federal Highway Administration: 99 str.

http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol2/Vol2_Methodology.pdf (8.3.2010)

Kaseko, M. 2002. Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operations. Report, Nevada, Department of Transportation: 57 str.

http://www.nevadadot.com/reports_pubs/Research_Pubs/pdfs/ResearchReports/2003/03_032.pdf (8.3.2010)

Pretnar, G. 2004. Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja. Diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 60 str.

Ruehr, E., Morrissey, S., Calandra, M., Chen, M., Aburahmah, A., Wong, D. 2004. A Report on the Use of Traffic Simulation Models in the San Diego Region. San Diego, Institute of Transportation Engineering: 19 str.

<http://www.westernite.org/Sections/CalBorder/simulation.pdf> (8.3.2010)

Simulation and Other Models. 2000. V: Highway Capacity Manual 2000. 2000. Washington, Transportation Research Board: str. 31-1 – 31-37.

Transport Analysis Guidance, Introduction to Transport Analysis, TAG Unit 1.1. 2003. London, Integrated Transport Economics and Appraisal (ITEA) Division, Department for Transport: 9 str.

<http://www.dft.gov.uk/webtag/documents/overview/pdf/unit1.1.pdf> (8.3.2010)

VISUM User Manual Version 9.3. 2005. Karlsruhe, PTV AG: 1800 str.

6.2 Ostali viri

Burghout, W. 2004. Hybrid Microscopic-Mesosopic Traffic Simulation. Doctoral Dissertation, Stockholm, Royal Institute of Technology: str. 174.

Gerken, J. 2000. A Practical Approach to Managing Intersection Traffic Data for Large Scale Studies. Omaha, Presentation at the Mid-Continent Transportation Symposium: 12 str.

http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_choice, (8.3.2010)

Jones, S. L., Sullivan, A. J., Anderson, M., Malave, D., Cheekoti, N. 2004. Traffic Simulation Software Comparison Study. Birmingham, Department of Civil & Environmental Engineering, The University of Alabama at Birmingham: 58 str.

Manheim, M. L. 1979. The Challenge of Transportation System Analysis. V: Manheim, M. L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. The MIT Press Classics Series: str. 10 – 57.

<http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=10223&mode=toc> (8.3.2010)

Manheim, M. L. 1979. The Profession of Transportation Systems Analysis. V: Manheim, M. L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis, Volume 1: Basic Concepts. The MIT Press Classics Series: str. 3 – 9.

<http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=10223&mode=toc> (8.3.2010)

Ratrouf, N. T., Rahman, S. M. 2009. A Comparative Analysis of Currently Used Microscopic and Macroscopic Traffic Simulation Software. The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 1B: str. 121 - 133.

http://ajse.kfupm.edu.sa/articles/341B_P.9.pdf (8.3.2010)