

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 program Gradbeništvo,  
Prometna smer

Kandidat:

**David Trošt**

# **Kalibracija in validacija prometnih modelov**

**Diplomska naloga št.: 2861**

**Mentor:**  
doc. dr. Marijan Žura

**Somentor:**  
Tomaž Guzelj

Ljubljana, 28. 12. 2005

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **DAVID TROŠT** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»KALIBRACIJA IN VALIDACIJA PROMETNIH MODELOV«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 07. 12. 2005

---

(podpis)

**BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 519.61/.64:656(043.2)  
**Avtor:** David Trošt  
**Mentor:** doc. dr. Marijan Žura, u.d.i.g.  
**Somentor:** Tomaž Guzelj, u.d.i.g.  
**Naslov:** Validacija in kalibracija prometnih modelov  
**Obseg in oprema:** 101 str., 8 pregl., 16 sl.  
**Ključne besede:** prometni model, kalibracija, validacija

**Izvleček:**

Diplomsko delo obravnava kalibracijo in validacijo štiristopenjskih prometnih modelov. Kalibracija je postopek prilagajanja modelskih parametrov, da rezultat ustreza merjenim vrednostim. Običajno so prometni modeli pomankljivi ravno v fazi validacije. Validacija je dokaz ustreznosti posameznih delov in celotnega modela. Ustreznost modela ugotavljamo na podlagi primerjave modelskih rezultatov posameznih faz in celotnega modela z merjenimi oz. t.i. resničnimi vrednostmi. Kompleksnost modela izboljša kvaliteto napovedi prometnega obnašanja. Zaradi tega pa zaupanje v rezultate modela še bolj temelji na ustreznih in veljavnih kontrolah baznega modela.

## **BIBLOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION.**

**UDC:** 519.61/.64:656(043.2)  
**Autor:** David Trošt  
**Supervisor:** Assist. Prof. Marijan Žura, Ph.D. C.E.  
**Co Supervisor:** Tomaž Guzelj, BSc. C.E.  
**Title:** Calibration and Validation of Traffic Models  
**Notes:** 101 p., 8 tab., 16 fig.  
**Key words:** traffic model, calibration, validation

### **Abstract**

The present work focuses on procedures for calibrating and adjusting four-steps traffic models so as to replicate existing data. Calibration is used to adjust parameter values until predicted travel matches observed travel demand levels in the study area. A major shortcoming of many travel demand models is the lack of attention and effort placed on the validation phase of model development. Validation involves testing the model's predictive capabilities. Travel models need to be able to replicate observed conditions within reason before being used to produce future-year forecasts. As urban areas continue to refine and improve the travel demand forecasting process, the credibility of the process with decision makers will depend largely on the ability of analysts to properly validate procedures and model used.

## ZAHVALA

Za strokovno pomoč se zahvaljujem mentorju doc. dr. Marijanu Žuri, u.d.i.g. in somentorju Tomažu Guzelju, u.d.i.g. Hvala tudi ostalim sodelavcem iz prometnega oddelka podjetja PNZ d.o.o., Ljubljana.

Posebna zahvala staršem, sestri in Maši, ki ste mi dajali pomoč ter vzpodbudo v času študija.

Hvala prijateljem za prijetna študijska leta.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 POMEN KALIBRACIJE IN VALIDACIJE PRI MODELIRANJU</b> .....	<b>2</b>
2.1 Namen in uporaba modela.....	2
2.2 Splošno o kalibraciji in validaciji.....	3
2.3 Proces validacije prometnega modela in definicija posameznih korakov .....	4
2.3.1 Ocena modelskih parametrov.....	5
2.3.2 Kalibracija modela.....	5
2.3.3 Validacija modela .....	5
2.3.4 Uporaba modela .....	5
2.4 Pregled validacijskih procesov .....	6
2.5 Načini validacije.....	8
2.5.1 Kategoriji validacijskih kontrol.....	8
2.5.2 Ocena ujemanja opazovanih in modeliranih vrednosti .....	9
2.5.3 Stopnje agregiranja podatkov .....	10
2.5.4 Viri podatkov za validacijo .....	11
2.5.5 Izvor napake .....	11
2.5.6 Zahtevan nivo natančnosti .....	13
<b>3 ZBIRANJE IN KONTROLA VHODNIH PODATKOV</b> .....	<b>15</b>
3.1 Socio-ekonomski podatki in raba površine .....	15
3.1.1 Splošno .....	15
3.1.2 Vir podatkov za validacijo.....	16
3.1.3 Kontrola podatkov .....	17
3.2 Prometna infrastruktura.....	20
3.2.1 Cestno omrežje.....	20
3.2.2 Kontrola povezav.....	20
3.2.3 Kontrola atributov cestnega omrežja .....	23
3.3 Javni promet .....	24
3.4 Učinkovitost sistema in podatki za validacijo .....	24
3.4.1 Števni podatek.....	25
3.4.2 Hitrosti in potovalni časi.....	26
3.4.3 Karakteristike javnih prevoznih sredstev .....	26

<b>4 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA GENERACIJE POTOVANJ .....</b>	<b>27</b>
4.1 Socio-ekonomski dezagregirani podmodeli .....	27
4.1.1 Opis modela .....	27
4.1.2 Validacija socio-ekonomskih podmodelov .....	29
4.2 Model produkcije potovanj .....	30
4.2.1 Opis modela.....	30
4.2.2 Validacija modela produkcije potovanj .....	31
4.3 Modeli atrakcije potovanj .....	35
4.3.1 Opis modela.....	35
4.3.2 Validacija modela atrakcije potovanj .....	35
4.4 Posebni generatorji .....	36
4.5 Kalibracija modelov za druge namene potovanj.....	36
4.5.1 Komercialna potovanja .....	37
4.5.2 Notranja potovanja nerezidentov .....	37
4.5.3 Tranzitna potovanja .....	37
4.6 Prilagajanje produkcij in atrakcij.....	37
<b>5 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA DISTRIBUCIJE POTOVANJ .....</b>	<b>39</b>
5.1 Splošno.....	39
5.2 Upor potovanja.....	40
5.3 Funkcija upora.....	42
5.4 Kalibracija gravitacijskega modela distribucije potovanj.....	43
5.5 Validacija modela distribucije potovanj.....	45
5.5.1 Kvocient ujemanja (konvergenca).....	47
5.5.2 K-faktor .....	50
<b>6 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA IZBIRE PROMETNEGA SREDSTVA</b>	<b>51</b>
6.1 Opis modela .....	51
6.2 Dezagregirana validacija .....	51
6.2.1 Kontrola odzivnosti .....	52
6.3 Agregirana validacija.....	53
<b>7 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA OBREMENJEVANJA OMREŽJA...</b>	<b>56</b>
7.1 Splošno .....	56
7.1.1 Izračun upora poti.....	56
7.1.2 Razmerje obremenitev-zamuda .....	57

7.2 Postopki validacije modela obremenjevanja .....	57
7.2.1 Prometno delo (dolžina x vozila oz. potovalni čas x vozila) .....	57
7.2.2 Prometne obremenitve .....	59
7.2.3 Hitrost v razmerah s prometnom obremenjene ceste .....	61
7.2.4 Parametri modela .....	62
7.3 Obremenjevanje javnih transportnih sistemov.....	63
7.3.1 Kalibracija modela .....	63
7.3.2 Validacija .....	63
7.4 Priporočena merila za validacijo uspešnosti celotnega modela.....	65
<b>8 STRATEGIJE ISKANJA IN ODPRAVLJANJA NAPAK .....</b>	<b>71</b>
8.1.1 Študijsko območje .....	71
8.1.2 Raven koridorja .....	72
8.1.3 Lokalna raven .....	72
8.1.4 Javni promet .....	73
<b>9 POVZETEK VALIDACIJE.....</b>	<b>74</b>
<b>10 SKLEPNE UGOTOVITVE.....</b>	<b>78</b>
<b>VIRI</b>	
<b>PRILOGE</b>	



**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Primerjava demografskih podatkov .....	18
Preglednica 2: Povprečno število potovanj na osebo za Ljubljansko regijo .....	32
Preglednica 3: Primerjava potovanj po osebi na prebivalca po namenih .....	32
Preglednica 4: Primerjava dolžine potovanj po namenu potovanj v minutah .....	45
Preglednica 5: Dolžina in čas potovanja dom-služba (ZDA) s primerjavo povprečnega potovanj v MOL ter Regija brez MOL .....	46
Preglednica 6: Povprečna zasedenosti osebne vozila po namenih potovanja.....	54
Preglednica 7: Porazdelitev prometnega dela (km x vozila) po velikosti urbanega območja in tipu ceste.....	58
Preglednica 8: Prikaz rezultatov validacije obremenjevanja omrežja po tipu ceste (prometna študija Nove Gorice, PNZ 2005).....	61

## KAZALO SLIK

Slika 1: Proces validacije modela .....	4
Slika 2: Priporočen in »skupni« proces validacije .....	7
Slika 3: Učinek kopičenja napak .....	13
Slika 4: Grafični prikaz števila zaposlenih po prometnih conah z uporabo GIS programa ArcView 9.1 .....	19
Slika 5: Natačnost kodiranja cestnega omrežja z enim križiščem .....	21
Slika 6: Povezave centroida na omrežje .....	21
Slika 7: Najkrajša pot med dvema prometnima conama (centroidoma) .....	22
Slika 8: Barvni prikaz kategorizacije cest .....	23
Slika 9: Kordon, kontrolni prerez in cestni presek .....	25
Slika 10: Dezagregiran model glede na velikosti gospodinjstva in lastništvo osebnih vozil ...	28
Slika 11: Frekvenca distribucije dolžine potovanj dom-služba .....	47
Slika 12: Kvocient ujemanja dveh distribucij potovanj .....	48
Slika 13: Normaliziran faktor upora po namenih potovanja .....	49
Slika 14: Diagram razpršenosti (Visum 9.3-4) .....	60
Slika 15: Krivulja mejnega odstopanja prometnih obremenitev na kontrolnem prerezu .....	66
Slika 16: Krivulja mejnega odstopanja od PLDP .....	69



## 1 UVOD

Mobilnost je vsakodnevni del dogajanj v družbi in eden temeljnih dejavnikov, ki določa njen razvoj. Dejstvo je, da promet pridobiva vse bolj odločujočo vlogo in vpliva na kakovost življenja, napredek, konkurenčnost ter proizvodnjo. Preudarna in z bodočimi zahtevami družbe usklajena usmeritev prometnega sistema, je ena od najvažnejših odločitev novega stoletja.

Prometno politiko je potrebno obravnavati z vidika njenega družbenega pomena. V ta okvir spada tudi prometno planiranje z vrsto dejavnosti za optimalno načrtovanje in izgradnjo prometne infrastrukture, ki bo zadovoljevala prometne potrebe. Gradnja infrastrukture je časovno in finančno zahtevna, obenem mora biti zagotovljena ustrezna življenska doba in optimalne prometne kapacitete. V ta namen so postale prometne študije obvezni del načrtovanja.

Ena od ključnih zahtev pri načrtovanju je zagotovitev ustreznih osnov, na katerih bodo temeljile naše odločitve. Kvaliteto prometnega modela ne smemo soditi po njegovi velikosti ali kompleksnosti. Ocenjujemo ga lahko po kriteriju kako hitro dobimo ustrezne rezultate in kako natančni so, saj so temelj za nadaljne odločitve. V današnji prometno-inženirski praksi je razširjena uporaba t.i. štiristopenjskih diskretnih modelov. Postopek modeliranja razdelimo na štiri korake, pri katerih vsak korak predstavlja določen proces, znotraj katerega se izvršijo še drugi podproces.

Predmet mojega diplomskega dela je pregled in opis posameznih postopkov s katerimi preverimo ustreznost, veljavnosti in natančnost vmesnih ali končnih rezultatov prometnih modelov. V ta namen sta kalibracija in validacija ključna neodvisna koraka. S kalibracijo določimo parametre, da ti čim boljje ustrezali opazovanim podatkom, z validacijo pa ovrednotimo model oziroma rezultate.

Pri enostavnih modelih je bila izvedba validacije pogosto zanemarjena ali pomankljiva. Zaradi vse kompleksnejših procesov modeliranja postaja validacija njen obvezni del, saj le tako lahko zagotovimo in upravičimo kvaliteto modela.

## **2 POMEN KALIBRACIJE IN VALIDACIJE PRI MODELIRANJU**

### **2.1 Namen in uporaba modela**

V inženirstvu je model poenostavljena predstavitev določenega dela resničnega sveta oziroma problema, ki nas zanima. Uporaba prometnih modelov je različna, od tega pa je odvisna tudi velikost območja obdelave. Metode, s katerimi obravnavamo večja območja imenujemo makroskopske, za obdelavo manjših območij pa mikroskopske.

Uporaba makroskopskih modelov je zelo široka, med najbolj pogostimi cilji so:

- primerjava različnih scenarijev prostorskega razvoja,
- analiza ukrepov prometne politike in učinkov prometnih rešitev,
- napoved prihodnjega prometa za potrebe dimenzioniranja.

Na splošno so makroskopski modeli podlaga za mikroskopske. Slednji obravnavajo ožje območje in so zato bolj natančni in detajlni. Njihova glavna uporaba zajema:

- analizo in primerjavo različic,
- analizo prepustnosti celotnih omrežij ali njihovih delov,
- optimizacijo mreže,
- zasnovo in vrednotenje semaforških in drugih signalnih ureditev,
- analizo prometnih učinkov in onesnaženja zraka,
- izračun vhodnih podatkov za potrebe sodobnega ekonomskega vrednotenja.

Najbolj kompleksen tip prometnega modela je sintetični štiristopenjski model prometnega sistema. V najbolj običajni obliki predpostavlja, da so odločitve, ki jih ljudje sprejemajo, razdeljene v niz štirih neodvisnih korakov.

Cilj prometnega planiranja je s primerno ponudbo zadovoljiti povpraševanje. S prvimi tremi koraki, generacija in distribucija potovanj ter izbira prometnega sredstva, ugotovimo potrebo po potovanju. Zadnja faza, obremenjevanje omrežja, predstavlja iskanje ravnotežja

med ponudbo in povpraševanjem. Ponudbo predstavljata sedanje ali prihodnje prometno omrežje, povpraševanje pa se izračuna z uporabo prvih treh korakov modeliranja.

## **2.2 Splošno o kalibraciji in validaciji**

Kalibracija in validacija sta zelo pomembna, med seboj neodvisna koraka, ključna za pravilne končne rezultate prometnega modela. Kalibracija je postopek ocene parametrov, da bi ti čim bolj ustrezali opazovanim vhodnim podatkom. Validacija pa je preveritev in potrditve veljavnosti oz. ustreznosti kalibriranega modela in sposobnosti napovedovanja prometnih obremenitev. V večini primerov so modeli pomanjkljivi prav v fazi validacije.

V preteklih letih so bili na osnovi anket po gospodijstvih razviti preprosti postopki kalibracije modela potovanj. Naraščajoča vloga prometne politike je sprožila razvoj vse bolj kompleksnih modelov. Posledice tega se odražajo tudi kot tekmovanje med zaupanjem v ustreznost rezultatov modela in finančnimi zahtevami, ki omogočajo pridobitev potrebnih podatkov za validacijo modela.

V zadnjem času je dostopnost do statističnih podatkov popisa prebivalcev, anket (po gospodinjstvih, ob cesti, v javnem prometu itd.) in drugih virov, omogočila izdelavo vse bolj natančnih prometnih modelov. Leta 1990 so v ZDA pod okriljem Ministrstva za promet ustanovili delovno skupino, ki je vodila program TMIP<sup>1</sup> z namenom izboljšati postopke prometnega planiranja. V okviru tega programa so izšla navodila in smernice za validacijo najsodobnejše generacije štiristopenjskih modelov z naslovom Model validation and reasonableness checking manual. Angleški Department for transport je smernice za kalibracijo in validacijo objavil leta 1991 v svojem priročniku Design manual for roads and bridges. Prvemu zvezku z naslovom Traffic appraisal manual je leta 1996 sledila nova posodobljena izdaja navodil z naslovom Traffic appraisal in urban areas.

Zaradi različnosti posameznih tipov modelov, sem v diplomskem delu opisal skupine kontrol s katerimi izvedemo celoten postopek validacije, ki načelno veljajo za vse modele. Za lažje razumevanje sem podal konkretne primere. Dodani so tudi nasveti za validacijo tistih modelov, pri katerih sta vir in dostopnost do ključnih informacij omejena.

Uporabljen postopek validacije modela je odvisen od:

---

<sup>1</sup> Travel Model Improvement Program.

- namena modela,
- obsega vira podatkov,
- strukture modela in
- zahtevane stopnje natančnosti.

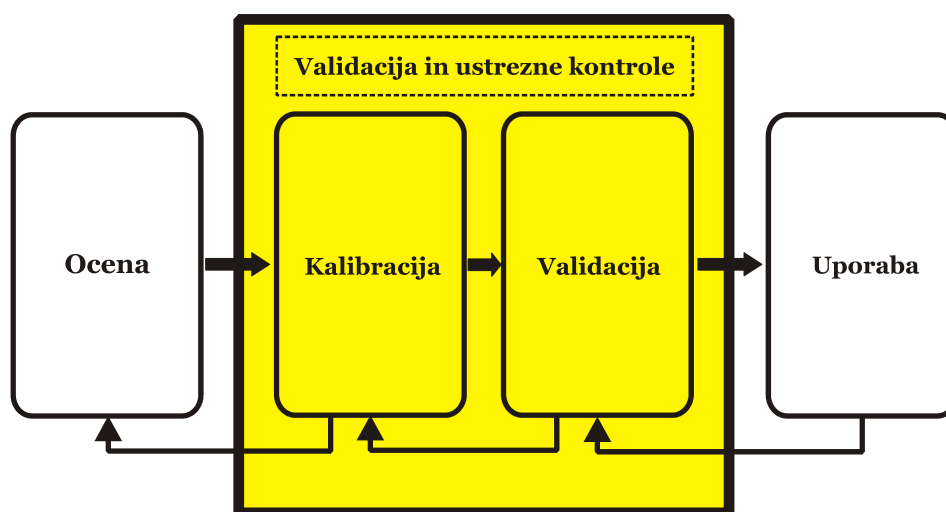
Model ne izboljšamo samo s kalibracijo parametrov. Zelo pomemben je predhodni natančni pregled in ocena vhodnih podatkov, ki vključuje:

- socioekonomske karakteristike (poseljenost, tip gospodinjstva, število zaposlenih, dohodek, lastništvo motornih vozil, število vpisanih v izobraževalne ustanove) in
- karakteristike prometnega sistema (osebni in javni promet z njihovimi lastnostmi).

V nadaljevanju so opisane številne kontrole veljavnosti in ustreznosti vhodnih podatkov, parametrov in rezultatov modela.

### 2.3 Proces validacije prometnega modela in definicija posameznih korakov

Napačno uporabljeni namen in pogosto vsebinsko prekrivanje ocene, kalibracije in validacije, je glavni razlog, da ne obstaja konkretni predpis, ki bi definiral celoten proces validacije prometnega modela. V praksi se pri modeliraju upošteva vse tri zgoraj navedene korake. K naštetim dodamo še korak aplikacije oz. uporabe modela (Slika 1).



Slika 1: Proces validacije modela

### **2.3.1 Ocena modelskih parametrov**

Zasnova modela in ocena modelskih parametrov sta medsebojno prepletena procesa, kajti zasnova modela je odvisna tudi od razpoložljivih modelskih parametrov.

Ocena modelskih parametrov je postopek statističnega vrednotenja anketnih podatkov, ki so podlaga določitvi osnovnih vrednosti parametrov (koeficientov) modela. Dobimo jih iz anket (o potovalnih navadah) po gospodinjstvih ali na javnem prometu. Bistveno je pravilno specificirati obliko modela in določiti statistično vrednost in pomen spremenljivk. Gre za to, da npr. zasnovo kategorijske analize modela produkcije potovanj ali oceno koeficientov nivoja usluge logit funkcije v modelu izbire prometnega sredstva pripravimo že v predhodni fazi, v t.i. fazi ocene parametrov modela. V kolikor podatki na lokalni ravni niso na voljo, se običajno ta korak izpusti in se parametre privzame iz drugih primerljivih urbanih območij.

### **2.3.2 Kalibracija modela**

Po končani fazi ocene parametrov modela in iz tega izhajajočih rezultatov, sledi postopek kalibracije. Gre za prilagajanje vrednosti parametrov specifičnim razmeram, dokler napovedana (modelirana) potovanja ne ustrezajo opazovanemu (resničnemu) nivoju povpraševanja znotraj študijskega območja. Na primer kalibracija specifičnega koeficienta modela izbire prometnega sredstva omogoča, da se ocenjeni deleži izbire in dostopnosti do prometnega sredstva ujemajo z opazovanimi (resničnimi) deleži.

### **2.3.3 Validacija modela**

Presojo veljavnosti in ustreznosti modela za napoved prometnega obnašanja izvedemo z validacijo. Za to primerjamo rezultate modela s podatki, ki niso bili uporabljeni v fazi ocene parametrov modela. Gre za iterativen proces vezan na kalibracijo modela. Vključuje preveritev in primerjavo rezultatov modela z opazovanimi podatki ter prilagajanja kalibriranih parametrov, dokler rezultati modela niso znotraj mejnega območja. Če moramo za reproduciranje opazovanih podatkov uporabiti neobičajne vrednosti parametrov, ta model gotovo ne bo zanesljiv pri napovedi prometnih obremenitev.

### **2.3.4 Uporaba modela**

Kljub temu, da model ustrezno reproducira stanje baznega leta, se pri uporabi modela za napoved prihodnjega stanja zahteva kontrolo zmožnosti ustreznih projekcij. Iz tega sledi, da



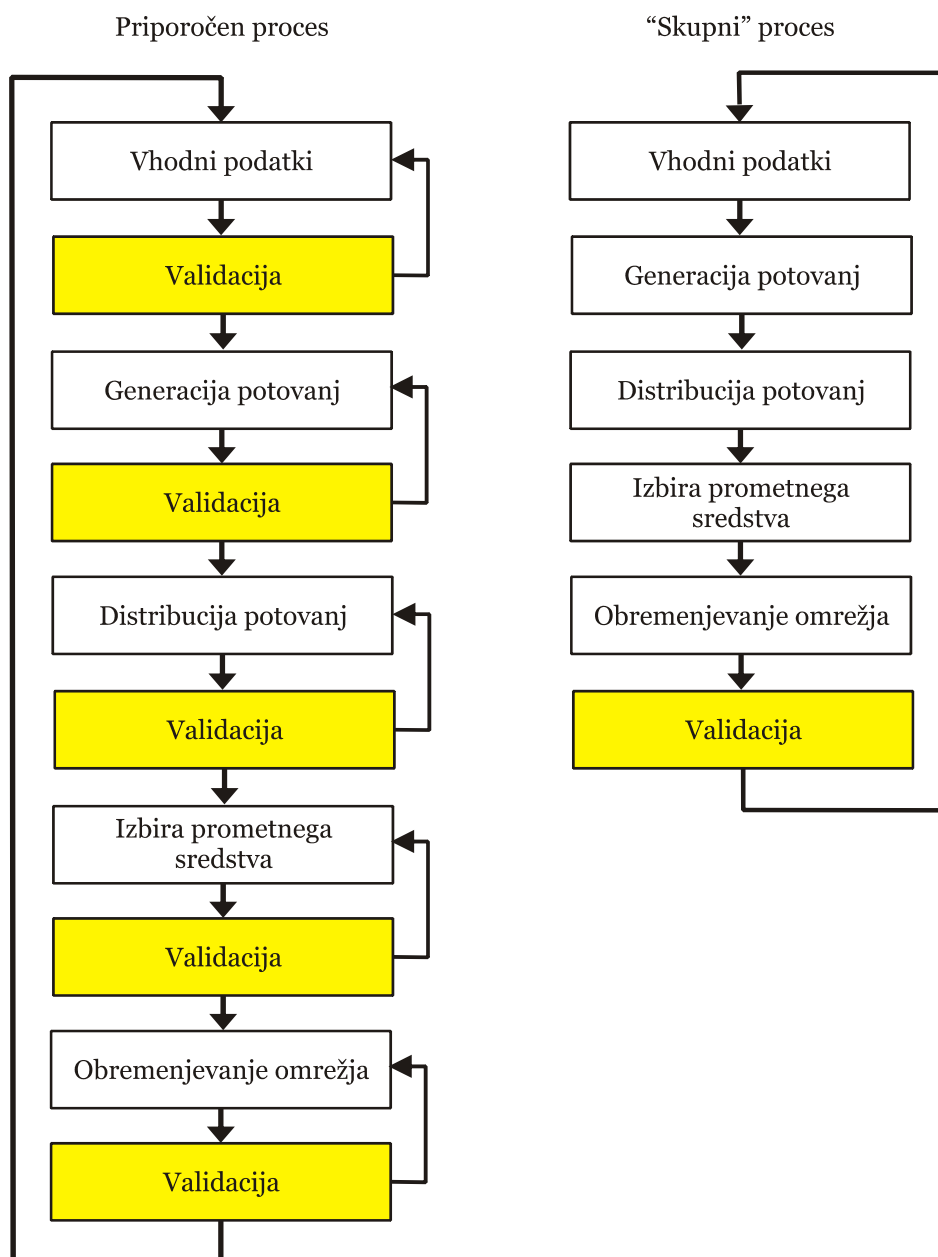
obstaja tesna povezava med aplikacijo in validacijo modela. Odzivnost modela na sistemske in razvojne spremembe je pogosto glavna značilnost modela.

V nadaljevanju se osredotočimo na iterativen proces, ki povezuje kalibracijo in validacijo. Poudariti moramo, da je faza ocene parametrov modela povezana z validacijo. Na ta način je lahko končna struktura modela (uporaba ustreznih spremenljivk in primernih začetnih parametrov) že v prvem koraku zadovoljivo definirana.

## **2.4 Pregled validacijskih procesov**

Običajen proces kalibracije in validacije je osredotočen na skupne rezultate prometnega modela. Izhodni podatki modelov so deleži potovanj po namenih in prevoznih sredstvih, npr. potovanja z javnimi prometnimi sredstvi, število potovanj na določeni liniji, prometne obremenitve itd. Vse rezultate dobimo brez natančnih preveritev posameznih komponent modela. Tako imenovano validacijo »vse v enem«, naredimo tedaj, ko so na voljo samo manj zanesljivi parametri, npr. parametri starejšega izvora ali ko zaradi časovne omejitve ne moremo opraviti zanesljive kontrole vmesnih faz modela.

Pristop, ki je predmet mojega diplomskega dela, temelji na ustreznih kontrolah vsake komponente modela. Po validaciji posameznih komponent sledi še validacija celotnega modela. Tako ugotovimo kakšna je kakovost vmesnih korakov in preprečimo, da se napake v procesu modeliranja ne kopičijo. Slika 2 prikazuje priporočen in t.i. »skupni« proces validacije.



Slika 2: Priporočen in »skupni« proces validacije

- Validacija posameznih komponent in celotnega modela se uporablja kot kazalec potrebnosti kalibracije. Tako preverimo ustreznost reprodukcije opazovanih potovalnih karakteristik. Pri modelu generacije potovanj moramo na primer preveriti ali so ocenjene produkcije in atrakcije potovanj na širšem in ožjem območju skladne z opazovanimi potovanji. Za model distribucije potovanj preverimo ali se napovedane povprečne dolžine potovanj po namenu ujemajo z opazovanimi itd.

- Z validacijo celotnega modela preverimo vpliv kopičenja napak, ki se generirajo v procesu modeliranja. Predpostavimo, da model produkcije generira premalo potovanj iz cone, ki je relativno blizu veliki atrakciji. Če uporabimo te rezultate generacije kot vhodni podatek za model distribucije potovanj, obstaja možnost povečanj dolžine potovanj zaradi napake pri modeliranju produkcije potovanj. Možnost napake je vedno prisotna, zato je obvezno preveriti učinek celotnega modela (npr. prometno delo za širše območje, prometne tokove na kontrolnih prerezih itd).

Celoten proces kalibracije in validacije lahko združimo v petih korakih:

- 1) Ocena parametrov in strukture modela z uporabo potovalnih karakteristik dobljenih iz anket po gospodinjtstvih.
- 2) Kalibracija parametrov modela, da vzorec reproduciranih potovanj čim boljše ustreza opazovanim.
- 3) Validacija posamezne komponente modela: Preverimo veljavnost in ustreznost rezultatov ter reprodukcijo opazovanih pogojev; priporočena je uporaba neodvisnih podatkov za vsako komponento posebej.
- 4) Validacija celotnega modela: kontrola vseh agregiranih vrednosti; prometno delo, hitrosti po tipih cest, obremenitve na kontrolnih prerezih in cestnih presekih; primerjava modeliranih obremenitev in števnih podatkov.
- 5) Vrednotenje rezultatov predhodnih korakov in istočasna identifikacija širše sistemske in/ali manjše lokalne napake pri uporabi modela.

## **2.5 Načini validacije**

V nadaljevanju sta predstavljeni kategoriji uporabljenih kontrol, viri podatkov, oblike agregiranja (združevanja) podatkov, stopnja natančnosti modela in izvori napak.

### **2.5.1 Kategoriji validacijskih kontrol**

Pristop k validaciji prometnega modela je odvisen od dveh dejavnikov: od izbire ustrezne kontrole ter od dostopnosti in uporabnosti obstoječih podatkov.

Uporabljata se dve glavni kategoriji validacijskih kontrol:

- **Kontrola veljavnosti in ustreznosti:** Vključuje primerjavo razmerij in parametrov, skupnih vrednosti na širšem ali lokalnem nivoju, logične presoje itd. Ustreznost parametrov preverimo z resničnimi (opazovanimi) vrednostmi in s primerjavo iz drugih območij ali virov. Model ovrednotimo skladno s sprejemljivo stopnjo napake, obnašanjem znotraj teoretičnih in logičnih zakonitosti ter doslednostjo rezultatov, ki jih mora model producirati.
- **Kontrola odzivnosti:** Izrazi se z elastično spremenljivko. Vključuje odzivnost na spremembe prometnega sistema, socio-ekonomskih podatkov in prometne politike. Analizo odzivnosti naredimo za vse komponente procesa modeliranja. Še posebej pri modelu za napoved prihodnjega prometnega obnašanja, kjer pričakujemo večje spremembe pri prostorskih in prometnih parametrih. Vplivi prometne politike (npr. podvojeni stroški parkirnine) ali posebne okoliščine (npr. množična ukinitvev avtobusnih linij) običajno niso vključene v analizo modela baznega leta.

### 2.5.2 Ocena ujemanja opazovanih in modeliranih vrednosti

Postopek validacije temelji na primerjavi resničnih (opazovanih) vrednosti (npr. znotraj prometne cone ali števeni podatek na odseku) in izhodnih podatkov modela, torej modeliranih vrednosti (število produkcij potovanj, obremenitve na odseku). Splošno uporabni so štiri pristopi za oceno ujemanja:

- **Absolutna razlika:** Izračun razlike med modeliranimi in resničnimi vrednostmi. Posebej pomemben indikator je predznak (pozitivni ali negativni).
- **Relativna razlika:** Vrednosti normiramo in odpravimo vpliv izmerjene vrednosti. Relativno razliko izrazimo kot odstotek (npr. sprejemljivo območje znotraj 10%) ali kot kvocient (npr. sprejemljivo območje med 0.9 in 1.1).
- **Korelacija:** Regresijska analiza upošteva dejstvo, da na odvisno (neznano) spremenljivko vplivata dva ali več neodvisnih faktorjev. Korelacijska analiza definira stopnjo odvisnosti spremenljivke, na primer, kako dobro enačba resnično opiše medsebojno razmerje. Pri validaciji modela definiramo stopnjo soodvisnosti med resničnimi in modeliranimi vrednostmi. Običajno oceno korelacije izrazimo z determinacijskim koeficientom (določenosti)  $R^2$ . Z regresijsko enačbo določimo variranje (odstopanje) odvisne spremenljivke.  $R^2$  je lahko v območju od 0 do 1. Vrednost 1 pomeni popolno ujemanje. Sprejemljive vrednosti determinacijskega

koeficienta se razlikujejo od vrste primerjave, priporočena pa je vedno večja vrednost od  $1/2$  ( $R^2 > 0,5$ ). Poudariti velja, da agregacija povečuje vrednost korelacije.

- **Varianca (mera razpršenosti):** Varianco (povprečje "vsote" odklonov) med resničnimi in modeliranimi vrednostmi izračunamo statistično. Običajno za potrebe validacije uporabimo vrednost relativnega standardnega odklon (%RMSE).

Zgoraj naštetih postopki vrednotenja validacije so relativno preprosti. Poleg tega na tržišču obstaja veliko programskih paketov, da oceno regresijske linije dobimo enostavno z vnosom resničnih in modeliranih vrednosti. Z enostavnim ukazom izračunamo regresijsko enačbo, koeficient determinacije ter relativni standardni odklon.

### 2.5.3 Stopnje agregiranja podatkov

Proces kalibracije agregiranih (prve generacije) in dezagregiranih (druge generacije) modelov se razlikuje. Pri modelih prve generacije, postopek kalibracije poteka po metodi "poskusi in popravi". Tako prilagodimo parametre, ki izboljšajo celotno ujemanje rezultatov modela z resničnimi vrednostmi. Pri modelih druge generacije je poudarek na značilnostih parametrov skupin enakega obnašanja in zanesljivosti ocenjenih vrednosti. Tako kot kalibracija se tudi validacija razlikuje v odvisnosti od agregiranosti podatkov. Poznamo vrsto preveritev, pri katerih uporabimo dezagregirane podatke na ravni gospodinjstev in agregirane na regionalni ravni. Vmesne preveritve se opravijo na ravni conskih podatkov. Pri najpopolnejših dezagregiranih modelih izvedemo vrsto preveritev s katerimi zagotovimo ustrezno reprodukcijo potovanj na osnovi vedenjskih vzorcev gospodinjstev.

Spodaj sta definirani dve vrsti validacije:

- **Dezagregirana validacija** služi kot kazalec ujemanja, kako model ustreza resničnim podatkom na ravni gospodinjstva ali na individualni ravni. Upoštevamo skupine na osnovi velikosti gospodinjstva, višine dohodka, lastništva motornih vozil itd. Sledi identifikacija karakterističnih značilnosti modela s primerjavo modelskih in resničnih podatkov.
- **Agregirana validacija** služi kot generalni pregled ujemanja rezultatov modela izbranega območja. Temelji na potovalnih značilnostih, kot je povprečno število in dolžina potovanj, delež potovanj po namenu, opravljeno prometno delo za izbrano območje itd. Podatke združimo na regionalni (področni), občinski, lokalni ali conski

ravni. Rezultate prometnega obremenjevanja validiramo na kontrolnih prerezih, ko obravnavamo širšo raven. Obravnava na lokalni ravni pa zahteva validacijo na posameznih odsekih in cestnih presekih.

#### **2.5.4 Viri podatkov za validacijo**

Potrditvev ustrezno izvedene validacije modela zahteva ujemanje z opazovanimi podatki neodvisnega vira. V kolikor določen vir podatkov uporabimo za kalibracijo, npr. anketo po gospodinjstvih, tedaj ta vir ne štejemo več za neodvisni. Za potrebe validacije poznamo tudi druge uporabne vire potovalnih karakteristik. Običajno gre za ankete na delovnih mestih, na javnem prometu, izvorno-ciljno anketiranje voznikov ob cesti itd. Za dezagregirane modele (npr. za modele izbire prometnega sredstva z dovolj velikim vzorcem) dobimo potrebni opazovani vzorec za validacijo modela tako, da razdelimo opazovani vzorec na dve poljubno veliki skupini. En vzorec uporabimo za kalibracijo modela, z drugim vzorcem pa kalibriran model validiramo. Analogen pristop velja pri stratifikaciji vplivov znotraj populacije. Tedaj uporabimo segmente podatkov za kalibracijo. Pozitivna stran tega procesa so neodvisne serije opazovanj.

Najbolj natančne socio-ekonomske podatke je možno pridobiti na lokalni ravni. Kljub temu pa je zaradi morebitnih časovnih razlik pri pridobivanju podatkov obvezen pregled le-teh. Uporabne informacije o prometu običajno posredujejo ustanove javnega značaja (direkcija za ceste, občinski uradi) in družbe katerih dejavnost predstavlja javni prevoz. Običajni podatki za validacijo vključujejo dnevne in urne konične obremenitve na kontrolnih prerezih, cestnih presekih, posameznih odsekih in avtobusnih postajališčih.

Vhodne socio-ekonomske podatke na ravni cone in karakteristike prometnega sistema zberemo za isto bazno leto. Modeli temeljijo na osnovi kategorijskih podatkov, postopek validacije, torej ujemanje modeliranih vrednosti z opazovanimi, velja izključno samo za eno, tj. bazno leto. V kolikor se bazno leto za napoved povpraševanja spremeni, moramo posamezne komponente modela in tudi celoten model ponovno preveriti.

#### **2.5.5 Izvor napake**

Zaradi uporabnosti in praktičnosti modelov je nujna poenostavitev modelov. Zato kljub ustreznem posnemanju potovanj obstaja velika verjetnost napake.

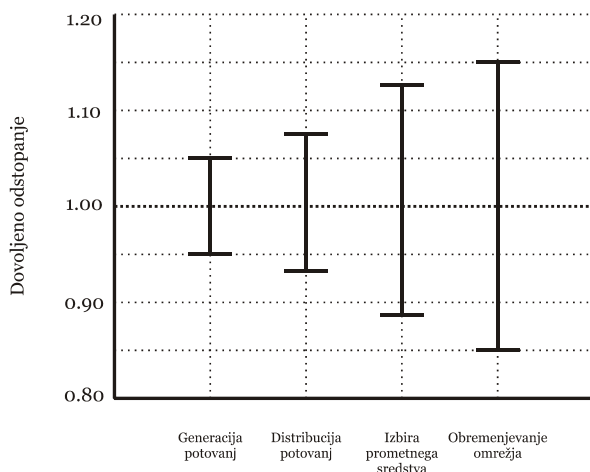
Napake, ki se pojavijo v okviru razvoja prometnega modela in kalibracije so različne:

- **Napake pri merjenju:** Gre za napake v procesu pridobivanja in vrednotenja podatkov baznega leta. Prisotne so v anketnih vprašalnikih, kodiranju cestnega omrežja in zapisu podatkov.
- **Vzorčne napake:** Vplivajo na začetno izbiro reprezentativnih vzorcev populacije opazovanega območja.
- **Računske napake:** Običajno so manjšega obsega in so posledica napačnih statističnih izračunov.
- **Napačna specifikacija modela:** So posledica neprimerne strukture modela (npr. premalo primernih spremenljivk).
- **Napake pri prevzemu podatkov:** Kadar za razvoj modela izbranega območja uporabimo parametre, ki so bili razviti za drugo območje.
- **Napake agregacije:** Izhajajo iz potrebe modeliranja na osnovi značilnosti obnašanja posameznih skupin.

Napake v podatkih, ki jih uporabimo pri validiranju, predstavljajo tudi glavni problem. Sporni vhodni ali validacijski podatki vodijo k napačnim dopolnitvam in popravkom, ki v končni fazi pokvarijo učinkovitost in kredibilnost modela. Kot primer pogledimo primerjavo vrednosti na kontrolnih prerezih, kjer se lahko pojavi odstopanje od premajhnih vrednosti števnih podatkov zaradi napake pri štetju. Takšno ujemanje na kontrolnih prerezih vključuje npr. previsoko stopnjo zasedenosti vozil ali prenizek delež potovanj. Iz tega je razvidno, da validacije ne smemo opraviti pred ustrezno kontrolo uporabljenih podatkov. Šele nato sledi prilagajanje (kalibiranje) parametrov. V postopku modeliranja je priporočeno občasno pregledovanje omrežja in kontrola vhodnih socio-ekonomskih podatkov ter uporabljenih postopkov.

Slika 3 prikazuje proces kopičenja napak pri izdelavi modela. Ob vsakem koraku obstaja potencialna možnost za povečanje "skupne" napake. Kompenzacija in posledično izničenje napake je prav tako mogoče, toda malo verjetno. Pregled mejnih vrednosti odstopanja kaže na kopičenje napak, ki so se zgodile v procesu modeliranja. Iz tega sledi, da so rezultati faze

obremenjevanja bolj izpostavljeni kot predhodni koraki (npr. distribucija potovanj). Napake se z vsakim naslednjim korakom povečajo.



Slika 3: Učinek kopičenja napak

### 2.5.6 Zahtevan nivo natančnosti

Ni absolutnega merila, ki bi prometni model ali njegove komponente proglasilo kot »uspešno validirane«. Določena stopnja natančnosti modela je v precejšni meri subjektivnega značaja, odvisna od časa in sredstev, ki so na voljo, ter namena uporabe modela. Nekaj primerov, kjer je natančnost odvisna od namena uporabe:

- Ocena vplivov na okolje oziroma analiza kvalitete zraka zahteva natančne vrednosti prometnega dela glede na hitrostni razred.
- Prometne obremenitve na posameznih odsekih niso tako pomembne pri dolgoročnih regionalnih planih kot pri analizi vplivov posameznih ukrepov manjših območij
- Korenitejše spremembe rabe prostora vplivajo na dodatne negotovosti in zahtevajo dopolnilne analize prihodnjih variant.
- Vpliv javnega prevoza je v različnih mestnih območjih drugačen, predvsem znotraj urbanega dela mesta. Zato je raven analize in kompleksnost obdelave javnega prometa v različnih modelih različna.

Spodnja preglednica prikazuje ocenjene natančnosti določenih parametrov v procesu prometnega modeliranja. Stopnja natančnosti je višja pri bolj obremenjenih odsekih in



kontrolnih prerezih. Mejne vrednosti zaupanja kažejo na kopičenje napak, saj so rezultati faze obremenjevanja bolj izpostavljeni, kot predhodni koraki.

Preglednica: Ocena natančnosti določenih parametrov v procesu prometnega modeliranja  
(J. Fobbins, 1978, str. 33)

Parameter	Tipičen obseg	95% interval zaupanja
<b>generacija potovanj cone</b>	2.000 potovanj	50%
<b>distribucija potovanj</b>		
znotrajconska potovanja	manjši	nenatančno
distribucija potovanj-pomembnejše težnje	40.000 potovanj	10%
distribucija potovanj -ostalo	15.000 potovanj	16%
<b>obremenjevanje mreže</b>		
<i>osebni promet</i>		
cesta nižje kategorije	5.000 vozil	55%
cesta srednje kategorije	20.000 vozil	27%
cesta višje kategorije	50.000 vozil	17%
<i>javni promet</i>		
povprečno obremenjene povezave	5.000 potnikov	>46%
zelo obremenjene povezave	20.000 potnikov	>23%

Zanesljivost validacije je odvisna od kvalitete in kvantitete razpoložljivih podatkov. Napake so prisotne tudi v zanesljivejših podatkih. Že na primeru dveh neodvisnih prometnih štetij se lahko prepričamo, da se rezultati razlikujejo za 10 ali več odstotkov zaradi dnevnih ali sezonskih nihanj. Med ostale vire napak štejemo neprimerne lokacije števnih mest, napačna klasifikacija vozil, posebni dogodki, nesreče, tehnične napake avtomatskih števec ali "človeške" napake. Natančno poznavanje modela in vhodnih podatkov ter namen uporabe modela je izredno pomembno. Tako lahko nezanesljive vire ali tiste z možnostjo potencialne napake izločimo že v začetni fazi validacije.

### 3 ZBIRANJE IN KONTROLA VHODNIH PODATKOV

Izdelava kvalitetnega modela zahteva zbiranje obsežih količin podatkov o potovanjih (povpraševanju) in prometni infrastrukturi (ponudbi). Potrebujemo dve vrsti vhodnih podatkov:

- **Socio-ekonomske podatke**, ki definirajo karakteristike prebivalstva, gospodinjstev, dohodek, število zaposlenih in lastnosti rabe površin študijskega območja.
- **Podatke o prometni infrastrukturi**, ki je vključena v študijsko območje.

Pred vsako fazo validacije modela je obvezno obe vrsti podatkov natančno pregledati. V kolikor ustrezajo, je izvedba validacije veliko lažja in enostavnejša. Običajno pa se največ napak pojavi ravno v tem sklopu podatkov.

#### 3.1 Socio-ekonomski podatki in raba površine

##### 3.1.1 Splošno

Modeli povpraševanja temeljijo na konceptu, da potovanje nastane zaradi prostorsko razpršenih (npr. delo, šola, nakupi, zabava) aktivnosti. Socio-ekonomski podatki in raba površin odražajo glavno aktivnost obravnavanega območja. Ocena socio-ekonomski podatkov za bazno in ciljno leto ima ključno vlogo v procesu napovedovanja prometnega obnašanja.

Socialno-ekonomske podatke običajno pridobimo od Statističnega urada RS ali podobnih občinskih služb. Ti lahko zelo dobro služijo za validacijo modela. Podatki običajno temeljijo na popisu prebivalstva, ki se izvaja v določenih obdobjih. Vmesna leta prilagodimo s pomočjo drugih statističnih raziskav, zato je obvezna kontrola in primerjava podatkov posameznega leta. Le tako lahko preverimo ustreznost sprememb.

Pomemben je pregled vhodnih socio-ekonomskih podatkov. Zaradi neustrezne kontrole se lahko zgodi, da v prizadevanju po izboljšanju rezultatov spreminjamo model. V resnici pa napaka izvira v podatkih za validacijo.

### 3.1.2 Vir podatkov za validacijo

Za bazno leto morajo ocene poselitve in zaposlenosti po conah temeljiti na najzanesljivejših dosegljivih podatkih. Osnovni vir informacij služi za agregirano validacijo prometnega modela.

Primerjivi podatki na državnem nivoju so statistično obdelani in izdani kot poročila javnega značaja. V Sloveniji se z zbiranjem, obdelavo in objavo statističnih podatkov ukvarja več institucij, podjetji oz. državnih ustanov, kot so:

- Statistični urad Republike Slovenije (SURŠ),
- Agencija Republike Slovenije za javnopravne evidence in storitve (AJPEŠ),
- Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC),
- Zavod Republike Slovenije za zaposlovanje (ZRSZ),
- Ministrstvo za notranje zadeve Republike Slovenije (MNZ),
- Geodetska uprava Republike Slovenije itd.

V pomoč so tudi druge baze podatkov, kot je Poslovni register Slovenije (IPIS), Telefonski imenik Slovenije (TIS), Poslovni informator Republike Slovenije (PIRS) idr.

Zavedati se je potrebno, da so nekatere baze podatkov le deloma uporabne oz. jih je potrebno dodatno obdelati. Kot primer lahko navedem podatek o številu zaposlenih določenega podjetja, ki ga beleži AJPEŠ. V kolikor ima podjetje več podružnic znotraj občine, so zaposleni v teh podružnicah zabeleženi, kot da so zaposleni na sedežu podjetja, torej vsi na isti lokaciji. Podatek ni neposredno uporaben, zato so običajno potrebne dodatne (telefonske) ankete po podjetjih.

V Združenih Državah Amerike je baza statističnih podatkov izredno razvita. Kot osnova se uporablja desetletni popis prebivalstva. Gre za kakovostni vir socio-ekonomskih podatkov. Statistična poročila so razdeljena na več poglavij, za potrebe validacije pa se uporabljata STF3<sup>2</sup> in CTP3<sup>3</sup>. STF3 predstavlja eno variantno distribucijo podatkov po gospodinjstvih in

---

<sup>2</sup> Summary Tape File 3

prebivalstvu (velikost, dohodek in struktura gospodinjstva, lastništvo motornih vozil na gospodinjstvo in število članov gospodinjstva). CTPP je poročilo več variantne distribucije podatkov. Razdeljeno je na dve ali več karakteristik, npr. na lastništvo motornih vozil in na velikost gospodinjstva. Obstajajo še drugi viri socio-ekonomskih podatkov, kot je recimo PUMS<sup>4</sup>. Podatki so zabeleženi na individualni ravni, pokrivajo pa celotno ZDA, vendar le za območja z več kot sto tisoč prebivalci. Velikost anketiranih vzorcev je odvisna od vrste in stopnje poselitve.

### **3.1.3 Kontrola podatkov**

Kontrola skupne vsote socio-ekonomskih podatkov regije ali občine izvedemo na preprost način. Delitev regionalnih podatkov na manjša območja, je postopek v modeliranju, ki predstavlja svojevrsten izziv. Napake, ugotovljene pri oceni socio-ekonomskih podatkov za validacijo modela, so posledica:

- težav pri zbiranju podatkov (npr. vsi zaposleni v podjetju so locirani na naslovu podjetja), ne pa na pravi lokaciji, kjer delajo;
- prilagajanje podatkov, ki niso locirani na območju modela (npr. popisni okoliš seže izven prometne cone ali študijskega območja);
- uporaba pomankljivih podatkov (zahtevani podatki niso pravilno izbrani; podan je podatek o lastništvu motornih vozil, model pa temelji na višini dohodka).

Prva kontrola agregiranih vhodnih podatkov je primerjava skupne vsote na ravni mesta, občine ali regije. Če ocen na lokalni ravni ni, se primerja podatke na ravni gospodinjstev iz drugih področij. Priporočena je primerjava z že uporabljenimi vrednostmi v starejših študijah istega ali podobnega območja.

---

<sup>3</sup> Census Transportation Planning Package  
<sup>4</sup> 1990 U.S. Census Public Use Microdata Sample

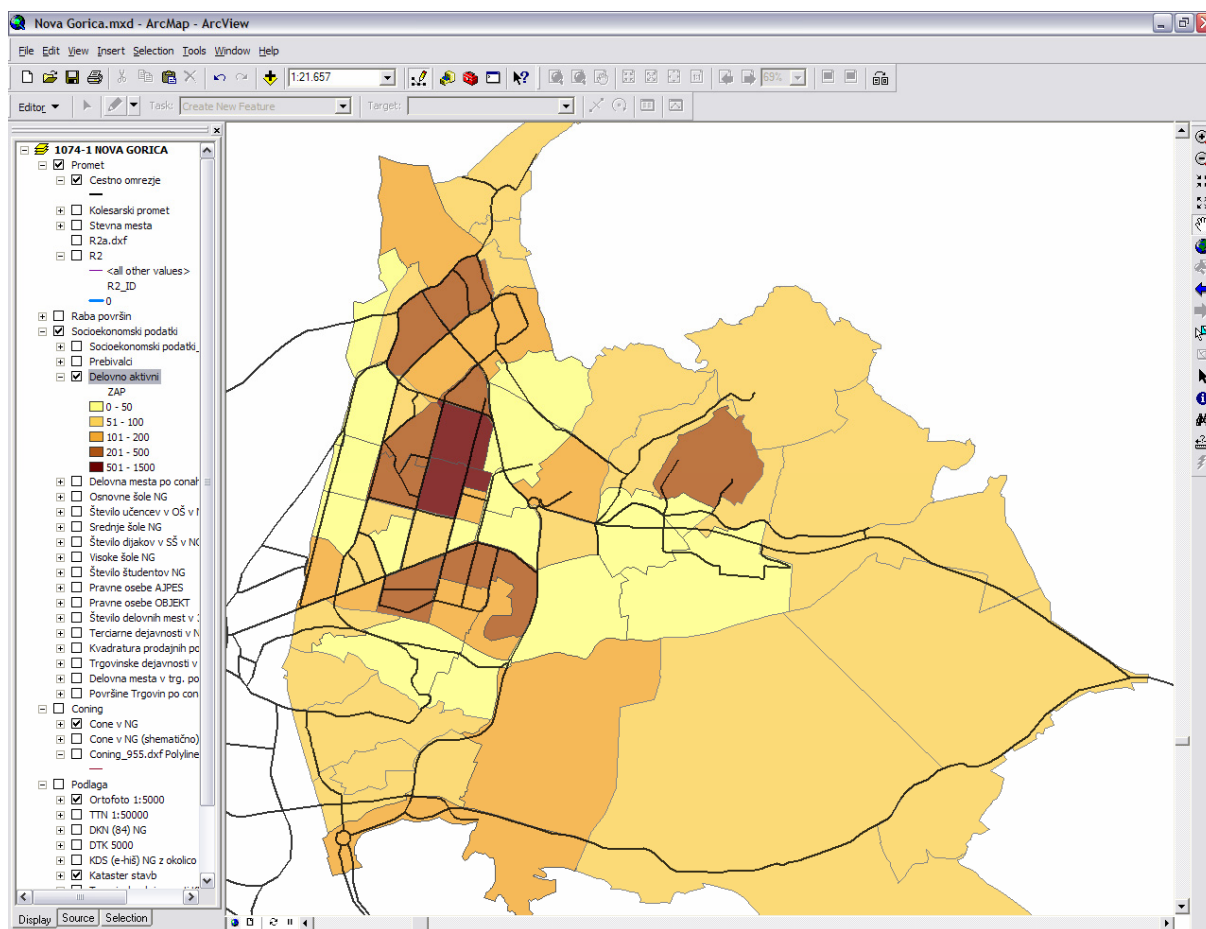
Preglednica 1: Primerjava demografskih podatkov

	1969	1977	1983	1990	2002	2003	
	ZDA				SLO	LJ regija	MOL
oseb/gospodinjstvo	3,16	2,82	2,69	2,56	2,87	2,99	2,59
vozil/gospodinjstvo	1,16	1,59	1,68	1,77	1,28	1,59	1,15
zaposlenih/gosp.	1,21	1,23	1,21	1,27	1,35	1,33	1,19
vozil/zaposlenega	0,96	1,29	1,39	1,40	0,91	1,11	0,97

Preglednica 1 prikazuje trend demografskih podatkov. Primerjava vrednosti iste kategorije predstavlja enostavno kontrolo ustreznosti podatkov. Med osnovna preverjenja spada kontrola skupne vsote prebivalcev, gospodinjstev in števila zaposlenih, povprečne velikosti gospodinjstva (število članov) in deleža zaposlenih. V dodatku A so prikazane različne statistične demografske karakteristike za območje Ljubljanske regije.

Običajno model generacije potovanj temelji na številu zaposlenih članov gospodinjstva in lastništvu motornih vozil, zato je kontrola skupne vsote za širše območje obvezna. Za prikaz določenih socio-ekonomskih podatkov (npr. ocena mobilnosti je odvisna od dohodka in velikosti gospodinjstva) uporabimo tudi podmodele. Tako izvedemo kontrole vmesnih rezultatov socio-ekonomskih podmodelov.

Omenjene kontrole socio-ekonomskih podatkov služijo pregledu skupne vsote, razdeljene na manjša območja, kot so okoliši (agregiranje prometne cone), posamezne cone ali skupine con z istim vzorcem rabe površine (trgovski center, centri izbranih aktivnosti). Uporaba geografskega informacijskega sistema (v nadaljevanju GIS) in temu prirejena programska oprema omogoča odlične možnosti kontrole in prikaza dezagregiranih podatkov. Na spodnji sliki (Slika 4) vidimo primer uporabe GIS programa s katerim grafično prikažemo karakteristike za posamezne prometne cone (populacija, število gospodinjstev, povprečna velikost gospodinjstva, stratifikacija gospodinjstev glede na dohodek, lastništvo motornih vozil, število zaposlenih in vrsta zaposlitve).



Slika 4: Grafični prikaz števila zaposlenih po prometnih conah z uporabo GIS programa ArcView 9.1

Z uporabo GIS orodja, izvedemo dve obliki kontrole:

- # Račun gostote in grafični prikaz tematskih kart. Izračunamo število prebivalcev in stopnjo zaposlitve (oseb na kvadratni kilometer). Število kategorij naj bo tolikšno (običajno 4 do 5), da bo številčna zastopanost vsake kategorije približno enaka. Barvno paletu, senčenje in tabelarične simbole uporabimo za jasn prikaz razlik med kategorijami in conami. Gostota poselitve baznega leta je koristen podatek, saj se ga primerja z napovedano gostoto.
- # Primerjava obstoječih in napovedanih skupnih vsot po conah ter grafični prikaz razlik. Odštejemo obstoječo skupno vsoto od napovedane in prikažemo razlike (negativne ali pozitivne vrednosti).

### **3.2 Prometna infrastruktura**

Druga vrsta vhodnih podatkov, ki jih preverjamo so vezana na cestno omrežje. Vir so običajno državne (npr. v Sloveniji je DRSC) ali občinske družbe za nadzor in vzdrževanje cestne infrastrukture. Poleg v banki cestnih podatkov so ti podatki na voljo tudi v različnih študijah o potovalnih aktivnosti. Izbor ustreznih informacij o infrastrukturi zahteva natančno poznavanje njihovih karakteristik in vpliva teh podatkov na natančnost omrežja.

#### **3.2.1 Cestno omrežje**

Cestni sistem sestavljajo različni tipi (kategorije) cest (avtoceste, glavne ceste, regionalne ceste, zbirne mestne ceste, ulice). Vrednotenje prometnega povpraševanja zahteva natančen opis omrežja. Veliko napak nastane ravno pri kategorizaciji, saj so prirojene že v osnovnih kartah ter datotekah, ki so vir za sestavo omrežja modela.

Centroidi predstavljajo središča obstoječe aktivnosti prometne cone. Z vozlišči, ki so obenem dostopne točke, so povezani s cestnim omrežjem. Znotraj cone ne sme biti nobene večje fizične ovire. Velikost in gostota con je odvisna od željene stopnje natančnosti.

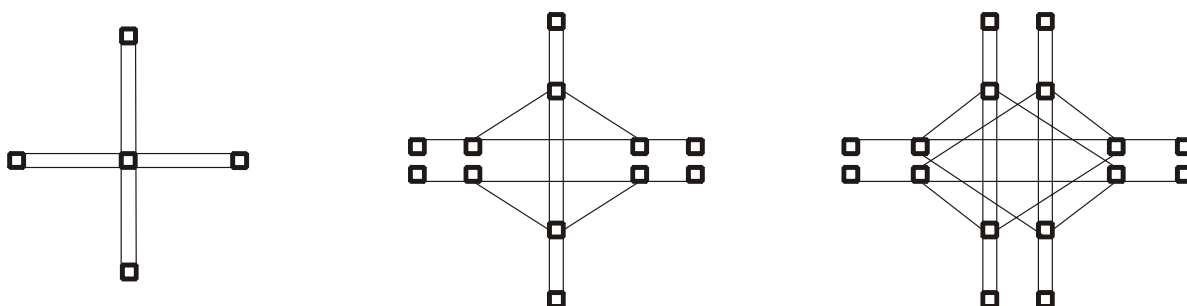
Validacija oziroma preveritev ustreznosti cestnega omrežja obravnavanega območja je vizualne narave. Osredotočimo se predvsem na kontrole hitrosti in kapacitete po tipu ceste in vrsti območja (urbano, suburbano, ruralno), kot so:

- # kontrola skupne vsote dolžine cest po tipih, kapaciteti ali hitrosti ter
- # izračun povprečne hitrosti in kapacitete na pas po tipu ceste ter vrsti območja.

Kontrolo izvedemo za povezave in pripadajoča vozlišča ter attribute omrežja.

#### **3.2.2 Kontrola povezav**

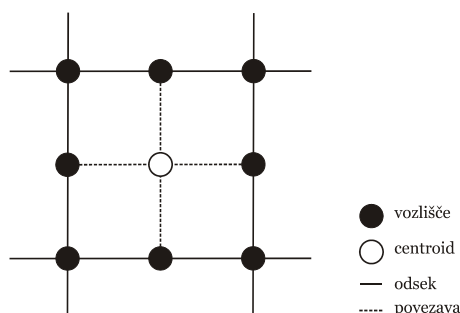
Uporaba naj sodobnejših programskih orodij omogoča interaktivni proces urejanja in vizualne kontrole posameznih odsekov. Natančnost kodiranja cestne mreže pomembno vpliva na izbiro poti potovanja.



Slika 5: Natačnost kodiranja cestnega omrežja z enim križiščem

Večina programskih orodij omogoča zaporo določenih cest, tako da se morebitnim nepravilnosti vodenja prometna enostavno izognemo.

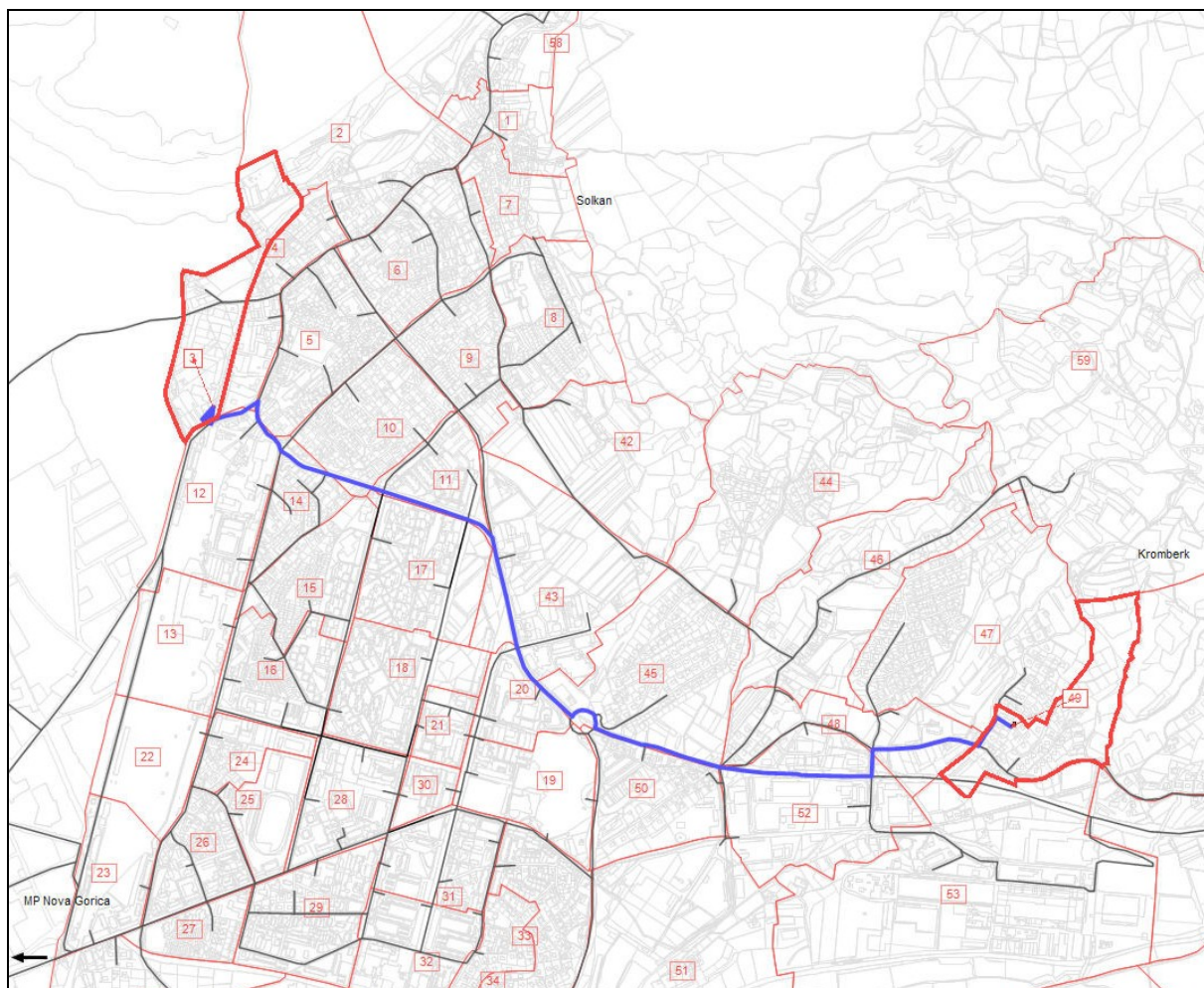
Slika 6 prikazuje oblike povezave centroida na omrežje, ki vpliva na izbrano smer potovanja in rezultat validacije. Idealna povezava je taka, ki sovпада z resnično lokacijo priključka lokalne ceste na glavno omrežje. Priporočena je priključitev cone na vse štiri strani.



Slika 6: Povezave centroida na omrežje

Programska orodja omogočajo prikaz drevesa najkrajših poti (skim trees) med pari centroidov (Slika 7). Grafični prikaz poti od cone (vozlišča) do druge cone (vozlišča) omogoča identifikacijo nelogičnih poti. Upor (generalizirane stroške) cestnega omrežja določimo s povezavo atributov razdalje, hitrosti neoviranega prometnega toka, kapacitete in odvisnosti med hitrostjo in tokom. Ko določimo vse izvorno-ciljne pare, lahko preverimo večino odsekov. Uporaba drevesa poti že v začetni fazi modeliranja omogoči odkrivanje napak v sami izgradnji omrežja.





Slika 7: Najkrajša pot med dvema prometnima conama (centroidoma)

Ena od pogostejših težav, ki se pojavi pri povezovanju omrežja, so izolirani centriodi. Napako odkrijemo z uporabo matrike potovalnih časov (skim matrices). Upor nepriključene cone se v celici matrike pokaže kot nelogičen (npr. 99999). Podoben postopek iskanja poti lahko izvedemo tudi po fazi obremenjevanja, tako da temelji na potovalnih časih obremenjenega omrežja.

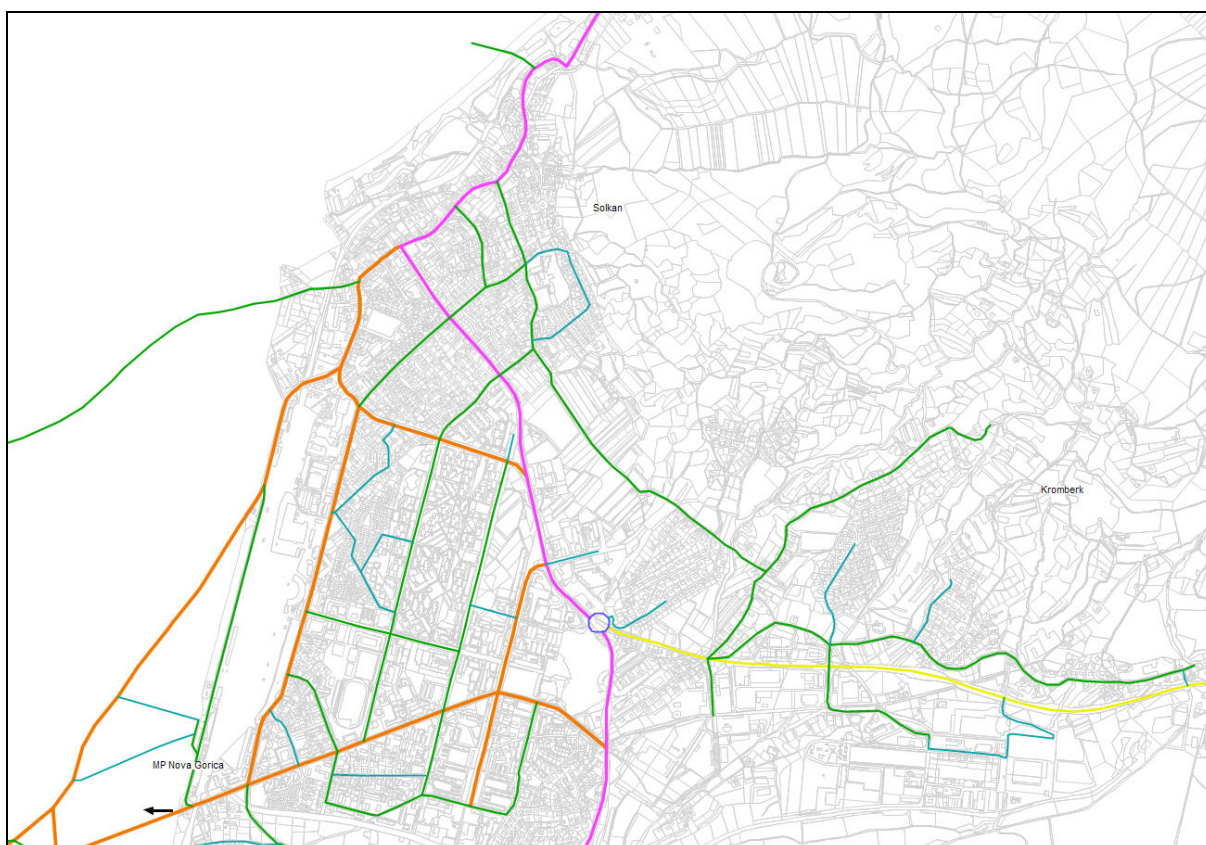
Ostale napake nepravilno kodiranega omrežja, ki vplivajo na izbiro poti so:

- pomankljiva vozlišča ali povezave,
- nepravilno definirane enosmerne ceste,
- daljinsko potovanje, ki poteka skozi centroid, kljub ugodnejši povezavi višjega tipa.

### 3.2.3 Kontrola atributov cestnega omrežja

Preveritev atributov cestnega omrežja izvedemo na dva načina:

- # s kontrolo ustreznosti vhodnih podatkov, tako da so znotraj mejnih vrednosti in
- # z interaktivno uporabo grafičnih GIS orodij (barvni prikaz) ali programov za analizo omrežja.



Slika 8: Barvni prikaz kategorizacije cest

Priporočeno je preveriti ustreznost in veljavnost spodaj navedenih atributov omrežja.

- **Dolžino odseka** primerjamo z direktno dolžino (zračno linijo) med vozliščema in preverimo ustreznost minimalne in maksimalne razlike. Odseke, katerih razmerje je med "modelirano" in direktno dolžino večje od 10%, dodatno preverimo.
- **Omejitev hitrosti** (v km/h) uporabimo kot vhodni podatek za model distribucije potovanj.

- **Kategorizacijo cest** izvedemo po tipu ceste (avtoceste, glavne ceste prvega in drugega reda, regionalne, lokalne, zbirne).
- **Kapaciteta ceste** je obvezni atribut, ki ga pripišem kodiranemu cestnemu omrežju.
- **Vrsta območja** se deli na urbano, suburbano, ruralno. Če uporabimo privzete hitrosti in kapacitete cest iz kategorizacije in vrste območja, sta ti dve lastnosti predmet obvezne kontrole.
- **Število pasov** za posamezno smer. Pogosto so pasovi zasedeni s parkiranimi vozili zato je funkcionalnost teh pasov reducirana.
- **Cestnine in parkirnine** ovrednotimo v denarnih ali časovnih (minute) enotah ter preverimo realnost vrednosti.
- **Kontrola oblike križišč** (oblika, dodatni pasovi za zavijalce, semaforizirano itd.)

### 3.3 Javni promet

Omrežje javnega prometa preverimo z uporabo grafičnega prikaza posameznega elemeta (dostopne in prestopne točke, postajališča, medpostajne povezave, parkirišča) in kontrolo voznega reda ter dostopnih časov do postaje z vozilom ali peš.

Programska orodja običajno privzamejo povprečno potovalno hitrost za javni promet kar na osnovi osebnih vozil. Avtobusi na glavnih cestah vozijo s podobno hitrostjo kot osebna vozila, kar pa za mestni promet ne velja. Iz tega sledi kontrola, da mora biti hitrost javnega prevoza v mestnih manjša od osebnih vozil.

Običajne težave se pojavijo zaradi poteka avtobusne linije po lokalnih cestah, ki niso del cestnega omrežja modela. V tem primeru model dopolnimo s cestami, ki so sicer relativno oddaljene od glavnega cestnega omrežja, so pa nujno potrebne za potek linije javnega prometa. V takem primeru dodatno preverimo potovalni čas na lokalnih cestah.

### 3.4 Učinkovitost sistema in podatki za validacijo

Poleg zbranih vhodnih podatkov je obvezen pregled podatkov, ki služijo za proces validacije. Med najbolj pogostimi prometnimi podatki za validacijo so potovalni časi in hitrosti ter karakteristike javnih prevoznih sredstev.



### 3.4.1 Števni podatek

Običajni metodi zbiranja podatkov so avtomatskih števeci, ki poleg štetja tudi razvrščajo vozila po kategorijah ter ročna štetja. Slednja omogočajo tudi beleženje zasedenosti vozila in registracije. Avtomatski števeci so dober vir prometne informacije, običajno pa so potrebna dodatna štetja, posebej na izpostavljenih odsekih, ki so predmet validacije. Uporabne števne podatke dobimo:

- na **kordonu** oz. meji študijskega območja,
- na **kontrolnih prerezih** znotraj študijskega območja, kjer gre za navidezno črto, ki poteka od meje do meje kordona (lahko je fizična ovira, npr. reka ali železnica) in
- na **cestnih presekih**.



Slika 9: Kordon, kontrolni prerez in cestni presek

Za validacijo je priporočeno formirati tudi manše kordone znotraj območja, ki obsegajo na primer trgovsko poslovni center. Tak kordon služi validaciji vhodov in izhodov. Če je mogoče v območje modeliranja vključimo več okrajev ali občin (naselij ločenih z administrativno mejo). Meja okrajev ali občin je kordon ali kontrolni prerez. Tako lahko uporabimo za validacijo distribucije potovanj podatke iz popisa prebivalstva ali anket po gospodinjstvih npr. za potovanje dom-delo (HB-work)<sup>5</sup>. Popis prebivalstva omogoča pregled podatkov po popisnih okoliših, natančneje razmerje med rezidenti in številom delovnih mest. Distribucija potovanj dom-delo med popisnimi okoliši nadomesti podatek neposredno opazovanih potovanj na delo.

Cesta, ki seka kontrolni prerez, je predmet obdelave. Bolj obremenjene ceste morajo biti obvezno vključene v prometni model z vsemi pripadajočimi števni podatki. Manj obremenjene ceste lahko izpustimo, so pa koristne za validacijo.

### **3.4.2 Hitrosti in potovalni časi**

Hitrosti in potovalni časi so izredno pomemben podatek pri validaciji modela. Gre za lastnost odseka na celotnem omrežju, določena za konično ali izvenkonično obdobje. Uporabljeni metodi za pridobitev tega podatka sta sledenje vozil ali radarska detekcija, ki pa sta finančno zahtevni, zato podatkov te vrste primankuje. Idealno je, če hitrosti določimo na več lokacijah na različnih vrstah območij in tipih cest.

### **3.4.3 Karakteristike javnih prevoznih sredstev**

Glavne informacije so vozni redi, primerjava števila potnikov z razpoložljivimi kapacitetami, vkrcavanje/izkrcavanje na opazovanih lokacijah, itd. Rezultate anket na javnem prometu uporabimo za kalibracijo in validacijo skupne vsote potovanj, usmerjenost potovanj in števila potovanj s prestopanjem na druga prometna sredstva.

---

<sup>5</sup> Eng. home-base work

## **4 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA GENERACIJE POTOVANJ**

Model generacije potovanj napove potovanja za posamezno cono. V fazi generacije ocenimo število produkcij in atrakcij. Potovanja so odvisna od vzorca rabe površin, socio-ekonomskih značilnosti potnikov in značilnosti transportnega sistema. Če potovanje v celoti poteka znotraj študijskega območja govorimo o notranjih potovanjih. Če se potovanje začne ali konča izven študijskega območja, govorimo o ciljno-izvornih potovanjih, če pa sta začetek in konec zunaj študijskega območja, gre za tranzitna potovanja. Tista, ki so vezana na dom, se začnejo doma ali je dom njihov cilj. Tista potovanja, ki niso vezana na dom, nimajo niti začetka niti konca potovanja doma. Potovanja delimo po namenu oziroma aktivnosti, kot so dom-služba, dom-šola, dom-službena pot, dom-nakup, dom-prosti čas, dom-drugo in potovanja, ki niso vezana na dom.

Model generacije potovanj sestavlja več komponent:

- socio-ekonomski dezagregirani podmodeli,
- model produkcije potovanj,
- model atrakcije potovanj,
- ocena ciljno-izvornih in tranzitnih potovanj in
- postopki za uravnoteženje produkcij in atrakcij potovanj.

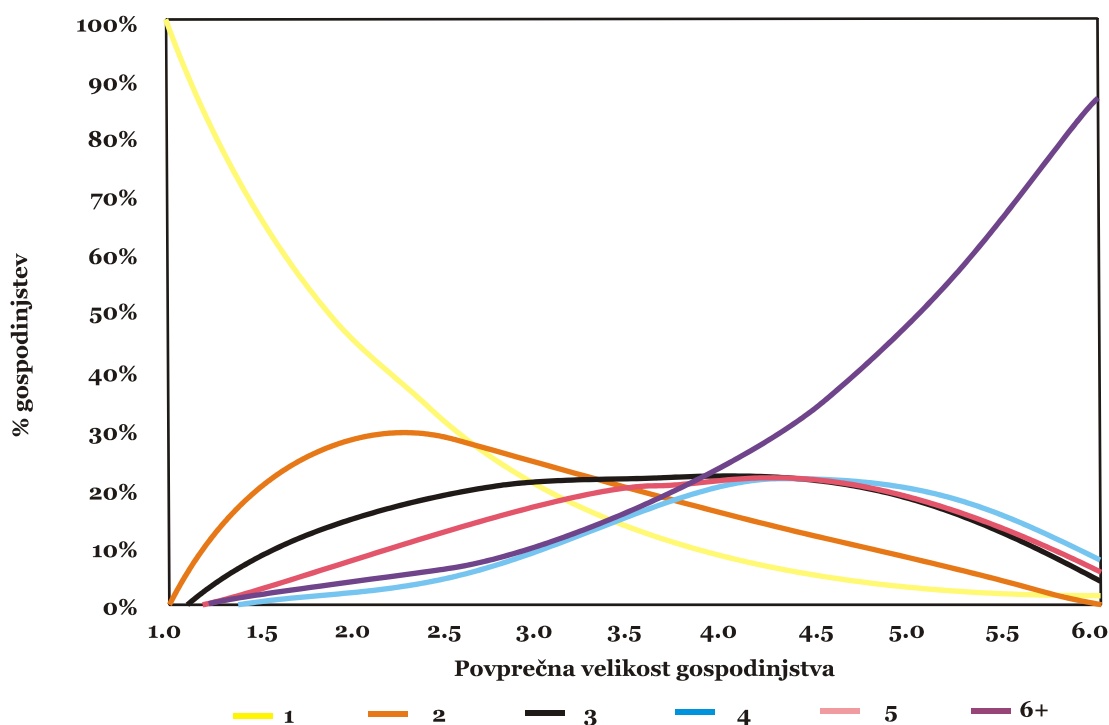
### **4.1 Socio-ekonomski dezagregirani podmodeli**

#### **4.1.1 Opis modela**

Socio-ekonomski dezagregirani podmodeli pomembno vplivajo na napoved generacije potovanj. Natačne demografske podatke za bazno leto pridobimo iz statistične baze popisa prebivalstva in drugih virov. Napoved rabe površine pa običajno lahko ocenimo le na agregirani ravni cone, kjer upoštevamo karakteristike gospodinjstva, poseljenosti, povprečni dohodek in število vozil v gospodinjstvu. Zato moramo razviti socio-ekonomske podmodele, ki omogočajo dezagregacijo.

Študije so potrdile, da mešana dezagregirana gospodinjstva kažejo podobne značilnosti kot prostorsko združevanje na osnovi povprečnih vrednosti. Za primer vzemimo, da je povprečno število članov gospodinjstva v coni 1.5, logično-poslednično napovemo, da bo v coni več gospodinjstev z eno do dvema oseba in malo s tremi ali več.

Za kalibracijo na ravni cone uporabljamo podatke anket po gospodinjstvih in popisa prebivalstva. Podatki so razčlenjeni na cone po velikosti gospodinjstva, lastništvu vozil in višini dohodka. Primer dezagregiranega modela po velikosti gospodinjstva in številu osebnih vozil v gospodinjstvu vidimo na spodnji sliki (Slika 10). Podobne oblike krivulje razvijemo tudi za ostale socio-ekonomske spremenljivke.



Slika 10: Dezagregiran model glede na velikosti gospodinjstva in lastništvo osebnih vozil

V drugem pristopu uporabimo dezagregiranost glede na lastništvo vozil po gospodinjstvih. Ta model običajno integrira večje število socio-ekonomskih spremenljivk, najpomembnejši je dohodek. Pomembno je, da so za vse agregirane validacije postopki približno enaki.

Preglednica: Prikaz deleža gospodinjstev glede na lastništvo vozil in višine dohodka. (Barton – Aschman, 1997, str. 37)

dohodek v \$ (1000)	število osebnih vozil v gospodinjstvu			
	0	1	2	3+
< 20	17	51	24	8
20 - 40	2	32	53	13
> 40	0	13	53	34

#### 4.1.2 Validacija socio-ekononskih podmodelov

Model validiramo s popisnimi podatki na nivoju cone. Najprej uporabimo kalibracijske podatke (npr. za podmodel velikosti gospodinjstva uporabimo resnično povprečno velikost gospodinjstev). Rezultati tega koraka so opazovana in modelirana gospodinjstva po velikosti za vsako cono.

Možna je uporaba naslednje oblik validacije:

- # Primerjava opazovanih in ocenjenih gospodinjstev po socio-ekonomskih podskupinah. Razlike prikažemo v absolutnih vrednostih in s koeficientom determinacije ( $R^2$ ). Korelacijo izračunamo po velikostnih razredih gospodinjstva (od 0 do 1, od 1 do 2, itd). Iščemo sistematične značilnosti.
- # Izračun korelacije (determinacijskega koeficienta  $R^2$ ) po deležih za opazovana in ocenjena gospodinjstva po podskupinah.  $R^2$  je lahko precenjen (prevelik) zaradi "vpliva velikosti cone". Primer, cone z velikim številom podatkov o gospodinjstvih padejo v prvi razred, ostale pa v drugi. Uporaba deležev namesto absolutnih vrednosti izloči "vpliv velikosti cone".
- # Izračun korelacije (ali koeficienta determinacije  $R^2$ ) in grafični prikaz odvisnosti med opazovanimi ter ocenjenimi gospodinjstvi po velikosti na okrajnem nivoju ali nivoju popisnega okoliša. Iščemo geografske značilne karakteristike. Uporaba diagrama razpršenosti.



Uporabimo lahko še druge tipe modelov za oceno socio-ekonomskih podatkov. Na primer dezagregiran model za napoved lastništva motornih vozil. Zgoraj navedene metode uporabimo za validacijo podobnih modelov.

## **4.2 Model produkcije potovanj**

### **4.2.1 Opis modela**

Poznamo dve temeljni strukturi modela produkcije potovanj, ki slonita na regresijski enačbi (starejša metoda) ali kategorijski analizi (novejša metoda).

Regresijski modeli so razviti na osnovi izvorno-ciljnih podatkov relativno večjega vzorca, ki predstavljata celotno študijsko območje. Običajno so agregirani na ravni cone. Regresijska enačba predstavlja spremembo odvisne spremenljivke v odvisnosti od ene ali več neodvisnih. Pogosto so neodvisne spremenljivke v medsebojnem odnosu (več gospodinjestev, več zaposlenih, več vozil), kar kaže na prvo slabost regresijske enačbe. Druga pa gre na račun prevelike konstante, ki izkrivi pravo vrednost odvisne spremenljivke oz. število potovanj obravnavane cone.

Agregirani modeli na osnovi con, upoštevajo le značilnosti potovalnega obnašanja potovanj med conami. Glavna spremenljivost v obnašanju pa se dogaja znotraj con, torej na ravni gospodinjestev. Najsodobnejši pristopi temeljijo na predpostavki, da so za določene kategorije gospodinjestev karakteristike relativno stabilne za daljše časovno obdobje. Medtem, ko ena sama kategorija (npr. lastništvo vozil) razloži eno vrsto spremenljivosti v številu potovanj, uporaba več spremenljivk model napovedi prometa še izboljša. Stratifikacija potovanj se izvede že z dvema neodvisnima spremenljivkama (dohodek, lastništvo motornega vozila, število članov, število zaposlenih članov gospodinjestva). Osnovni podatki za kalibracijo produkcije potovanj običajno izhajajo iz anket širšega območja.

Modeli na osnovi kategorijske analize so boljši kot regresijski modeli ker omogočajo upoštevanje nelinearnih odvisnosti. Predpostavka, da bo štiričlansko gospodinstvo produciralo dvakrat več potovanj, kot dvo člansko, običajno ne drži. Druga prednost pa je, da so modeli kalibrirani z uporabo dezagregiranih podatkov na osnovi gospodinjestva. V tem primeru potrebujejo manjše vzorčne primere kot pri kalibraciji agregiranih modelov na ravni cone. Z uporaba dezagregiranih podatkov zmanjšamo verjetnost napake pri računanju

povprečnih vrednosti. Edina pomankljivost tega pristopa je napoved gospodinjstev v vsaki kategoriji.

Najsodobnejši dezagregirani modeli za generacijo potovanj pa temeljijo na metodah verige potovalnih aktivnosti in metodah izvorno-ciljnih skupin.

#### 4.2.2 Validacija modela produkcije potovanj

Prvi korak validacije modela produkcije potovanj vključuje pregled skupne vsote potovanj po namenu za določeno kategorijo gospodinjstva na dan.

Sledi opis najpomembnejših kontrol za širše območje (od agregiranih do dezagregiranih).

# Izračun skupne vsote produkcije potovanj na gospodinjstvo ali po osebi.

Preglednica: Potovalne karakteristike glede na dohodek in velikost gospodinjstva za urbana območja velikosti med 200.000 in 400.000 prebivalci v ZDA (Barton – Aschman, 1997, str. 43)

Dohodek	Vozil na gosp.	Vseh potovanj na gosp.	Potovanj avtomobilov na gosp.	Vseh potovanj po namenu v %		
				Dom - služba	Dom - ostalo	Ostalo - ostalo
nizek	1,3	6,8	5,4	17	60	23
srednji	1,8	9,5	8,3	20	56	24
visok	2,4	12,4	11,2	23	52	25
obt. povprečje	1,8	9,0	7,6	21	56	23
<b>Velikost gosp.</b>						
1 oseba	1,0	3,6	3,2	20	56	24
2 osebi	1,9	7,0	6,3	23	53	24
3 osebe	2,1	11,3	10,3	22	54	24
4 osebe	2,2	13,4	11,2	18	61	21
5 in več oseb	2,4	16,8	13,5	19	59	22
obt. povprečje	1,8	9,0	7,8	21	56	23

V spodnji preglednici je navedeno povprečno število potovanj na prebivalca iz rezultatov anket po gospodinjstvih za Ljubljansko regijo.

Preglednica 2: Povprečno število potovanj na osebo za Ljubljansko regijo

<b>Regija</b>	<b>Število potovanj</b>
MOL	3,11
Domžale	2,53
Litija	2,30
Grosuplje	2,42
Škofljica	2,50
Vrhnika	2,40
Kranj	2,54

Študije ugotavljajo, da velikost urbanega območja nima pomembnejšega vpliva na spremembe generacije potovanj. Pomembnejši vpliv imajo geografske karakteristike in raven usluge prometnega sredstva. Razlike v deležu potovanj po namenih na gospodinjstvo so posledica velikosti gospodinstev. Za naše razmere na splošno velja, da je vsota osebnih potovanj z avtom na prebivalca blizu 2 (trenutno okoli 1,8). V ZDA je ta podatek večji od 3, običajno nekje vmes med 3,5 in 4. Opozoriti velja tudi na upoštevanje skladnosti vsote potovanj z vsemi načini potovanj (primerjava individualnih motoriziranih potovanj z drugimi načini potovanji) in na verigo potovanji.

- # Izračun vsote potovanj po osebi po namenu. Zelo pomemben podatek dobimo s stratifikacijo modela generacije potovanj po namenih. Gre za število generiranih in po namenih razdeljenih potovanj.

Preglednica 3: Primerjava potovanj po osebi na prebivalca po namenih

<b>Namen potovanja</b>	<b>Center LJ</b>	<b>MOL</b>	<b>Regija</b>
rekreacija	0,38	0,33	0,18
nekoga prepeljati	0,09	0,09	0,09
delovno mesto	0,70	0,71	0,65
poslovno	0,27	0,18	0,15
šola, študij	0,35	0,32	0,31
redni nakup	0,40	0,37	0,27
izredni nakup	0,22	0,16	0,13
osebni poravki	0,47	0,46	0,36
v restavracijo, bife	0,18	0,14	0,08
obisk	0,35	0,31	0,25
<i>skupaj</i>	3,40	3,07	2,48

V zgornji preglednici je primerjava potovanj oseb na prebivalca po namenih za center mesta Ljubljane, celotne Mestne občine Ljubljana in Ljubljanske regije brez MOL območja.

# Primerjava opazovanih in ocenjenih produkcij potovanj na širšem (agregiranem) nivoju. Model prilagodimo na conske podatke baznega leta in napovemo produkcijo potovanj po conah ter skupno vsoto za vse cone. Napovedano število potovanj primerjamo z številom opazovanih potovanj, ki jih dobimo iz obteženega (ekspandiranega na celotno območje gospodinstev) seznama potovanj. Vir so ankete po gospodinjstvih. Primerjava opazovanih in napovedanih potovanj velja za več različnih klasifikacij:

- po namenu potovanja (dom-delo, dom-ostalo itd),
- potovanje po vrsti območja (regija, okraj, mesto, del mesta, cona),
- potovanje po višini dohodka ali lastništvu osebnega vozila.

V spodnji preglednici je prikazan primer agregirane validacije potovanj po vrsti območja (na ravni cone) in po namenu potovanj (dom-služba). Podatki so povzeti iz transportnega modela Ljubljanske regije.

Preglednica: Agregirana validacija po vrsti območja (FGG-PTI, 2005, str. 9)

<b>Občina</b>	<b>Anketirano</b>	<b>Ocenjeno</b>	<b>Razlika</b>
Domžale	15572	14317	-1255
Grosuplje	7310	7090	-220
Kamnik	13293	11336	-1957
Kranj	21635	20470	-1165
Ljubljana	87912	86066	-1846
Medvode	8118	6589	-1529
Škofja Loka	9510	8810	-700
Škofljica	3497	3532	35
Vrhnika	7739	7754	15

Razlike med anketiranimi in ocenjenimi potovanji so lahko podvržene napakam modela generacije potovanj ali vzorčnim napakam anket.

# Izračun korelacije in grafični prikaz povezave opazovanih in napovedanih potovanj (ali po razredih potovanj) po območjih.

Zaradi uporabe skupne vsote potovanj na ravni posameznih območij postane validacija "karakteristična". Velike cone producirajo veliko potovanj, male pa malo. Sledi, da rezultat korelacije meri velikost cone. Boljše merilo je izračun in primerjava povprečnih opazovanih in napovedanih potovanj po razredih na gospodinstvu na ravni cone ali občine. Ta primerjava je boljši kazalec učinkovitosti modela, čeprav so njegovi rezultati manjših od vrednosti  $R^2$ .

# Primerjava opazovanih in ocenjenih produkcij potovanj na nivoju gospodinstva (dezagregiranem nivoju).

Model apliciramo za vsako gospodinjstvo iz anketnega vzorca ter napovemo produkcijo potovanj (npr. gospodinjstvo z eno osebo in dvema voziloma producira 0,88 potovanja domdelo itd.). Primerjamo napovedana potovanja s številom opazovanih potovanj po gospodinstvih. Odzivnost potovanj na osebo preverimo v odvisnosti spremembe povprečne velikosti gospodinjstva, števila zaposlenih v gospodinjstvu, dohodek in lastništvo motornih vozil (vseh spremenljivk ne moremo vključiti v posamezni model). Izvedemo lahko primerjavo vseh potovanj skupaj ali ločeno po namenih.

Preglednica: Dezagregirana validacija števila potovanj dom-služba na gospodinjstvo po številu članov in številu vozil; območje ljubljanske regije, (FGG-PTI, 2005, str. 10)

Število vozil	Velikost gospodinjstva	Število gospodinjstev	Opazovano	Ocenjeno	Razlika
0	1	336	0,06	0,07	0,01
0	2	236	0,31	0,26	-0,05
0	3	117	0,94	0,63	-0,31
0	4	58	1,19	0,92	-0,27
0	5	14	1,64	1,15	-0,49
1	1	551	0,47	0,37	-0,10
1	2	1099	0,54	0,62	0,08
1	3	507	0,78	1,00	0,22
1	4	352	1,02	1,26	0,24
1	5	61	1,05	1,32	0,27
2	1	74	0,28	0,88	0,60
2	2	644	1,35	1,39	0,04
2	3	841	1,71	1,64	-0,07
2	4	876	2,09	2,05	-0,04
2	5	270	2,25	2,39	0,14

Pri pregledu trenda rasti potovanj ugotavljamo, da se število potovanj na osebo z leti povečuje. Pri tem upoštevamo dejstvo, da se je postopek anketiranja s časom izpopolnil in spremenil. Posledica tega je tudi več ugotovljenih potovanj po gospodinjstvih. Trend rasti potovanja velja kot kontrola na agregirani ravni podatkov. Lahko pa predstavlja tudi osnovo za kontrolo odzivnosti. Na primer, če model generacije potovanj za napoved prometa kaže stabilna ali padajoča potovanja na osebo v primerjavi z baznim letom, obstaja verjetnost slabe odzivnosti modela generacije potovanj. Natačneje, gre za problem faktorja povečanja števila voženj na osebo.

### **4.3 Modeli atrakcije potovanj**

#### **4.3.1 Opis modela**

Model atrakcij potovanj uporabimo za napovedi koncev tistih potovanj, ki se ne končajo doma. Veljajo enaki nameni potovanj, kot jih poznamo za model produkcije potovanj. Uporabimo lahko dva različna pristopa kalibracije. Prva metoda upošteva razvoj regresijske enačbe, ki povezuje atrakcije potovanj s spremenljivkami kot je število prebivalstva, gospodinjstev, zaposlenih in vpisnih šolskih mest. Druga metoda temelji na oceni deležev regionalnih potovanj, razdeljenih glede na rabo površine ali stopnjo zaposlenosti.

Za razvoj modelov atrakcije potovanj uporabimo iste ankete po gospodinjstvih, kot smo jih uporabili za kalibracijo modelov produkcije potovanj. Najpogostejša težava modelov atrakcije potovanj so časovne omejitve. Ankete po gospodinjstvih z ugotovljenimi potovalnimi karakteristikami so odličen vir modela produkcije potovanj. Veliko manj pa je takih informacij na lokacijah, kjer se izvajajo določene aktivnosti. Večina anket po gospodinjstvih je premalo obsežnih, da bi na ravni cone lahko določili stabilne atrakcije potovanj. Kot pomoč k razvoju modela uporabljamo regresijsko enačbo in agregirane podatke širšega območja. Kalibracija na nivoju cone je bolj realna, če vključimo v anketirano območje tudi pomembnejše atrakcije.

#### **4.3.2 Validacija modela atrakcije potovanj**

Za validacijo modela atrakcije potovanj upoštevamo enake kontrole kot za model produkcije potovanj. Razmerja atrakcije potovanj ustrezno pregledamo glede na smiselno povezavo in primerjavo z ostalimi območji, predvsem za potovanja dom-služba. Pregledati moramo razmerja:

- # potovanja dom-služba na osebo s številom zaposlenih,
- # potovanja dom-šola s številom vpisnih mest,
- # potovanja dom-nakup s številom zaposlenih v trgovini.

Za napoved atrakcije potovanj baznega leta model običajno temelji na vhodnih conskih podatkih. Primerjavo opazovanih in napovedanih potovanj je priporočljivo izvršiti tako za manjše kot tudi za večje območje.

#### 4.4 Posebni generatorji

Identifikacijam lokacij obsežnejših dejavnosti namenimo posebno pozornost. Gre za velike generatorje potovanj kot so trgovski poslovni centri, predmestni centri določenih aktivnosti, bolnišnice, državne ustanove (vojaška oporišča), letališča in izobraževalna središča (srednje šole, fakultete, študentski domov). Skupna značilnost vsem je velika poraba površin, za katere pa običajno generatorji potovanj in modeli distribucije ne dajo zanesljivih rezultatov glede na običajne potovalne vzorce.

Vir podatkov s katerim preverimo produkcijo potovanj na lokacijah posebnih dejavnosti so lokalne ankete (v ZDA so temu namenjene ITE<sup>6</sup> študije). Lokalna študija o vplivu prometa običajno vsebuje podrobnejše informacije (števni podatki, zasedenost vozil) za obravnavano območje. Na osnovi teh virov dobimo napoved generacije potovanj z vozili. Z uporabo podatka o zasedenosti vozila, te podatke pretvorimo v potovanja na osebo.

#### 4.5 Kalibracija modelov za druge namene potovanj

V študijskem območju so poleg notranjih potovanj rezidentov še potovanja zaradi drugih namenov:

- komercialna potovanja tovornih vozil oziroma potovanja opravljena s komercialnimi vozili znotraj študijskega območja,
- potovanja nerezidentov, ki so območje le obiskali,
- izvorno-ciljna potovanja rezidentov in nerezidentov ter

---

<sup>6</sup> Institute of Transportation Engineers

- tranzitna potovanja.

#### **4.5.1 Komerzialna potovanja**

Običajno so podatki potovanj komercialnih vozil znotraj območja omejeni. Promet težkih vozil je v primerjavi z ostalimi zastopan v manjšem deležu. Pogosto se ga oceni s faktoriranjem osebnih vozil. Alternativa poenostavljenemu faktoriranju osebnih vozil je ocena tovornih vozil z uporabo posebnega modela generacije, distribucije in obremenjevanja. Ti modeli so bili razviti šele v zadnjem času.

#### **4.5.2 Notranja potovanja nerezidentov**

Nerezidenti znotraj območja potujejo zaradi različnih namenov. Potovanja med območjem obdelave in zunanjim območjem so zabeležena v izvorno-ciljnih potovanjih. Toda potovanja, ki se pojavijo znotraj območja, se štejejo kot interna potovanja. Dejstvo je, da ta potovanja niso vezana na dom. Območja, kjer je prisoten znaten delež potovanj zaradi nerezidentov (turistov), se model kalibrira posebej. Običajno se tovrstna potovanja enostavno prišteje, kar je zadovoljiva rešitev.

V primeru prenizke celotne generacije notranjih in zunanjih potovanj po namenu uporabimo postopek fakturiranja. Gre za to, da faktoriramo potovanja, ki niso vezana na dom. Pri tem upoštevamo razmerje notranjih potovanj, ki niso vezana na dom in izvorno-ciljnih potovanj nerezidentov s potovanji rezidentov, ki niso vezana in tista, ki so vezana na dom.

#### **4.5.3 Tranzitna potovanja**

Izvorno-ciljna potovanja imajo začetek ali konec potovanja zunaj kordona. Tranzitna potovanja imajo tako začetek kot konec zunaj študijskega območja. Ta potovanja običajno modeliramo kot potovanje vozil in ne oseb. Izvorno-ciljno matriko za tranzitna potovanja razvijemo s pomočjo anket na kordonu in se jo doda ostalim notranjim potovanjem pred fazo obremenjevanja. Delež tranzitnih potovanj lahko uredimo že v fazi validacije rezultatov obremenjevanja z ujemanjem s števničnimi podatki.

#### **4.6 Prilagajanje produkcij in atrakcij**

Zadnji korak v fazi modeliranja generacije potovanj je prilagajanje produkcij in atrakcij potovanj. Vsoti produkcije in atrakcije za vsak posamezen namen potovanja morata biti enaki. To je pogoj za uporabo modela v fazi distribucije. Razmerje vsot produkcij in atrakcij



po namenih potovanja ne sme segati izven območja vrednosti 0.9 in 1.1, sicer socioekonomske podatke in ostala razmerja potovanj ponovno pregledamo.

Dejstvo je, da obstaja večja stopnja zaupanja v karakteristične značilnosti gospodinjstev, kot v "goli" podatke o številu zaposlenih za izračun atrakcij. V primeru, ko podatki o zaposlenih niso dosegljivi, se razmerja atrakcije potovanj kalibrira s podatki anket po gospodijstvih.

Izjema so "druga" potovanja, ki niso vezana na dom, za katere atrakcije potovanj uporabimo kot kontrolo skupne vsote potovanj. Sledi prilagoditev produkcije potovanj, tako da se ujemajo z atrakcijami. Specialni generatorji so tudi primer, ko so atrakcije kontrola skupne vsote potovanj v procesu prilagajanja. V kolikor tranzitna potovanja ne obravnavamo ločeno, služi linija kordona za kontrolo skupne vsote potovanj.

## 5 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA DISTRIBUCIJE POTOVANJ

### 5.1 Splošno

V fazi distribucije potovanja porazdelimo med posamezne pare prometnih con in jih predstavimo z dvodimenzionalno izvorno-ciljno matriko. Celice v glavni diagonali vsebujejo število znotraj conskih potovanj, v ostalih pa so zapisana medconska potovanja. Glavni izhodni podatki distribucije potovanj so dolžine in smeri potovanj, ki predstavljajo osnovo za prometno obremenitev omrežja. Rezultati distribucije potovanj se določijo za osebni in javni promet, ki jima definiramo prometno povpraševanje v odvisnosti od prevoznih zmožnosti oziroma ugodnosti.

Za izračun porazdelitve potovanj uporabljamo dve metodi:

- analogno metodo faktorjev rasti, ki temelji na terenskih raziskavah in predhodnih študijah ter
- metodo sintetičnih modelov, ki temelji na neugodju potovanja in s tem povezano funkcijo upora, ki jo definiramo z generaliziranim stroškom.

Metode faktorjev rasti so enostavne za uporabo. Njihova slabost je neupoštevanje sprememb v omrežju, potovalnih značilnosti, kakor tudi nezmožnost napovedi prihodnjih med conskih potovanj, če v sedanosti teh potovanj ni. Te pomankljivosti pa odpravimo z uporabo sintetičnih modelov, pri katerih porazdelitev potovanj med conami temelji na neugodju oz. uporju potovanja med dvema conama. Zaradi podobnosti formule z Newtonovim gravitacijskim zakonom, je med sintetičnimi modeli najbolj znan gravitacijski model. Vzadnjem času se uporabljajo tudi logit modeli.

Pred uporabo modela je bistveno določiti obliko funkcije upora, kar resnično pomeni kalibriranje modela distribucije. Preden se posvetimo konkretno modelu, je pomembno razumeti koncept neugodja oz. upor potovanja (travel impedance) in temu posledično funkcijo upora (deterrence function).

## 5.2 Upor potovanja

Neugodje potovanja ali upor ni odvisen le od razdalje oziroma časa potovanja. Vključuje tudi denarni strošek (cena parkiranja, stroški goriva, cestnine, cena avtobusne vozovnice itd). Skupni upor potovanja poti  $r$  med conama  $i$  in  $j$  za izbrano prevozno sredstvo zapišemo z linearno kombinacijo subjektivne komponente časa  $T_{ij}^r$  in objektivne komponente denarne enote  $K_{ij}^r$ . Upor potovanja enostavno definiramo z generaliziranim stroškom  $c_{ij}$ . Izračunamo ga kot najmanjši upor  $c_{ij}$  možnih poti med cono  $i$  in  $j$ :

$$c_{ij} = \min_r (T_{ij}^r + K_{ij}^r / \gamma), \quad (1)$$

kjer so

$c_{ij}$  ...generalizirani strošek (običajno zaradi lažjega razumevanja izražen v minutah),

$K_{ij}^r$  ...denarna komponenta,

$T_{ij}^r$  ...časovna komponenta,

$\gamma$  ...vrednost časa (pretvornik med denarno in časovno enoto, npr. za osebni promet velja 5 evrov/uro, za javni promet tri do štirikrat več).

Najpomembnejši vhodni podatek (poleg že dobljenih produkcij in atrakcij) modela distribucije so matrike uporov potovanj. Vsebujejo zapis upora potovanja za vsako posamezno porazdelitev med vsemi prometnimi conami. V ta namen se uporabi zgoraj opisani generalizirani strošek ali t.i. generalizirani potovalni čas, ki predstavlja celotni vpliv neugodja potovanja. V kolikor ločimo več prometnih sredstev uporabimo indeks  $m$ . Pri navedbi generaliziranega stroška določenega prometnega sredstva uporabimo zapis  $c_{ij}^m$ .

Pred uporabo potovalnih časov moramo opraviti vrsto kontrol s katerimi preverimo ustreznost matrike upora. Običajno naprej določimo hitrost potovanja za vsak pozamezni izvorno-ciljni par. Ocenimo jo z delitvijo matrike dolžine potovanja na potovalni čas in enoto pretvorbe:

$$S_{ij} = D_{ij} / T_{ij} \cdot 60 ,$$

(2)

kjer so

$S_{ij}$  ...hitrost potovanja od cone  $i$  do cone  $j$  v km/h,

$D_{ij}$  ...najkrajša razdalja poti od cone  $i$  do cone  $j$  v km,

$T_{ij}$  ...najkrajši potovalni čas od cone  $i$  do cone  $j$  v minutah,

60 ... pretvornik iz minute v uro.

Po izračunu sledijo kontrole:

- najnižje in najvišje hitrosti med pari con ali skupinami con,
- pregled frekvenca distribucije hitrosti med vsemi porazdelitvami potovanj. Ključni elementi preveritve so skrajne vrednosti (zelo nizke ali zelo visoke hitrosti med paroma con).
- Kontrole "končnih" (terminal times) potovalnih časov na agregirani ravni.

Končni potovalni čas predstavlja porabljeni čas od izvora potovanja do vozila oz. od vozila do cilja potovanja. Generalno je določen glede na vrsto območja v katero spada posamezna prometna cona. Prilagajanje končnega potovalnega časa je del procesa kalibracije modela distribucije potovanj. Preveri se, ali modelirane dolžine ustrezajo opazovanim povprečnim dolžinam potovanj. Končni potovalni čas vpliva tudi na izbiro prometnega sredstva. Definiramo dve vrsti končnih časov. Prvi se uporabi za potovanja, ki se končajo doma, drugi na koncu atrakcij. Preveritev ustreznosti klasifikacije končnih časov preverimo z meritvami obstoječih končnih časov za določeno vrsto območja in določenega tipa zaključka potovanja. Poudariti moramo, da osnovo za kalibracijo modela tvori frekvenca distribucije dolžine potovanj, in ne opazovana potovanja izvorno-ciljnih anket. Ustrezne statistične vrednosti o povprečni dolžini potovanj in frekvenci distribucije dolžine potovanj dobimo le z anketami po gospodinjskih.

### 5.3 Funkcija upora

Predpostavimo, da vrednosti produkcij za vse cone poznamo. Sedaj želimo vsa ta potovanja porazdeliti med cone. Očitno je, da bo število potovanj do izbranega cilja manjše, če se oddaljenost oz. upor potovanja med conama povečuje. Upor potovanja, ki vpliva na distribucijo izrazimo s funkcijo upora (deterrence function)  $F(c_{ij})$ .

V preteklosti so bile uporabljene različne matematične oblike zapisa funkcije upora. Najnovejše temeljijo na upor potovanja. Opišemo jih s pomočjo negativnih eksponentnih funkcij omejenimi z mejnimi vrednostmi. Tako poznamo:

$$F(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha} \quad \text{negativno potenčno funkcijo,}$$

$$F(c_{ij}) = e^{-\beta \cdot c_{ij}} \quad \text{negativno eksponentno funkcijo in}$$

$$F(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha} \cdot e^{-\beta \cdot c_{ij}} \quad \text{kombinirano potenčno in eksponentno funkcijo.}$$

Poleg zgoraj navedenih uporabljamo še bolj splošno obliko funkcije. Generalizirane stroške agregiramo v majhno število razredov, ki jih označimo z indeksom  $m$ . Vsakemu razredu pripišemo dobljeno vrednost funkcije upora. Zapišemo:

$$F(c_{ij}) = \sum_m F^m \cdot \delta_{ij}^m, \quad (3)$$

kjer je

$F^m$  ...srednja vrednost funkcije za razred  $m$ ,

$\delta_{ij}^m$  ...je enaka 1, če stroški potovanja padejo v razred  $m$ , sicer je 0.

Potenčna in eksponentna funkcija imata po en parameter, kombinirana dva ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), zadnja formulacija pa  $m$  parametrov za kalibracijo.

#### 5.4 Kalibracija gravitacijskega modela distribucije potovanj

Najobičajneši sintetični model distribucije potovanj je gravitacijski model in izhaja iz analogije z Newtonovim gravitacijskim zakonom. Teorija gravitacijskega modela temelji na tem, da je število potovanj, ki se izmenja med dvema conama sorazmerno številu produkcij in atrakcij ter obratno sorazmereno z oddaljenostjo med conama. Z uvedbo generaliziranega stroška je osnovna oblika dopolnjena in jo zapišemo:

$$T_{ij} = \alpha \cdot O_i \cdot D_j \cdot F(\beta, c_{ij}). \quad (4)$$

Če upoštevamo:

- dvojno omejitev  $\sum_j T_{ij} = O_i$  in  $\sum_i T_{ij} = D_j$ ,
- in nadomestimo faktor  $\alpha$  (po metodi Furness) z dvema skupinama faktorjev  $A_i$  in  $B_j$  ter
- zapišemo  $a_i = A_i O_i$  in  $b_j = B_j D_j$ .

Dobimo klasično obliko dvojno omejenega gravitacijskega modela, ki ga zapišemo

$$T_{ij} = a_i b_j F(c_{ij}). \quad (5)$$

Enojno omejeni model dobimo tako, da eno skupino faktorjev  $a_i$  ali  $b_j$  postavimo na 1.

Preden gravitacijski model uporabimo, ga moramo kalibrirati. Parametre  $a_i$ ,  $b_j$  in  $\beta$  (to je  $n+n+1$  parametrov, pri čemer je  $n$  število con) določimo tako, da model kar najbolj reproducira vzorec resničnih potovanj. Parametre  $a_i$  in  $b_j$  določimo z upoštevanjem omejitev glede produkcij in atrakcij ter poudarimo, da je zaradi  $\sum_i O_i = \sum_j D_j = T$  ena omejitev redundantna. Parameter  $\beta$  kalibriramo posebej, ker nimamo podatka o skupnih stroških

potovanj  $C$ . V preteklosti je bilo predlaganih veliko metod kalibracije. Najbolj uporabne temeljijo na principu največje verjetnosti, poznane kot statistične metode vrednotenja. Ena od teh je t.i. poissonova ocena (Poisson estimator). Naloge bi se lahko lotili tudi tako, da začetni  $\beta$  določimo izkustveno in nadaljujemo po metodi »poskusi in popravi«, dokler ne dobimo ustrezne distribucije potovanj. Tak pristop seveda ni najbolj ustrezen, ker ne zagotavlja, da bomo v kratkem času našli primerno vrednost parametra  $\beta$ . Obstaja več boljših tehnik, med katerimi bomo omenili Hymanovo, ki temelji na zahtevah za  $\beta$ :

$$c(\beta) = \sum_{ij} [T_{ij}(\beta)c_{ij}] / T(\beta) = c^* = \sum_{ij} (N_{ij}C_{ij}) / \sum_{ij} N_{ij}, \quad (6)$$

kjer sta

$c^*$  ...povprečni stroški distribucije potovanj, ki smo jih dobili s terenskimi raziskavami,  
 $N_{ij}$  ... število potovanj med posameznim parom con, ki smo ga dobili s terenskimi in velja

$$T(\beta) = \sum_{ij} T_{ij}(\beta). \quad (7)$$

Postopek kalibracije opišemo v štirih korakih:

- 1) začnemo prvo iteracijo z  $m=0$  in  $\beta_0 = 1/c^*$
- 2)  $m=m+1$ ; s prejšno oceno za  $\beta$ ,  $\beta_{m-1}$  izračunamo matriko potovanj s standardnim gravitacijskim modelom. Izračunaj povprečne stroške potovanj  $c_m$  in jih primerjamo s  $c^*$ . Če se dovolj malo razlikujeta sprejmemo  $\beta_{m-1}$  za vrednost parametra  $\beta$ , sicer pojdi na korak 3.
- 3) Če je  $m=1$  izračunamo boljšo oceno za  $\beta_m$  po naslednji formuli:  $\beta_1 = c_1\beta_0/c^*$ , če je  $m>1$  izračunamo boljšo oceno za  $\beta_m$  po naslednji formuli:

$$\beta_{m+1} = \frac{(c^* - c_{m-1})\beta_m - (c^* - c_m)\beta_{m-1}}{c_m - c_{m-1}}. \quad (8)$$

4) Ponavljamo koraka 2 in 3 dokler se  $c_m$  in  $c^*$  dovolj malo ne razlikujeta.

Poudariti moramo, da poznamo še druge modele distribucije potovanj, model interventnih priložnosti ali logit model. Vendar za vse veljajo enake metode validacijskih kontrol.

### 5.5 Validacija modela distribucije potovanj

Opazovane oziroma resnične dolžine potovanj izračunamo po principu osnovnega upora mreže. V spodnji preglednici (Preglednica 4) so prikazane izbrane modelirane dolžine potovanj za različna mesta.

Preglednica 4: Primerjava dolžine potovanj po namenu potovanj v minutah

Območje	Leto ankete	Dom-služba	Dom-šola	Dom-nakup	Dom-ostalo	Ne dom-ostalo
MOL+Regija	2003	21,91	22,41	18,88	21,92	-
Denver	1985	22,7	-	-	-	13,8
Charleston	1993	20,7	15,9	18,7	17,3	15,7
San Juan	1991	22,7	15,5	14,2	16,1	16,2

Z računalniškimi programi lahko izračunamo povprečno dolžino potovanj za vse porazdelitve potovanj med conami. V bistvu gre za iskanje povprečnega potovalnega časa, tako da matriko potovanj obtežimo s "skim" matriko oz. matriko upora.

Iz anket po gospodinjskih dobimo podatek o času začetka potovanja na delo. V resnici pa ta podatek ni tako zanesljiv, kot je informacija o lokaciji začetka in cilja potovanja. Podani čas uporabimo pri validaciji modela za približno oceno dolžine potovanj. V prilogi B je preglednica z razporeditvijo potovanj glede na trajanje potovanja. Potovanje na delo običajno traja od 20 do 25 minut, lahko tudi manj odvisno od velikosti mesta. Potovanja, ki niso vezana na službo so običajno krajša od tistih, ki so vezana na službo.

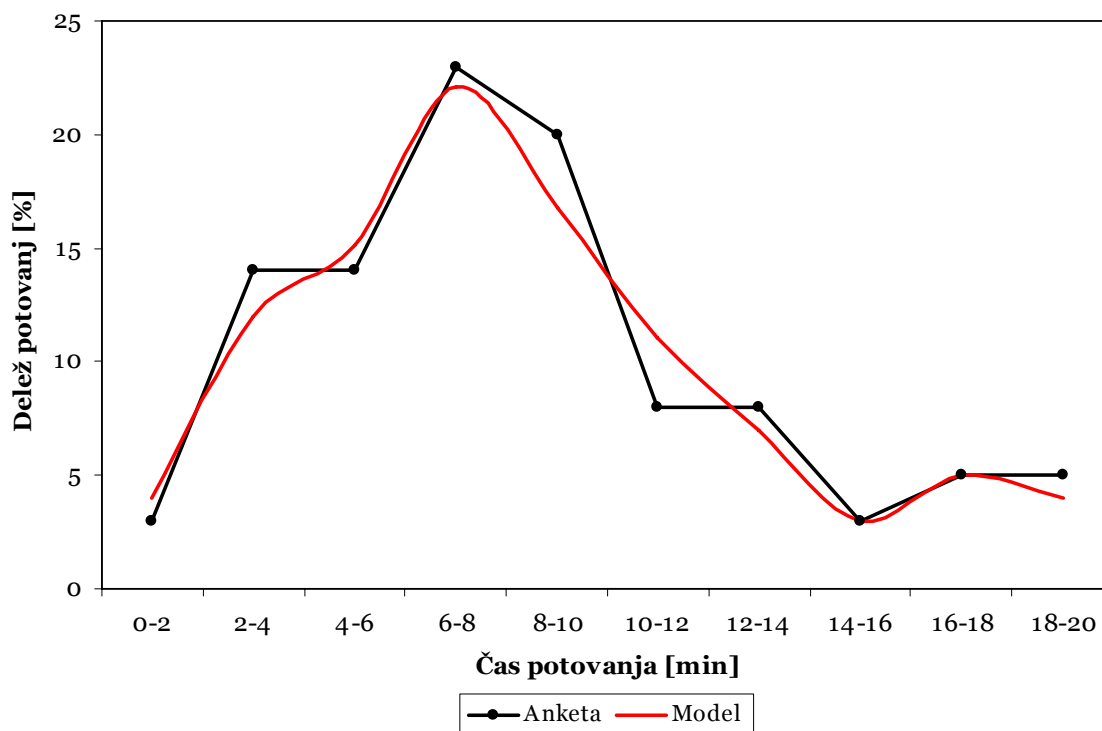


Preglednica 5: Dolžina in čas potovanja dom-služba (ZDA) s primerjavo povprečnega potovanj v MOL ter Regija brez MOL

	ZDA					MOL	Regija
	1969	1977	1983	1990	sprememba (69-90)	2003	
Dolžina potovanja (km)	1,59	1,48	1,59	1,71	7%	-	-
Čas potovanja (min)	22	20,4	20,4	19,7	-10%	23,6	28,5

Pri validaciji modela distribucije potovanj uporabimo naslednje postopke:

- # Primerjava povprečnih dolžin potovanj po namenu. Najobičajneša validacijska kontrola modela distribucije potovanj, uporabljena tudi za del postopka kalibracije, je primerjava opazovanih (resničnih) in napovedanih (modeliranih) dolžin potovanj. Modelirane povprečne dolžine potovanj se lahko razlikujejo največ za 5% od opazovanih povprečnih dolžin potovanj. Če upor izrazimo z generaliziranimi stroški, lahko povprečne dolžine potovanj in frekvenčnost distribucije dolžin potovanj preverimo s komponentami generaliziranih stroškov (npr. čas in dolžina).
- # Primerjava dolžin potovanj produkcij z dolžinami potovanj atrakcij po namenu in vrsti območja. Povprečne dolžine potovanj produkcij in atrakcij za izbrana območja lahko prikažemo z uporaba GIS orodij.
- # Grafični prikaz frekvence distribucije dolžine potovanj po namenu. Frekvenca distribucije dolžine potovanj prikaže kako dobro model reproducira opazovane dolžine potovanj znotraj časovnih intervalov (Slika 11). Vizualna primerjava distribucije je učinkovita metoda validacije. Kot kvantitativno mero za oceno validacije uporabimo kvocient ujemanja.



Slika 11: Frekvenca distribucije dolžine potovanj dom-služba

### 5.5.1 Kvocienat ujemanja (konvergenca)

Kvocienat ujemanja oz. konvergenca uporabimo za primerjavo dveh distribucijskih krivulj, tako da skupni kvocienat dveh distribucij določimo kot odstotek celotne površine, ki ga krivulji oklepata. Vsoto spodnje vrednosti obeh distribucijskih krivulj za vsak inkrement na X osi delimo z vsoto zgornje vrednosti obeh distribucijskih krivulj za vsak inkrement X. Na splošno velja, da kvocienat ujemanja določa delež območja, kjer se obe krivulji skladata (prekrivata).

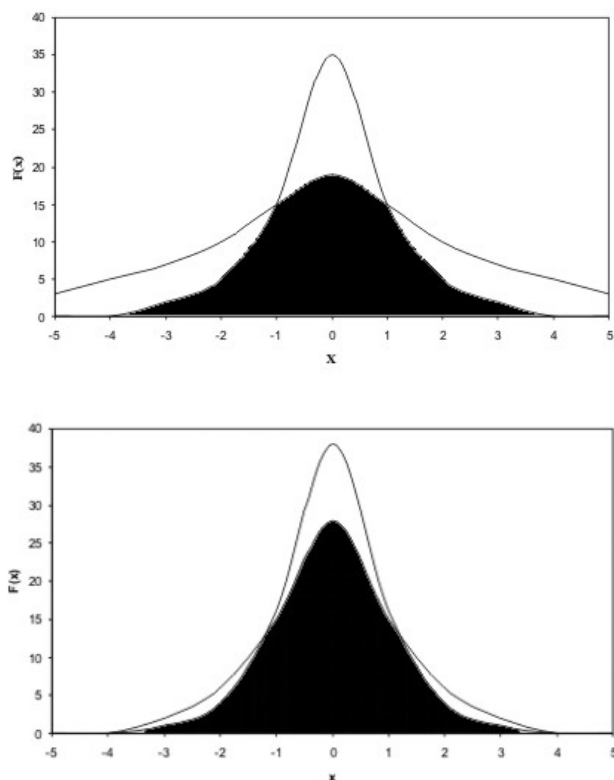
Postopek izračuna skladnosti distribucije:

ujemanje	=	vsota {min(števil <sub>+T</sub> / števil <sub>+</sub> , števil <sub>-T</sub> / števil <sub>-</sub> )}
skupna vsota	=	vsota {max(števil <sub>+T</sub> / števil <sub>+</sub> , števil <sub>-T</sub> / števil <sub>-</sub> )}
izračun T	=	1, maxT
kvocienat ujemanja	=	skladnost / skupna vsota

kjer so,

$\text{število}_{+T}$	=	ocenjena vrednost distribucije v času T
$\text{število}_{+}$	=	skupna vrednost ocenjene distribucije
$\text{število}_{-T}$	=	opazovana vrednost distribucije v času T
$\text{število}_{-}$	=	skupna vrednost opazovane distribucije

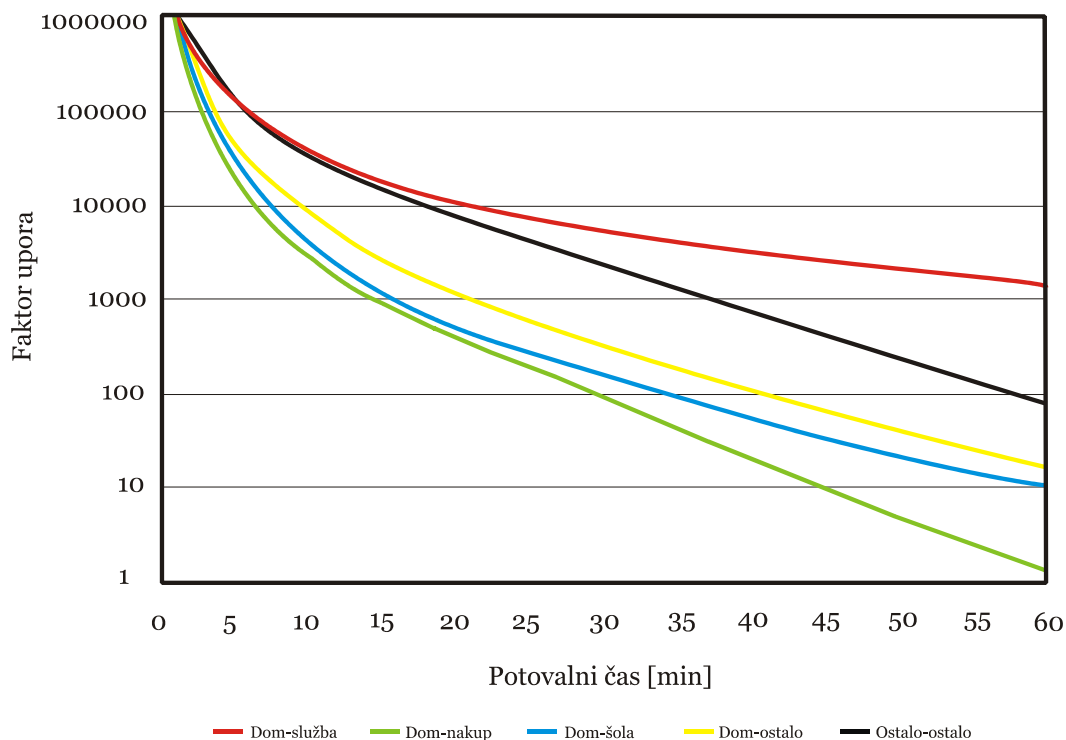
Vrednost kvocienta ujemanja leži med 0 in 1. Nič predstavlja dve nepovezani distribuciji, ena popolno ujemanje. Slika 12 prikazuje dva primerja ujemanja distribucije, tako da obarvano območje prikazuje skupni del. Vidimo, da se spodnji krivulji bolje ujemata, saj je obarvano območje večje, kar pomeni tudi, da se spodnji krivulji distribucije bolje ujemata.



Slika 12: Kvocient ujemanja dveh distribucij potovanj

- # Grafični prikaz normaliziranega faktorja upora. Opisana kontrola je izvedljiva le pri uporabi klasičnega gravitacijskega modela distribucije potovanj. Grafično prikažemo kalibrirane faktorje upora. Ta prikaz na slikovit način pojasni povprečno potnikovo odzivnost na neugodnje (upor) potovanja po namenu potovanja in omogoči

primerjavo s faktorji upora iz drugih območij. Za primer vzemimo potovanje na delo. Potniki so manj občutljivi na dolžino potovalnega časa. Gre za vsakodnevna potovanja, ki se jih ne more premakniti izven prometne konice ali na drugo lokacijo. Na sliki 13 vidimo krivulje faktorjev upora za potovanja po namenih. V primeru povečanja potovalnega časa, so spremembe upora postopne (počasne).



Slika 13: Normaliziran faktor upora po namenih potovanja

Zaradi vpliva večjega števila faktorjev obstaja verjetnost velikih neskladij med opazovanimi in modeliranimi dolžinami potovanj. Poglavitna vzroka sta:

- Neustrezna izvedba prilagajanja produkcij in atrakcij.
- Prevelik ali premajhen upor poti.

Po končani validaciji modela distribucije potovanj na širši ravni sledi še pregled rezultatov modela za podskupine potovanj in potovanj na posameznih delih celotnega študijskega območja.

- # Izračun deleža znotraj conskih potovanj po namenu. Odstotek znotraj conskih potovanj po namenu kontroliramo za celotno območje in ločeno glede velikosti cone (npr. razvrstimo na velikosti do 0.5 km<sup>2</sup>, od 0.5 do 1 km<sup>2</sup>). Običajno znotraj conska potovanja predstavljajo manj kot 5% vseh potovanj po osebi. Seveda je delež predvsem odvisen od velikosti cone in območja za katerega je prometni model razvit (regionalni ali lokalni nivo). Na obremenitev odsekov celotnega omrežja lahko vplivamo s številom znotraj conskih potovanj v odvisnosti od sprememb časov znotraj cone.
- # Primerjava opazovanih in ocenjenih potovanj porazdeljenih med posameznimi predeli in kontrola večjih prometnih tokov. Primerjava dolžine potovanj je dobra kontrola distribucije na širši ravni. Obstaja pa verjetnost, da se dolžine potovanj iz modela ujemajo, kljub nepravilni porazdelitvi potovanj na prave destinacije. Za enostavnejši tabelarni pregled potovanj na osebo združimo medconska potovanja na raven okoliša ali skupine con (npr. območja z velikim številom delovnih mest oz. poslovni centri). Glavne prometne tokove, ki prečkajo fizične ovire (npr. reke, železnice) moramo združiti in pregledati.
- # Stratifikacija dolžine potovanj in/oziroma porazdelitev potovanj glede na višino dohodka. Pogosto različne višine dohodka vplivajo na potovalne karakteristike.

### 5.5.2 K-faktor

K-faktor je sektorski (področni) faktor s katerim korigiramo glavna neskladja v porazdelitvi potovanj. Izračunamo ga kot kvocient med opazovanimi in ocenjenimi porazdelitvami potovanj. Predstavlja socio-ekonomske karakteristike, ki vplivajo na generacijo potovanj, toda le-te niso vsebovane v gravitacijskem modelu.

Uporaba K-faktorja je nezaželjena. Predstavlja izrazito šibko točko za običajne gravitacijske modele, ki temeljijo na popravljaju socio-ekonomskih faktorjev. Ob predpostavki da je K-faktor konstanta in predstavlja spreminjajoče karakteristike populacije, bo napoved distribucije potovanj pod vplivom velikih napak. Zaželeni pristop temelji na selekciji produkcij in atrakcij potovanj po višini dohodka (ali lastništvu motornih vozil) in distribuciji ločeni na razrede potovanj. Tako posamezni model odraža različno distribucijo glede na vrsto zaposlitve oziroma odzivnost potnikov na čas potovanja.

## **6 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA IZBIRE PROMETNEGA SREDSTVA**

### **6.1 Opis modela**

Vrsta uporabljenega modela izbire prometnega sredstva temelji na pogojih potovanja znotraj študijskega območja. Kjer so potovalne možnosti omejene, zadostuje uporaba faktorja. Na osnovi osebnih potovanj določimo delež javnega prometa. V takem primeru faktor izbire prometnega sredstva smiselno preverimo z veljavnimi voznimi redi in shematskimi prikazi linij javnega prevoza.

V Prilogi C so zbrani podatki po namenih potovanj glede na prometno sredstvo. Iz preglednice ugotovimo, da delež potovanj na delo z različnimi prevoznimi sredstvi varira. Iz tega sledi, da so področne karakteristike zelo pomembne pri definiciji modela izbire prometnega sredstva.

Multimodalni logit in hierarhični nested (gnezdni) logit model sta predstavnika najsodobnejših diskretnih modelov izbire prometnega sredstva. Validiramo jih na osnovi agregiranih (conskih) podatkov ali dezagregiranih na ravni gospodinjstev. V zadnjem času nekateri teoretiki priporočajo uporabo dezagregiranih gnezdenih logit modelov.

Modeli za izbiro prometnega sredstva zahtevajo številčne vhodne podatke. Bistveni so bili ugotovljeni že v predhodnih korakih modeliranja. Uporabljene spremenljivke so čas prestopanja (izstop iz vozila, vstop v vozilo, čas hoje, čakalni čas), število prestopanj, potovalni čas, cestnina, stroški avtomobila, dohodek na gospodinjstvo ali lastništvo osebnih vozil, velikost gospodinjstva, število zaposlenih in karakteristika rabe površine. Podatki morajo biti ustrezno pregledani in primerljivi z opazovanimi vrednostmi. Priporočeni del kontrole je primerjava parametrov iz drugih območij.

### **6.2 Dezagregirana validacija**

Z dezagregirano validacijo podrobno preverimo ustreznost obravnavanega modela izbire glede na opazovane podatke. V proces je vključeno definiranje opazovanih poskupin na osnovi dolžine potovanj, lastništva motornih vozil po gospodinjstvih itd. Model izbire posameznih poskupin primerjamo z opazovanimi (resničnimi) izbirami. Sistematične karakteristike teh primerjav vodijo k izbiri novih spremenljivk ali drugim spremembam z namenom približati

se pravi izbiri. Iz tega je priporočeno oceno parametrov modela in dezagregirano validacijo izvesti interaktivno pred končnim izborom karakteristik. Idealno je, če validacijo izvedemo z uporabo neodvisnih opazovanih potovalnih vzorcev glede na vzorce uporabljene v fazi ocene modela. Poznamo pa primer validacije modela Southern California, kjer je bil izbor podatkov narejen iz obsežne ankete po gospodinjskih in iz anket na javnem prometu ter razdeljen na dva dela. Prvi del za potrebe ocene parametrov modela, drugi za validacijo. Sicer pa izbor podatkov lahko pridobimo tudi iz drugih virov.

V primeru uporabe samo enega vira podatkov, dezagregirano validacijo izvedemo z uporabo istega izbora podatkov. Značilne karakteristike modela identificiramo tako, da model apliciramo na segmentu podatkov iz ocene modela. Gre za primer, ko model izbire validiramo glede na razrede lastništva motornih vozil. V takem primeru lahko validacija pokaže precenjen delež potovanj za gospodinjstva brez vozil v predmestju. V takih primerih poiščemo rešitev z dodatno spremenljivko, ki povezuje lastništvo vozil z vrsto območja (možnost zamenjave obstoječih ločenih spremenljivk).

Dezagregirano validacijo izvedemo z uporabo začasnih nizov opazovanj, ki temeljijo na sledečih spremenljivkah kot so:

- karakteristike gospodinjstev (velikost gospodinjstva, višina dohodka, število zaposlenih in lastništvo motornih vozil),
- karakteristike potnikov (starost, spol, vozniško dovoljenje status zaposlitve),
- karakteristike prometnih con (geografska lokacija, vrsta območja, gostota poselitve in stroški parkiranja),
- karakteristike potovanj (dolžina potovanja, čas in stroški).

### **6.2.1 Kontrola odzivnosti**

Po oceni modela izbire prometnega sredstva primerjamo ugotovljena razmerja in elastičnost modela z vrednostmi iz drugih območij. Primerjavo koeficientov modela in dobljenih spremenljivk štejemo kot validacijsko kontrolo, t.i. kontrolo odzivnosti. V kolikor so koeficienti modela (konstante) in ugotovljena razmerja znotraj mejnih vrednosti, ki veljajo za drugo območje, je model odzivnosti podoben modelom drugih območij.

Skupna (splošna) kontrola odzivnosti modela izbire je “direct” ali “cross elasticities of the model” modela. Elastičnost uporabimo za oceno spremembe (v odstotkih) povpraševanja glede na spremembo (v odstotkih) ponudbe. Tudi elastičnost lahko smatramo kot validacijsko kontrolo in kontrolo odzivnosti. Kot primer navajam Simpson-Curtinovo “nepisano pravilo” za izračun elastičnosti potovalnih stroškov. Elastičnost je -0.3, torej 10 % povečanje potovalnih stroškov z javnim prometom povzroči 3% padec potovanj z javnimi sredstvi. Elastičnosti izhajajo iz modelov in empiričnih študij Patronage Impacts of Changes in Transit Fares and Services, Ecosometrics (1980).

Kontrolo odzivnosti lahko opravimo za model elastičnosti stroškov potovanja, za potovalne čase z vozilom, brez vozila in za prestopanja. Dopolnjene (izboljšane) kontrole odzivnosti modelov izbire prometnega sredstva preiskujejo spremembo v izboru sredstva v povezavi z spremembami potovalnih stroškov in časa. Kontrole odzivnosti ponazorimo tako, da definiramo spremenljivko, ki ponazarja enotno vrednost spremembe (npr. €0.25 rast potovalnih stroškov ali 10% povečanje potovalnega časa z osebnim vozilom).

### **6.3 Agregirana validacija**

Agregirano validacijo izvedemo za modele, ki so narejeni na podlagi kalibriranih podatkov letnih potovanj na osebo ter vhodnih podatkov nivoja uslug. Delež posamezne izbire delimo po namenih potovanja. Le-te pa lahko delimo še na podmodele potovanja. Primer podmodela je napoved potovanj z javnim prevozom, do katerega pridemo peš ali z vozilom. Rezultate izbire prometnega sredstva je priporočeno primerjati s sekundarnimi viri, kot so:

- razpoložljivost sredstev javnega prevoza in zasedenosti vozila,
- rezultati anket o potovalnih karakteristikah po vrsti izbire prometnega sredstva ter po izvorno-ciljnih destinacijah potovanj,
- število stalnih uporabnikov po vrsti prometnega sredstva in
- število stalnih uporabnikov javnega prometnega sredstva glede na vrsto dostopa. (Podatke zbiramo na glavnih postajah, kjer obstaja možnost prestopanja med osebnim vozilom, avtobusom in hitrimi javnimi prevoznimi sredstvi.)



Navedene primerjave običajno vodijo k natančnemu postopku prilagajanja konstant in razčlenitvi povpraševanja, tako da agregirana oblika modela ustrezno replicira opazovane (resnične) podatke.

Druge agregirane validacije so še:

- # povprečna zasedenost osebnega vozila po namenih potovanja (Preglednica 6),
- # delež osebnih vozil z eno osebo po namenu potovanja,
- # delež potovanj vezanih na dom z javnim prevozom glede na vsa potovanja z javnim prometom,
- # delež posamezne izbire glede na vrsto območja in
- # povprečna zasedenost vozila glede na vrsto območja.

Primer razčlenitve povpraševanja je lahko delitev uporabe javnega prometa glede na vrsto dostopa (peš ali z osebnim vozilom). Vzemimo primer potovanja na delo v specifično območje (npr. poslovni center). Istočasno pa lahko delež vseh potovanj iz poslovnega centra tudi utrezno preverimo. Na število napovedanih voženj (potovanj vozil) pomembno vpliva sprememba zasedenosti vozila. Pri uporabi koeficienta pretvorbe potovanj iz osebe na vozilo, je popravek v fazi validacije enostaven. Faktorje zasedenosti dobimo iz anket po gospodinjskih.

Preglednica 6: Povprečna zasedenosti osebnega vozila po namenih potovanja

Namen	2003			1990
	Center	MOL	Regija	ZDA
Delo in šola	1,14	1,16	1,22	1,10
Poslovno	1,23	1,18	1,23	-
Nakup	1,52	1,48	1,50	1,70
Drugo	1,43	1,46	1,50	1,80

Prometne modele se pogosto uporablja za vrednotenje vpliva uvedbe novega prometnega sredstva (mestna železnica). Dodatna izbira pomembno vpliva na validacijo. Na prvi pogled bi pričakovali "selitve" potovanj javnega prometa na novo prometno sredstvo ali celo

generalno povečanje potovanj. Zelo pomembno je, da pri oceni ustreznosti in veljavnosti izbire prometnega sredstva upoštevamo osnovno strukturo modela.

## 7 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA OBREMENJEVANJA OMREŽJA

### 7.1 Splošno

Obremenjevanje omrežja je zadnji (četrti) korak klasičnega štiristopenjskega procesa modeliranja. Gre za izbiro poti potovanj po omrežju. Na osnovi validiranega modela lahko reproduciramo resnična potovanja baznega leta, obenem pa napovemo prihodnje prometno obnašanje.

V preteklosti se je obremenjevanje omrežja uporabljalo za analize prometnih sprememb večjih razsežnosti. Za vrednotenje potovalnih časov se je uporabilo isto funkcijo obremenitev-zamude (BPR<sup>7</sup>) za vse kategorije cest, glede na modelirane obremenitve. Z razvojem računalniške tehnologije je bil storjen velik napredek. Razvite so bile nove funkcije in algoritmi obremenjevanja (z omejitvijo kapacitete, stohastični, multimodalni, intermodalni itd.), obenem pa se je povečala tudi natančnost kodiranja omrežja. Vse to je privedlo do boljših, realnejših rezultatov.

Validacija faze obremenjevanja je zadnja v procesu prometnega modeliranja. Večina jih temelji na kontroli ustreznih obremenitev posameznih odsekov. Skupne ciljne točke prometnih modelov in ekoloških študij (plini, hrup) pa so sprožile interes o vplivu hitrosti v nasičenem prometnem toku.

#### 7.1.1 Izračun upora poti

V fazi obremenjevanja je izbor poti odvisen od funkcije upora. Na najosnovnejši ravni je izražen s potovalnim časom izbrane poti. Bolj dovršene metode pa vključujejo poleg časa tudi denarni strošek. Večina modelov distribucije in obremenjevanja temelji na kombiniranem izračunu upora poti. Zato za opis funkcije neugodja uporabimo generalizirani strošek potovanja. Osnovni postopek kalibracije in v nadaljevanju validacije faze obremenjevanja temelji na prilagajanju (reguliranju) izračuna generaliziranih stroškov poti.

---

<sup>7</sup> Bureau of Public Roads

### **7.1.2 Razmerje obremenitev-zamuda**

Proces prometnega obremenjevanja temelji na razmerju obremenitev in zamuda (volume-delay relationship). V primeru, ko obremenitev na odseku naraste, se zaradi zasičenosti prometnega toka potovalna hitrost zmanjša. Spremenljivke s katerimi v prostem prometnem toku določimo potovalno hitrost in kapaciteto so vezane na odsek glede na tip ceste. Kalibracija in validacija modela obremenjevanja vplivata tako na sistemsko prilagoditev hitrosti in kapacitete ter koeficientov funkcije obremenitev-zamuda glede na tip ceste.

### **7.2 Postopki validacije modela obremenjevanja**

Proces validacije poteka na treh nivojih:

- celotnem sistemu,
- glavnih koridorjih in
- specifičnih odsekih.

Stopnjevanje natančnosti validacije je v korelaciji s samim postopkom modeliranja. Verižni (zaporedni) proces namreč omogoča prenašanje oz. kupičenje napak iz faze v fazo modela.

Poznamo različne agregirane validacije celotnega sistema za fazo obremenjevanja. Običajno temeljijo na celodnevni prometnih obremenitvah ali za določene časovne intervale (konične obremenitve). Vključene so kontrole prometnega dela, torej “prevožena dolžina x vozila” (vehicle miles of travel = VMT), “potovalni čas x vozila” (vehicle hours of travel = VHT) in kontrola vsote prometnih obremenitev na kordonu ter kontrolnih presekih. Iz tega sledi še kontrola skupne vsote in povprečne vrednosti navedenih vrednosti na gospodinjstvo ter na osebo.

#### **7.2.1 Prometno delo (dolžina x vozila oz. potovalni čas x vozila)**

Prvi korak validacije je primerjava opazovanega (resničnega) in modeliranega prometnega dela. Prometno delo dobimo kot produkt obremenitev na odseku (število vozil) in dolžine odseka ter jih seštejemo glede na izbrano območje in tip ceste. Vrednost opazovanega prometnega dela dobimo z obsežnim izračunom. V kolikor se za validirano leto ne izvede pregled stanja (štetje) določenega odseka, je potrebno prometno delo oceniti.

- # Preveritev ustreznosti in veljavnosti prometnega dela za območje na gospodinjstvo in na osebo. Obstaja možnost izračuna večjega števila statističnih podatkov, ki jih

uporabimo za validacijo prometnega modela na širši (sistemski) ravni. Upoštevamo absolutne in relativne razlike.

Absolutne razlike (med opazovanim in obravnavnim) so običajno večje za visoko obremenjene odseke in obratno za manj obremenjene. Ker številčna razlika (absolutna vrednost) ne odraža prave vrednosti napake, je razlika, ki je prikazana v odstotkih, bolj uporabna. Tako prikažemo relativen pomen napake. Raziskave kažejo, da modelirano prometno delo širšega območja ne sme odstopa več kot 5% od opazovanih vrednosti na lokalni ravni. Priporočilo je izdala ameriška agencija za varstvo okolja Environmental Protection Agency (EPA), kot smernice pri uporabi podatkov iz zbirke Highway Performance Monitoring System (HPMS). Leta 1996 so mejo odstopanja premaknili na 3%.

Preglednica 7: Porazdelitev prometnega dela (km x vozila) po velikosti urbanega območja in tipu ceste

Tip ceste	Velikost urbanega območja (v 1000 preb.)		
	Majhno (50-200)	Srednje (200-1000)	Veliko (nad 1000)
Avtoceste in hitre ceste	18 - 23%	33 - 38%	40%
Magistralne ceste	37 - 43%	27 - 33%	27%
Regionalne ceste	25 - 28%	18 - 22%	18 - 22%
Zbirne ceste	12 - 15%	8 - 12%	8 - 12%

V primeru slabe ocene prometnega dela širšega območja, a so kljub temu vrednosti na gospodinjstvo ustrezne, sledi iskanje napake v podatkih o gospodinjstvih (npr. podcenjeno število gospodinjstev). S podobnimi detajli si lahko analitik pomaga pri iskanju napake v fazi modeliranja ter tako korigira (kalibrira) oziroma prilagaja model.

Za večja urbana območja je po ameriških raziskavah ugotovljeno, da prevožena dolžina na gospodinjstvo znaša 65-95 km (40-60 milj) na dan, za manjša pa 48-65 km (30-40 milj) na dan. Prometna nacionalna raziskava NPTS<sup>8</sup> je leta 1990 objavila povprečno prevoženo dolžino za gospodinjstvo na dan, ki znaša 66.5 km (41.37 milje). Prevožena dolžina na osebo se giblje med 27 in 39 km (17-24 milje) na dan za večja urbana območja ter 16-26 km (10-16 milje) na dan za manjša urbana območja.

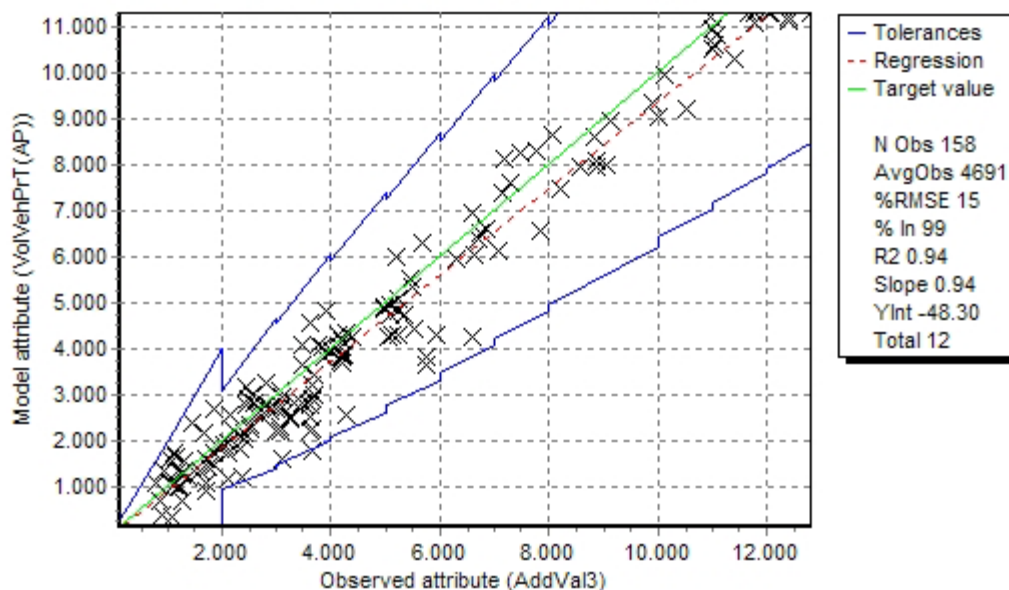
<sup>8</sup> Nationwide Personal Transportation Survey

Po začetni kalibraciji na osnovi anketnih podatkov so običajno modelirane vrednosti manjše od opazovanih na širšem območju. Tedaj ukrepamo tako, da povečamo generacijo potovanj vezanih na dom-ostalo (ne v službo) in potovanj, ki niso vezana na dom. Utemeljitev je, v tem, da so ta potovanja najslabše zajeta v anketnih vzorcih po gospodinjstvih. Običajno zvečanje deleža modeliranih potovanj za 10 do 20 % daje ustrezne in primerljive rezultate opazovanim vrednostim.

### **7.2.2 Prometne obremenitve**

Po validaciji prometnega dela sledi primerjava resničnih (opazovanih) in modeliranih (ocenjenih) prometnih obremenitev. Opazovane obremenitve dobimo iz števnih podatkov. Prometne obremenitve validiramo na celotnem študijskem območju tako, da primerjamo skupne vsote prometnih obremenitev na kordonu in kontrolnih prerezih. Obremenitve na cestnih presekih lahko primerjamo na širšem kot tudi na ožjem lokalnem območju.

- # Primerjava opazovanih in modeliranih obremenitev na kontrolnih prerezih ter cestnih presekih.
- # Primerjava opazovanih in modeliranih obremenitev za vse odseke s števnim podatkom. Programski paketi za obdelavno omrežja in grafičnega prikaza atributov omrežja omogočajo relativno enostavno kontrolo in prikaz absolutnih in relativnih razlik. Poleg vizualnega pregleda je korelacija števnih podatkov in modeliranih obremenitev zelo uporabna za izračun agregiranih statističnih podatkov.
- # Izračun korelacije oz.  $R^2$  (determinacijski koeficient) s primerjavo opazovanih števnih podatkov in modeliranih obremenitev.
- # Uporaba diagrama razpršenosti (Slika 14). Vsako točkovno prikazano vrednost (v našem primeru je predstavljen odsek), ki leži zunaj mejnega območja moramo ponovno preveriti.



Slika 14: Diagram razpršenosti (Visum 9.3-4)

- # Izračun statistične vrednosti GEH. Metoda je oblika  $\chi^2$  testa, ki vključuje absolutne in relativne napake. Vrednosti računamo za posamezne odseke ali skupino odsekov. Izračunamo ga po formuli:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - \check{S})^2}{M + \check{S}}}$$

(9)

kjer sta:

M...modeliran prometni tok in

Š...števnici podatek.

# Izračun %RMSE (Percent Root Mean Square Error):

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{(\sum_j (M_j - \check{S}_j)^2 / (n-1))}}{\frac{1}{n} \sum_j \check{S}_j} \cdot 100, \quad (10)$$

kjer so:

M...modeliran prometni tok,

Š...števeni podatek,

n...število števnih mest,

Preglednica 8: Prikaz rezultatov validacije obremenjevanja omrežja po tipu ceste (prometna študija Nove Gorice, PNZ 2005)

Tip ceste	Število odsekov	Relativna razlika	RMSE	R <sup>2</sup>	GEH < 5	razlika vozila x km	razlika vozila x ur
Avtocesta	4	4,70%	14,20%	0,995	0,99%	0,20%	0,80%
Regionalna cesta	124	8,50%	15,50%	0,967	0,96%	1,70%	1,10%
Zbirna mestna cesta 1. reda	54	9,80%	27,30%	0,955	0,91%	3,80%	3,70%
Zbirna mestna cesta 2. reda	6	8,90%	23,70%	0,961	0,93%	2,90%	3,10%
Skupaj	188	8,81%	19,12%	0,964	0,95%	2,31%	1,90%

### 7.2.3 Hitrost v razmerah s prometnom obremenjene ceste

Razpoložljive podatke o resničnih hitrostih združimo po segmentih cestne mreže, in sicer na odseke in križišča. Povprečno zamudo posameznega križišča izračunamo iz potovalnega časa. Opazovane hitrosti razvrstimo po razredih glede na tip ceste in vrsto območja. Modelirane in opazovane hitrosti primerjamo na osnovi razdelitev po razredih. Kontrola matrik upora vključuje:

- # povzetek hitrosti po odsekih glede na tip ceste in vrsto območja, prikaz minimalnih, maksimalnih ter povprečnih hitrosti posameznega razreda. Primerjava hitrosti na



obremenjeni cesti s hitrostmi, ki so bile uporabljene v fazi distribucije potovanj in izbire prometnega sredstva.

# Primerjava opazovanih in modeliranih hitrosti po segmentih cestnega omrežja.

#### 7.2.4 Parametri modela

Po končani validaciji na kontrolnih prerezih, kordonu in po presoji rezultatov modela distribucije potovanj, lahko sistematično prilagodimo željenim rezultatom tudi funkcijo obremenitev-zamude. Tako lahko obremenitev posameznega odseka prilagodimo števnim podatkom. Tam pristop lahko ustvari nerealne vrednosti hitrosti ali kapacitet odsekov (npr. hitrost prostega prometnega toka pade na 5 km/h). Tedaj so pogojno ustrezne le prometne obremenitve. Korigiranje atributov odseka je dovoljeno le za sistematično prilagoditev hitrosti in kapacitete skupine odsekov istega tipa cest ali vrste območja v katerega spadajo.

Pri obremenjevanju omrežja obstaja veliko parametrov, ki so potencialni povzročitelji napake:

- Iteracijski proces obremenjevanja vključuje nerealno povečevanje inkrementnih vrednosti ali negativnih faktorjev.
- Nepravilni parametri funkcije obremenitev-zamude (volume-delay) BPR.
- Faktor pretvorbe urne konice uporabimo za prilagoditev urnih kapacitet in/ali dnevnih obremenitev.
- Faktor pretvorbe enot časa, dolžine ali hitrosti (mi/hr ali km/h).
- Največje in najmanjše omejitve hitrosti.
- Parametri definicije stroškov zamude (obvozi).

Validacijo izvedemo za:

# drevesno strukturo izbranih poti določenih na osnovi potovalnih časov,

# izbrane odseke,

# tabele potovanj ločeno glede na vrsto potovanja (tranzitno, izvorno-ciljni).

### **7.3 Obremenjevanje javnih transportnih sistemov**

Prva validacija faze obremenjevanja omrežja z javnim prometom je primerjava števila resničnih in modeliranih voženj. Preveritev velja za študijsko območje glede na prometno sredstvo in dolžino potovanja. Kontrola resničnega števila prestopanj na vožnjo z modeliranim deležem, je natančnejša kontrola, saj preverimo ustrezno število prestopanj med vožnjo, od začetka do konca potovanja.

#### **7.3.1 Kalibracija modela**

Prvi del validacije obremenjevanja javnega prometa že izvrši še pri kalibraciji modela izbire prometnega sredstva. Pri kalibraciji so specifične konstante izbire za študijsko območje dobljene tako, da model izbire ustvari primernen odstotek potovanj z javnim prometom. Struktura modela izbire prometnega sredstva bo kasneje vplivala na vrsto karakterističnih konstant. Pri multimodalnem logit modelu določimo karakteristične konstante za vse vrste javnih prevoznih sredstev istočasno. Pri uporabi gnezdenega logit modela najprej določimo karakteristike konstant za najnižjo raven mreže in nato do najvišje ravni. Določene iteracije tega procesa so običajno zahtevane preden spremenimo vrsto karakterističnih konstant. Priporočeno se je izogniti karakterističnim konstantam, ki imajo absolutno vrednost večjo od 2 ali 3 na najvišji ravni gnezdene strukture. Če so konstante prevelike, model izgubi odzivnost (senzitivnost) na spremembe ravni usluge.

#### **7.3.2 Validacija**

Validacija obremenjevanja javnega prometa je zahteven proces, še posebej pri direktni korelaciji s stopnjo natančnosti povpraševanja. Če se osredotočimo na osebni promet je zadostno validirati število voženj z javnim prometom na širšem območju. Tako namenoma zanemarimo določeno število potovanj. Planiranje javnega prometa zahteva večjo natančnost, zato validiramo izbiro prometnega sredstva, koridorje, poti, linije, segment linije oziroma detajl na postajališču. Tako natančnost je s sintetičnimi modeli zelo težko doseči. V takih primerih se poslužujemo pivot-point<sup>9</sup> modelov.

Običajne težave, ki so prisotne pri validaciji obremenjevanja javnega prometa:

---

<sup>9</sup> Pivot-point modeli izvirajo iz logit modelov. Njihova prednost je ožji nabor potrebnih vhodnih podatkov.

- Število voženj. Običajno se jih pri obremenjevanju napove več, kot pa se jih v resnici izvrši v javnem sistemu. Pomankljivost odpravimo z upoštevanjem penalov. Težava se pojavi tudi zaradi pomanjkanja dostopnih peš povezav do sredstev javnega prometa. Zagotoviti moramo, da je pri vsaki liniji omogočen peš dostop do vsake prometne cone, ki je v območju spremeljive oddaljenosti. Večja težava se pojavi v trgovsko poslovnih centrih, kjer številčne linije javnega prometa povezujejo več prometnih con. Da se izognemo prevelikemu številu peš dostopov, znotraj poslovno-trgovskega centra razvijemo dopolnilno peš omrežje ali dodatne cone.
- Distribucije frekvence dolžine potovanj. V primeru napačne povprečne dolžine potovanj z javnim prometom, preverimo tabelo potovanj oseb. V kolikor distribucija odraža enak vzorec potovanj z javnim prometnim sredstvom, je potrebno napako iskati v atributih modela distribucije potovanj. Notranja potovanja z javni prometnimi sredstvi lahko agregiramo in preverimo. Napačna distribucija frekvence dolžine potovanj se lahko pojavi zaradi povezav med specifičnimi conami ali okoliši. Če primerjava tabele resničnih potovanj z napovedanimi pokaže veliko neuravnoteženost za določena območja, moramo prav pri teh naprej pregledati poti in dostop. Ko je tudi ta del mreže skladen z ostalim delom modela, lahko popravimo vpliv specifičnih konstant za del območja.
- Hitri avtobusi (express or limited services). Pri validaciji javnega prometna je priporočljivo primerjati sorodnosti obremenjevanja med različnimi tipi prometnega sredstva. Iščemo podobne si vzorce, npr. med linijami lokalnih avtobusov in hitrih avtobusov (express bus service). V primeru premajhne zasedenosti hitrih avtobusov, običajno iščemo vzrok v neustreznih dostopih do vozil. Vzrok mnogo večjemu številu potnikov na hitrih linijah v primerjavi z lokalnimi pa običajno pripišemo nepravilnim dostopnim točkam (npr. če točka, na kateri se avtobus ustavi, ni resnična dostopna točka, pride do dodatnega povečanja potnikov).
- Analiza koridorja. Večina javnih prometnih sistemov ima svoje koridorje različnih dolžin, skozi katere poteka več linij. Prednost koridorja je v lažjem in boljšem dojetanju potrebne ravni usluge za potencialne potnike. Koridorje skozi katere poteka več linij, uporabimo tudi za primerjavo med napovedanimi potovanji in resničnimi številom voženj. Primerjamo distribuirana potovanja (uporabimo programsko orodje) in poti, ki temeljijo na relativni frekvenci usluge. Tak pristop lahko uporabimo le pri upoštevanju dveh predpostavk: da so potencialni potniki

seznanjeni o poteku vseh linij, ki nam lahko služijo za specifično potovaje in, da morajo biti konkurenčne linije med seboj pravilno časovno razporejene. Zavedamo se, da te predpostavke v realnosti le deloma držijo. Priporočljiv je, da v fazi validacije analiziramo konkurenčne linije, jih agregiramo in ignoriramo posamezne (individualne) poti.

Validacijo javnega prometa sestavljajo tudi primerjalne analize:

- med številom opazovanih in modeliranih voženj za posamezno območje glede na vrsto prometnega sredstva, časovni interval dneva in dolžino potovanja,
- med številom opazovanih in modeliranih prestopanj,
- med opazovanimi in modeliranimi obremenitvami na kontrolnih prerezih,
- med številom opazovanih in modeliranih voženj glede na pot (linijo) ali skupino poti,
- med številom opazovanih in modeliranih notranjih voženj.

Najnovejša programska orodja omogočajo prikaz različnih poročil rezultatov validacije. Običajno prikažemo informacije, ki se navezujejo na:

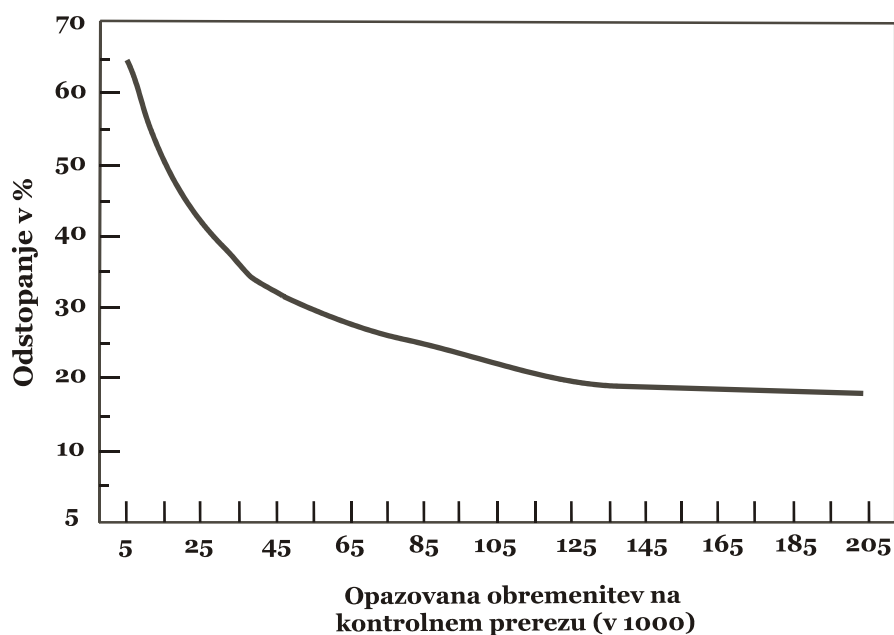
- število potnikov za linijo, vrsta prevoza in naziv podjetja,
- vrsto dostopa,
- prestopne točke,
- objavljeni/izračunani odhodi vozni redov,
- število potnikov in vozil na uro ali kilometer usluge,
- konične obremenitve.

#### **7.4 Priporočena merila za validacijo uspešnosti celotnega modela**

Abosolutne ocene veljavnosti in ustreznosti celotnega sistema modela ni mogoče natančno definirati. Poznanih je nekaj smernic, ki predpisujejo mejne vrednosti. Te običajno predstavljajo dobro osnovo za oceno kvalitete posameznega modela. Kot je že navedeno,

opazovane in modelirane vrednosti se generalno primerja glede na tip ceste in vrsto območja. Validacija obremenjevanja je hkrati tudi validacija celotnega modela.

- # Primerjava opazovanih in modeliranih obremenitev na kontrolnih prerezih ter cestnih presekih. Ameriška priporočila izhajajo iz dveh virov. Michigan Department of Transportation (MDOT) v svojih smernicah Urban Model Calibration Target (1993) priporoča največ 5% relativno odstopanje na kontrolnih prerezih in 10% na cestnih presekih. Ameriški Federal Highway Administration (FHWA) v svojem priročniku Calibration and Adjustment of System Planning Models (1990) navaja krivuljo, ki prikazuje največje dovoljeno relativno odstopanje obremenitev na kontrolnem prerezu v odvisnosti velikosti opazovanih obremenitev na kontrolnem prerezu (Slika 15).



Slika 15: Krivulja mejnega odstopanja prometnih obremenitev na kontrolnem prerezu

- # Izračun korelacije oz.  $R^2$  (determinacijski koeficient) s primerjavo opazovanih števnih podatkov in modeliranih obremenitev. Po ameriških priporočilih velja, da naj bi bila je vrednost  $R^2$  celotnega območja večja od 0,88. Angleški Department for

Transport v priročniku DMRB<sup>10</sup> priporoča, da so sprejemljivi faktorji v območju 0,90 in 1, za ožje območje obdelave pa nad 0,95.

- # Izračun statistične vrednosti GEH. Priporočene smernice po angleškem DMRB-ju so, da ima vsaj 85% posameznih prometnih tokov vrednost GEH manjšo od 5, na kontrolnih prerezih pa mora biti vrednost manjša od 4.
- # Izračun %RMSE (Percent Root Mean Square Error). Montana Department of Transportation (MDT) v svojih raziskavah ugotavlja, da mora biti ustrezno agregiran %RMSE manjši od 30%. Izračunamo ga za vse odseke s števnim podatkom oziroma jih agregiramo po tipu ceste ali vrsti območja.
- # Ameriški The Federal Highway Administration<sup>11</sup> in Michingan Department of Transportation<sup>12</sup> definirata stopnjo natančnosti validacije za dnevne obremenitve po tipu ceste (Preglednica). Podane so največje dovoljene relativne razlike med opazovanimi in modeliranimi obremenitvami.

Preglednica: Največje dovoljene razlike pri dnevni obremenitvi po tipu ceste

Tip ceste	Mejno relativno odstopanje	
	po FHWA	po MDOT
Avtocesta	+/- 7%	+/- 6%
Glavna cesta	10%	7%
Regionalna cesta	15%	10%
Mestna zbirna cesta	25%	20%

- # Contra Costa Transit Authority<sup>13</sup> iz San Francisca Bay je razvil priporočeno merilo za validacijo urnih koničnih obremenitev. Validacijo izvedemo na agregirani ravni za avtocestne odseke, odseke glavnih cest in prometne tokove v križiščih. Kriterij se nanaša na relativno razliko med števnim podatkom in modelirano obremenitvijo.

---

<sup>10</sup> Design Manual for Roads and Bridges, Volume 12

<sup>11</sup> FHWA

<sup>12</sup> MDOT

<sup>13</sup> CCTA

## Preglednica: Kriteriji validacije (relativne razlike) po Contra Costa Transit Authority

**Avtocestni odseki**

	dovoljeno odstopanje od števnih podatkov	delež odsekov, ki mora zadostiti kriteriju
kriterij	< 20%	> 75%
kriterij	< 10%	> 50%

**Odseki glavnih cest (dnevna obremenitev > 10.000 vozil)**

	dovoljeno odstopanje števnih podatkov	od delež odsekov, ki mora zadostiti kriteriju	zadostiti
kriterij	< 30%	> 75%	
kriterij	< 15%	> 50%	

**Tokovi v križiščih**

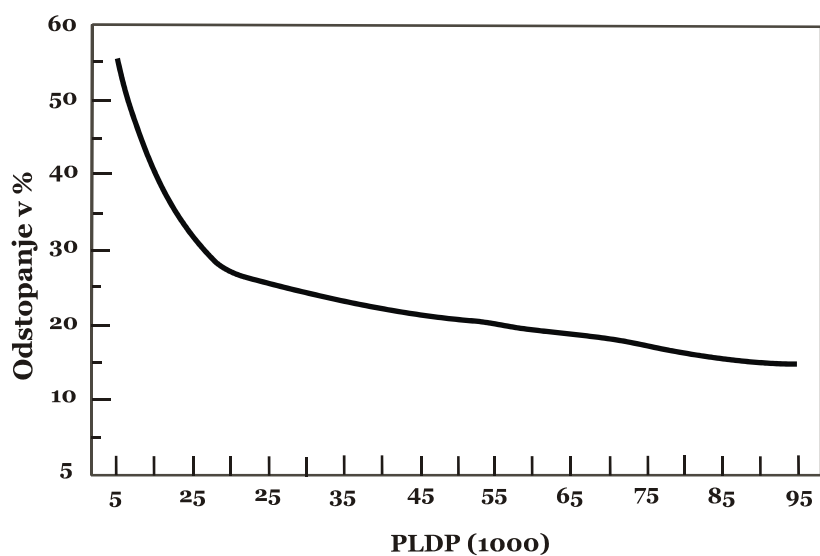
		dovoljeno odstopanje od števnih podatkov	delež tokov, ki mora zadostiti kriteriju
- glavni prometni tok obremenitev > 1000 vozil)	(urna	< 20%	> 50%
- stranski prometni tok obremenitev 500 - 1000 vozil)	(urna	< 20%	> 30%

- # Korelacijo  $R^2$  in %RMSE prometnega dela (VMT) izračunamo za skupine odsekov po tipu ceste, velikost obremenitve ali vrsti območja.
- # Federal Highway Administration in Michigan Department of Transportation navajata priporočena merila ujemanja števnih podatkov in modeliranih obremenitev za posamezne odseke. V preglednici so podana največja dovoljena relativna odstopanja v odvisnosti od povprečnega letnega dnevnega prometa (PLDP) na odseku.

Preglednica: Mejna odstopanja glede na povprečni letni dnevni promet na odseku

PLDP	Mejno relativno odstopanje	
	po FHWA	po MDOT
< 1.000	60%	200%
1.000 - 2.500	47%	100%
2.500 - 5.000	36%	50%
5.000 - 10.000	29%	25%
10.000 - 25.000	25%	20%
25.000 - 50.000	22%	15%
> 50.000	21%	10%

Mejno relativno odstopanje po FHWA grafično prikažemo s krivuljo.



Slika 16: Krivuja mejnega odstopanja od PLDP

- # Dodatne kontrole ujemanja izvedemo še za opazovano in modelirano prometno delo (izraženo v časovnih enotah) ter opazovano hitrost s povprečno hitrostjo po tipu ceste in vrsti območja in področja.



# Angleški Department for Transport v smernicah DMRB navaja kriterije mejnih odstopanj modeliranih urnih obremenitev glede na števne podatke po odsekih in kontrolnih prerezih:

<b>Predmet obravnave</b>	<b>Kriterij</b>	<b>Kriterij velja za</b>
<b>Odseki</b>		
Opazovani tok < 700 vozil/uro	± 100 vozil/uro	> 85% odsekov
Opazovani tok 700 - 2.500 vozil/uro	± 15%	> 85% odsekov
Opazovani tok > 2.700 vozil/uro	± 400 vozil/uro	> 85% odsekov
<b>Kontrolni prerezi</b>		
Vsaj 5 odsekov ali več	± 5%	vse kontrolne prereze

## **8 STRATEGIJE ISKANJA IN ODPRAVLJANJA NAPAK**

Priporočeni pristop validacije modela, ki je opisan v predhodnih poglavjih, temelji na kontroli posameznih komponent modela, preden jih vključimo v verigo modeliranja. Dejstvo je, da tudi najboljše strukture modelov vsebujejo napake. Glede na vrsto primerjave in verjetnost vzrokov napak pristopimo k analizi, ki vključuje štiri ravni:

- Študijsko območje - število vseh potovanj in povprečna dolžina potovanj.
- Raven koridorja – porazdelitev potovanj glede na namen.
- Lokalna raven – izbira pravih poti za napovedana potovanja osebnih vozil.
- Javni promet – izbira pravih poti napovedanih potovanj javnega prometa.

Ravni primerjav so podrobno opisane v nadaljevanju. Dodana so tudi priporočila o uporabi ustrezne vrste validacije (za širše ali lokalno območje). V določenih območjih predstavlja javni promet zanemarljiv vpliv. V primerih, ko predstavljajo potovanja z javnimi sredstvi pomemben delež vseh potovanj, moramo validaciji javnega prometa posvetiti več pozornosti.

### **8.1.1 Študijsko območje**

Generalne sistemske napake identificiramo z uporabo agregiranih vrednosti na kontrolnih prerezih in s skupnim prometnim delom. V primeru očitno premajhnih ali prevelikih prometnih tokov na vseh kontrolnih prerezih, se poslužimo postopka prilagajanja za sledeče primere:

Delež generacije potovanj: Preverimo vsote potovanj na osebo po namenu. Če deleže generacije potovanj kalibriramo na osnovi anket po gospodinjstvih, obstaja velika verjetnost, da ne potrebujemo prilagoditev. V resnici lahko določene namene potovanj zanemarimo npr. komercialna (tovorna vozila), turistična in zunanja potovanja

- Izbira prometnega sredstva in zasedenost vozila: Preveritev števila voženj z osebnim vozilom in voženj vseh vozil.

- Socioekonomski vhodni podatki: Preveritev števila gospodinjstev in zaposlenih, ki velja kot manj zanesljiv podatek, predvsem, če ga dobimo iz anket po gospodinjstvih in ne iz popisa prebivalstva.
- Distribucija potovanj: Kontrola povprečne dolžine potovanj po namenih in preveritev deleža znotrajconskih potovanj za celotno študijsko območje.

### **8.1.2 Raven koridorja**

Težave na ravni koridorja ugotovimo s preveritvijo prometnih tokov na cestnih presekih ali odsekih cest višje kategorizacije. Primerjava rezultatov obremenjevanja z omejitvijo kapacitete in obremenjevanja po metodi vse ali nič, prikaže razliko med željenimi porazdelitvami potovanj in modeliranimi porazdelitvami potovanj. Ustrezno preverimo običajne poti koridorjev. Preveriti je potrebno:

- Obremenjevanje cestnega omrežja: Vse parametre in vhodne podatke, ki vplivajo na tip ceste: hitrost in kapaciteto, (coding convention for freeway interchanges), cestnine in ostale potovalne stroške, funkcijo obremenitev-zamude, širjenje prometne konice, zastoje v križiščih.
- Distribucijo potovanj: K faktor upoštevamo le v primer, ko so na nekaterih kontrolnih prerezih očitna odstopanja.
- Socio-ekonomske vhodne podatke: Kljub temu, da so kontrolne vsote na ravni širšega območja ustrezne, so karakteristični podatki o gospodinjstvu in zaposlenih za območja določenih dejavnosti nepravilno definirani.

### **8.1.3 Lokalna raven**

Težave na lokalni ravni ugotovimo pri pregledu določenih kritičnih odsekov cestnega omrežja. Na območju z večjim številom cest istega tipa se zaradi zgoščenega prometega toka v fazi obremenjevanja preveč potovanj usmeri na ceste nižjega tipa. Potrebno je pregledati sledeče:

- Atribute odsekov: Kontrola vseh vrednosti, ki so specifične za posamezni odsek ali skupino odsekov (npr. administrativna hitrost in kapaciteta).
- Priključke centroidov in dostopnost (povezava).

- Posebne generatorje, ki so pomanjkljivo izračunani. Conski podatki so neustrezni.
- Ni penalov ali so neustrezni.

#### **8.1.4 Javni promet**

Pri validacija javnega prometa se osredotočimo na karakteristike izbire poti in napoved javnih potovanj določenih linij. Najprej preverimo število vseh potovanj na osebo.

V kolikor je število potovanj na osebo previsoka ali prenizko pregledamo vhodne socioekonomske podatke ali stroške parkiranja.

- Parametre poti javnega prometa (čakalni čas, izračun hitrosti omrežja)
- Časi in stroški vozila.

Potovanja z javnim prevozom niso vedno pripisana pravi liniji, posebej če logaritem obremenjevanja ne vključuje konkurenčne linije. V kolikor javni promet ne pripišemo pravi liniji preverimo:

- dostope do postajališč,
- intervale odhodov,
- čakalni čas,
- specifične hitrosti na odsekih, ki ključno vplivajo na obremenjevanje cestne mreže.

## 9 POVZETEK VALIDACIJE

V preglednici so povzete temeljne točke validacije, ki služijo za preveritev posameznih stopenj modela. Navedeni so kazalci, ki so predmet preverjanja in priporočena merila.

Stopnja modela	Predmet preverjanja	Način kontrole in priporočena merila
<b>1 Vhodni podatki</b>		
<b>1.1</b>	<i>Socio-ekonomski podatki:</i> prebivalstvo, gospodinjstva, zaposleni, povprečna velikost gospodinjstva, delež zaposlenih	logična primerjava skupne vsote na ravni mesta, občine ali regije, primerjava podatkov z drugimi območji in študijami, primerjava različnih tematskih kart (GIS)
<b>1.2</b>	<i>Infrastruktura:</i> kontrola povezav (kodiranje križišč, povezava centroidov, najkraše poti med centriidi)  kontrola atributov cestnega omrežja (dolžina odseka, kategorizacija, kapaciteta, hitrosti, število pasov, cestnina) cestno omrežje generalno in povprečne vrednosti po tipu ceste in vrsti območja; (hitrosti, kapacitete)	logični vizualni pregled, prikaz drevesa poti  logični vizualni pregled, GIS
<b>1.3</b>	<i>Javni promet:</i> posamezni elementi (dostopne in prestopne točke, postajališča, medpostajne povezave, parkirišča, kontrola voznega reda, kontrola dostopnih časov)	logični vizualni pregled, GIS
<b>2 Model generacije</b>		
<b>2.1</b>	<i>Socio-ekonomski podmodeli:</i>  primerjava opazovanih in ocenjenih gospodinjstev po socio-ekonomskih podskupinah	absolutne razlike, korelacija (det. koef); korelacija po deležih podskupin; korelacija in grafični prikaz po velikosti območij (diagram razpršenosti)

se nadaljuje...

...nadaljevanje

<b>Stopnja modela</b>	<b>Predmet preverjanja</b>	<b>Način kontrole in priporočena merila</b>
<b>2.2</b>	<p><i>Model produkcije:</i>                      skupna vsota produkcije oseb potovanj na gospodinjstvo ali po osebi ter po namenih                      vsota potovanj na agregiranem nivoju (po namenih, vrsti območja, višini dohodka, lastništvu)                      potovanja na nivoju gospodinjstva (dezagregirana primerjava)</p>	logična vizualna kontrola, korelacija, grafični prikaz,
<b>2.3</b>	<p><i>Model atrakcije:</i>                      enako kot pri modelu produkcije                      medsebojno razmerje potovanj (dom-služba s številom zaposlenih                      dom-šola s številom vpisnih mest                      dom-nakup s številom zaposlenih v trgovinah)</p>	enako kot pri modelu produkcije  logična vizualna kontrola
<b>2.4</b>	<p><i>Uravnoteženje produkcij in atrakcij:</i>                      produkcije in atrakcije po namenih</p>	relativni koeficient med 0,9 in 1,1
<b>3</b>	<b>Model distribucije</b>	
<b>3.1</b>	<p><i>Upor potovanj:</i>                      najmanjše in največje hitrosti med pari ali skupinami con                      frekvenca distribucije hitrosti med porazdelitvami potovanj                      končni časi (terminal times) na agregirani ravni</p>	logična vizualna kontrola
<b>3.2</b>	<p><i>Modelirane vrednosti:</i>                      povprečne dolžine potovanj po namenih                      primerjava dolžine potovanj produkcij z dolžino potovanj atrakcij po namenu in vrsti območja                      frekvenca distribucije dolžine potovanj po namenih                      koeficien ujemanje (konvergenca)                      znotraj conska potovanja po namenih                      večje porazdelitve med O-D pari ali skupinami con                      stratifikacija dolžine potovanj po višini dohodka</p>	relativno odstopanje <5%  grafično vizualna kontrola  relativno odstopanje <5%  logična vizualna kontrola

se nadaljuje...

...nadaljevanje

Stopnja modela	Predmet preverjanja	Način kontrole in priporočena merila	
<b>4</b> <b>Izbira prometnega sredstva</b>	<b>4.1</b> <i>Podskupine glede na opazovane podatke:</i>  karakteristike gospodinjstev (velikost, višina dohodka, število zaposlenih, lastništvo)  karakteristike potnikov (starost, spol, voziško dovoljenje, zaposlitev) karakteristike prometnih con (lokacija, vrsta območja, gostota poselitve, cena parkiranja) karakteristike potovanj (dolžina, čas, stroški)	logična vizualna kontrola	
	<b>4.2</b> <i>Odzivnos modela:</i>  koeficienti  elastičnost potovalnih stroškov (potovalni čas z vozilom, potovalni čas brez vozila, prestopni časi)	primerjava spremenljivk iz drugih območij  skupna kontrola	
	<b>4.3</b> <i>Rezultati modela:</i>  razpoložljivost in zasedenost prometnih sredstev  stalni uporabniki po vrsti sredstva  stalni uporabniki glede na vrsto dostopa povprečna zasedenost osebnega vozila po namenih  delež potovanj vezanih na dom z javnim prevozom  delež izbire glede na območje povprečna zasedenost vozila glede na vrsto območja	logična vizualna primerjava  logična vizualna primerjava  primerjava s potovanji z javnim prometom  logična vizualna primerjava	
	<b>5</b> <b>Model obremenjevanja omrežja</b>		
	<b>5.1</b> <i>Prometno delo:</i>  kontrola vozila x km (VMT) na gospodinjstvo in osebo za celotno območje obdelave  kontrola vozila x h (VHT) na gospodinjstvo in osebo za celotno območje obdelave	rel. odstopanja < 3% (EPA)	

se nadaljuje...

...nadaljevanje

Stopnja modela	Predmet preverjanja	Način kontrole in priporočena merila
<b>5.2</b>	<i>Prometne obremenitve:</i>	
	kontrolni prerezi	GEH < 4 (DMRB); krivuja mejnega odstopanja (FHWA), (glej str. 69)
	cestni preseki	rel. odstopanje < 10% (MDOT)  korelacija (širše območje): > 0.88 (FHWA), > 0.90 (DMRB);
	obremenitve na odseku s števničnim podatkom	korelacija (ožje območje): > 0.95 (DMRB);  GEH < 5 za ≥ 85% odsekov (DMRB);  relativno odstopanje od PLDP (FHWA, MDOT) - glej str. 69;  relativno odstopanje (DMRB) glej str. 70;  %RMSE < 30% (MDT);
	dnevna obremenitev po tipu ceste	kriterij relativnega odstopanja (FHWA, MDOT) - glej str. 66 (CCTA) - glej str. 68
<b>5.3</b>	<i>Hitrost v razmerah s prometom obremenjene ceste</i>	
	minimalna hitrost	
	maksimalna hitrost	logična vizualna kontrola hitrosti
	povprečna hitrost	
<b>5.4</b>	<i>Javni promet</i>	
	potovanja z javnim sredstvom	
	dolžina potovanja	
	število prestopanj	primerjava opazovanih in modeliranih vrednosti
	število notranjih voženj	
	število potnikov	
	prestopne točke	
	število potnikov na uro	
<b>6</b>	<b>Preveritev ustreznosti celotnega modela</b>	
	Preveritev ustreznosti celotnega modela	isto kot ustreznost obremenjevanja



## 10 SKLEPNE UGOTOVITVE

Validacija je dokaz ustreznosti posameznih delov in celotnega modela. Ustreznost modela ugotavljamo na podlagi primerjave modelskih rezultatov posameznih faz in celotnega modela z merjenimi oz. t.i. resničnimi vrednostmi. Primerjamo rezultate odločilnih kazalcev, praviloma najprej globalne in generalne, potem pa specifične in podrobne. Če so odstopanja modelskih vrednosti v sprejemljivih mejah in če je ustrezno odziven, menimo, da model ustreza.

Kalibracija je postopek prilagajanja modelskih parametrov, da rezultat ustreza merjenim vrednostim. Prilagajanje je lahko neposredno ali posredno glede na končne rezultate posameznih faz in celotnega modela. Kalibriramo iterativno, in sicer toliko časa, da dokažemo ustreznost modela.

Validacija in kalibracija sta torej soodvisna postopka. Kalibracija nam omogoči tako izpopolniti model, da je validacija uspešna. Neuspešna validacija pa zahteva nadaljnje kalibriranje modela.

Katere kazalce bomo primerjali v postopku validacije, je odvisno od vrste modela in od razpoložljivosti podatkov in stopnje njihove zanesljivosti.

Kajti potebno je upoštevati, da imajo mejne oziroma t.i. resnične vrednosti, ki služijo primerjavi, le relativno vrednost. Večina merjenih vrednosti je namreč vzorčnih, zato so tudi te vrednosti ocenjene, čeprav na podlagi stvarnih meritev. Izjema so morda avtomatski števeci prometa, a tudi ti niso povsem zanesljivi, zlasti glede strukture vozil. Zato je pred uporabo katerekoli merjene vrednosti nujna presoja njene realnosti in po potrebi logična preureditev. Kljub temu, so te vrednosti v glavnem bliže stvarnosti kot modelske. Zato lahko služijo za primerjavo.

Ni absolutnega merila za potrditev ustreznosti modela. Obstaja pa vrsta priporočil, ki nam služi kot pomoč pri ocenjevanju uspešnosti. V Evropi so se dokaj uveljavila priporočila DMRB, ki pa tudi nimajo absolutne vrednosti.

Ta in druga priporočila so vsekakor dobra podlaga za oceno uspešnosti. Zaželjeno je, da so modelski rezultati npr. znotraj priporočil DMRB. Toda izkušnje po svetu kažejo, da teh meril ni mogoče vedno zadovoljiti, zlasti kadar gre za velike in kompleksne projekte. Končna odločitev tako še vedno ostaja na strokovnjaku in njegovi zmožnosti presoje. Ta mora tedaj znati oceniti, kolikšno odstopanje od znanih priporočil še zagotavlja verodostojnost modela za nadaljno uporabo.



## VIRI

Anketa po gospodinjtstvih, raziskava potovalnih navad prebivalcev ljubljanske regije. 2003. URBI d.o.o., PNZ d.o.o., Ninamedia d.o.o. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Oddelek za urbanizem.: 31 f.

Design Manual for Road and Bridges: Traffic Appraisal in Urban Areas. Department for Transport. 1996. London, Department for Transport: 85 f.

Design Manual for Road and Bridges: Traffic Appraisal Manual. Department for Transport. Chapter 11: Model Validation. 1991. V: Department for Transport. London, Department for Transport: str. 1-19.

Ismart, D. 1990. Calibrating and Adjustment of System Planning Models. Federal Highway Administration: 42 str.

<http://ntl.bts.gov/DOCS/377CAS.html> (24. 8. 2005).

Major scheme appraisal in local transport plans: Part 3. 2003. Department for Transport. London, Department of Transport: 40 str.

[http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_localtrans/documents/page/dft\\_localtrans\\_504021.hcsp](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_localtrans/documents/page/dft_localtrans_504021.hcsp) (24. 8. 2005)

Model Validation and Reasonableness Checking Manual. 1997. Barton-Aschman Associates, Inc., Cambridge Systematics, Inc. TMIP, Federal Highway Administration: 113 str.

<http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/mvrcm/> (23. 8. 2005).

Pretnar, G. 2004. Primerjava modelov za fazo obremenjevanja cestnega omrežja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Prometna smer: 67 f.

Žura, M., Kostanjšek, J., Maher, T., Strah, B., Marsetič, R., Šemrov, D., Detellbach, S. 2005. Razvoj multimodalnega transportnega modela ljubljanske regije – cestni motorni promet. Končno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Prometnotehniški inštitut: 67 f.

## PRILOGE

### PRILOGA A: PREGLEDNICA SOCIO-EKONOMSKIH PODATKOV

Značilni kazalci za območje ljubljanske regije

	MOL			Regija	Skupaj
	Center	Drugo	Skupaj		
število zaposlenih	12463	109453	121916	237636	359552
število nezaposlenih	904	8637	9541	17058	26599
število gospodinjstev	11001	91645	102646	178017	280663
število zaposlenih/gospodinjstvo	1,13	1,19	1,19	1,33	1,28
število nezaposlenih/gospodinjstvo	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09
število vseh oseb	27239	238373	265612	532986	798598
število vseh oseb starejših od 7 let	23824	215719	239543	469969	709512
število študentov oz. dijakov	5322	46674	51996	102112	154108
število upokojencev	4593	48245	52838	102570	155408
število otrok starih do 7 let	3415	22655	26070	63016	89086
število oseb starih od 8 do 14 let	1424	14153	15577	40456	56033
število oseb starih od 15 do 18 let	1206	10578	11784	26795	38579
število vseh oseb/gosp.	2,48	2,60	2,59	2,99	2,85
število vseh oseb starejših od 7 let/gosp.	2,17	2,35	2,33	2,64	2,53
število študentov oz. dijakov/gosp.	0,48	0,51	0,51	0,57	0,55
število upokojencev/gosp.	0,42	0,53	0,51	0,58	0,55
število otrok starih do 7 let/gosp.	0,31	0,25	0,25	0,35	0,32
število otrok starih od 8 do 14 let/gosp.	0,13	0,15	0,15	0,23	0,20
število otrok starih od 15 do 18 let/gosp.	0,11	0,12	0,11	0,15	0,14
pov. mesečni neto dohodek/gos. v SIT	284456,42	270441,84	271909,24	250693,84	258392,18
število koles	19489	173387	192876	383702	576578
število koles/gospodinjstvo	1,77	1,89	1,88	2,16	2,05
število koles/prebivalca	0,72	0,73	0,73	0,72	0,72
število avtov	10783	107014	117797	282330	400127
število avtov/gospodinjstvo	0,98	1,17	1,15	1,59	1,43
število avtov/prebivalca	0,40	0,45	0,44	0,53	0,50

### Stopnja motorizacije glede na velikost gospodinjstva za območje ljubljanske regije (vir)

Število članov na gosp.	MOL			REGIJA			SKUPAJ		
	Brez vozila	os. vozila na gosp.	Št. os. vozil na preb.	Brez vozila	os. vozila na gosp.	Št. os. vozil na preb.	Brez vozila	os. vozila na gosp.	Št. os. vozil na preb.
1	51%	0,6	0,6	72%	0,78	0,78	59%	0,7	0,7
2	20%	1,01	0,51	17%	1,27	0,63	19%	1,17	0,58
3	15%	1,37	0,46	8%	1,71	0,57	12%	1,58	0,53
4	11%	1,55	0,39	2%	2	0,5	7%	1,85	0,46
5	2%	1,73	0,35	1%	2,12	0,42	2%	2,03	0,41
6+	1%	2,21	0,36	1%	2,59	0,4	1%	2,51	0,39
Skupaj	100%	1,15	0,44	100%	1,59	0,53	100%	1,43	0,5

### Pozardelitev gospodinjstev po dohodkovnih razredih za območje ljubljanske regije(vir)

Mesečni neto dohodek/gosp. v 1000 SIT	MOL						REGIJA		SKUPAJ			
	abs.		rel.		abs.		rel.		abs.		rel.	
	Center	Drugo	Center	Drugo	Center	Drugo	Center	Drugo	Center	Drugo	Center	Drugo
Ni podatka	725	3781	7%	4%	4506	4%	5700	3%	10206	4%		
x > 50	228	1355	2%	1%	1583	2%	3249	2%	4832	2%		
50 ≤ x < 100	486	5480	4%	6%	5966	6%	15985	9%	21951	8%		
100 ≤ x < 150	1167	12361	11%	13%	13528	13%	22070	12%	35598	13%		
150 ≤ x < 200	1428	11937	13%	13%	13365	13%	24671	14%	38036	14%		
200 ≤ x < 250	1441	12662	13%	14%	14103	14%	27528	15%	41631	15%		
250 ≤ x < 300	1588	12779	14%	14%	14367	14%	26931	15%	41298	15%		
300 ≤ x < 400	1395	14179	13%	15%	15574	15%	27971	16%	43545	16%		
400 ≤ x < 500	1305	8427	12%	9%	9732	9%	13588	8%	23320	8%		
500 ≤ x	1239	8683	11%	9%	9922	10%	10324	6%	20246	7%		
Skupna vsota	11002	91644	100%	100%	102646	100%	178017	100%	280663	100%		
Povprečje/gosp.	284456	270442			271909		250694		258392			

## PRILOGA B: RAZPOREDITEV POTOVANJ

Razporeditev potovanj glede na trajanje potovanja v minutah

Več ali enako kot	Manj kot	MOL			Regija	Skupaj
		Center	Drugo	Skupaj		
0	5	0,76%	0,44%	0,48%	0,56%	0,53%
5	10	20,79%	15,76%	16,33%	18,52%	17,67%
10	15	22,24%	20,57%	20,75%	18,78%	19,54%
15	20	20,36%	19,77%	19,84%	13,56%	15,98%
20	25	12,28%	14,93%	14,63%	11,36%	12,62%
25	30	4,18%	5,53%	5,37%	5,25%	5,30%
30	35	5,44%	7,87%	7,60%	7,73%	7,68%
35	40	1,81%	2,24%	2,19%	3,21%	2,82%
40	45	1,33%	2,42%	2,30%	3,64%	3,12%
45	50	1,62%	2,03%	1,99%	3,35%	2,83%
50	55	1,75%	1,86%	1,85%	2,66%	2,35%
55	60	0,58%	0,34%	0,37%	0,98%	0,75%
60	65	1,71%	1,34%	1,38%	2,66%	2,17%
65		5,13%	4,89%	4,91%	7,74%	6,65%
Skupaj		100%	100%	100%	100%	100%

## PRILOGA C: IZBIRA PROMETNEGA SREDSTVA

Število potovanj na prebivalca po prometnih sredstvih na območju ljubljanske regije

Prometno sredstvo	MOL						Regija		Skupaj	
	Center		Drugo		Skupaj		abs.	rel.	abs.	rel.
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.				
avto kot voznik	1,26	36,95%	1,45	47,23%	1,43	45,98%	1,47	59,27%	1,46	54,48%
avtobus	0,26	7,62%	0,41	13,36%	0,40	12,86%	0,16	6,45%	0,24	8,96%
vlak	0,01	0,29%	0,01	0,33%	0,01	0,32%	0,04	1,61%	0,03	1,12%
avto kot sopotnik	0,31	9,09%	0,35	11,40%	0,35	11,25%	0,34	13,71%	0,34	12,69%
moped/motor	0,01	0,29%	0,01	0,33%	0,01	0,32%	0,01	0,40%	0,01	0,37%
kolo	0,42	12,32%	0,29	9,45%	0,30	9,65%	0,11	4,44%	0,17	6,34%
peš	1,10	32,26%	0,53	17,26%	0,59	18,97%	0,33	13,31%	0,41	15,30%
drugo	0,04	1,17%	0,02	0,65%	0,02	0,64%	0,02	0,81%	0,02	0,75%
Skupaj	3,41	100,00%	3,07	100,00%	3,11	100,00%	2,48	100,00%	2,68	100,00%

Število potovanj na prebivalca po namenih in prevoznih sredstvih za MOL in Regijo skupaj

Prevozno sredstvo	Namen										Skupaj
	rekreacija, zabava	nekoga prepeljati	služba	poslovno	šola, študij	redni nakup	izredni nakup	osebni opravki	restav., bife	obisk	
avto kot voznik	0,09	0,08	0,47	0,14	0,05	0,15	0,08	0,21	0,05	0,16	1,48
avtobus	0,01	0,00	0,05	0,00	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,24
vlak	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
avto kot sopotnik	0,04	0,00	0,05	0,01	0,05	0,04	0,03	0,05	0,02	0,05	0,34
moped/motor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kolo	0,03	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,18
peš	0,06	0,01	0,05	0,01	0,09	0,07	0,01	0,07	0,02	0,03	0,42
drugo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
Skupna vsota	0,23	0,09	0,67	0,16	0,32	0,29	0,14	0,41	0,11	0,28	2,70