

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH OPRAVLJENEGA RAZISKOVALNEGA DELA NA PROJEKTU V OKVIRU CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROGRAMA (CRP) »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006 – 2013«

I. Predstavitev osnovnih podatkov raziskovalnega projekta

1. Naziv težišča v okviru CRP:

Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja

2. Šifra projekta:

V2-0551

3. Naslov projekta:

Razvoj modelov za upravljanje prometnih tokov

3. Naslov projekta

3.1. Naslov projekta v slovenskem jeziku:

Razvoj modelov za upravljanje prometnih tokov

3.2. Naslov projekta v angleškem jeziku:

Development of transportation planning and traffic management models

4. Ključne besede projekta

4.1. Ključne besede projekta v slovenskem jeziku:

prometni modeli, prometna politika, načrtovanje prometa, upravljanje prometnih tokov

4.2. Ključne besede projekta v angleškem jeziku:

transportation models, transportation policy, transportation planning, traffic management

5. Naziv nosilne raziskovalne organizacije:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo

5.1. Seznam sodelujočih raziskovalnih organizacij (RO):

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Prometni institut Ljubljana, d.o.o.

6. Sofinancer/sofinancerji:

Ministrstvo za promet RS

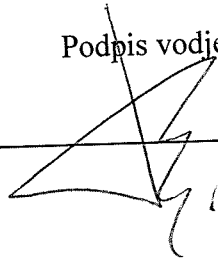
7. Šifra ter ime in priimek vodje projekta:

5521

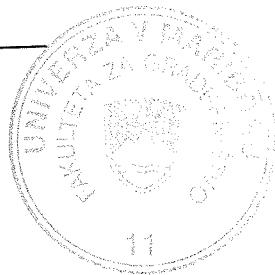
Marjan Lep

Datum: 9.9.2011

Podpis vodje projekta:



Podpis in žig izvajalca:



po pooblastilu rektorja UM
dekan FG
prof. dr. Miroslav Premrov

II. Vsebinska struktura zaključnega poročila o rezultatih raziskovalnega projekta v okviru CRP

1. Cilji projekta:

1.1. Ali so bili cilji projekta doseženi?

a) v celoti

b) delno

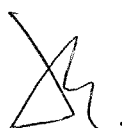
c) ne

Če b) in c), je potrebna utemeljitev.

1.2. Ali so se cilji projekta med raziskavo spremenili?

- a) da
- b) ne

Če so se, je potrebna utemeljitev:



2. Vsebinsko poročilo o realizaciji predloženega programa dela¹:

Program dela je predvideval naslednje delovne faze:

1. Pregled stanja - "State of the Art" na področju modelov v podporo izvajanju evropskih, medregijskih, državnih in lokalnih prometnih (pa tudi prostorskih, okoljskih, ekonomskih, socialnih,... politik); s pregledom evropskih »makro« modelov ter slovenskih primerov modeliranja določenih prometnih segmentov.
2. Postavitev "sistema modelov"
3. Razvoj in definicija modela - analiza faz diskretiziranega modela:
 - generacija in distribucija
 - modeliranje izbora
 - obremenjevanje infrastrukture
4. Postavitev modela z izbranim programskim orodjem
5. Priprava podatkov, parametrov in zagon izbranega »vseslovenskega« modela
6. Načrt za trajno delovanje modela, prenos v prakso, vključno s priročnikom za uporabo

Raziskovalna hipoteza:

Napovedi dogajanj na slovenskih prometnicah in prometnih vozliščih je možno napraviti zanesljivejše (kot je to bilo v preteklosti), če se uporabijo za določeno prometno planersko nalogo primernejša orodja za modeliranje dogajanj v prometu.

Opis raziskovanja:

V okviru prve faze – »state of the art« smo partnerji sistematično zbrali podatke o prometnih modelih in podpornih podatkovnih bazah po metodi zbiranja »iz pisarne«, na podlagi izkušenj in poznavanja problematike.

V drugi fazi – postavitev sistema modelov – smo po metodi intervjujev ekspertov (Delphi metodi) partnerji postavili arhitekturo sistema modelov. Pripravljen je bil predlog arhitekture sistema, ki je bil v več krogih obravnavan s strani strokovnjakov iz projektne skupine in predstavnikom naročnika.

Tretja faza – analiza posameznih faz modela in podmodelov – je temeljila na analizi obstoječih modelov in modelskih enačb ter presoji njihove praktične uporabnosti v slovenskem prostoru. Rezultate te faze so bili na delavnici verificirani z naročnikom in povabljenimi strokovnjaki.

V četrta fazi se je vzpostavil prometni model z izbranim modelom TransTools. Prevzeti so bili dostopni podatki, ki so omogočili izračun generacije, distribucije prometnih tokov ter model izbora sredstev. Vzporedno se je razvijal podmodel, ki bolje opisuje procese odločanja pri dnevni migraciji na delo.

V peti fazi – validacija, kalibracija – smo model verificirali (korigirali in umerili) na tako imenovano izhodiščno leto ter preizkusili na izbranih konkretnih prometnih scenarijih.

V šesti fazi je sistem bil predan »v funkcijo« naročniku.

¹ Potrebno je napisati vsebinsko raziskovalno poročilo, kjer mora biti na kratko predstavljen program dela z raziskovalno hipotezo in metodološko-teoretičen opis raziskovanja pri njenem preverjanju ali zavračanju vključno s pridobljenimi rezultati projekta.

Rezultati:

- V okviru pregleda stanja bil pripravljen seznam uporabnih orodij (vključno s pregledom podatkovnih virov z oceno njihove uporabnosti in dostopnosti) ter zgoščen pregled teorije in prakse modeliranja v prometu.

- Postavljena je večnivojska arhitektura orodij v podporo prometno-političnega odločanja, kjer je za daljinske prometne tokove favorizirano orodje TransTools, za znotrajslovenske medregijske tokove obstoječi model, temelječ na orodju PTV Visum, na nivoju primestnih migracij pa so bile razvijane enačbe, ki omogočajo boljše razumevanje procesov odločanja pri izboru sredstva potovanja.

- Verifikacija primernosti favoriziranega orodja TransTools je bila opravljena na vrsti poskusnih preračunov. Prišlo je do nekaj odstopanj od stanja v realnem svetu, ki so bili posledica (kakor smo bili dognali) napačnih inputov izhodiščnih podatkov oziroma podatkov o obsegu intraconalnih (torej lokalnih) prometnih tokov. Za večino daljinskih prometnih tokov nismo ugotovili bistvenih odstopanj.

- Na podlagi analiza in ugotovitev o odstopanjih rezultatov modela od stanja v realnem svetu smo pripravili nabor potrebnih (presiznejših) podmodelov, podatkovni model infrastrukture, socio-ekonomske podatke, ki bi v nadaljevanju - ob ustrezni uporabi - morali zmanjšati tveganja večjih odstopanj napovedi modela.

- Vzpostavljena je logična in fizična struktura modela TransTools, načrt zbiranja, verificiranja in posredovanja podatkov v model (merljivih količin).

- Izdelani so bili nekateri scenariji (širitev Šengena, dvig splošne cene uporabnine cest in podobno), da bi dognali odzivnost in senzibilnost modela. Doseženi so bili zadovoljivi odzivi.

- Pridobljene so bile ustrezne licence, model je bil fizično zagnan (modelirani so bili infrastrukturni, ekonomski, okoljski, davčni, ... ukrepi).

- Umerjena in verificirana enačba (podmodel) za modeliranje izbora sredstva potovanja (modal split) za potovanja na delo/z dela.

- Izdelan je bilo vsebinsko končno poročilo, ki je bilo v avgustu 2011 predano predstavniku sofinancerja Ministrstvo za promet.

Potrditev hipoteze?

Na podlagi izbora, umerjanja in analize občutljivosti orodja, smo Ministrstvu za promet RS, ki mora svoje prometno politične odločitve podpreti tudi in predvsem z modelskimi preračuni, zanesljivo ponudili orodje, ki bo omogočalo manj tvegano napovedovanje vsaj na dveh področjih:

- daljinski (tranzitni) prometni tokovi čez (in okoli) Slovenije

- izbor sredstva potovanja za segment dnevnih migracij na delo in primestja v mestna središča.

3. Izkoriščanje dobljenih rezultatov:

3.1. Kakšen je potencialni pomen² rezultatov vašega raziskovalnega projekta za:

- a) odkritje novih znanstvenih spoznanj;
- b) izpopolnitev oziroma razširitev metodološkega instrumentarija;
- c) razvoj svojega temeljnega raziskovanja;
- d) razvoj drugih temeljnih znanosti;
- e) razvoj novih tehnologij in drugih razvojnih raziskav.

3.2. Označite s katerimi družbeno-ekonomskimi cilji (po metodologiji OECD-ja) sovpadajo rezultati vašega raziskovalnega projekta:

- a) razvoj kmetijstva, gozdarstva in ribolova - Vključuje RR, ki je v osnovi namenjen razvoju in podpori teh dejavnosti;
- b) pospeševanje industrijskega razvoja - vključuje RR, ki v osnovi podpira razvoj industrije, vključno s proizvodnjo, gradbeništvom, prodajo na debelo in drobno, restavracijami in hoteli, bančništvom, zavarovalnicami in drugimi gospodarskimi dejavnostmi;
- c) proizvodnja in racionalna izraba energije - vključuje RR-dejavnosti, ki so v funkciji dobave, proizvodnje, hranjenja in distribucije vseh oblik energije. V to skupino je treba vključiti tudi RR vodnih virov in nuklearne energije;
- d) razvoj infrastrukture - Ta skupina vključuje dve podskupini:
 - transport in telekomunikacije - Vključen je RR, ki je usmerjen v izboljšavo in povečanje varnosti prometnih sistemov, vključno z varnostjo v prometu;
 - prostorsko planiranje mest in podeželja - Vključen je RR, ki se nanaša na skupno načrtovanje mest in podeželja, boljše pogoje bivanja in izboljšave v okolju;
- e) nadzor in skrb za okolje - Vključuje RR, ki je usmerjen v ohranjanje fizičnega okolja. Zajema onesnaževanje zraka, voda, zemlje in spodnjih slojev, onesnaženje zaradi hrupa, odlaganja trdnih odpadkov in sevanja. Razdeljen je v dve skupini:
- f) zdravstveno varstvo (z izjemo onesnaževanja) - Vključuje RR - programe, ki so usmerjeni v varstvo in izboljšanje človekovega zdravja;
- g) družbeni razvoj in storitve - Vključuje RR, ki se nanaša na družbene in kulturne probleme;
- h) splošni napredek znanja - Ta skupina zajema RR, ki prispeva k splošnemu napredku znanja in ga ne moremo pripisati določenim ciljem;
- i) obramba - Vključuje RR, ki se v osnovi izvaja v vojaške namene, ne glede na njegovo vsebino, ali na možnost posredne civilne uporabe. Vključuje tudi varstvo (obrambo) pred naravnimi nesrečami.

² Označite lahko več odgovorov.



3.3. Kateri so **neposredni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

S pomočjo pripravljenih rešitev (orodij in modelov) je objektivno in praktično omogočeno, da pripravljavci ukrepov prometne politike učinke ukrepov preverijo na bolj zanesljivem modelu (kot je to bilo možno v preteklosti).

3.4. Kakšni so lahko **dolgoročni rezultati** vašega raziskovalnega projekta glede na zgoraj označen potencialni pomen in razvojne cilje?

Uporaba orodij praktično (in ne samo načeloma) omogoča neposredno ugotavljanje posledic od Slovenije neodvisnih dogodkov (spremembe v poselitvi, gospodarski aktivnosti, v tujini izgrajene ali načrtovane infrastrukture, spremembe potovalnih režimov na mejah), kakor tudi načrtovane ukrepe na slovenski prometni infrastrukturi (izgradnja tirne infrastrukture, spremembe kapacitet cestne infrastrukture), vključno s spremembami stroškov uporabe slovenske infrastrukture (cestnine, okoljske dajatve, uporabnine).

3.5. Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- a) v domačih znanstvenih krogih;
- b) v mednarodnih znanstvenih krogih;
- c) pri domačih uporabnikih;
- d) pri mednarodnih uporabnikih.

3.6. Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?

Na znanstveni konferenci Mobilita 2011 (v Bratislavi) na Slovaškem, je bila na podlagi referata podana pobuda o vključitvi spoznanj projekta v izdelavo srednje-evropskega prometnega modela (Baltik-Jadran), kakor tudi za pripravo splošnih priporočil, kaj morajo pripravljavci prometnih modelov (orodij) posredovati strokovni javnosti, da se odpravijo posledice napačnih interpretacij (ali tudi namernih zavajanj strokovne javnosti in nosilcev odločanja).

3.7. Število diplomantov, magistrstov in doktorjev, ki so zaključili študij z vključenostjo v raziskovalni projekt?

V delo na projektu je bil vključenih več diplomantov (na Univerzi v LJ in na Univerzi v Mb) ter štiri magistri (na obeh sodelujočih univerzah). Spisek in anslvi del so razvidni iz priloženih izpisov COBBISA.

V okviru projekta sta sodelovala tudi dva doktoranda, s do trenutka pisanja tega poročila svojih del še niso dokončali ali zagovarjali.

4. Sodelovanje z tujimi partnerji:



4.1. Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujimi raziskovalnimi inštitucijami.

Pri pripravi analize stanja in iskanja najprimernejšega ali najsprejemljivejšega modela je bilo vzpostavljeno sodelovanje z Univerzo v Hasseltu (Belgija), ki za flandrijsko vlado pripravlja prometni model, ki temelji na tako imenovanem "activity-based" obravnavanju gibanj ljudi in blaga v prostoru. Po preučitvi njihovega pristopa, po posvetovanju z naročnikom v RS (ministrstvo za promet) smo ta pristop "do nadaljnjega" opustili, saj je v bistvu mikroskopski pristop in zahteva obsežnejše predraziskave vedenjskih in potovalnih vzorcev. O praktični uporabni vrednosti modelov in predvsem orodja TransTools smo se posvetovali še z Univerzama z Dunaja (tehniško ter "Bodenkultur"), kjer tovrstne modele intenzivno uporabljajo oziroma razvijajo, kako tudi s Fakulteto za gradbeništvo iz Bratislave, ki koordinira pripravo tako imenovanega "srednje-evropskega" prometnega modela.

4.2. Kakšni so rezultati tovrstnega sodelovanja?

Izmenjava izkušenj (tudi "bad practice"), kakor tudi povabilo v pripravo skupnega modela za območje Baltik-Jadran (Srednja Evropa).
Nadaljevanje raziskav v kontekstu "activity-based" modeling z Univerzo v Hasseltu.

5. Bibliografski rezultati³ :

Za vodjo projekta in ostale raziskovalce v projektni skupini priložite bibliografske izpise za obdobje zadnjih treh let iz COBISS-a) oz. za medicinske vede iz Inštituta za biomedicinsko informatiko. Na bibliografskih izpisih označite tista dela, ki so nastala v okviru pričujočega projekta.

³ Bibliografijo raziskovalcev si lahko natisnete sami iz spletne strani: <http://www.izum.si/>

6. Druge reference⁴ vodje projekta in ostalih raziskovalcev, ki izhajajo iz raziskovalnega projekta:

Projektni partnerju so v času izvajanja tega projekta intenzivno sodelovali pri številnih operativnih aktivnostih, kjer je bilo moč spoznanja raziskav CRP projekta, delno ali v popolnosti tudi praktično uporabljati. Tako je projektni partner Prometni inštitut d.o.o. v času projekta sodeloval pri vrsti študij (investicijskih, upravičenosti, pred-raziskav) v podporo razvoju železniške infrastrukture v RS.

Projektni partner Univerza v Ljubljani, FGG, je - med drugim - intenzivno sodeloval pri aktivnostih modeliranja prometnega dogajanja v Ljubljani, Ljubljanski urbani regiji ter na ozemlju Slovenije.

Projekt je bil večkrat javno predstavljen, največ ciljenga občinstva je bilo doseženih na predstavitev v okviru projekta TRANS-SLO v decembru 2009 in decembru 2010 obakrat v veliki dvorani Ministrstva za promet v Ljubljani). Podobna predstavitev končnih izsledkov se pripravlja tudi v decembru 2011.

⁴ Navedite tudi druge raziskovalne rezultate iz obdobja financiranja vašega projekta, ki niso zajeti v bibliografske izpise, zlasti pa tiste, ki se nanašajo na prenos znanja in tehnologije. Navedite tudi podatke o vseh javnih in drugih predstavitev projekta in njegovih rezultatov vključno s predstavitevami, ki so bile organizirane izključno za naročnika/naročnike projekta.

Razvoj modelov za upravljanje prometnih tokov

Končno poročilo

September, 2011

PODATKI O PROJEKTU

CILJNI
RAZISKOVALNI PROGRAM

KONKURENČNOST SLOVENIJE
2006 - 2013

Financerja

JAVNA AGENCIJA ZA RAZISKOVALNO
DEJAVNOST REPUBLIKE SLOVENIJE

Skrbnik
Aljana Pogačnik

MINISTRSTVO ZA PROMET
REPUBLIKE SLOVENIJE

Skrbnik
dr. Fedor Černe

Izvajalci**FG UM**

Univerza v Mariboru
Fakulteta za gradbeništvo

vodja projekta
dr. Marjan Lep

FGG UL

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

PI

Prometni institut Ljubljana d.o.o.

Pogodba št. 1000-08-280551

o financiranju in izvajanju
raziskovalnega projekta
št. V2-0551 v okviru
Ciljnega raziskovalnega
programa »KONKURENČNOST
SLOVENIJE 2006-2013«

Rok trajanja pogodbe

01.09.2008 do 30.08.2011

Razvoj modelov za upravljanje prometnih tokov

Končno poročilo

September, 2011

Raziskavo je izvajal konzorcij raziskovalnih
institucij. Seznam sodelavcev pri projektu po
abecednem redu:

DETELLBACH Simon (FGG)

LEP Marjan (FG)

MESAREC Beno (FG)

PONIKVAR Klemen (PI)

ŠTURM Janez (PI)

ŽURA Marijan (FGG)

KLJUČNE BESEDE

prometni model, prometna politika, načrtovanje prometa, upravljanje prometnih tokov

KEYWORDS

transportation model, transportation policy, transportation planning, traffic management

Kazalo

1. Uvod	1
1.1. Splošno	1
1.2. Prometni modeli v samostojni Sloveniji	2
1.3. Pristopi	3
1.4. Omejitve	4
2. Analiza programskih orodij	5
2.1. VISUM (PTV AG)	8
2.2. DYNAMEQ (INRO).....	9
2.3. S-PARAMICS (SIAS)	11
2.4. VISSIM (PTV AG).....	12
2.5. Preveritev in primerjava orodij	12
3. Pregled v preteklosti izdelanih/ implementiranih "prometnih modelov v podporo izvajanju prometne politike Republike Slovenije"	15
3.1. Strateški načrt napovedi prometnih tokov Republike Slovenije.....	16
3.2. Model planiranja prometnih tokov za nove železniške povezave med Slovenijo in Italijo.....	23
3.3. Razvojne možnosti železniških prog za visoke hitrosti.....	25

4. Model TransTools	26
4.1. Analiza prometnih obremenitev v preteklem obdobju.....	26
4.2. Prometni model Evrope TransTools.....	34
4.3. Model potniškega prometa.....	41
4.4. Model blagovnega prometa.....	42
4.5. Rezultati modela TransTools.....	47
4.6. Kalibracija in validacija modela.....	48
4.7. Validacija modela v Sloveniji.....	48
4.8. Verifikacija modela.....	49
4.9. Prenos modela v Visum.....	52
4.10. Zaključki in priporočila.....	54
5. Modeliranje izbora sredstva za migracije na delo	55
5.1. Uvod in naloga.....	55
5.2. Metodologija.....	56
5.3. Določanje posplošenega upora.....	59
5.4. Določanje koeficienta β	65
5.5. Analiza občutljivosti in prenosljivosti modela?.....	70
5.6. Prikaz uporabne vrednosti modela.....	71
5.7. Sklep.....	73
5.8. Viri.....	74
6. Sklep	75

Slike

Slika 1.	Makro-, mezo- in mikroskopsko območje obdelave.....	5
Slika 2.	Prikaz 4-stopenjskega modela.....	6
Slika 3.	Prikaz obremenitev na makroskopskem omrežju.	7
Slika 4.	Struktura prometnega sistema Slovenije za program Polydrom.....	17
Slika 5.	Prikaz določitve transportnega povpraševanja.....	18
Slika 6.	Metodologija napovedovanja prometnih tokov.	23
Slika 7.	Prikaz obsega prometa za vsa vozila v obdobju 1998-2008.....	28
Slika 8.	Prikaz obsega prometa za priklopnike in vlačilce v obdobju 1998-2008.	29
Slika 9.	Prikaz povprečnih letnih stopenj rasti za obdobje 1998-2008.....	30
Slika 10.	Območje »obdelave« modela TransTools.	34
Slika 11.	Coning modela TransTools.	35
Slika 12.	Coning modela TransTools na območju Republike Slovenije.....	36
Slika 13.	Prikaz evropskega cestnega omrežja v modelu TransTools.	37
Slika 14.	Prikaz slovenskega cestnega omrežja v modelu TransTools.....	37
Slika 15.	Prikaz evropskega železniškega omrežja v modelu TransTools.....	38
Slika 16.	Prikaz slovenskega železniškega omrežja v modelu TransTools.....	39
Slika 17.	Prikaz omrežja notranjih plovnih poti v modelu TransTools.....	40
Slika 18.	Osnovni diagram procesov modela TransTools.	42
Slika 19.	Sprememba števila tovornih vozil zaradi povečane cestnine za tovorni promet v Sloveniji.....	49
Slika 20.	Sprememba števila tovornih vlakov zaradi povečane cestnine za tovorni promet v Sloveniji.....	50
Slika 21.	Sprememba števila tovornih vozil zaradi rasti GDP v državah Z Balkana.	50
Slika 22.	Sprememba števila tovornih vozil zaradi zmanjšanja čakalnih časov na meji.....	51
Slika 23.	Sprememba števila tovornih vozil zaradi spremembe omrežja.	51

Tabele

Tabela 1.	Primerjava napovedi tovornih tokov v tonah po železnici s primerjavo dejansko prevoženih neto ton na posameznih odsekih za leto 2005.....	21
Tabela 2.	Primerjava napovedi tovornih tokov v tonah po železnici z dejansko prevoženimi neto tonami na posameznih odsekih za leto 2005.....	24
Tabela 3.	Prometne obremenitve v enoti PLDP za vsa vozila po smereh in faktor povečanja prometa v obdobju 1998-2008.....	28
Tabela 4.	Prometne obremenitve v enoti PLDP za priklopnike in vlačilce po smereh in faktor povečanja prometa v obdobju 1998-2008.....	29
Tabela 5.	Primerjava skupnih potniških in ton kilometrov.....	48
Tabela 6.	Omejitve licence VISUMA.....	52
Tabela 7.	Časi izračunov posameznih metod v VISUMU.....	53
Tabela 8.	Izbor sredstva za delovne migrante v Maribor (vir: Popis 2002).....	58
Tabela 9.	Izračun izbora sredstva za potovanja na delo v Maribor.	58
Tabela 10.	Izračun posplošenih stroškov na primeru cilja Maribor.	66
Tabela 11.	Določitev koeficienta β na primeru potovanj v Maribor, metoda »homo economicus«.....	67
Tabela 12.	Izračun posplošenih stroškov na primeru cilja Maribor, metoda občutenih vrednosti.	68
Tabela 13.	Določitev koeficienta β na primeru potovanj v Maribor, metoda »občutenih vrednosti«.....	69

Uvod

1.1. Splošno

Prometni modeli se uporabljajo kot orodje v podporo pri strateškem in taktičnem načrtovanju (v podporo izvajanju prometne politike, pa tudi splošnih družbenih razvojnih politik) ali kot orodje za management prometnih tokov. Izvajalci prometnih politik in upravljavci s prometom in prometno infrastrukturo jih uporabljajo za modelsko (virtualno) ugotavljanje posledic načrtovanih ukrepov.

Strateški načrtovalski nivo, se ukvarja predvsem z napovedovanjem količine povpraševanja (generacijo ali »koliko blaga ali ljudi se želi premakniti po prostoru«), z napovedovanjem prometnih tokov med posameznimi generatorji (distribucijo ali »od kod ima kam se premika blago in ljudje«) ter z osnovnimi zakonitostmi izbora sredstva potovanja (modal splitom ali »kdaj in zakaj se neka pot opravi z vlakom, letalom ...«). Opisovanje zakonitosti, kako različni dejavniki vplivajo na generacijo, distribucijo in izbor sredstva – to so prav gotovo gospodarska aktivnost, poselitev, kapacitete in cene uporabe infrastrukture, pa tudi socialne in kulturne značilnosti - je osrednji predmet poročila v nadaljevanju.

Management prometnih tokov ali operativni nivo, se ukvarja s prometnimi tokovi, ko so ti že na prometni infrastrukturi. Prometno politiko in upravljavce s prometom zanimajo mehanizmi kako potniki (tudi prevozniki) reagirajo na spremembe kot so nove kapacitete, zmanjšanje uporov/zastojev, spremenjene stroškovne ali prodajne cene, spremenjeni davki, okoljske dajatve, spodbude. S temi modeli želimo ugotavljati spremembe pri izboru poti (na primer kdaj

bo cestni tovorni tranzit izbral pot čez Slovenijo in kdaj ne, pa tudi kdaj bo osebni promet iz avtoceste pobegnil na regionalno cesto) ali pri izboru sredstev (iz ceste na železnico, iz hitre železnice na letalo, iz osebnega prevoze na javni ali obratno).

1.2. Prometni modeli v samostojni Sloveniji

V preteklosti se je v R Sloveniji velikokrat izkazalo šibko poznavanje delovanja prometnega sistema, kar je rezultiralo v slabe prognoze učinkov ukrepov prometne politike (iz stroki dostopnih virov lahko izbrskamo na primer: popolnoma napačne prognoze koliko cestnih vozil in vlakov bo potovalo po prometni mreži petega koridorja, odsotnost verodostojnih modelov o potencialih in smiselnosti investiranja v prometno infrastrukturo, nepoznavanje posledic sprememb tarifnega modela za javni potniški promet; popolnoma nerealne številke ali »na pamet« govornje o tem, kaj bo/bi hitra železnica prinesla Sloveniji, popolnoma zgrešene napovedi, da bo Slovenija problem emisij »po Kyotu« rešila z naravno obnovo avtoparka in podobno). Nekatere prometne modele, ki so se v preteklosti uporabljali tudi v Sloveniji, lahko kritiziramo predvsem zaradi dejstva, da niso »pošteno« opisali svojih vsebinskih in metodoloških omejitev.

V zgodovini samostojne Slovenije¹ je bil vzpostavljen le en intermodalni prometni model, ki je omogočal vsaj osnovno napovedovanje infrastrukturnih ozkih grl po zastavljenih scenarijih. Prometni model je bil izdelan z orodjem POLYDROM, v soavtorstvu svetovalne firme PROGNO in Prometnega inštituta iz Ljubljane, ki je temeljil na diskretizaciji Slovenije na takratne občine in je upošteval tudi tranzitne ter ciljno-izvirne tokove. Danes lahko preverimo, da je dokaj natančno napovedal železniška in cestna infrastruktura ozka grla za petnajst let naprej (!), da pa je v splošnem podcenil splošno rast prometa. Orodje je bilo izvrstna in uporabna podpora pri snovanju strateške prometne politike. Ugotovimo lahko, da je vzdrževanje tega prometnega modela (po prenehanju financiranja iz evropskih skladov) usahnilo. V naslednjih letih so se razvijali predvsem (in samo) cestno-infrastrukturi prometni modeli (za potrebe DRSC, DARSa ali MOPa) ali pa lokalni in regijski prometni modeli (na primer disagregirani, štiristopenjski prometni model za LUR). Na evropski ravni je prav tako nastalo ali nastaja nekaj transportnih modelov, ki so praviloma izdelani na nivoju NUTS 2 in so – vsaj za izvajanje slovenske nacionalne prometne politike – pregrobi in omejeno dostopni.

¹ Trditev je bila postavljena leta 2008.

1.3. Pristopi

V praksi in teoriji modeliranja prometa poznamo vrsto pristopov. Ločimo:

- Nediskretizirane prognozične modele, ki izračunavajo medsebojne odvisnosti splošnih (družbenih, makroekonomskih, okoljskih ...) količin. V prometu so najbolj tipični primeri: struktura voznega parka v odvisnosti od cen goriva (in okoljskih dajatev), povezave med gospodarsko rastjo in obsegom osebnega in tovornega prometa, vpliv demografskih parametrov na trg delovne sile ali vpliv (prometne) infrastrukture na ekonomski (demografski) razvoj regij in podobno.
- Diskretizirane analitično/prognozične modele s pod modeli, ki jih v prometni stroki največkrat delimo na štiri (ali pet) zaporednih, bolj ali manj neodvisnih podmodelov (ali faz):
 - Generacija
 - Distribucija
 - Modeliranje izbora, predvsem sredstev
 - (Pretvorba ali »Kontigentiranje«; enot »potnik – vozilo« ter »tona – kontejner/vagon/cev...)
 - Obremenjevanje prometne infrastrukture

Pri modeliranju izbora poleg izbora sredstva, poskušamo določiti tudi

- izbor (ali možnost vpliva na izbor) časa potovanja
- izbor (ali možnost vpliva na izbor) cilja potovanja
- izbor (ali možnost vpliva na izbor) načina potovanja (»dva v avtu«)
- upore pri tvorjenju potovalnih verig oziroma upori intermodalnih povezav, kot so prestopanja v javnem potniškem prometu, pretovarjanja in podobno.

Pri modeliranju pretvorbe določamo predvsem:

- določanje stopnje zasedenosti vozil v potniškem prometu (po namenih potovanj)
- celotni sklop modeliranja »kako se tovor pretvori v vozila na tirih, cesti«, vključno s stopnjami izkoriščenosti kapacitet tovornih vozil/vagonov

Podatke, ki omogočajo prometno modeliranje pa lahko v grobem delimo na:

- Model prometne infrastrukture
- »Ne-infrastrukturne« podatke, imenovane tudi socio-ekonomske podatke, kamor sodijo podatki o:
 - potovalnih navadah pridobljeni z anketiranjem gospodinjestev

- uporabnikih sistema javnega prevoza potnikov, pridobljeni z anketiranjem potnikov na avtobusih in vlakih
- zasedenost avtobusov in vlakov
- hitrost potovanj in potovalnih časih (na infrastrukturi, od-vrat-do-vrat)
- številu prepeljanih potnikov v notranjem avtobusnem/železniškem prometu
- prepeljanem tovoru v notranjem cestnem/železniškem prometu tovornem prometu
- mednarodnem potniškem in tovornem prometu na železnicah
- cenah in dajatvah pri opravljanju prevozne storitve
- itd.

Pomembna naloga pri zbiranju »ne-infrastrukturnih« podatkov je njihovo geo-kodiranje.

1.4. Omejitve

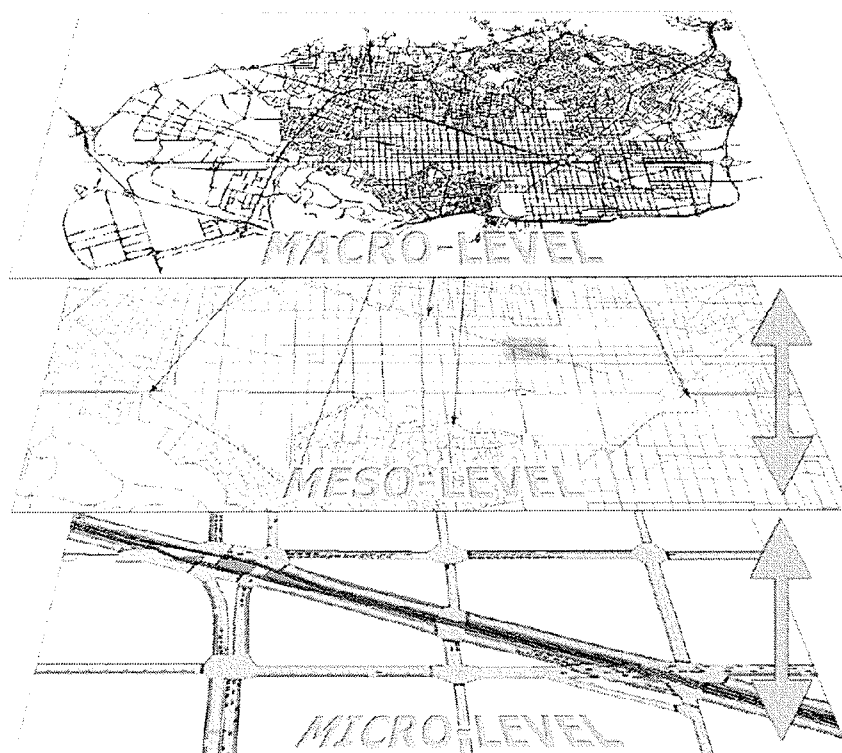
Dogajanje v realnem »svetu prometa« je prekompleksno, da bi ga bilo možno (ekonomsko smiselno) detajlno in popolno opisati v virtualnem prometnem modelu, zato v prometnih modelih (vedno in vsi) uveljavljamo vrsto poenostavitev, omejitev (npr. obravnavamo samo cestni promet) ali izoliranih obravnavanj (imenovanih tudi podmodeli).

V nadaljevanju sta raziskani predvsem dve nalogi za kateri je bilo v uvodnih analizah ugotovljeno, da sta iz vidika snovalcev ukrepov nacionalne prometne politike najšibkeje in najmanj verodostojno podprti :

- Vzpostavitev modela, ki bo omogočal razumevanje lastnosti prometnih tokov, ki tranzitirajo ozemlje Slovenije ali bi ob ustrezni ponudbe ozemlje Slovenije lahko tranzitirali.
- Modeliranje izbora sredstva pri dnevnih migracijah na delo.

Analiza programskih orodij

Pri prometnih modelih na splošno ločimo makroskopske, mezoskopske in mikroskopske modele.

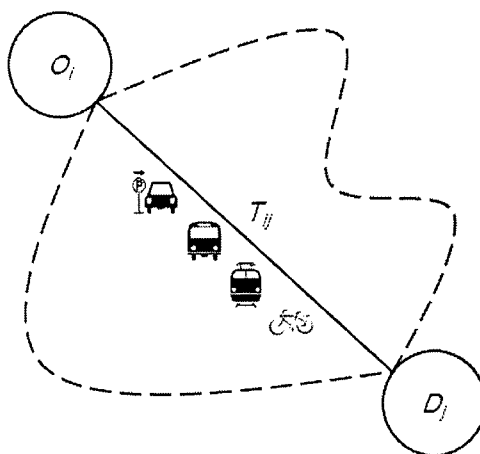


Slika 1. Makro-, mezo- in mikroskopsko območje obdelave.

Makroskopski ali strateški modeli so širši in globalnejši, hkrati pa manj natančni in so kot samo ime pove, primerni predvsem za strateške študije. Vključujejo soodvisnosti med urbanističnimi, socio-ekonomskimi in prometnimi razmerami ter hkrati tudi med elementi samega prometnega sistema. Lahko zajemajo zelo obsežna omrežja, ki so običajno vsaj delno poenostavljena. Osnovna enota je celodnevni promet, toda izidi so lahko izraženi tudi v poljubnih urah dneva ali drugih enotah. Največkrat v obliki jutranje in popoldanske konice.

Makroskopski model je podlaga mezoskopskemu ali mikroskopskemu modelu, ta dva pa sta njegova nadgradnja. Makroskopski model potniškega prometa je praviloma 4-stopenjski in vključuje:

- produkcijo in atrakcijo,
- distribucijo,
- izbiro prometnega sredstva,
- obremenjevanje.



Slika 2. Prikaz 4-stopenjskega modela.

Mikroskopski in mezoskopski modeli ne vključujejo modela povpraševanja, to je prvih treh stopenj, temveč samo model obremenjevanja. Sodobni makroskopski modeli so dezagregirani, torej močno razčlenjeni, da po eni strani podrobno zajemajo vplive različnih dejavnikov, po drugi strani pa omogočajo verodostojne izide po urah dneva, namenih, prometnih sredstvih in njihovih kombinacijah.

4-stopenjske modele imenujemo tudi sintetične, ker so matrike potovanj izidi matematičnih modelov in niso dobljene neposredno iz anket, kot je to primer pri analognih modelih.

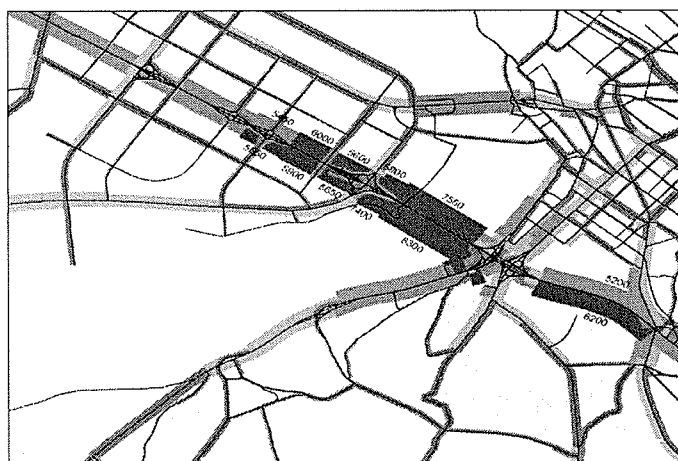
Produkcijo in atrakcijo se izračuna na podlagi socioekonomskih podatkov po prostorskih enotah in ugotovljenih prometnih navadah. Izračun se lahko naredi po starejših metodah, ki temeljijo na

gospodinjstvih (regresijska, kategorijska analiza) ali po novejših, ki temeljijo na osebah (verige aktivnosti, izvorno-ciljne skupne).

Distribucijo in izbiro prometnega sredstva se izračuna bodisi z enostavnejšimi zaporednimi modeli ali pa s kompleksnejšimi in novejšimi simultanimi modeli. Pri zaporednih modelih se distribucija določi z gravitacijskim ali logit modelom, izbira prometnega sredstva pa prav tako z logit modelom. Pri simultanih modelih se distribucija in izbira prometnega sredstva določita hkrati, in sicer s hierarhičnim ali EVA logit modelom.

Obremenjevanje cestnega omrežja je lahko statično (inkrementalno, ravnotežno, stohastično, učnega procesa, itd.) ali dinamično (simulacijsko, stohastično, psevdodinamično). Obremenjevanje javnega prometa je načeloma dinamično, in to intermodalno po vozniških ali razmikih.

Pri sodobnih modelih so vse štiri stopnje soodvisne. Najprej se sicer izračuna generacija, vendar se po fazi distribucije in izbire prometnega sredstva povratno korigira glede na izide drugih dveh stopenj. Izidi faze povpraševanja so matrike, ki so osnova za obremenjevanje, a tudi obremenjevanje povratno vpliva na povpraševanje.



Slika 3. Prikaz obremenitev na makroskopskem omrežju.

Mezokopski modeli, ki so bolj taktične narave, so nekje med makroskopskimi in mikroskopskimi modeli. Ti modeli imajo nekaj lastnosti mikroskopskih in nekaj lastnosti makroskopskih modelov. Tudi pri mezokopskih modelih običajno govorimo o simulaciji. Ti modeli naj bi bili bolj natančni kot makroskopski, hkrati pa naj bi omogočali obravnavo obsežnejših omrežij kot mikroskopski. Kakorkoli, mezokopska simulacija načeloma obravnava vsakega udeleženca v prometu individualno, toda določeni segmenti (npr. določitev vrst pred križiščem) so računani po makroskopski metodi in tedaj je v tem segmentu upoštevan celoten tok. Zakonitost je v tem segmentu obravnavana za vse enako, torej skupinsko in ne individualno.

Drug pristop je, da se udeležence v prometu preprosto spravi v pakete ali plotone. In ti paketi se obravnavajo kot individuum. Torej gre tudi v tem primeru za individualno obravnavo (simulacija), toda individualno se ne obravnavajo posamezni udeleženci v prometu, temveč skupine.

V nadaljevanju so analizirana štiri programska orodja, ki omogočajo izbiro večih metod za obremenjevanje omrežja.

2.1. VISUM (PTV AG)

Programski paket PTV Vision pokriva vsa področja planiranja in vodenja prometa. Planerski del je razdeljen na module za povpraševanje in obremenjevanje. Programsko orodje VISUM je v zadnjem času doživelo velik razvoj in postalo kompleksno orodje za modeliranje prometnih modelov. Najnovejše različice omogočajo izračun vseh stopenj povpraševanja in uporabo različnih metod obremenjevanja osebnega motornega, javnega in drugega prometa.

Osebni promet lahko obremenjujemo s statičnimi metodami, kot so inkrementalna, ravnotežna, stohastična, metoda učnega procesa ter njihove nadgradnje (multi), ki omogočajo obremenjevanje z več prometnimi sredstvi hkrati.

Korak naprej predstavljajo metode dinamičnega obremenjevanja, ki vključujejo še komponento časa. Na voljo so tri metode. V VISUM sta integrirani dve: metoda stohastično dinamičnega in metoda ravnotežno dinamičnega obremenjevanja. Tretja metoda dinamičnega obremenjevanja, imenovana VISTA, se izvede prek zunanega modula.

Dinamično stohastično obremenjevanje je dopolnitev statičnega stohastičnega, in sicer tako, da se matriko dnevnih potovanj (ali večurnih potovanj) razdeli po urah. Za vsako uro se določi delež dnevnih potovanj, ki se stohastično porazdelijo po omrežju tako, da vsak predhodni časovni interval vpliva na naslednjega. Dinamičnost te metode se pojavi v proporcionalni razdelitvi matrike potovanj na krajše časovne intervale in iskanje najbolj ugodnih poti za vsak interval posebej.

V zadnjem času je na voljo nova metoda. Gre za metodo dinamičnega ravnotežnega obremenjevanja, ki sta jo razvila Guido Gentile in Lorenzo Meschini iz univerze v Rimu. Nova metoda omogoča poleg vnosa časovno odvisnih matrik potovanj tudi spreminjanje atributov cestnega omrežja (kapacitete, hitrosti prostega prometnega toka, cestnine) znotraj časovnega obdobja obremenjevanja. Opisovanje prometnega toka temelji na analogiji stisljive tekočine oziroma kinematičnih valov, kar pripomore k enostavnejšemu izračunu medsebojnega vpliva

vozil. Stanje sistema se beleži na ravni odseka in ne individualno za vsako vozilo v omrežju. Časovni intervali so dolžine 5 do 20 minut in ne sekundni kot pri mikroskopskih simulacijah.

Kljub poenostavitvam ta metoda lahko vključuje tudi učinke nastajanja vrst, izbire časa začetka potovanja, izračuna obremenitev, potovalnih časov in dolžin vrst znotraj posameznih časovnih intervalov. Kasnejše nadgradnje bodo omogočale tudi prikaz izbranih poti po časovnih intervalih. Časovno spreminjanje kapacitetnih omejitev omogoča tudi modeliranje ukrepov ITS. Kapacitete tokov v križiščih so časovno odvisne in posredno predstavljajo različne faze semaforških ciklusov.

Dinamično ravnotežno obremenjevanje je resnično nova metoda, saj praktični primeri za komercialne potrebe še ne obstajajo.

VISTA (Visual Interactive System for Transport Algorithms) je samostojni programski paket za dinamično obremenjevanje, ki temelji na uporabi »celičnega« modela (cell transmission model – CTM). Celični model je po analogiji hidrodinamičnega modela razvil Carlos F. Daganzo (1993) iz univerze Berkeley.

Celični model je oblika simulacijskega modela, pri katerem se omrežje razdeli na kratke odseke – »celice«. Poti skupine vozil so tako razdeljene na kratke dolžine, ki se v časovnem intervalu petih sekund na novo preračunajo. Omejeno število vozil v celici in največje število vozil, ki se lahko med iteracijami premakne iz ene v drugo celico, določa največjo prepustnost oziroma kapaciteto odseka na omrežju.

Glavna prednost celičnih modelov je, da obremenitev nikoli ne preseže kapacitete, kar je pomanjkljivost statičnih analitičnih metod. Ta lastnost omogoča modeliranje vrst, ki so blizu stvarnosti. Simulator, uporabljen v VISTI, je nadgradnja osnovnega celičnega modela. Novost je v določanju velikosti celice, kar pripomore k večji prožnosti in natančnosti modela, predvsem pri modeliranju semaforiziranih križišč.

2.2. DYNAMEQ (INRO)

Programsko orodje DYNAMEQ je izdelek kanadskega podjetja INRO in omogoča makro- oziroma mezoskopsko simulacijo po metodi dinamičnega obremenjevanja. Predstavlja nadgradnjo bolj poznanega programa EMME/2, pri katerem je bila med prvimi razvita statična ravnotežna metoda. Struktura modela DYNAMEQ temelji na iteracijah, kar je prvi korak k razvoju ravnotežne metode dinamičnega obremenjevanja.

Razvoj orodja DYNAMEQ je bilo zastavljeno z namenom, da se ohranijo osnovne predpostavke makro- in mikroskopskih modelov ter se jih združi v uporabno dinamično metodo za obremenjevanje mezoskopskih omrežij. Kombinacija makroskopskega modela in statičnega obremenjevanja ne more zadostiti potrebam, saj nastanka in širjenja vrst pred križiščem s statičnimi modeli ni mogoče dosledno in dovolj natančno modelirati. Uporaba mikroskopskih simulacijskih orodij po metodi dinamičnega obremenjevanja pa na velikih omrežjih predstavlja velik izziv pri iskanju najugodnejših poti in kalibraciji parametrov, predvsem pa je problematičen čas izračunavanja poti. Rešitev so našli s pomočjo inovativne metode mikroskopske simulacije in algoritmov za iskanje poti.

DYNAMEQ je ime za orodje, ki omogoča obremenjevanje po metodi dinamičnega ravnotežja (dynamic user equilibrium – DUE). Predstavlja nadgradnjo običajne ravnotežne metode. Gre za iterativno metodo, kjer se v vsaki iteraciji izračuna ena simulacija in opravi se en izračun iskanja poti. Simulator prevzame časovno odvisne prometne tokove iz modela za iskanje poti in simulira prometni tok. Nato model za izbiro poti prevzame časovno odvisne potovalne čase, ki jih uporabi za izračun naslednje iteracije. Postopek se ponavlja, išče se konvergenca, dokler ni doseženo želeno ravnotežje, ki je bilo določeno na začetku procesa. Stopnja konvergence oziroma želeno ravnotežje je določeno z relativnim razmakom »relative gap«, kar predstavlja v konkretnem primeru potovalni čas voznika pri optimalnih pogojih.

Simulator, ki deluje znotraj tega orodja, temelji na zelo podobnih osnovah kot običajni mikroskopski simulacijski modeli (model sledi vodjo, model spremembe pasov, model sprejemljivega razmaka itd.). Vozila so individualno vodena, upoštevani so parametri semaforških ciklusov. Širjenje vrst se modelira s pomočjo poenostavljenega modela sledi vodjo, ki sloni na načelih teorije prometnega toka.

S tem orodjem se nastajanje upora na omrežju zajema na dva načina. Pri prvem načinu gre za realističen prikaz nastanka vrst, pri drugem pa za nastanek valovanja šoka. Ker se simulacija računa na poenostavljen način (event-based), je postopek izračunavanja časovno krajši.

Poenostavljen način simulacije (event-based) izračuna pot vozila, ko ta prispe do vozlišča. Kapacitetna omejitev odseka se definira s hitrostjo v prostem prometnem toku za vsako povezavo posebej in z medsebojnim vplivom vozil. Ko vozilo dohiti pred seboj vozeče vozilo, ta prevzame njegovo hitrost z upoštevanjem dodatnega časa zaradi zamude.

Delo v programu poteka s pomočjo enostavnega uporabniškega vmesnika. Omrežje lahko uvozimo iz sorodnega programa EMME/2 ali pa ga na podlagi grafične podlage zgradimo na novo. Omrežje sestavljata dva gradnika: odseki in vozlišča. Vozlišča lahko definiramo tako, da jih

oblikujemo v obliko križišča, v katerem upoštevamo črto ustavljanja, krmilni program semaforjev, dovoljene smeri, število uvoznih in izvoznih pasov.

Program omogoča tako analitične kot grafične prikaze izidov simulacije. Ena izmed posebnih možnosti grafičnega prikaza je neposredna primerjava dveh simulacij, kar omogoča enostaven prikaz širjenja vrst in nastanka zamud med primerjanimi različicami. Gre za učinkovit pristop k iskanju najboljših rešitev.

2.3. S-PARAMICS (SIAS)

Paramics (PARAllell computer MICROscopic Simulation) je škotsko orodje mikroskopske simulacije, ki ga pod enakim imenom (razlika je le začetna črka S) tržita dve podjetji, ki sta nastali z razdružitvijo prvotnega podjetja, ki je razvilo prvo različico.

Delo s programom poteka prek petih modulov: Editor (urejanje omrežja), Simulator and Visualiser (poganjanje simulacije in snemanje posnetkov), Batch (poganjanje zaporednih in vzporednih simulacij), Matrix (možnost urejanja matrike) in Statistics (pregled rezultatov).

Omrežje v grobem sestavljajo vozlišča in povezave med njimi.

To orodje omogoča dinamično obremenjevanje na mikroskopski in makroskopski ravni. Analiza širšega območja se prav tako opravi po mikroskopski metodologiji, toda z določenimi poenostavitvami.

Omogočeni sta dve metodi dinamičnega obremenjevanja (dinamično obremenjevanje s povratnim vplivanjem na izbiro poti in stohastično dinamično obremenjevanje s povratnim vplivanjem na izbiro poti) in dve metodi statičnega obremenjevanja. Glavna posebnost in prednost te metode je v povratnem vplivanju (t.i. rerouting). To omogoča, da vozila, ki so občutljiva na zamude, zaradi zamud (v okviru iste iteracije) v omrežju izberejo drugo pot v prostoru in času.

Poleg tega omogoča neposredno simulacijo nepredvidljivih dogodkov in učinkov ukrepov ITS. Sestavni del orodja je tudi modul za ekonomsko vrednotenje (PEARS).

Možne so tudi tridimenzionalne predstavitve.

2.4. VISSIM (PTV AG)

Programsko orodje VISSIM (Verkehr In Städten SIMulation) je izdelek podjetja PTV Planung Transport Verkehr AG (Karlsruhe, Nemčija) in je eden izmed modulov v okviru programskega okolja PTV Vison.

VISSIM je orodje za mikroskopsko simulacijo prometa. Z njim lahko analiziramo prometne razmere v odvisnosti od konfiguracije prometne površine, sestave prometa, prometne signalizacije, itd. Orodje je uporabno v procesu razvoja in preučevanja različic prometne ureditve, dimenzioniranja, preučevanja konfliktov, itd. To orodje pri simulaciji obravnava enoto voznik-vozilo. Voznik s svojimi značilnostmi obnašanja je dodeljen posameznemu vozilu.

Vse faze modeliranja (razvoj modela, simulacija) potekajo preko enotnega grafičnega vmesnika, ki uporablja vse možnosti okolja Windows (padajoči meniji, pogovorna okna). Vhodne podatke (matrike) lahko uvozi iz programov VISUM, EMME/2, TransCAD in TranPlan. Krmiljenje signalnih naprav je lahko fiksno ali prometno odvisno. Pri fiksni signalni načrtu lahko signalne čase uvozimo iz programov CROSSIG, TEAPAC in SYNCHRO (samo za ameriško tržišče) ali pa jih vnesemo ročno. Prometno odvisno krmiljenje modeliramo s dodatnim modulom VisVAP.

Omrežje je sestavljeno iz dveh osnovnih elementov: odsekov in povezav med njimi. Vozlišč (razen za potrebe dinamičnega obremenjevanja) VISSIM ne uporablja. Geometrijo cest oblikujemo s pomočjo vmesnih točk.

VISSIM ponuja možnost statičnega in dinamičnega obremenjevanja. Dinamično obremenjevanje poteka po učni metodi preteklih iteracij. Vse poti s pripadajočimi stroški se zapišejo za vsako iteracijo, kar vozniki upoštevajo v naslednji iteraciji. To vodi k prerazporejanju prometa v nasičenih razmerah, kar pripomore k boljši izkoriščenosti omrežja in večji realnosti izidov.

2.5. Preveritev in primerjava orodij

V nadaljevanju je povzeta preveritev in primerjava orodij na treh različnih primerih cestnega omrežja, ki se razlikujejo po velikosti, številu vključenih križišč in velikosti urbanega območja, ki ga omrežje zajema. Preizkušena so orodja makro- in mikroskopskega modeliranja po metodi dinamičnega obremenjevanja, in sicer:

- prometno vrednotenje polnega priključka v Šentvidu (primer poteka po mestnem območju z velikim številom križišč);

- analiza različic hitre ceste Koper-Dragonja (primer delno zunajmestnega in delno mestnega poteka z večjo udeležbo križišč);
- analiza koridorja avtoceste na odseku Slivnica-Draženci-Gruškovje (primer zunajmestnega poteka z malo križišči).

Uporaba najustreznejših metod in orodij glede na tip območja obdelave:

- študije mestnih in primestnih območij - metoda: mikroskopska ali makroskopska simulacija po metodi dinamičnega obremenjevanja.
Mikroskopska simulacija se uporabi tedaj, ko imamo opravka z manjšim omrežjem in/ali morajo biti vključeni tudi pešci in kolesarji ter je zaželen nazoren prikaz razmer na omrežju. Uporabimo lahko orodje VISSIM ali S-Paramics.
Makroskopsko simulacijo uporabimo, ko je potrebno analizirati obsežnejše omrežje. Uporabimo orodje DYNAMEQ.
- študije regionalnih območij - metoda: makroskopska simulacija po metodi dinamičnega obremenjevanja ali statično obremenjevanje z vključenim modulom ICA.
Makroskopska simulacijska metoda se uporabi zlasti v širših urbanih območjih in kadar potrebujemo natančnejše podatke glede zamud. Uporabi se orodje DYNAMEQ.
Makroskopsko statično obremenjevanje z vključenim modulom ICA se uporabi za strateške analize celotnih regij. Uporabi se lahko orodje VISUM-ICA.
- študije medregionalnih in nacionalnih območij - metoda: statično obremenjevanje z vključenim modulom ICA ali običajno statično obremenjevanje brez vključevanja modula ICA.
Pri medregionalnih študijah z vključenim večjim številom križišč se uporabi modul ICA, torej, podobno modeliranje križišč. Uporabi se lahko orodje VISUM-ICA.
Pri nacionalnih študijah ali medregionalnih študijah, kjer križišča ne igrajo odločilnejše vloge, se lahko uporabi običajno statično obremenjevanje.

Seveda se v posebnih primerih tudi na medregionalni ravni lahko uporabi simulacijsko orodje dinamičnega obremenjevanja, če se pokaže, da je to potrebno.

Praviloma se vedno obremenjuje urni promet. Tudi pri običajnem statičnem obremenjevanju. Enota PLDP je uporabna samo za grobe globalne presoje omrežij, kjer križišča niso odločilnejši dejavniki. To se pravi samo za globalne ocene nacionalnih ali medregionalnih projektov.

Pri ekonomskih vrednotenjih je zelo pomembno, da so natančno izračunani potovalni čas, zamude, poraba goriva in drugi stroški. Zato priporočamo, da se te analize v mestnih in primestnih območjih naredi le na podlagi mikroskopskih ali makroskopskih simulacij. Pri medmestnih projektih vsaj na osnovi statičnega obremenjevanja z vključenim modulom ICA.

Vsekakor se s simulacijskimi metodami dinamičnega obremenjevanja najbolj približamo realnemu stanju. Ne le, da so tedaj izmerjene vrednosti najbližje realnim, omogočena je tudi analiza zastojev, vrst in drugega v času. Saj ni vseeno, koliko časa traja zastoj. Te metode omogočajo boljše razumevanje prometnih težav in bolj natančne in realistične napovedi razmer. Zato so predmet intenzivnega razvoja. Njihova uporaba se hitro širi po svetu in tudi pri nas.

Pregled v preteklosti izdelanih/ implementiranih "prometnih modelov v podporo izvajanju prometne politike Republike Slovenije"

Prometni modeli so namenjeni podpori pri strateškem in taktičnem načrtovanju ali kot orodje za upravljanje prometnih tokov. Izvajalci prometne politike in upravljavci prometne infrastrukture in prometa jih uporabljajo za modelsko (virtualno) ugotavljanje posledic načrtovanih ukrepov.

V zgodovini samostojne Slovenije je bil dejansko vzpostavljen le en intermodalni prometni model, ki je omogočal osnovno napovedovanje infrastrukturnih ozkih grl po zastavljenih scenarijih. Model je bil izdelan s programskim orodjem Polydrom v soavtorstvu svetovalne švicarske firme Prognos AG Basel in Prometnega instituta Ljubljana d.o.o.. Omenjeni model je temeljil na diskretizaciji Slovenije na takratne občine in je upošteval tranzitne ter ciljno-izvirne prometne tokove.

Drugi model napovedi prometnih tokov je bil uporabljen pri študijah novih čezmejnih železniških povezav v sodelovanju z Italfer. Z omenjenim prometnim modelom napovedi blagovnih in potniških tokov so bili z metodo obremenjevanja omrežja dodeljeni blagovni in potniški tokovi na nove železniške povezave.

3.1. Strateški načrt napovedi prometnih tokov Republike Slovenije

V sredini devetdesetih let prejšnjega stoletja je takratno Ministrstvo za promet in zveze RS naročilo študijo strateškega načrta prometnega modela. Razvoj prometnega modela je bil zaupan svetovalnemu podjetjema Prognos AG in Prometni institut Ljubljana, d.o.o.. Glavni namen strateškega načrta je bila podpora Ministrstvu za promet in zveze o odločanju in planiranju pri:

- napovedi rasti prometnih tokov na glavnih povezavah skladno z različnimi vzorci razvoja v obdobju prihodnjih dvajset let;
- določitvi transportnega potenciala in »modal splita« z ekonomskega in ekološkega vidika;
- primerjavi obstoječih in planiranih zmogljivostih prometne infrastrukture v odvisnosti od prometnih tokov;
- razvoj različnih strategij ukrepov prometne politike v različnih časovnih obdobjih do zaključka izgradnje avtocestnega omrežja.

Glavna pričakovanja strateškega načrta so bila, da Ministrstvu za promet in zveze zagotovi:

- definicijo in izdelavo instrumentov prometne politike;
- model dolgoročnega statističnega spremljanja prometnih tokov, ki bi temeljil na dostopnih statističnih podatkih;
- pregled obstoječih razvojnih načrtov prometne infrastrukture v luči prometnega strateškega načrta ter priporočenih sprememb in dopolnil.

V prometnem strateškem načrtu so se, da bi podali načrt prometne politike, fokusirali na sledeče probleme:

- opis, analiza in napovedi tovornega in potniškega prometa z različnih vidikov, kot so lokalni, regionalni/inter-regionalni promet in tranzit;
- napovedi in predlogi v obdobju tranzicije za mednarodni in notranji promet;
- koordinacija prometnega sistema z namenom eliminacije ozkih grl;
- zasnova nove prometne strategije z vidiki nove prometne politike.

Pri modeliranju in napovedi je bil uporabljen programski paket Polydrom. Polydrom je predstavljal intermodalni model za potniški ter tovorni promet in je omogočal:

- realne predstavitve prometnega sistema;
- prikaz medsebojne odvisnosti dveh prometnih sektorjev (npr. ceste in železnice);
- simulacijo različnih vplivov prometne politike na prometni sistem;

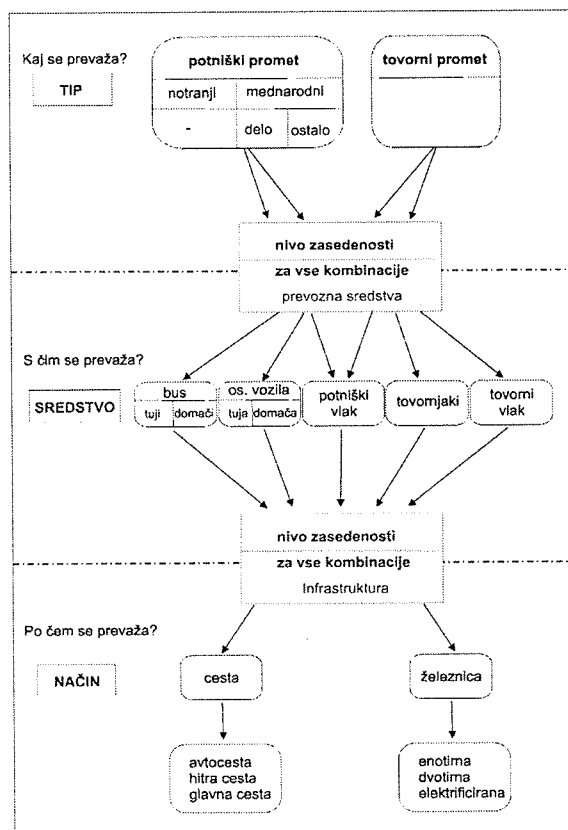
Opis prometnega modela

Zasnova prometnega modela Slovenije je bila v odvisnosti od zmožnosti pridobivanja potrebnih vhodnih podatkov. Glede na splošno strukturo prometnega sistema v Sloveniji so bili definirani elementi, ki so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.

Spodnja slika prikazuje strukturne elemente, ki so potrebni za simulacijski model. V prvem koraku je tip prometa ločen na potniški in tovorni promet. Potniški promet je izražen s povprečnim letnim dnevno številom potovanj. Nadalje je razdeljen na potovanja domačinov in tujcev. Potovanja domačinov so razdeljena na potovanja na delo in ostala potovanja. Tovorni promet je izražen v tonah, za povprečni letni dnevni promet.

Tipu prometa so dodeljena posamezna prometna sredstva. Potniškemu prometu so dodeljena osebna vozila, avtobusi in potniški vlaki. Tovornemu prometu pripadajo tovorna vozila in tovorni vlaki. Avtobusi in osebna vozila so v nadaljevanju razdeljena na domača in tuja osebna vozila ter domače in tuje avtobuse.

V zadnjem koraku definicije elementov modela so prevozna sredstva dodeljena infrastrukturi oz. povezavam med vozlišči. Cestni infrastrukturi pripada cestno omrežje, ki ga tvorijo: avtoceste, hitre ceste in glavne ceste. Železniška infrastruktura pa je sestavljena iz enotirnih, dvotirnih in elektrificiranih prog.



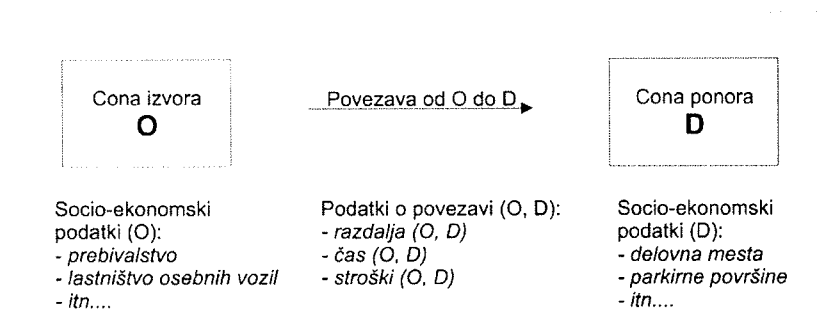
Slika 4. Struktura prometnega sistema Slovenije za program Polydrum.

Osnovno ponudbo prometnega sistema predstavljajo vozna sredstva in infrastruktura. V modelu je ponudba opisana s funkcijo, ki definira uporabo posameznega prometnega sistema in je v veliki večini odvisna od:

- razdalje;
- potovalnega časa (v primeru razbremenjenega omrežja);
- stroškov potovanja;
- dejanskih tokov na omrežju.

Naslednji del prometnega sistema je povpraševanje, ki je določeno z:

- socialno-ekonomskimi podatki izvorno-ciljnih medconskih potovanj;
- prizadevanje za potovanje med izvorom in destinacijo, npr: razdalja, čas, stroški...



Slika 5. Prikaz določitve transportnega povpraševanja.

V prometnem smislu je bila Slovenija razdeljena na 62 con, ki so bile reda velikosti posameznih občin – interne cone. Poleg internih con je bilo tudi 16 eksternih con izven ozemlja Slovenije. Eksterne cone so bile definirane na osnovi glavnih prometnih tokov s sosednjimi državami. Coning je bil dokaj natančen, saj so cone premera med 20 in 40 kilometrov.

Ocena povpraševanja potniškega prometa je temeljila na mobilnosti prebivalstva posamezne cone. Mobilnost prebivalstva v posameznih conah je bila pridobljena na osnovi podatkov o številu prebivalstva, zaposlenosti in stopnji motorizacije.

Distribucija prometa med posameznimi conami je bila generirana z gravitacijskim modelom. Medconska potovanja so naraščala proporcionalno glede na prebivalstvo posamezne cone in upadajo z daljšimi časi potovanja med posameznimi conami.

Na osnovi opisa načina potovanj med izvori in ponori je bila izdelana matrika potovanj za javni in zasebni potniški promet. V tem kontekstu raziskave je potovanje v javnem potniškem prometu definirano kot potovanje z avtobusom ali potniškim vlakom, medtem, ko so za privatna potovanja mišljena osebna vozila.

Povpraševanje v tovrnem prometu je bilo ocenjeno na osnovi proizvodnje in potrošnje posamezne cone, ter uvoza, izvoza in tranzita. Tovorni promet med eksternimi in internimi conami ter tranzit je bil spremljan na mednarodnih mejnih prehodih z Republiko Slovenijo.

Porazdelitev tovora med cesto in železnico je temeljila na uradnih statističnih podatkih. Izvorno-ponorna matrika tovrnega prometa je bila izdelana na podlagi prepeljanega tovora v povprečnih tonah na dan.

Kalibracija matrike

Na osnovi bazne matrike za tovorni in potniški promet je bila izvedena kalibracija. Med postopkom kalibracije je bil promet na posameznih povezavah prirejen dejanskemu prometu, ki je bil preštet s pomočjo števcov na posameznih odsekih preučevanih povezav.

V baznem letu so bile upoštevane različne stopnje zasedenosti prevoznih sredstev. Stopnja povprečne zasedenosti je temeljila na oceni izkušenj v zahodnoevropskih državah v odvisnosti od nivoja motorizacije. Podatki o zasedenosti tovrnih vozil s tovorom so bili privzeti na podlagi primerjave podatkov iz zahodnoevropskih držav.

Dodeljevanje matrike potovanj na prometno omrežje temelji na izračunu najmanjšega upora posamezne povezave. Obstajajo različne metode dodeljevanja O/D matrike na prometno omrežje – v obravnavanem modelu je bila uporabljena inkrementalna metoda obremenjevanja. Funkcijska enačba upošteva dejanske prometne tokove na omrežju po vsakem dodeljevanju inkrementov (prirastkov) in potovalne čase na posameznih povezavah.

Kalibracija je bila narejena z modifikacijo matrike potovanj in se je nanašala na odstopanje med dodeljenim in dejanskim prometom na odsekih posameznih povezav.

Scenariji strateškega načrta

V študiji so bili pripravljene trije različni scenariji, ki so bili upoštevani pri napovedi prometnih tokov.

Trend rasti – scenarij A

- Gospodarska preobrazba v tržno gospodarstvo bo zaključena do leta 2000.
- Proizvodnja v Sloveniji v letu 2015 bo primerljiva z nemško v letu 1986.
- Slovenija ni vključena v zahodnoevropske integracije, toda trgovina z EU je že liberalizirana. Trgovina z bivšimi republikami Jugoslavije je omejena zaradi političnega spora v Bosni.

- Do leta 2015 bo stopnja motorizacije in mobilnosti enaka nemški v letu 1986.
- V prometni politiki je upoštevana izgradnja avtocest skladno z Nacionalnim programom izgradnje avtocest in vzdrževanjem ostalih cest. Predvidenih ni nobenih ukrepov za izboljšanje javnega potniškega in tovornega železniškega prometa.

Evropske povezave (EU) – scenarij B

- Slovenija postane članica Evropske unije do leta 2005. V Bosni se konča vojna in ponovno je vzpostavljena blagovna trgovina z državami bivše Jugoslavije.
- Na področju gospodarstva in ekonomije se izvajajo ukrepi, ki jih predpisuje EU. Gospodarska rast ima prednost pred ekologijo. Dokler infrastrukturne zmogljivosti zadostujejo potrebam in prometno onesnaževanje nima posledic na zdravju prebivalstva, ekološke intervencije ne bodo zavirale gospodarske rasti.
- Pospešen razvoj gospodarstva v neposredni bližini avtocest.
- Zmanjšanje finančnih izdatkov za gradnjo avtocest.

Aktivna okoljevarstvena politika – scenarij C

- Slovenija postane članica Evropske unije do leta 2005. V Bosni se konča vojna in ponovno je vzpostavljena blagovna trgovina z državami bivše Jugoslavije;
- Glavne prioritete so v dolgoročno stabilnem gospodarstvu in konstantni rasti;
- Pospešen razvoj gospodarstva v neposredni bližini avtocest in železniških koridorjev;
- Aktivna uporaba okolju prijaznih načinov potovanja in restrikcija ostalih načinov potovanj.

Primerjava napovedi prometa z dejanskimi prometom v letu 2005

Ker je bila omenjena študija izdelana v letu 1996 lahko preverimo napovedi, ki so bile v študiji izdelane za leto 2005, saj so nam za to leto na voljo podatki o količini prepeljanega tovora. Omejili se bomo na železniški tovorni promet po odsekih, kot so bili definirani v študiji.

Tabela 1. Primerjava napovedi tovornih tokov v tonah po železnici s primerjavo dejansko prevoženih neto ton na posameznih odsekih za leto 2005.

Ime odseka	Scenariji (neto tone na letnem nivoju)			Dejansko prepeljano 2005	Indeks dejansko/napoved
	A	B	C		
Ljubljana-Zidani Most	8.970.970	10.273.655	11.616.125	7.485.463	0,83
Zidani Most-Dobova	2.219.200	2.620.700	3.055.050	2.226.261	1,00
Zidani Most-Celje	7.530.315	8.577.135	9.526.500	5.886.782	0,78
Celje-Grobelno	7.056.180	7.991.675	8.843.950	5.933.864	0,84
Grobelno-Pragersko	7.080.635	8.022.700	8.863.660	5.780.633	0,82
Pragersko-Maribor	3.802.570	4.310.650	4.861.435	3.660.355	0,96
Pragersko-Ormož	3.311.645	4.011.715	4.685.140	2.874.182	0,87
Ljubljana-Jesenice	2.800.645	3.344.860	4.121.580	3.859.988	0,94
Ljubljana-Pivka	9.606.070	11.132.500	12.655.645	10.200.608	1,06
Pivka-Divača	8.330.760	9.437.440	10.744.140	10.038.716	1,06
Divača-Prešnica	5.283.010	5.948.040	6.636.795	7.451.440	1,12
Prešnica-Koper	4.901.585	5.482.665	6.109.005	7.215.866	1,18
Divača-Sežana	3.877.760	4.492.785	4.693.900	2.814.569	0,73
Sežana-Nova Gorica	2.260.445	2.616.320	2.616.685	1.408.483	0,62
Nova Gorica-Jesenice	307.330	373.760	114.245	347.861	0,93
Ormož-Hodoš	3.040.815	3.226.235	3.534.660	1.769.906	0,58

Vir: Podatki o blagovnih tokovih za leto 2005 so vzeti iz informacijskega sistema SŽ – ISSŽP Mapper.

Osenčeni so scenariji posameznega odseka, ki se numerično najbolj približajo dejansko prepeljanim neto tonam v letu 2005. Največje odstopanje med napovedjo in dejanskim stanjem je na odseku proge Ormož-Hodoš, kjer je bila napoved blaga bistveno višja, kot pa je bilo dejansko prepeljanega. Študija je najbolj točno podala prognozo obsega prepeljanega tovora na odseku Zidani Most – Dobova po scenariju A.

Zaključki študije

Trend rasti osebnih vozil je značilnost tranzicijskih držav, kjer ima hitra gospodarska rast učinek na povečevanje stopnje motorizacije in mobilnosti prebivalstva. Da bi povečali uporabo javnega potniškega prometa so bili predstavljeni naslednji ukrepi:

- zmanjševati potovalne čase na železnici z gradnjo novih visoko zmogljivostnih prog ter z modernizacijo in rekonstrukcijo obstoječih prog;
- z večjo frekvenco potovanj povečati nivo usluge v javnem potniškem prometu, povezava voznih redov, ter izboljšati dostopnost do železniških postaj;
- povečevati stroške v cestnem prometu z višjimi cestninami, parkirnimi stroški...
- povečevati potovalne čase v cestnem prometu z zmanjševanjem parkirnih površin.

Študija, ki je bila izdelana leta 1996 je prikazala dokaj točne napovedi prometnih tokov in ozka grla na cestnem in železniškem omrežju Republike Slovenije. Podatki za postavitev prometnega modela za napoved prometnih tokov so bili iz časa Slovenske osamosvojitve in zgovorno pričajo o težavnosti pridobivanja le-teh. V tistem času so se osnovali prvi programi o Nacionalnem razvoju slovenske železniške infrastrukture (izšel leta 1996). Nacionalni program zaradi kasnejše izdaje ni bil upoštevan pri prognozi napovedi prometnih tokov.

V scenariju A in B študija ni predvidela ozkih grl na omrežju JŽI, je pa predvidela, da bo potrebno povečanje zmogljivosti enotirnih prog in sicer Ljubljana-Jesenice, Divača-Koper in Pragersko-Ormož. Trenutno potekajo modernizacija proge z namenom povečanja prepustne in prevozne zmogljivosti na enotirni elektrificirani progi Divača-Koper, ter enotirni ne-elektrificirani progi Pragersko-Ormož, kjer je predvidena tudi elektrifikacija na odseku Pragersko-Hodoš. Pripravlja se projektna dokumentacija za gradnjo drugega tira na odseku Divača-Koper. Končan je bil razpis za študijo izgradnje nove železniške proge (drugega tira) na relaciji Ljubljana-letališče Brnik-Jesenice, ki naj bi bila predana v uporabo po letu 2020.

Ozka grla na JŽI so se pred začetkom gospodarske krize začela pojavljati na progi Divača-Koper in Ljubljana-Jesenice. Gre za enotirni progi, na katerih ni več prostih kapacitet, saj so že na meji zasičenja, novih vzporednih povezav pa nekaj let še zagotovo ne bo.

Vsaka prognoza prometa bi morala upoštevati strateške usmeritve v železniškem sektorju. Pri dolgoročnih planih napovedi obsega prometa bi bilo potrebno upoštevati začetek eksploatacije posameznih železniških prog, kar bi pomenilo razbremenitev ozkih grl in preusmeritev prometa na nove povezave.

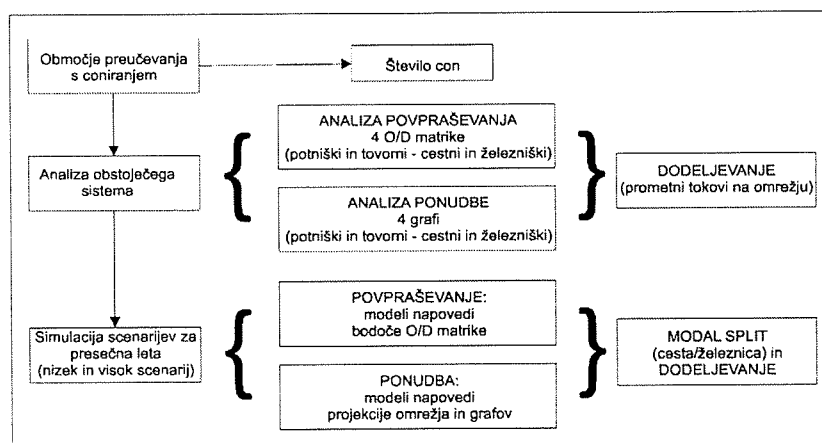
3.2. Model planiranja prometnih tokov za nove železniške povezave med Slovenijo in Italijo

Model prometnih napovedi je bil uporabljen v feasibility študij novih čezmejnih železniških povezav Benetke-Trst-Ljubljana in Trst-Divača.

Na osnovi algoritma za dodeljevanje prometnih tokov določenemu infrastrukturnemu omrežju »Logit multi route« brez upoštevanja omejitev infrastrukturnih kapacitet se bodo izračunali prometni tokovi dveh vrst prometa, t.j. potniškega in tovornega, na odsekih grafov cestnega in železniškega omrežja. Na osnovi primerjave tako izračunanih tokov in dejansko posnetih podatkov na določenih odsekih in točkah infrastrukturnega omrežja (še posebej na železniških mejnih prehodih in avtocestnih cestninskih postajah) se je preverila veljavnost oz. tehtnost modela dodeljevanja prometnih tokov infrastrukturnemu omrežju kot tudi parametrov grafov.

Z uvedbo nove infrastrukture, t.j. nove železniške povezave z večjo hitrostjo od obstoječe, bo postala ta železniška povezava bolj atraktivna, zato vodi v spremembo modal splita med železnico in cesto, kar lahko privede do znatnega povečanja povpraševanja po železniškem prometu.

Da bi ocenili ta pojav, je potrebna vključitev »modal split modela«, ki dovoljuje opis konkurence med dvema načinoma prevoza z namenom ocenitve učinkov modal splita iz naslova realizacije nove železniške infrastrukture.



Slika 6. Metodologija napovedovanja prometnih tokov.

S tem v zvezi sta bila med različnimi možnimi pristopi izbrana pristopa »Logit modelov« in »iper net modelov« razvita za potniško in tovorno povpraševanj po mobilnosti.

Potrebno je poudariti, da je »iper net« graf sedanjega infrastrukturnega omrežja, ki ga sestavljata cestni diagram združen z železniškim in za katerega je poleg tega značilno dejstvo, da

povezovalnih odsekov med centri in omrežjem ne predstavljajo samo splošni oz. generalizirani stroški, ki so povezani z dostopom na posamezno infrastrukturno omrežje in/ali odhodom iz njega (in, ki sta funkcija ustroja geografskega območja, kjer leži omrežje), pač pa so predvideni tudi drugi elementi stroškovne narave, ki vplivajo na vrsto izbranega načina prevoza.

Uporaba modela in primerjava napovedanih blagovnih tokov z dejanskimi

Obravnavani model je bil uporabljen v dveh čezmejnih projektih Italije in Slovenije. Prva študija, ki je uporabila omenjeni model je bila gradnja nove železniške povezave Benetke-Trst-Ljubljana iz leta 1999. Porazdelitev prometnih tokov je bila narejena le na območju med Benetkami in Ljubljano. Predstavljena sta bila nizek in visok scenarij napovedi prometa, med drugim tudi za leto 2005. Tako lahko preverimo napovedi, ki so bile v študiji izdelane za leto 2005, saj so nam za to leto na voljo podatki o količini prepeljanega tovora. Omejili se bomo na železniški tovorni promet na območju republike Slovenije po odsekih, kot so bili definirani v študiji. Potrebno je poudariti, da ta scenarij velja v primeru da nimamo nove železniške povezave med Benetkami in Ljubljano.

Tabela 2. Primerjava napovedi tovornih tokov v tonah po železnici z dejansko prevoženimi neto tonami na posameznih odsekih za leto 2005.

Ime odseka	Scenarij brez nove povezave (neto tone na letnem nivoju)		Dejansko prepeljano 2005	Indeks dejansko/napoved
	Nizek (B)	Visok (A)		
Ljubljana-Postojna	9.676.000	10.998.000	9.921.529	1,03
Postojna-Pivka	10.836.000	12.410.000	10.200.608	0,94
Pivka-Divača	9.083.000	10.471.000	10.038.716	1,11
Divača-Sežana	5.768.000	6.724.000	2.814.569	0,49
Divača-Koper	3.487.000	3.936.000	7.451.440	1,89

Vir: Podatki o blagovnih tokovih za leto 2005 so vzeti iz informacijskega sistema SŽ – ISSŽP Mapper.

Z modro barvo so osenčeni scenarij posameznega odseka, ki se numerično najbolj približajo dejansko prepeljanim neto tonam v letu 2005. Največje odstopanje med napovedjo in dejanskim stanjem je na odseku proge Divača-Koper, kjer je bila napoved blaga bistveno manjša, kot pa je bilo dejansko prepeljano. Študija je najbolj točno podala prognozo obsega prepeljanega tovora na odseku Ljubljana – Postojna. Dejanski promet najbolj ustreza nizkemu scenariju.

Odstopanja so več kot očitna na odsekih Divača-Sežana in Divača-Koper. Skupna vsota obeh »prirejenih« blagovnih tokov je sicer v korelaciji s tokovi na odseku Pivka-Divača. Dejansko je bila večina tovora na progi Divača-Koper »umetno« dodeljena odseku Divača-Sežana z namenom zagotoviti zadostne količine tovora za upravičenost gradnje nove proge Benetke-Ljubljana.

V letu 2008 je bila zaključena druga študija z naslovom »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst-Divača« (CROSS-5), INTERREG III/A. Tudi v omenjeni študiji je bil uporabljen enak model napovedi prometnih tokov. O natančnosti te študije pri napovedi prometnih tokov v tem trenutku ne moremo govoriti.

3.3. Razvojne možnosti železniških prog za visoke hitrosti

Razvojne možnosti železniških prog za visoke hitrosti v Republiki Sloveniji je celostna strateška presoja razvojnih možnosti hitrih železniških prog v RS. Odgovorila naj bi na vprašanja, ki si jih že desetletje zastavlja slovenska strokovna in politična javnost – ali je gradnja hitrih prog v Sloveniji razvojno sploh realna oziroma ali je prometno-politično utemeljena ter ali je gospodarsko, prostorsko in okoljsko sprejemljiva. Raziskava je ovrednotila ključne strateške elemente za odločitev o prihodnjem razvoju hitrih prog na ozemlju RS, in sicer prostorsko-razvojne in prometno-politične (ekonomske, okoljske in prometno-tehnične).

Rezultati

V okviru raziskave je bilo definiranih 6 možnih scenarijev razvoja hitre železnice v odvisnosti od strateških, tehnoloških in ekonomskih elementov: trend, razvojni 160, razvojni 200, evropski 250, evropski 350 in scenarij z uvedbo tehnologije maglev ter odgovorjeno na vprašanje: Koliko potnikov lahko predvidimo glede za različne scenarije železniških prog za visoke hitrosti? Prometna prognoza je temeljila na operativnih hitrostih hitrih vlakov v kombinaciji z različnimi števili postaj in frekvenco ponudbe. Za potrebe ocene posledic različnih scenarijev železniških prog za visoke hitrosti je bil razvit t. i. "generation distribution modal choice" – GDMC model za daljša potovanja.

Prometni GDMC model je sestavljen iz dveh korakov: a) edinstven generacijsko-distribucijski model in b) posledično "mode choice model", ki temelji na bimodalni enačbi logit. Z razvitima modelskima enačbama so bili izračunani prometni potenciali za predvidena daljša potovanja iz Slovenije in nazaj ter prometne potenciale za porazdelitev potovanj (modal split) glede na konkurenčne transportne načine za posamezno relacijo.

Model TransTools

Izdelovalci smo želeli najprej razviti svoj model, ki bi zadostil željam naročnika. V prvih fazah projekta smo pregledali obstoječe teoretične modele in podatkovne baze, ki so na voljo. Začeli smo razvijati svoj model v programskem orodju VISUM, a se je naloga pokazala kot dokaj zahtevna. V zaključni fazi projekta smo odkrili orodje TransTools, ki popolnoma ustreza zahtevam naročnika. Zato smo se odločili, da razvoj svojega modela začasno opustimo in se posvetimo analizi in prilagajanju modela TransTools.

V nadaljevanju predstavljamo kratek pregled problematike rasti blagovnega prometa v Sloveniji, predstavljamo model TransTools, zlasti podrobneje model blagovnega prometa, rezultate kalibracije in validacije zlasti podrobneje v Sloveniji. V nadaljevanju smo verificirali odzivnost modela na različne scenarije ukrepov. Zaradi slabe časovne odzivnosti smo prenesli del modela v VISUM in izdelali primerjavo performans. Na koncu povzemamo ugotovitve in dajemo priporočila za nadaljnje delo.

4.1. Analiza prometnih obremenitev v preteklem obdobju

Prometne obremenitve

Analiza prometnih obremenitev je izdelana za vsa števna mesta na omrežju avtocest in hitrih cest v Republiki Sloveniji v enoti PLDP (povprečni letni dnevni promet) po vrstah vozil. Števni podatki so povzeti iz publikacije Promet DRSC za posamezna leta.

Obseg prometa je analiziran po vrstah vozil:

- skupaj vsa vozila,
- osebna vozila,
- avtobusi,
- tovorna vozila skupaj in ločeno po kategoriji:
 - lahka tovorna vozila do 3,5 ton,
 - srednja tovorna vozila do 7,5 ton,
 - težka tovorna vozila nad 7,5 ton,
 - priklopniki in vlačilci.

Skupaj je bilo analiziranih 70 števnih mest.

Za vsako števno mesto je prikazana povprečna letna stopnja rasti (plsr v %) med letoma 1998-2008. V kolikor ni podatkov za celotno 10 letno obdobje, je povprečna letna stopnja rasti podana za krajše obdobje.

Iz analize po števnih mestih je izdelana analiza po posameznih krakih (smereh) avtocest in hitrih cest. Analizirane so naslednje smeri:

- ljubljanski obroč,
- primorski krak,
- štajerski krak,
- gorenjski krak,
- dolenski krak.

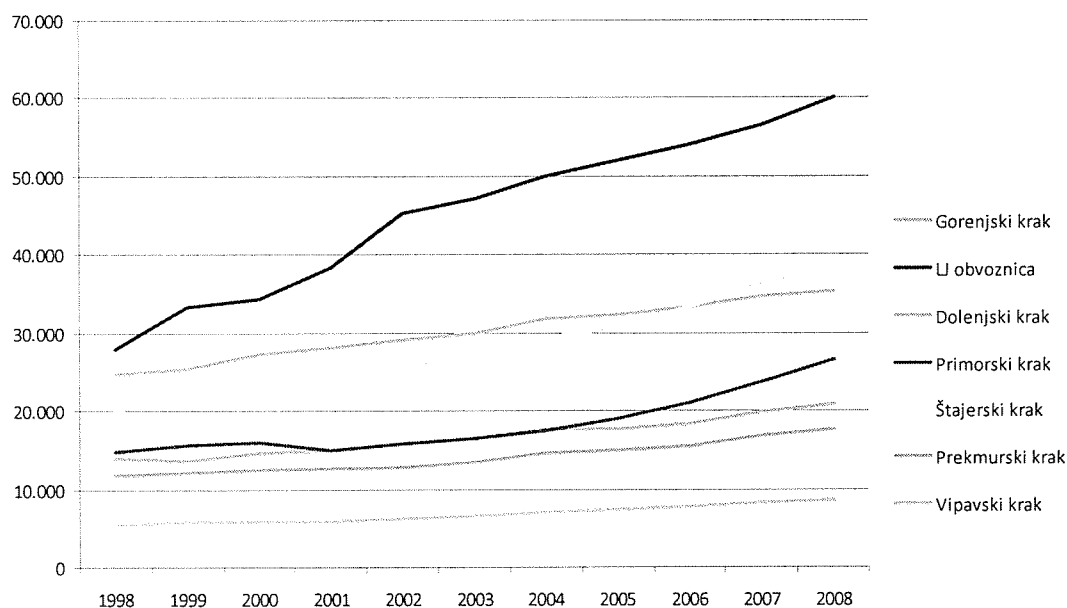
Za vsak krak so povzeti podatki o prometu z določenega števnege mesta, ki je najbolj značilen za določeno smer.

Obseg prometnih obremenitev v obdobju 1998-2008.

Povprečni promet (PLDP) se je povečal s povprečnimi stopnjami od 3,6% (Gorenjska) pa do skoraj 8% povprečno letno (obroč okrog Ljubljane).

Tabela 3. Prometne obremenitve v enoti PLDP za vsa vozila po smereh in faktor povečanja prometa v obdobju 1998-2008.

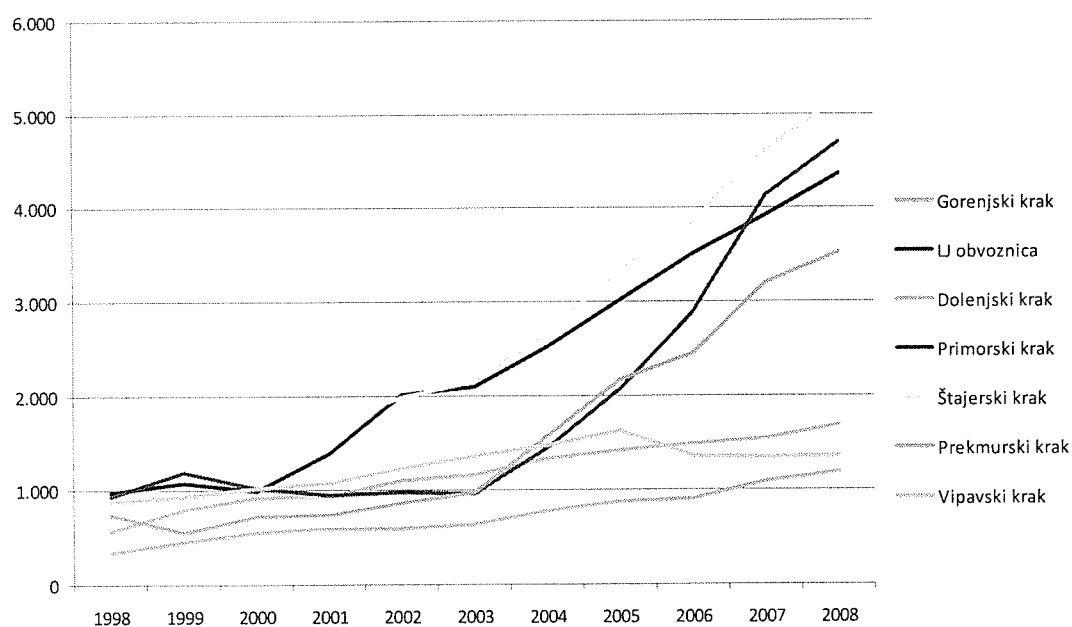
VSA VOZILA	Gorenjski krak	LJ obvoznica	Dolenjski krak	Primorski krak	Štajerski krak	Prekmurski krak	Vipavski krak
1998	24.755	27.980	13.971	14.851	20.030	11.715	5.365
1999	25.421	33.287	13.582	15.590	21.976	12.110	5.836
2000	27.199	34.254	14.702	16.060	22.308	12.498	5.879
2001	28.080	38.304	14.951	15.000	23.438	12.602	5.922
2002	29.180	45.230	15.749	15.758	25.306	12.784	6.148
2003	29.936	47.032	16.561	16.468	27.408	13.449	6.581
2004	31.776	49.920	17.595	17.458	29.476	14.579	7.077
2005	32.368	52.069	17.745	18.957	30.697	15.013	7.462
2006	33.273	53.961	18.373	20.950	33.289	15.525	7.749
2007	34.655	56.476	19.786	23.666	36.505	16.870	8.214
2008	35.332	59.992	20.887	26.622	38.102	17.600	8.605
faktor 08/98	1,4	2,1	1,5	1,8	1,9	1,5	1,6
plsr 98-08	3,6	7,9	4,1	6,0	6,6	4,2	4,8



Slika 7. Prikaz obsega prometa za vsa vozila v obdobju 1998-2008.

Tabela 4. Prometne obremenitve v enoti PLDP za priklopnike in vlačilce po smereh in faktor povečanja prometa v obdobju 1998-2008.

VSA VOZILA	Gorenjski krak	LJ obvoznica	Dolenjski krak	Primorski krak	Štajerski krak	Prekmurski krak	Vipavski krak
1998	345	981	559	937	1.336	733	873
1999	453	1.070	787	1.183	1.483	558	938
2000	552	996	922	1.014	1.636	726	1.023
2001	592	1.388	937	948	1.720	730	1.082
2002	596	2.004	1.103	976	1.984	863	1.236
2003	632	2.088	1.161	960	2.156	976	1.356
2004	784	2.524	1.324	1.440	2.676	1.573	1.477
2005	882	3.012	1.416	2.060	3.326	2.165	1.623
2006	901	3.512	1.480	2.893	3.851	2.446	1.365
2007	1.088	3.918	1.542	4.126	4.608	3.196	1.344
2008	1.186	4.352	1.683	4.694	5.150	3.520	1.359
faktor 08/98	3,4	4,4	3,0	5,0	3,9	4,8	1,6
plsr 98-08	13,2	16,1	11,7	17,5	14,4	17,0	4,5



Slika 8. Prikaz obsega prometa za priklopnike in vlačilce v obdobju 1998-2008.

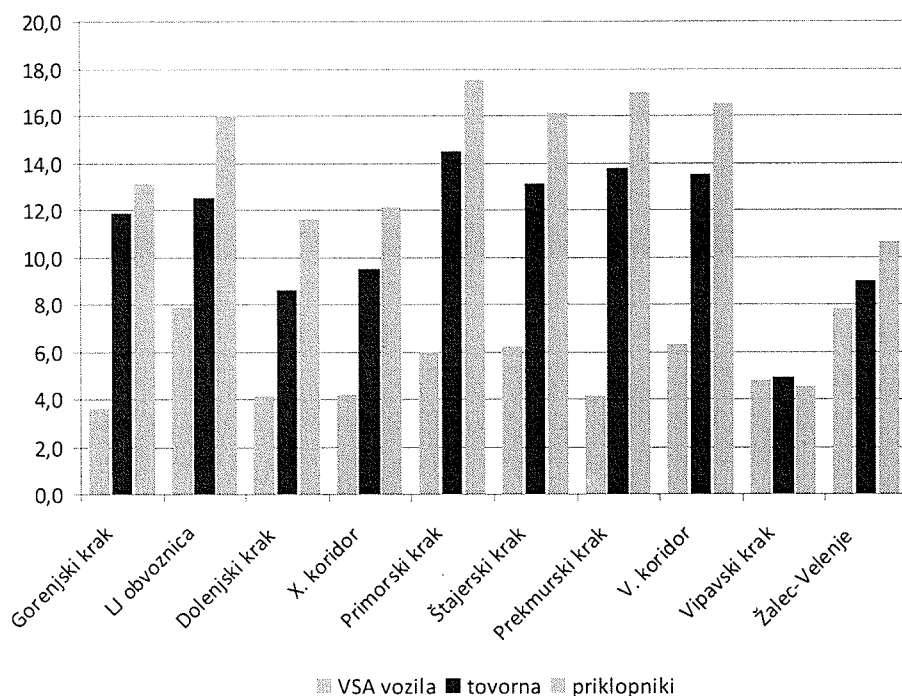
Iz analize rasti obsega prometa priklopnikov in vlačilcev je razvidno, da je bila rast na vseh avtocestnih krakih v preteklem 10 letnem obdobju izjemno visoka in nad pričakovanji. Povprečna letna stopnja rasti (PLSR v %) je bila od 11,7% na Dolenjskem kraku in do 17,5% na Primorskem kraku. Do izrazitega povečanja prometa je prišlo po vstopu Slovenije v EU, kar se

pozna predvsem na V. koridorju, ki ga sestavljajo Primorski, Štajerski in Prekmurski krak, vključno s preходом prestolnice Ljubljane.

Povečanje prometnih obremenitev v obdobju 1998-2008

V obdobju 1998-2008 je promet vseh vozil na X. koridorju (Karavanke – Obrežje) naraščal s 4,2% na leto, tovornih vozil z 9,5% na leto, medtem ko je kategorija priklopnikov in vlačilcev naraščala z 12,1% povprečno letno stopnjo rasti.

Na V. koridorju (Koper – Lendava) so stopnje rasti še višje, kar je tudi posledica hitrejše rasti obsega tranzitnega prometa. Obseg vseh vozil se je povečeval s 6,3% povprečno letno stopnjo rasti, obseg tovornega prometa s 13,5% in obseg priklopnikov in vlačilcev s 16,5% povprečno letno stopnjo rasti.



Slika 9. Prikaz povprečnih letnih stopenj rasti za obdobje 1998-2008.

V obdobju 2006-2008 so bile povprečne letne stopnje rasti še vedno visoke: vsa vozila so imela povprečno letno stopnjo od 3,0% na Gorenjskem kraku, pa do 9,7% na Primorskem kraku. Kategorija tovornih vozil je imela izredno visoke rasti: v V. koridorju nad 16%, priklopniki pa skoraj 20% povprečno letno stopnjo rasti v zadnjih dveh letih.

V letu 2009 pa se je naraščanje prometa zaradi gospodarske krize ustavilo. Tako beležimo zmanjšanje tovornega prometa in sicer glede na posamezne prometne smeri od 5% do 15%.

Podrobnejša analiza prometnih obremenitev po smereh

Ljubljanski avtocestni obroč

Na zahodni obvoznici so bile leta 1999 dosežene največje prometne obremenitve PLDP. Po tem letu se je promet zaradi izgradnje vzhodne obvoznice Ljubljane zmanjšal. Po letu 2002 se prometne obremenitve postopno višajo in v letu 2008 dosega okrog 67.600 PLDP. Povprečna stopnja rasti prometa med letoma 2005 in 2008 znaša za vsa vozila 7%. Obseg tovornega prometa v letu 2008 znaša 10.700 vozil/dan. Težkih tovornih vozil s priklopniki je okrog 40% od vseh tovornih vozil.

Vzhodna obvoznica je prevzela velik del tranzitnega prometa, ki je do leta 1999 potekal mimo Ljubljane po zahodni obvoznici. V letu 2008 je promet znašal 60.000 vozil/dan. Od leta 1999 do 2008 je skupna rast prometa skoraj 150%, kar predstavlja povprečno stopnjo rasti 10% letno. Promet tovornih vozil je od leta 1999 do 2008 narasel za okrog 270%, v letu 2008 je znašal 9.600 vozil/dan, kar predstavlja 16% PLDP.

Podobno kot na zahodni obvoznici Ljubljane je na severni obvoznici (med priključkom na Celovško cesto in rondojem Tomačevo) opazna preusmeritev tranzitnega prometa na smeri Koper – Maribor na vzhodno obvoznico. S tem je bila severna obvoznica delno razbremenjena, vendar je bila v letu 2006 ponovno dosežena podobna prometna obremenitev kot v letu 1999. Obseg povprečnega dnevnega prometa je v letu 2008 obsegal 61.300 vozil/dan. Tovornega prometa je bilo 8.400 vozil, kar predstavlja 14% PLDP.

Promet na južni obvoznici Ljubljane raste. Tako je skupni promet med letoma 2000 in 2008 narasel za dobrih 75%, v letu 2008 je znašal 60.000 vozil/dan. Povečal se je tudi tovorni promet, saj je od leta 2000 do 2008 število tovornih vozil naraslo za dobrih 100%, kar predstavlja povprečno skoraj 10% letno rast.

Promet na severovzhodni obvoznici Ljubljane (na delu med priključkom na Šmartinsko cesto in priključevanjem štajerske avtoceste) hitro narašča. Tako je skupni promet med letoma 2000 in 2008 narasel za dobrih 100%, v letu 2008 je znašal 66.000 vozil/dan. Povečal se je tudi tovorni promet, saj je od leta 2000 do 2008 število tovornih vozil naraslo kar za 160%.

Primorski krak

Promet na avtocesti v bližini Ljubljane proti Primorski intenzivno raste s povprečno letno stopnjo rasti čez 6%. V letu 2008 PLDP na CP Log dosega okrog 54.000 vozil/dan, od tega je 22% tovornih vozil. Rast je predvsem posledica dnevnih primestnih migracij. Povprečni promet proti

morju (CP Videž) dosega 16.900 vozil/dan, od tega tovornih vozil 15%. Povprečna letna stopnja rasti prometa od leta 2001 do 2008 znaša za vsa vozila 7%, za tovorna pa 13%.

Promet na obalni hitri cesti (Bertoki) je znašal v letu 2008 52.800 vozil/dan, od tega 5.400 tovornih. Glede na leto 1990 se je promet povečal za 80%, kar predstavlja letno stopnjo rasti pod 4%.

Na hitri cesti skozi vipavsko dolino je promet v letu 2008 dosegel okrog 12.100 vozil/dan, od tega 2.700 tovornih. Velik del prometa, ki se je pred uvedbo vinjet v juliju 2008 preusmeril proti Novi gorici in zapusti hitro cesto na priključku Vogrsko, zdaj ostaja na tej cesti in tako znaša na CP Bazara PLDP okrog 7.000 vozil/dan, na MP Vrtojba pa je 8.900 vozil/dan, od tega okrog 22% tovornih vozil.

Na avtocesti A3 je bilo v letu 2008 od 10.200 vozil/dan pri Sežani in do 13.500 vozil/dan na CP Dane. Tovornih vozil je okrog 40%, rast prometa pa zadnja leta intenzivno narašča in znaša okrog 20% letno.

Na hitri cesti H5 proti mejnemu prehodu Škofije znaša PLDP 13.900 vozil/dan, od tega je 8% tovornih vozil. Rast prometa znaša 8% povprečno na leto.

Štajerski krak

Prometne obremenitve na avtocesti proti Štajerski intenzivno naraščajo: na vstopu v ljubljanski obroč znaša PLDP 49.000, od tega je 20% tovornih vozil. Promet narašča povprečno 12% letno. Na čelni CP Kompolje je bilo v letu 2008 okrog 36.500 vozil, tovornega prometa je bilo 25%.

Opazen je bil velik porast prometa na AC po uvedbi vinjet v sredini leta 2008, v letu 2007 je bilo namreč na CP Kompolje okrog 10.000 vozil/dan, manj kot leto kasneje. Mimo Trojan je v letu 2008 od 33.000 do 35.600 vozil/dan, pri čemer povprečna letna stopnja rasti prometa znaša na odseku pred priključkom Trojane preko 20%, tovornih vozil pa je okrog 25%. Števena mesta med CP Vransko in CP Tepanje so bila v letu 2008 obremenjena med 26.500 in 35.000 PLDP, pri čemer tovorna vozila v strukturi prometa predstavljajo okrog 27% skupnega prometa. Rast prometa na cestninskih postajah je okrog 10%.

Na avtocesti proti Mariboru PLDP znaša od 31.000 na Tepanjah do 35.900 vozil/dan pri Hočah, povprečna letna stopnja rasti znaša 6%. Na koncu avtoceste pri Mariboru (odsek Slivnica – Ptujška) PLDP dosega cca. 11.300 vozil, je pa zato prometa bistveno več na hitri cesti, kjer prometne obremenitve znašajo med 39.000 in 48.200 vozil/dan, tovornega prometa je okrog 23%. Na CP Pesnica je promet 16.500 vozil/dan, od tega tovorni 19%, na mejnem prehodu Šentilj pa 12.800 vozil. Rast prometa je okoli 5% letno.

Za promet na pomurski avtocesti je značilen zelo visok odstotek tovornega prometa. Ta se giblje od 33% pri Dragučovi, do 46% pri Vučji vasi in do 58% pri Lendavi. Sicer pa je prometa največ proti Mariboru in sicer okrog 17.500 vozil/dan, nato pa pri Vučji vasi pade na 10.800 vozil/dan. Pri Lendavi je 6.700 vozil/dan, pri Pincah le še 4.200 vozil/dan. O rasti prometa še ne moremo govoriti, saj je bil odsek v celoti odprt šele v sredini leta 2008, razen odsek Vučja vas – Beltinci, ker je rast prometa od leta 2003 dalje okrog 31% na leto.

Gorenjski krak

Prometne obremenitve na gorenjskem kraku avtoceste po nekajletni stagnaciji zopet rastejo s približno 4% letno stopnjo rasti. Velik del povečanja predvsem na delu avtoceste med Ljubljano in cestninsko postajo Torovo gre na račun daljinskega prometa. Po uvedbi vinjet v juliju 2008 pa je opazna velika preusmeritev prometa iz vzporednih regionalnih cest na avtocesto. PLDP na števnem mestu Povodje je v letu 2008 dosegel okrog 42.000, na CP Torovo pa okrog 36.000 vozil/dan. Pred uvedbo vinjet je bil promet na CP Torovo 22.200 vozil/dan. Prometne obremenitve mimo Naklega so dosegle v letu 2008 okrog 35.300 vozil/dan, PLDP na mejnem prehodu Karavanke pa 6.700 vozil.

Dolenjski krak

Promet na dolenjskem kraku v zadnjih letih intenzivno narašča (okrog 4 do 5% letno). Pred vstopom v Ljubljano je v letu 2008 dosegel okrog 47.700 vozil/dan, na CP Dob pa okrog 24.000 vozil/dan. Tudi na tem odseku je opaziti večje prometne obremenitve po uvedbi vinjet, saj je bilo npr. leto prej na CP Dob 18.400 vozil/dan. V okolici Trebnjega je 20.900 vozil/dan. Na števnem mestu Zaloke je bilo v letu 2008 14.800 vozil/dan, promet narašča s povprečno letno stopnjo rasti 9% (od leta 2006 do 2008), kjer je tudi največje naraščanje prometa na Dolenjskem kraku. Na samem mejnem prehodu Obrežje prometne obremenitve v zadnjih letih naraščajo minimalno, v letu 2008 so dosegle 9.200 vozil/dan.

Zaključek analize

V okviru ugotavljanja učinkov izvedenih projektov je bilo ugotovljeno, da je bil obseg celotnih prometnih obremenitev, ki je bil napovedan v devetdesetih letih prejšnjega stoletja za obdobje naslednjih 20 let, dosežen bistveno prej kot v 20-ih letih. V nekaterih primerih so bile planirane obremenitve (posebej še za tovorni promet) dosežene tudi v manj kot desetih letih po predaji novih cest v promet. Razlogi so v konservativnem planiranju prometnih obremenitev in v

nepredvideni visoki gospodarski rasti, ki je nastala v tem obdobju, posebno po vstopu Slovenije v EU.

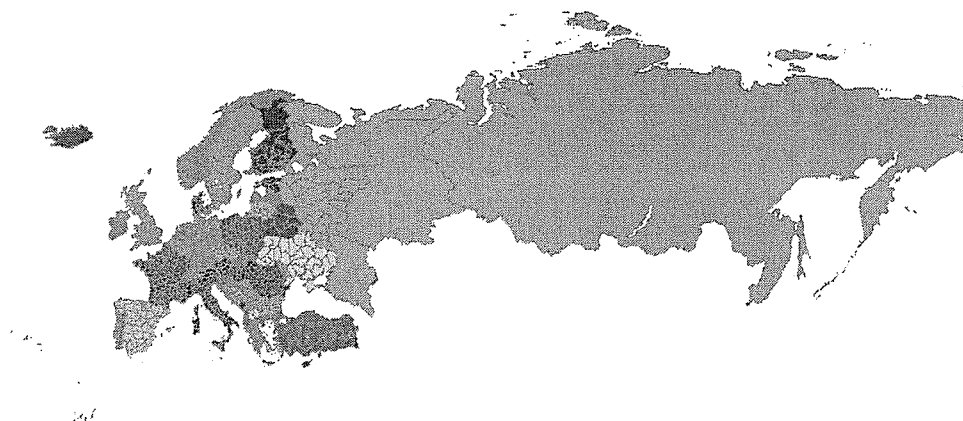
Navedene analize za obdobje preteklih 10 let in preteklih dveh let kažejo izrazito visoke povprečne stopnje rasti prometa. Posebej to velja za kategorije tovornih vozil, še posebej priklopnikov. Prav kategorije tovornih vozil, posebej še priklopnikov, najbolj kvarno delujejo na vozišča in ob avtocestni prostor.

4.2. Prometni model Evrope TransTools

TransTools je najkompleksnejši do sedaj razviti prometni model Evrope. Model omogoča napoved sprememb prometnih tokov kot posledic gospodarske rasti, sprememb rabe površin, infrastrukture in ukrepov prometne politike.

Model pokriva tako potniški kot tovorni promet na cestnem, železniškem, vodnem in zračnem omrežju.

Prostorsko pokriva celotno Evropo in azijski del Turčije in Rusije.



Slika 10. Območje »obdelave« modela TransTools.

Model je rezultat projekta 6.okvirnega raziskovalnega programa EU, ki je potekal med leti 2002 in 2006. Pri projektu so sodelovali:

- TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research Building and Construction Research (NL)
- NEA Transport Research and Training (NL),
- TRT Trasporti e Territorio Srl (I),

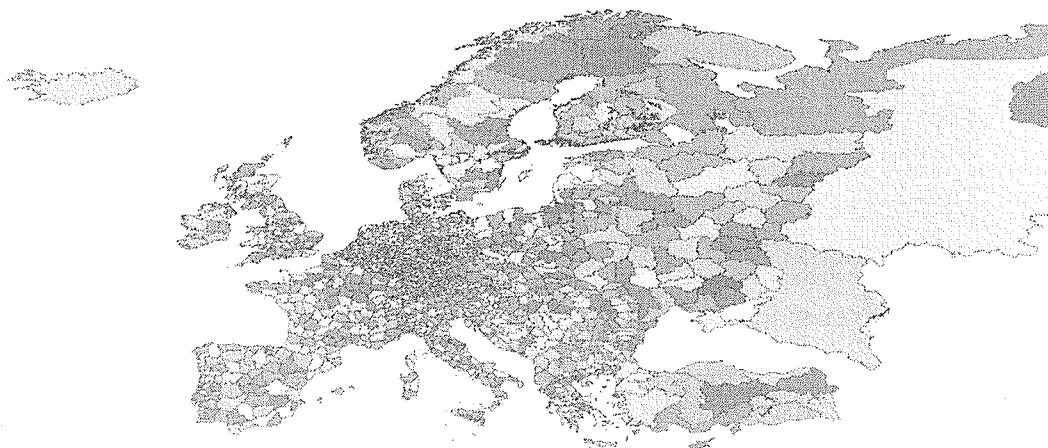
- IWW Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung - Universität Karlsruhe (D),
- CAU Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (D),
- CTT Centre for Traffic and Transport Research DTU - Technical University of Denmark (DK),
- JRC IPTS - Institute for Prospective Technological Studies (E)
- ISIS Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi (I)

TransTools model je verjetno največji prometni model na svetu glede na populacijo in GDP in število držav (55).

Njegova prednost je, da je kot rezultat evropskega raziskovalnega projekta na voljo zastonj. Za uporabo je potreben zgolj programski paket ArcGIS firme ESRI z dodatnim modulom Traffic Analyst firme Rapidis.

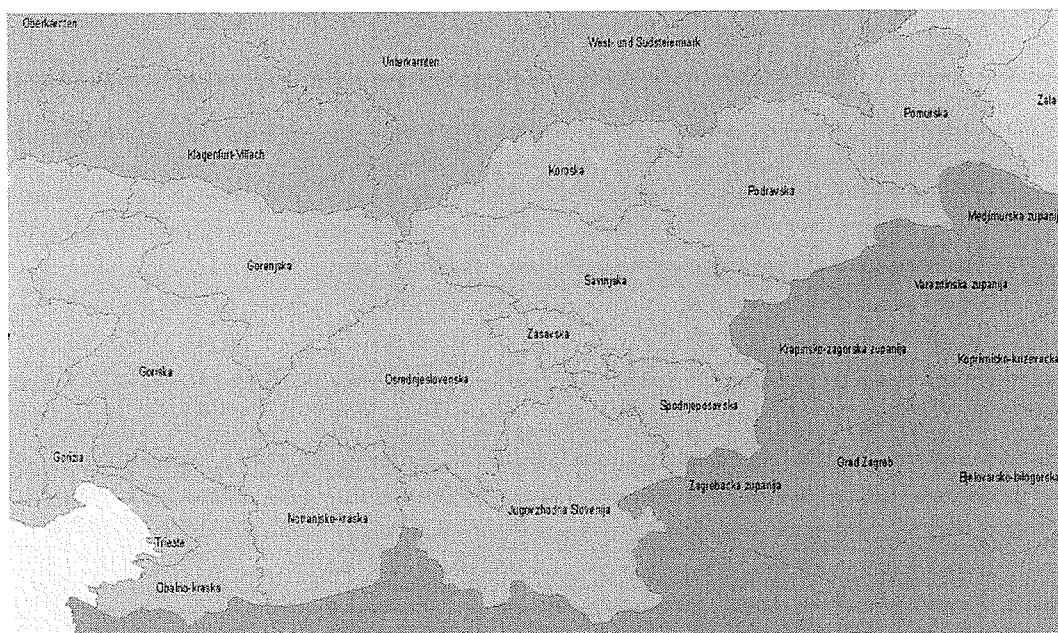
Coning

Model je zgrajen na evropskem sistemu coniranja NUTS3. Območje, ki ga zajema je razdeljeno na 1440 con.



Slika 11. Coning modela TransTools.

Območje Slovenije je razdeljeno na 12 con.



Slika 12. Coning modela TransTools na območju Republike Slovenije.

Za modeliranje so uporabljeni naslednji podatki o conah:

- Prebivalstvo
- Delovna mesta
- GDP
- Lastništvo vozil
- Kapaciteta hotelov
- Pariteta kupne moči

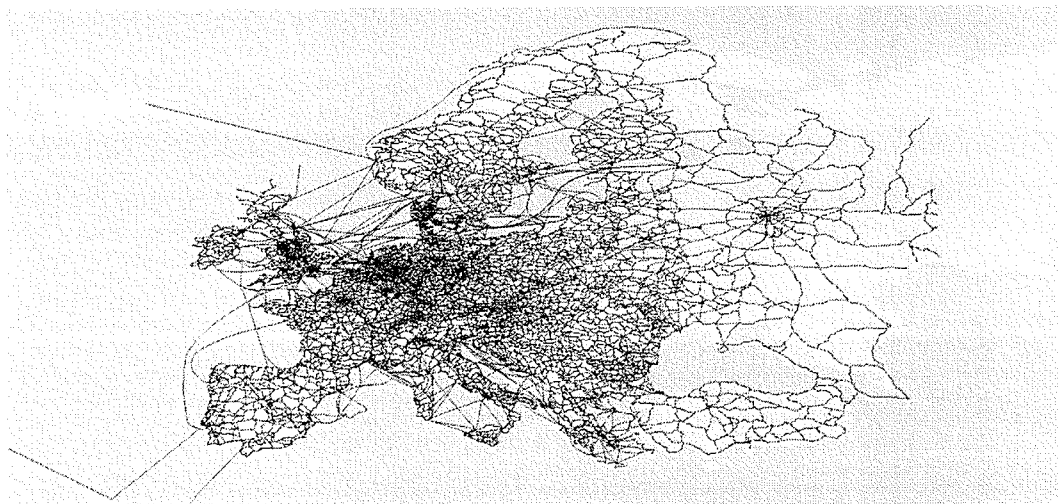
Vir teh podatkov predstavlja evropska baza EUROSTAT.

Transportna omrežja

V modelu so zajeta cestno, železniško, vodno in zračno transportno omrežje.

Cestno omrežje

Cestno omrežje obsega 36190 odsekov v skupni dolžini cca 500,000 km, 23330 vozlišč. V cestno omrežje sta vključeni tudi 302 trajektni liniji.



Slika 13. Prikaz evropskega cestnega omrežja v modelu TransTools.

Cestno omrežje v Sloveniji je razdeljeno na 46 cestnih odsekov v skupni dolžini 19760 km in predstavlja stanje omrežja v letu 2005.



Slika 14. Prikaz slovenskega cestnega omrežja v modelu TransTools.

Pri modeliranju so uporabljeni naslednji podatki o omrežju:

- Hitrost prostega prometnega toka
- Število pasov
- Tip:
 - Avtocesta
 - Cesta z deljenimi pasovi

- Mestna
- Izvenmestna
- Mestna cesta
- Trajekt
- Urna kapaciteta
- Dolžina
- Nacionalna in evropska oznaka
- Cestnina (za osebna, za tovorna vozila)
- Frekvenca trajektov
- ...

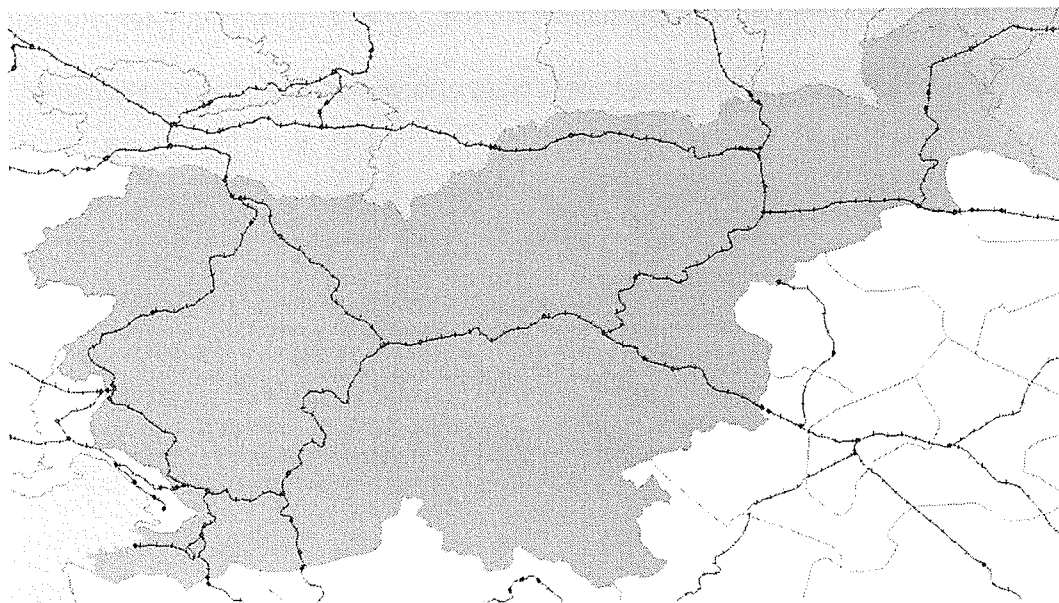
Železniško omrežje

Železniško omrežje obsega 5600 odsekov v skupni dolžini 180,000 km in 4500 vozlišč.



Slika 15. Prikaz evropskega železniškega omrežja v modelu TransTools.

Slovensko železniško omrežje je razdeljeno na 48 odsekov v skupni dolžini 774 km.



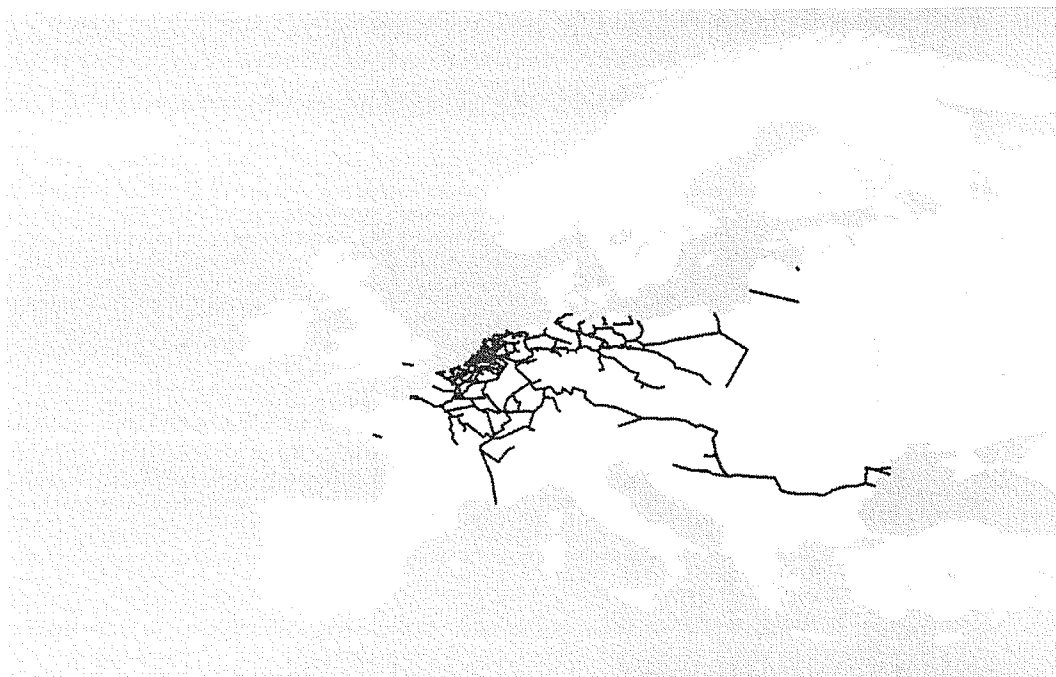
Slika 16. Prikaz slovenskega železniškega omrežja v modelu TransTools.

Za modeliranje so uporabljeni naslednji atributi omrežja:

- Hitrost
- Število tirov
- Dolžina
- Razred
 - Konvencionalna
 - Modernizirana
 - Nova
 - Trajekt
- frekvenca

Vodne poti

Plovno omrežje obsega 808 odsekov v skupni dolžini cca 22000 km.



Slika 17. Prikaz omrežja notranjih plovnih poti v modelu TransTools.

Za modeliranje so uporabljeni naslednji atributi:

- Dolžina
- Hitrost
- tip

Zračne poti

V model je vključeno 450 letališč in preko 8000 povezav med njimi. Za modeliranje so uporabljeni naslednji atributi:

- Dolžina
- Čas
- Cena
- Čas prestopanja
- Frekvenca

4.3. Model potniškega prometa

Kljub temu, da smo se v okviru našega projekta osredotočili na modeliranje blagovnega prometa na kratko opisujemo tudi model potniškega prometa, ki je uporabljen v modelu TransTools.

Model potniškega prometa je klasični štirifazni transportni model.

Model izračuna potovanja ločeno po 4 namenih:

- Dom – služba
- Dom – opravki
- Dom – dopust
- Dom – službena pot

Prva faza t.i. generacija temelji na modelu ASTRA. Glavni faktorji, ki vplivajo na generacijo potniškega prometa so demografska struktura, zaposlenost in lastništvo vozil. Število produkcij se izračuna iz

$$T_{i,AS,Emp,CO,TP} = POP_{i,AS,Emp,CO} * TR_{i,AS,Emp,CO,TP}$$

kjer je:

T_i število potovanj začetih v coni i

POP_i število prebivalcev v coni I (ločeno na, zaposlene in nezaposlene (EMP) in po lastništvu vozil (CO))

TR_i število potovanj na prebivalca v kategoriji

Distribucija potniškega prometa

Distribucija potniškega prometa je izvedena z uporabo logit modela:

$$T_{i,j,TP} = T_{i,TP} * \left(\frac{\exp^{((- \lambda_{i,j,TP} * AGT_{i,j,TP}) + SD_{i,j,TP})}}{\sum_j \exp^{((- \lambda_{i,j,TP} * AGT_{i,j,TP}) + SD_{i,j,TP})}} \right)$$

kjer je:

$T_{i,j,TP}$ število potovanj iz cono I v cono j z namenom TP

$T_{i,TP}$ število potovanj z namenom TP, ki se generira v coni i

AGT povprečni generalizirani stroški iz cone I v cono j

SD standardna deviacija AGT

Izbira prometnega sredstva potniškega prometa

Verjetnost izbire posamezne vrste prometnega sredstva (modal split) se izračuna z uporabo logit modela:

$$P(m|(i, j)) = \frac{\exp(U_m)}{\sum_{m' \in C((i, j))} \exp(U_{m'})}$$

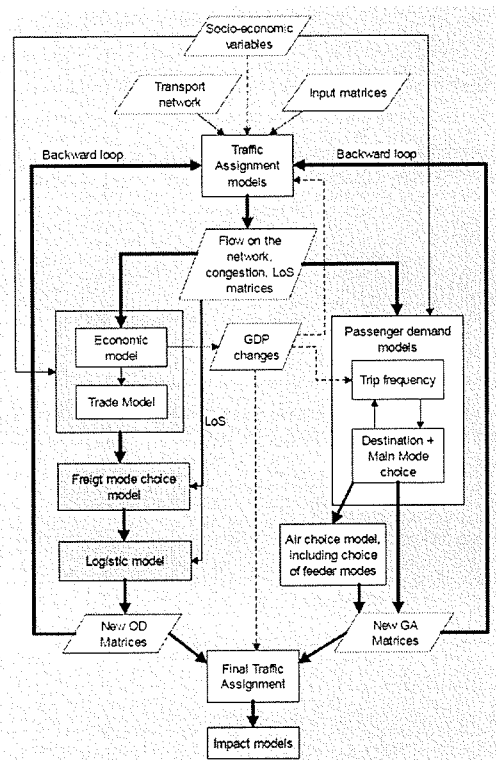
kjer je U_m uporabnost vrste sredstva in se izračuna iz

$$U_m = \beta_{m0} + \sum_k \beta_{mk} X_{mk}^{(\lambda_{mk})}$$

Obremenjevanje potniškega prometa

Za zadnjo fazo je uporabljeno stohastično obremenjevanje, ki je podrobneje opisano pri blagovnem prometu.

4.4. Model blagovnega prometa



Slika 18. Osnovni diagram procesov modela TransTools.

Napoved tovrnega prometa se začne z napovedjo blagovne menjave med conami, sledi izbira prometnega sredstva, logističnih centrov in izbira poti. Posamezni koraki so podrobneje opisani v nadaljevanju.

Model blagovne menjave

Osnova za napoved blagovne menjave so matrike blagovnih tokov za posamezne blagovne skupine za bazno leto, ki so bila pridobljene iz statistične baze podatkov ETIS za leto 2000.

Pridobljene so bile matrike za naslednje blagovne skupine (po klasifikaciji NSTR):

- 0 kmetijski pridelki in žive živali
- 1 živila in živalska krma
- 2 trdna mineralna goriva
- 3 surova nafta
- 4 odpadki
- 5 kovinski izdelki
- 6 surovi in predelani materiali, gradbeni materiali
- 7 gnojila
- 8 kemikalije
- 9 stroji, transportna oprema, industrijski in mešani izdelki
- 10 naftni derivati

Matrike predstavljajo blagovno menjavo med regijami na nivoju NUTS2.

Blagovna menjava je posledica specializacije posameznih regij in držav. To pomeni, da regija oz. država proizvaja in izvažata blago, za katero ima komparativno prednost.

Prvi korak pri modeliranju je bil ugotoviti odvisnost blagovne menjave med conami od ekonomskih faktorjev in oddaljenosti med posameznimi conami.

To odvisnost lahko zapišemo v naslednji obliki:

$$T_{ijg} = \alpha_1 P_{ig}^{\alpha_2} A_{jg}^{\alpha_3} D_{ij}^{\alpha_4} e^{\alpha_5 DUMMY}$$

kjer je

- T_{ijg} blagovna menjava blagovne skupin g med conama i in j v tonah
- P_{ig} dodana vrednost sektorja, ki proizvaja blagovno skupino g v coni i
- A_{jg} dodana vrednost sektorja, ki porablja blagovno skupino g v coni j

D_{ij}	upor, ki predstavlja generalizirane stroške (čas potovanja, razdalja, cestnina, ...) med cono i in j
$DUMMY$	spremenljivka, ki omogoča modeliranje posebnih ekonomskih povezav med cono i in j (npr. skupni trg,...)
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$	parametri modela

Z uporabo statističnih podatkov ETIS so bile ugotovljene vrednosti parametrov

Ta odvisnost predstavlja neko obliko gravitacijskega modela, saj je blagovna menjava med dvema conama odvisna od proizvodnje izvorne cone, potrošnje ciljne cone in njune medsebojne oddaljenosti.

Ob predpostavki, da bo ta odvisnost veljala tudi v prihodnosti je izdelana napoved bodoče menjave na osnovi rasti gospodarstva posameznih regij, bolj točno na osnovi rasti proizvodnje posamezne blagovne skupine začetne cone in na osnovi rasti potrošnje ciljne cone.

Napoved bodoče menjave torej ob tej predpostavki izračunamo na naslednji način:

$$T_{ij}^f = T_{ij}^b \left(\frac{P_{ig}^f}{P_{ig}^b} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{A_{jg}^f}{A_{jg}^b} \right)^{\alpha_3} \left(\frac{D_{ij}^f}{D_{ij}^b} \right)^{\alpha_4} e^{DUMMY(f) - DUMMY(b)}$$

Kjer f pomeni ciljno leto (future), b pa bazno leto.

Model izbire prometnega sredstva

Z modelom izbire prometnega sredstva določimo delež prevozov blaga določene blagovne skupine med posameznim parom con, ki se opravi s posamezno vrsto prometnega sredstva. Model omogoča izbiro naslednji prometnih sredstev:

- Tovorna vozila
- Železnica
- Rečni promet
- Pomorski promet

Za določitev verjetnosti izbire posameznega sredstva je uporabljen logit model:

$$P_{m|cij} = \frac{e^{V_{m|cij}}}{\sum_{l \in M} e^{V_{l|cij}}}$$

kjer je:

$$V_{m|cij} = \beta_{m0} + \sum_k \beta_{mk} x_{cijmk}$$

kjer je:

M	množica vrst sredstev, ki so na voljo
$P_{m cij}$	verjetnost izbire sredstva m za prevoz blagovne skupine c na relaciji med cono i in cono j
$V_{m cij}$	uporabnost sredstva m za prevoz blagovne skupine c na relaciji med cono i in cono j
x_{cijmk}	parameter potovanja k sredstva m za prevoz blagovne skupine c na relaciji med cono i in cono j
β_{mk}	parameter za sredstvo m in nivo uslug k .

Za določitev uporabnosti sredstva so uporabljeni naslednji parametri potovanja

- Potovalni časi s posameznim sredstvom (čas vožnje, čas čakanja, skupni čas)
- Stroški (fiksni stroški na uro, stroški čakanja, spremenljivi stroški na km, stroški porabe goriva, cestnina...)
- Upor na meji
- Skupna tonaža

Parametri modela so določeni na osnovi podatkov baznega leta, to je matrik blagovnih tokov ETIS. V matriki blagovnih tokov podatkovne baze ETIS so tudi podatki o vrstah prometnih sredstev, ki se uporabljajo.

Matrike imajo naslednjo obliko

- Začetna cona, prva sprememba sredstva, druga sprememba sredstva, ciljna cona
- Vrsta sredstva na začetku, vrsta po spremembi in na cilju
- Blagovna skupina
- Prepeljane tone

Sprememba izbire prometnega sredstva za ciljno leto se izračuna z uporabo napovedanih parametrov potovanja za ciljno leto (časov, razdalj, stroškov itd).

Model logistike

V zadnjih desetletjih narašča skupno število tonskih kilometrov hitreje kot pa skupno število prepeljanega blaga v tonah. To je deloma posledica tega, da se je podaljšala povprečna razdalja prevoza, po drugi strani pa zato, ker se je povečala uporaba distribucijskih centrov. Dandanes gre okoli 40% produktov skozi distribucijske centre in ne več direktno od proizvajalca do porabnika.

Model logistike omogoča oceno učinkov sprememb v organizaciji logistike (spremembe v številu in lokacijah logističnih centrov) na prometne tokove.

Model obremenjevanja

V modelu je uporabljeno stohastično obremenjevanje mreže. Odločitev za to metodo temelji na naslednjih dejstvih:

- Potniki in vozniki ne poznajo točno potovalnih časov in stroškov po vseh možnih poteh
- Potovalni časi se lahko iz dneva v dan spreminjajo
- Včasih potniki izberejo drugo pot zgolj zaradi spremembe
- Različni potniki imajo lahko različne preference glede izbire poti

Verjetnost izbire poti se izračuna z uporabo Probit modela.

Obremenjevanje cestnega omrežja

Pri cestnem omrežju se pri izbiri poti upoštevajo tudi stroški cestnin. Metoda predpostavlja lognormalno porazdelitev vrednosti časa (VOT) in upošteva razlike v VOT glede na izvor potovanja. Razlike se upoštevajo z upoštevanjem paritete kupne moči.

Za izračun podaljšanja potovalnega časa zaradi prometa se upošteva tudi lokalni promet, ki je vnesen v omrežje kot predobremenitev.

Obremenjevanje železniškega omrežja

Pri izbiri poti se upošteva čas in stroške potovanja, kjer pa se čas računa na osnovi dolžine in hitrosti, ne pa voznega reda.

Obremenjevanje vodnih poti

Za razliko od ostalih omrežij se pri vodnih poteh uporablja metoda vse ali nič.

Obremenjevanje zračnih poti

Poleg same izbire zračne poti se določi tudi način dostopa do in z letališča.

Ekonomski model

Ekonomski model omogoča oceno učinkov sprememb prometne politike na obseg povpraševanja po blagovnih skupinah v posameznih conah in s tem posredno na obseg blagovnih tokov ter obseg gospodarske rasti posameznih con.

4.5. Rezultati modela TransTools

Končni rezultati modela so prometne obremenitve ločeno za potnike, vozila in tovor po odsekih na cestnem, železniškem, avtobusi, vodnem, zračnem omrežju.

Prometne obremenitve lahko dobimo ločeno po namenih, blagovnih skupinah NSTR in časovnih obdobjih: jutranja konica, izven konica, popoldanska konica, PLDP, povprečni delavnik, vikend in sezona.

Rezultat modela so tudi stroški uporabnikov, emisije, poraba goriva in eksterni stroški.

4.6. Kalibracija in validacija modela

V okviru projekta TransTools je bila izdelana tudi kalibracija in validacija modela na evropskem nivoju. Izdelana je bila agregirana validacija glede na podatke v EC Pocketbook za leto 2005.

Izvedena je bila primerjava skupnih potniških in ton kilometrov.

Tabela 5. Primerjava skupnih potniških in ton kilometrov.

Potniški	Razlika
Osebni	0%
Železnice	0%
BUS	-1%
Tovorni	Razlika
Tovornjaki	-5%
Železnice	8%
Vodne poti	-7%

Agregirana validacija nakazuje dobro kalibriranost modela, vendar podrobnejša validacija, ki je prikazana v naslednjem poglavju to demantira.

4.7. Validacija modela v Sloveniji

Ustreznost modela smo preverili s primerjavo modeliranih prometnih obremenitev in števnih podatkov za bazno leto 2005. Primerjavo smo izvedli na 59 števnih mestih, ki ležijo na državni meji in na mejah con znotraj Slovenije. Primerjali smo PLDP in promet tovornih vozil.

Rezultati primerjave in karta primerjalnih mest so podani v prilogah.

Rezultati kažejo, da se rezultati modela razlikujejo od števnih podatkov za manj kot 10% samo na dveh od 59 števnih mest, koeficient korelacije je zgolj 0,53, kar kaže, da je potrebno model za nadaljnjo uporabo precej kalibrirati.

Tako slaba kalibriranost nas je zelo presenetila, zato smo preverili šteвне podatke, ki so bili uporabljeni v modelu TransTools za validacijo in ugotovili, da se zelo razlikujejo od naših števnih podatkov. Niti eden od 13 števnih podatkov se od naših števnih podatkov ne razlikuje manj od 10%.

4.8. Verifikacija modela

Z verifikacijo modela smo preverili, ali se model odziva v pravi smeri na spremembe parametrov posameznih scenarijev. Zanima nas samo prava smer, ne pa tudi velikost odziva.

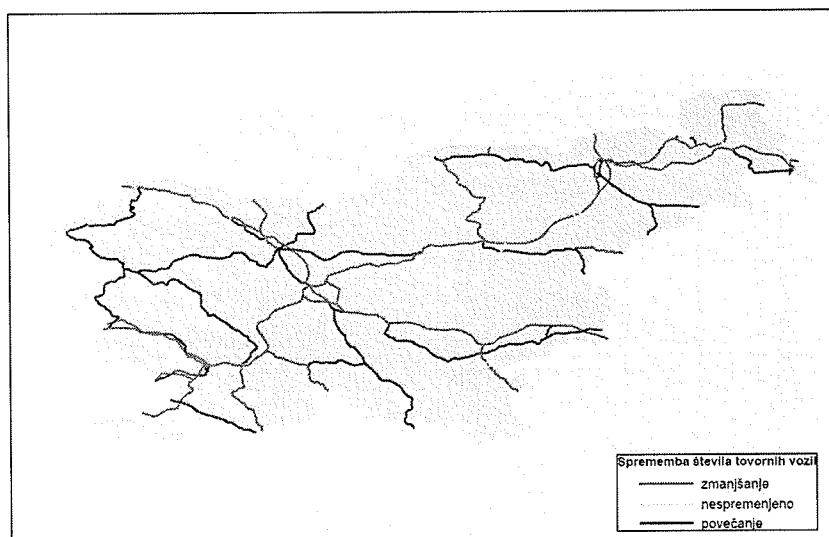
Verificirali smo naslednje scenarije:

- Sprememba cestnine za tovorni promet v Sloveniji
- Sprememba rasti GDP v državah Z Balkana
- Sprememba čakalnih časov na meji
- Dodajanje novih odsekov

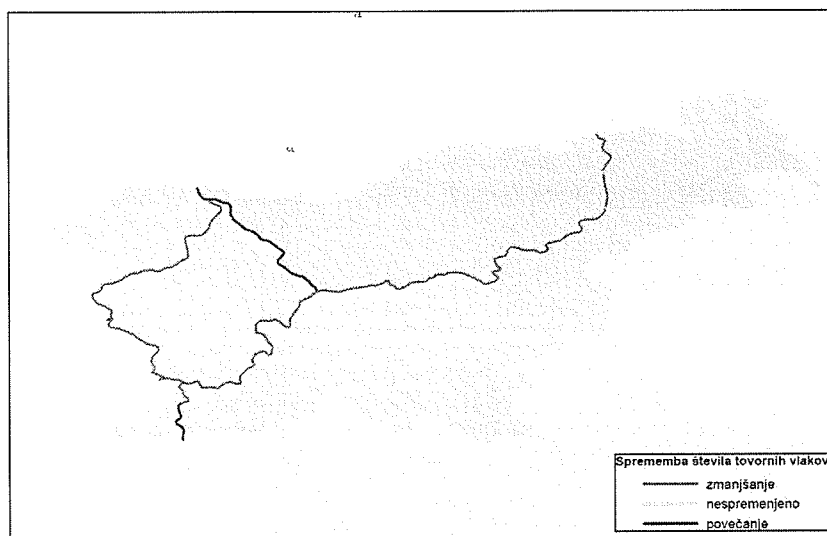
Scenarij 1: Sprememba cestnine za tovorni promet v Sloveniji

V tem testnem scenariju smo povečali cestnino za tovorni promet za 100% iz 0,16 eur/km na 0,32 eur/km na vseh AC in HC.

Rezultat te spremembe dvojen: del tovornega prometa se preusmeri na vlake, del pa na necestninske ceste.



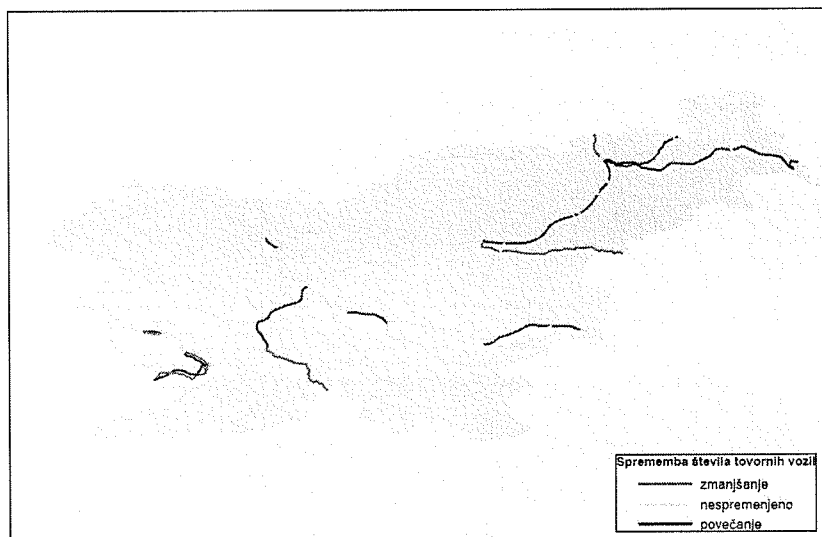
Slika 19. Sprememba števila tovornih vozil zaradi povečane cestnine za tovorni promet v Sloveniji.



Slika 20. Sprememba števila tovornih vlakov zaradi povečane cestnine za tovorni promet v Sloveniji.

Scenarij 2: Sprememba rasti GDP v državah Z Balkana

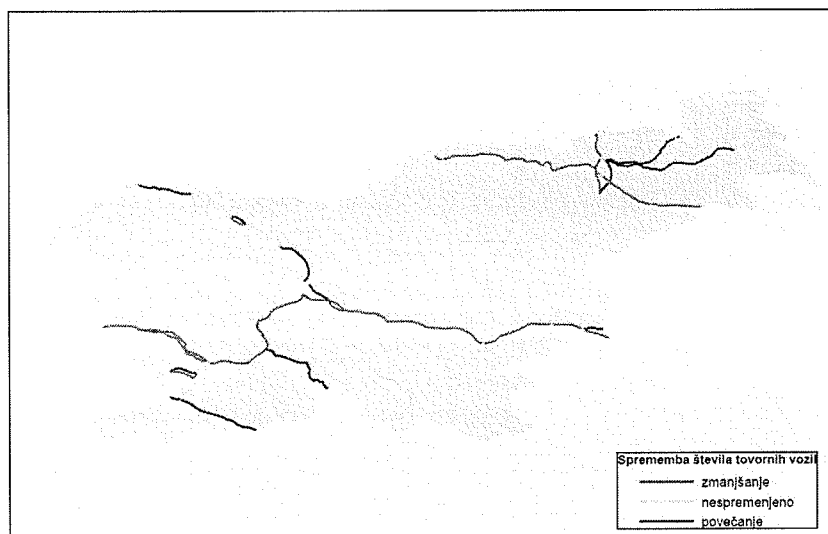
S tem scenarijem smo želeli testirati odzivnost modela na hitrejšo rast GDP v Hrvaški, Bosni in Srbiji, ki bo predvidoma sledila vključitvi teh držav v EU. Model logično napove hitrejšo rast prometa tudi v Sloveniji.



Slika 21. Sprememba števila tovornih vozil zaradi rasti GDP v državah Z Balkana.

Scenarij 3: Sprememba čakalnih časov na mejah

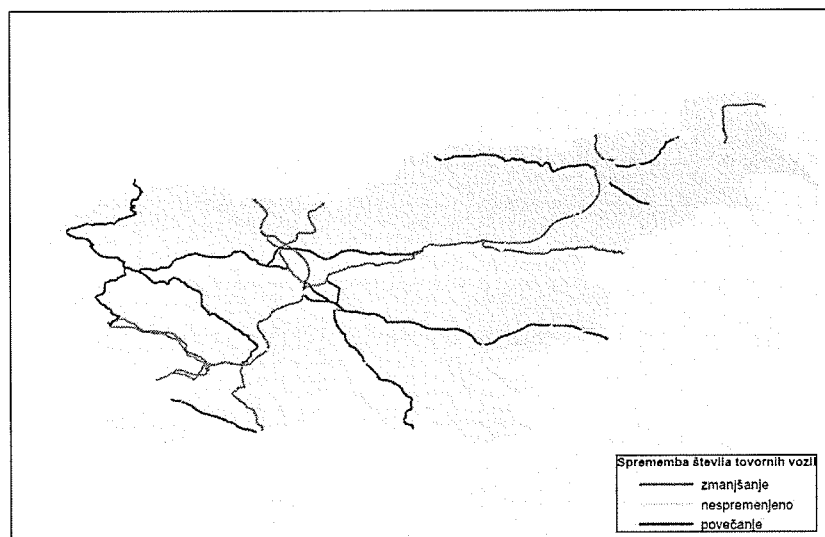
S tem scenarijem smo želeli testirati odzivnost modela na vključitev držav Z Balkana v Schengensko območje in s tem ukinitve čakanja tovornih vozil na mejah. Model logično napove hitrejšo rast tovarnega prometa na cestah v Sloveniji, ki vodijo proti državam Z Balkana.



Slika 22. Sprememba števila tovornih vozil zaradi zmanjšanja čakalnih časov na meji.

Scenarij 4: Sprememba omrežja

S tem scenarijem smo želeli testirati odzivnost modela na spremembo omrežja. V osnovni scenarij leta 2005 smo dodali predor Šentvid. Model logično napove prometne obremenitve v predoru, pojavijo pa se nekatere nelogične spremembe na ostalem omrežju, ki jih trenutno ne znamo pojasniti.



Slika 23. Sprememba števila tovornih vozil zaradi spremembe omrežja.

4.9. Prenos modela v Visum

Zaradi izredno dolgega časa izračuna je kalibracija in validacija modela baznega leta ter preigravanje različnih scenarijev izjemno zamudno. Zato smo se odločili, da preizkusimo, kakšna bi bila odzivnost modela v VISUMU.

Najbolj zamudna faza izračuna modela je network assignment, ki v TransTools traja okoli 24ur na računalniku s procesorjem Intel Core i7 2600k 3.4-3.8 GHz z osmimi nitmi, zato smo se odločili, da v okviru tega projekta testiramo zgolj čas izračuna te faze.

Zaradi omejitev licence VISUMA, ki jo imamo na razpolago (glej tabela), je bilo potrebno podatke iz modela TransTools predelati.

Tabela 6. Omejitve licence VISUMA.

	Omejitev VISUM licence
cone	600
linki	75000
vozlišča	30000

Največje težave je predstavljala predelava coninga. V TransTools modelu je 1441 con, ki predstavljajo cone NUTS3. V primeru, da bi se odločili za nivo con NUTS2, bi število con zmanjšali na 277, vendar bi bila potem celotna Slovenija ena cona. Odločili smo se, da bomo za Slovenijo in sosednje države uporabili nivo con NUTS3, za ostale države pa nivo con NUTS2. Tako smo zreducirali število con na 430.

Istočasno s predelavo coninga je bilo potrebno predelati tudi matrike za osebni in tovorni promet po cesti.

Cestno mrežo smo iz personal geodatabase izvozili v shape datoteke ter jih uvozili v VISUM kot mrežo. Po uvozu smo morali popraviti nekatere topološke nepravilnosti in zgenerirati konektorje med conami in vozlišči v mreži.

TransTools omogoča zgolj uporabo stohastičnega obremenjevanja, medtem ko VISUM omogoča uporabo naslednjih metod obremenjevanja

- inkrementalno
- ravnovesno
- ravnovesno LUCE
- ravnovesno LOHSE
- z uporabo ICA

- stohastično
- Tribut ravnovesno
- Tribut z učenjem
- dinamično ravnovesno
- dinamično stohastično

Pri testiranju hitrosti smo poleg stohastične metode uporabili tudi tri metode, ki so v VISUMU implementirane tako, da algoritmi znajo izkoriščati več niti. Časi izračunov posameznih metod so prikazani v naslednji tabeli.

Tabela 7. Časi izračunov posameznih metod v VISUMU.

	čas
stohastična	12h 24min
ravnovesno LUCE	47 s
ravnovesno LOHSE	1min 24 s
Tribut z učenjem	4min 39 s

Iz tabele vidimo, da je izračun z uporabo stohastične metode tudi v VISUMU dokaj dolgotrajen. Izračun z uporabo ostalih metod pa je v VISUMU bistveno hitrejši, zlasti izstopa ravnovesno obremenjevanje po metodi LUCE. Res je, da smo v VISUMU izračunali obremenjevanje zgolj za osebna vozila in za PLDP, vendar predstavlja je cestno omrežje najbolj kompleksno. Torej bi bil izračun celotnega obremenjevanja (osebna vozila, tovorna vozila, potniški vlaki, tovorni vlaki, letalski promet, vodne poti) in to za PLDP, jutranjo konico, opoldansko konico, popoldansko konico, delavnik, praznik) največ $7 \times 6 = 42$ krat večji, kar je še vedno bistveno (pri metodi ravnovesno LUCE kar 24x) manj kot pri TransToolsu.

Zavedati se moramo, da tudi manjše število con pomeni krajši čas izračuna, zato bi bilo smiselno preveriti čas izračuna z licenco, ki omogoča uporabo originalnega števila con.

Menimo pa, da modificiran coning zadošča za potrebe analiziranja vplivov ukrepov prometne politike Slovenije na tranzitne blagovne tokove.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo potrebno primerjati tudi razlike v rezultatih izračuna po posameznih metodah in jih primerjati z dejansko preštetimi vrednostmi.

4.10. Zaključki in priporočila

Hitro naraščanje cestnega tovornega prometa na slovenskem omrežju prinaša vedno težje probleme in zahteva čimprejšnje ukrepanje. Izboljšanje situacije je sicer možno z izgradnjo nove infrastrukture (novi odseki in širitev obstoječih) vendar trajnostni razvoj narekuje izbor ukrepov, ki bi preusmerili blagovni promet na ostala sredstva, zlasti železnico. Pred izvedbo ukrepov je potrebno z modelom preveriti njihovo ustreznost in učinkovitost. Verjetno najkompleksnejši model v evropskem prostoru je model TransTools, ki je rezultat projekta 6.okvirnega evropskega raziskovalnega programa. Podrobnejša validacija modela, ki smo jo izvedli v okviru tega projekta je pokazala, da je model na območju dokaj slabo kalibriran in zahteva precejšnje dodelavo. Kvalitativna verifikacija odzivnosti modela je pokazala, da se model na posamezne ukrepe prometne politike odziva logično vendar je potrebna še kvantitativna verifikacija. Tekom projekta smo ugotovili, da je časovna odzivnost modela dokaj slaba in zelo otežuje kalibracijo in uporabo modela, saj moramo na rezultate simulacije čakati več kot 24 ur. Zato smo del modela prenesli v okolje VISUM, in ugotovili, da je možno simulacijo precej pospešiti. Potrebno pa je seveda biti pozoren na razlike v rezultatih ob uporabi različnim metod. Predlagamo, da se model prenese v VISUM in se ga podrobneje kalibrira v tem okolju.

Modeliranje izbora sredstva za migracije na delo

5.1. Uvod in naloga

Naloga

Razviti in umeriti model (to je enačbo!), ki bo opisoval, kako se obnašajo dnevni migranti², to je tisti, ki se iz nekega naselja dnevno (ali skoraj vsak dan) vozijo na delo v drugo naselje.

Namen

Omogočiti načrtovalcem prometnih politik bolj verodostojno in zanesljivo napovedovanje posledic in učinkov določenih sklopov ukrepov.

Omejitve

Enačbe postaviti, validirati in umeriti za potovanja na delo.

Enačbe postaviti, validirati in umeriti le za Ljubljano, Maribor in Celje.

² Gabrovec in Bole predlagata v poglavju 1.3 »Terminološko-metodološke zagate« vira Dnevna mobilnost v Sloveniji Gabrovec bolj precizne izraze. Namesto dnevni migrant bi bil z vidika analize izbora sredstva ustrežnejši izraz »vozač na delo«. Prav tako obstaja dilema ali je bolje uporabljati izraz »sredstvo« ali pa »način« potovanja (Gabrovec 2009).

5.2. Metodologija

Binarno diskretno odločanje

Odločamo se med dvema možnostima, za uporabo osebnega avtomobila (v nadaljevanju OA) ali za uporabo sredstev javnega potniškega prometa (v nadaljevanju JPP). Izračunavamo deleže uporabnikov ene izmed dveh možnosti.

V splošnem sta na voljo dva osnovna pristopa:

- **Analiza kategorij + vse ali nič.** Po tej metodi celotno obravnavano populacijo razdelimo na kategorije ali skupine, za katere vemo ali upravičeno menimo, da imajo homogeno mobilnostno obnašanje oziroma »pač izberejo edino ali najboljšo opcijo«. Pri tem je osrednje vprašanje kriterija kategorizacije oziroma števila kategorij. Za neko uporabno veljavnost, bi potrebovali veliko število kategorij, kategorizacijo bi morali opraviti na podlagi socio-ekonomskih lastnosti (! težave pridobivanja ustreznih podatkov).
- **Logistična** ali kakršna-koli druga **distribucija**; kjer populacija ostane ena sama, se pa na podlagi zakonitosti (enačbe) odloča tudi za ponudbo, ki »ni najboljša«. Pri tem je osrednji problem kako umeriti enačbo (sicer eno samo), da bo veljavna. Prednost te metode je, da poznamo splošni modal split iz popisa prebivalstva in je torej eksperiment za potrebe verifikacije enačbe »na voljo«.

Možna bi bila (seveda) kombinacija »**analiza kategorij + logistična distribucija znotraj kategorije**«; kjer populacijo razdelimo sicer na manjše število kategorij (npr.: dve kategoriji lastniki/vozniki : nevozniki; delitev po kategorijah prihodkov; delitve glede na možnosti parkiranja ...).

Izbran pristop

Vzeti **logit enačbo** oblike:

$$p_{ij}^1 = T_{ij}^1 / T_{ij} = e^{-\beta \cdot c_{ij}^1} / (e^{-\beta \cdot c_{ij}^1} + e^{-\beta \cdot c_{ij}^2}) \quad (1)$$

kjer so:

- p_{ij}^1 Verjetnost, da bo za potovanje med naseljema »i« in »j« izmed dveh možnosti izbrana ponujena možnost »1«.
- c_{ij}^1 Posplošeni stroški potovanja med naseljem »i« in naseljem »j« prve ponujene možnosti (oziroma na način »1«)

- c_{ij}^2 Posplošeni stroški potovanja med naseljem »i« in naseljem »j« druge ponujene možnosti (oziroma na način »2«)
- β Koeficient, ki določa strmino logit krivulje.
- T_{ij}^1 Število potovanj med naseljem »i« in naseljem »j«, ki se opravijo na način »1«.
- T_{ij} Število vseh potovanj med naseljem »i« in naseljem »j«.

Ker obravnavamo ponudbo JPP in ponudbo OA, lahko enačbo (1) zapišemo na preglednejši način:

$$p_{ij}^{JPP} = T_{ij}^{JPP} / T_{ij} = e^{-\beta \cdot c_{ij}^{JPP}} / (e^{-\beta \cdot c_{ij}^{JPP}} + e^{-\beta \cdot c_{ij}^{OA}}) \quad (1a)$$

Pri zapisovanju in uporabi enačbe (1) se postavlja vrsta vprašanj:

- Kako se določa »c« (**posplošeni upor oz. strošek**) za ponudbo OA, kako za ponudbo JPP?
- Kako določiti koeficient β ?
- Kaj je verodostojen (ponovljiv?) »eksperiment«, da bi lahko verificirali in umerili enačbo?
- Kako vse elemente enačbe spraviti na isti časovni imenovalec?
- V enačbi ni neposredno navedenih **kapacitet**, tako razpoložljivih parkirnih mest v mestih, kakor tudi kapacitet na sredstvih JPP v času konic ?
- Itd....

Meritev (eksperiment)

Za izbor sredstev za potovanja na delo obstaja dokaj verodostojna (oz. najboljša dosegljiva) podatkovna baza iz popisa prebivalstva iz leta 2002 (Popis 2002), kjer pa je potrebno podatke aplicirati na nivoju naselij (in ne morda občin!). Za naselja, ki so dovolj velika in v primerni oddaljenosti od centrov smo pridobili podatke.

Tabela 8. Izbor sredstva za delovne migrante v Maribor (vir: Popis 2002).

Delovno aktivno prebivalstvo po kraju dela in načinu potovanja - dnevni migranti, Slovenija, popis 2002

Kraj dela - naselje MARIBOR

Naselje	skupaj	avto - voznik	avto - sopotnik	avtobus	vlak	drugo
Spodnji Duplek	284	239	15	25	-	5
Zgornji Duplek	391	321	25	45	-	-
Lenart v Slov. goricah	305	231	28	29	-	17
Miklavž na Dravskem po	788	581	60	129	-	18
Pesnica pri Mariboru	147	118	14	15	-	-
Rače	443	329	22	11	65	16
Ruše	603	467	23	81	7	25
Selnica ob Dravi	205	161	13	31	-	-
Poljčane	88	45	2	3	38	-
Pragersko	182	88	9	-	78	7
Slovenska Bistrica	409	326	23	39	3	18
Starše	141	73	11	54	-	3
Hotinja vas	293	203	30	28	32	-
Radizel	340	274	22	41	3	-
Spodnje Hoče	428	306	18	75	8	21
Zgornje Hoče	145	102	8	35	-	-

Gornja tabela omogoča določanje modal splita, konkretno vrednosti p^{1ij} iz enačbe (1) oziroma vrednosti p^{JPPij} iz enačbe (1a). Pri uporabi podatkov obstajata dve »dilemi«:

- kako modelirati pojav »sopotnik v OA« ter »drugo«?
- kako modelirati, če obstajata dve konkurenčni JPP opciji.

Če izločimo potovanja za katera je v popisu navedeno »drugo«, sopotnike in voznike OA seštejemo ter seštejemo število uporabnikov sredstev JPP, dobimo deleže uporabe sredstev JPP, kot jih nakazuje naslednja tabela.

Tabela 9. Izračun izbora sredstva za potovanja na delo v Maribor.

Cilj: MARIBOR						
Naselje	skupaj	avto	bus	vlak	p.OA	p.JPP
Spodnji Duplek	279	254	25	0	91,0%	9,0%
Zgornji Duplek	391	346	45	0	88,5%	11,5%
Lenart v Slov. goricah	288	259	29	0	89,9%	10,1%
Miklavž na Dravskem polju	770	641	129	0	83,2%	16,8%
Pesnica pri Mariboru	147	132	15	0	89,8%	10,2%
Rače	427	351	11	65	82,2%	17,8%
Ruše	578	490	81	7	84,8%	15,2%
Selnica ob Dravi	205	174	31	0	84,9%	15,1%
Poljčane	88	47	3	38	53,4%	46,6%
Pragersko	175	97	0	78	55,4%	44,6%
Slovenska Bistrica	391	349	39	3	89,3%	10,7%
Starše	138	84	54	0	60,9%	39,1%
Hotinja vas	293	233	28	32	79,5%	20,5%
Radizel	340	296	41	3	87,1%	12,9%
Spodnje Hoče	407	324	75	8	79,6%	20,4%
Zgornje Hoče	145	110	35	0	75,9%	24,1%

Podatki, prikazani v gornjih tabelah, omogočajo, da izvedemo validacijo in umerjanje enačb.

Omogočajo, na primer, verifikacijo ali korektno določamo posplošene stroške oziroma upore (»c«) za avtobuse in vlake. Za naselje Hotinja vas, na primer, bi morali izračunati približno enake vrednosti upora za »bus«, kot za »vlak«, saj se približno enako število dnevnih migrantov odloča za obe opciji (28:32).

Predvsem pa podatki omogočajo verifikacijo modela na sploh, saj bi morali dobiti veljavne korelacije med izborom sredstva in uporom. Na primer: Poljčane in Pragersko bi morala imeti približno enake upore za vlak in OA (ter bistveno večjega za bus), saj iz Poljčan in Pragerskega približno 50% vseh dnevnih migrantov na delo v Maribor uporablja vlak.

5.3. Določanje posplošenega upora

Določanje posplošenega upora, splošno

Splošno obliko enačbe za določanje posplošenega upora potovanja med naseljema »i« in »j« (»C_{ij}«), s prevoznim sredstvom »k«, lahko zapišemo (prirejeno, na primer, po viru Stopher 1977) kot:

$$C_{ij,k} = u_{v,k} \cdot t_{ij,k}^v + u_{h,k} \cdot t_{ij,k}^h + u_{\check{c},k} \cdot t_{ij,k}^{\check{c}} + u_{m,k} \cdot t_{ij,k}^m + u_{cp,k} \cdot CP_{ij,k} + u_{ct,k} \cdot CT_{j,k} + \delta; \quad (2)$$

kjer so:

$t_{ij,k}^v$	čas vožnje v vozilu
$t_{ij,k}^h$	čas hoje do/od postaje
$t_{ij,k}^t$	čas čakanja na postajališču na vozilo
$t_{ij,k}^m$	čas za menjavo sredstva
$CP_{ij,k}$	cena prevoza (vozovnice, goriva, cestnine in podobno)
$CT_{ij,k}$	je cena »terminala« (je predvsem cena parkiranja, pa tudi strošek parkiranja na postaji)
δ	je parameter, ki vključuje vse elemente, ki niso zajeti drugje (udobje, varnost, zanesljivost, pa tudi strah, odpor)
$u_{v,h,\check{c},m,cp,ct}$	so uteži, ki jih dodamo k vsakemu elementu stroška in izražajo občuteno vrednost posameznega elementa stroška.

Za določanje upora ponudbe JPP v konkretnem primeru Slovenije lahko privzamemo, da je cena potniškega terminala »CT« enaka 0 ter dobimo enačbo:

$$c_{ij,JPP} = u_{v,JPP} \cdot t_{ij,JPP}^v + u_{h,JPP} \cdot t_{ij,JPP}^h + u_{\check{c},JPP} \cdot t_{ij,JPP}^{\check{c}} + u_{m,JPP} \cdot t_{ij,JPP}^m + u_5 \cdot CP_{ij,JPP} + \delta \quad (3)$$

Za določanje upora pri uporabi OA pa lahko iz enačbe (2) izločimo člena, ki opisujeta čas za menjavo sredstva in čas čakanja na sredstvo ter dobimo:

$$c_{ij,OA} = u_{v,OA} \cdot t_{ij,OA}^v + u_{h,OA} \cdot t_{ij,OA}^h + u_{cp,OA} \cdot CP_{ij,OA} + u_{ct,OA} \cdot CT_{j,OA} + \delta \quad (4)$$

Določanje vrednosti v enačbah posplošenega upora

Obrazložitev in reference za določitev elementov enačbe (3) in (4)

Računi so opravljeni za potovanje v eno smer. Kadar obstaja dvom, da bi v prihodu in odhodu lahko imeli različne vrednosti, se vzame povprečna vrednost časov pri prihajanju in odhajanju. Takšni primeri so, na primer, iskanje parkirnega prostora (pri odhodu tega stroška ni), avtobusi imajo po 15:00 praviloma nižje frekvence, saj so prilagojeni dijaškim urnikom ...

Javni potniški promet

Čas v vozilu ($t_{ij,JPP}^v$)

Je čas po voznem redu v minutah, ki mu dodamo pričakovane vrednosti zamud v koničnem času. Določitev dodatka zaradi kroničnih zamud:

Bus: Lahko določimo na podlagi opazovanj (npr. v Mariboru 2004 - vir Žagavec 2004; Koper, 2005 - vir Lep 2005 in Celje, 2006; vir Đurić 2006), kjer je bila ugotavljana povprečna vrednost zamud pri prihodih. Za konkretne račune v nadaljevanju bomo upoštevali vrednost 4 minute.

Vlak: Za konkretne račune v nadaljevanju bomo upoštevali vrednost 5 minut (išče se verodostojni vir?).

Čas hoje ($t_{ij,jpp}^h$)

Čas hoje od doma do postaje

- **Vlak:**
Vzame se povprečna razdalja od bivališč migrantov do železniške postaje, pomnožena s hitrostjo hoje pešca (za konkretne račune 60 metrov na minuto). Na primeru tipičnih naselij (izbrani: Pragersko – vlak, Sl. Bistrica – bus, ...) smo ugotovili, da je povprečna razdalja velikostnega reda 300 - 400 m; kar da povprečni čas v prihodu 5 do 6 minut.
- **Bus:**
Avtobusne postaje so praviloma bolj gosto razporejene ter bolj približane bivališčem, zatorej so poti v splošnem krajše (za konkretne izračune bomo vzeli 5 minut).

Čas od ciljne postaje do delovnega mesta

- Je (za potrebe razvoja modela) določen pavšalno kot povprečen. Za konkretne račune smo za Celje vzeli 5 minut, za Maribor 10 minut, za Ljubljano pa 15 minut.

Čas čakanja ($t_{ij,jpp}^č$)

Za potovanja na delo je ta element specifičen (!), sploh, če ga razumemo kot podlaga za primerjava konkurenčnosti osebnemu avtomobilu. Osebni avtomobil je na voljo »vsako sekundo«, ko si njegov lastnik to zaželi, medtem, ko imajo sredstva JPP vozni red oziroma frekvenco. So na voljo – na primer – vsakih 20 minut. Statistično vzeto ima potnik, ki želi uporabiti JPP dva elementa čakalnega časa:

- Čas, ko mora biti prej na postaji, saj avtobusi ne vozijo točno (tudi prehitevajo!).
- Čas, ki »je izgubljen«, saj vozni redi in delovne obveznosti pri prihodu na delo ali odhodu z dela nista sinhronizirana.

Za potrebe računa smo vzeli:

- Migranti prihajajo na izhodiščno postajo vsaj 3 minute prej.
- Izgubljeni čas zaradi čakanja na naslednji avtobus (odhod vlaka) pa se vzame kot $\frac{1}{2}$ intervala ponudbe v koničnem času med 6:00 – 8:00 ter 14:00 in 16:00.

Čas prestopanja ($t_{ij,jpp}^m$)

V izračunih smo privzeli, da povprečni potnik prestopanja ne opravi. Po analizi (vir Lep 2007; Analiza prestopanj v sistemu JPP, naročnik MzP), ko smo ugotovili, da v RS prestopa manj kot 3% vseh potovalcev, z zanemaritvijo tega elementa nismo napravili občutne napake.

Cena vozovnice ($CP_{ij,jpp}$)

Vzeta je vrednost cene enosmerne vozovnice ali štiridesetina mesečne delavske. V letu 2002, pa tudi danes, v Sloveniji nimamo resnično atraktivnih in ugodnih mesečnih vozovnic. Zato pri uporabnikih javnega potniškega prevoza ne nastopi »fenomen«, kot je značilen, na primer, za imetnike vinjet za avtoceste. Ti občutijo uporabo avtocest kot »zastonj«.

Ostali parametri (δ)

V to skupino spada predvsem **splošna nezanesljivost sistema JPP**. Ta element ni zanemarljiv. Po opazovanjih (npr. Maribor 2005, 2009,...) približno 3% vseh voženj v sistemu JPP odpade, bistveno zamuja ali uporabnikom ni povsem jasno »kateri vozni red velja«. Ocena in utež tega parametra sta bistveni za določitev občutenega upora. Za konkretne izračune bomo privzeli tako imenovan »čas vkalkulirane rezerve«. Tega časovno ovrednotimo kot: potniki izberejo en odhod prej, kot tistega, s katerim bi dokaj natančno ujeli pričetek dela. Ta vrednost je enaka intervalu ponudbe v koničnem času.

V ta sklop sodijo tudi lastnosti vozni redov, za katere so tuji viri ugotovili (ozirom trdijo), da so pomembni, to sta predvsem:

- Intervalni vozni red.
- Kontinuiteta na zgodovinski, letni in tedenski ravni.

Parametre »neudobja« in »občutka (ne)varnosti« (bus, vlak) v tem računu nismo neposredno upoštevali.

Pri konkretnem izračunu smo za »ostali parametri« privzeli 20 minut.

Osebni avto

Čas vožnje ($t_{ij,OA}^v$)

Je za potrebe tega preračuna enak potovalnemu času od središča naselja »i« do središča ciljnega naselja »j« kot ga ponujajo spletni poizvedovalniki. Statistično bi se za povprečno potovanje moralo nevtralizirati dejstvo, da nekateri stanujejo bližje/dalje, nekateri delajo bližje/dalje, kot je razdalja med središči obravnavanih naselij. K temu času dodamo:

Dodatek za zamudo:

Zaradi podaljšanih potovalnih časov v konicah (podlaga: primerjava potovalnih hitrosti v koničnem in izvenkoničnem obdobju; vir Božičnik 2004 ; obstaja tudi analiza za Ljubljano)

Povprečni čas iskanja parkirnega mesta. Je dokaj neraziskano področje.

Za potrebe konkretnega izračuna bomo izračunanim potovalnim časov dodajali 20% potovalnega časa.

Čas hoje od parkirišča ($t_{ij,OA}^h$)

V skladu z ekonomskimi teorijami ravnovesja bi povprečni čas hoje od zastoj parkirišč na obdobju mestnih središč pomnožen s poznano vrednostjo časa moral biti enak ceni celodnevne parkiranja v mestnem središču. (Npr. v Mariboru – parkiranje pri dvorani Tabor ter hoja 15 minut do centra vsak dan je enako kot mesečni najem parkirnega mesta v garaži City«.)

Za konkretne izračune se vzamejo enaki parametri kot pri JPP (5 minut za Celje, 10 minut za Maribor, 15 minut za Ljubljano).

Cena prevoza ($CP_{ij,OA}$)

Je sestavljena iz neposrednih stroškov prevoza oziroma kilometrine ter iz cene parkiranja.

Pri konkretnih izračunih kilometrine se pojavljajo vsaj tri (možne) vrednosti:

- ekonomska kilometrina – 0,3 €/km,
- občutena kilometrina je približno enaka strošku za gorivo 0,1€/km,
- 0,18 €/km kot se danes priznava javnim uslužbencem, ki dokazujejo, da nimajo ustrezne ponudbe JPP.

Parkiranje

Dejstvo je, da bi za določitev povprečne cene parkiranja (ta je enaka vrednosti izgubljenega časa pešačenja za tiste, ki ne želijo/morejo plačati) morali dognati kolikšen delež vseh migrantov voznikov ima zagotovljeno zastoj parkirno mesto na »dvorišču« pri delovnem mestu (na primer: v Mariboru se ocenjuje, da je takšnih približno 30%, vir: Kukovec 2009: Parkirna politika MOM, ZUM ter lastna opazovanja), za vse ostale pa določiti realen strošek. Za konkretne izračune vzeti strošek iz študije migracij na delo (Gabrovec 2008).

Vrednost časa

V enačbah (2), (3) in (4) nastopajo količine, ki jih merimo ali v denarnih enotah (€) ali v časovnih enotah (minute). Da bi enačbe bile tudi praktično izračunljive, potrebujemo pretvornik. Za pretvorbo uporabljamo količino »vrednost časa« oziroma angleško »value of time« ali s kratico VOT.

Kolikšni sta ekonomska in občutena vrednost časa je najpomembnejša in za model najobčutljivejši parameter. Po nekaterih virih (INFRAS 2002, Lep s soavtorji) je ekonomska vrednost časa izgubljenega za prostočasna potovanja enaka 25% vrednosti delovne ure. Za leto 2002 je le-ta znašala $0,25 \times 6 \text{ € /uro}$ ali $0,025 \text{ €/minuto}$.

Za potovanja na delo so te vrednosti nekoliko višje. Za naš preračun bomo za **ekonomsko vrednost časa** privzeli vrednost $0,06 \text{ €/minuto}$.

Občutena vrednost časa, predvsem izgubljenega na poti na delo, je nekoliko višja od ekonomske. Za izračune občutene vrednosti izgubljenega časa bomo jemali vrednost $0,1 \text{ €/minuto}$.

Uteži, občutene vrednosti

Enačbi (3) in (4) omogočata metodološko pregledno delitev posplošenih stroškov na tiste, ki se jih da objektivno in neposredno ugotoviti (izmeriti ali statistično določiti), ti so v enačbah zapisani kot cena (»CP« in »CT«) ali čas (»t«) ter na tiste, ki opisujejo občutene količine, te so zapisane kot uteži (»u«). Opravili bomo izračune po dveh metodah:

- Metoda, ki temelji na predpostavki, da je človek »**homo economicus**« in se pri svojem odločanju zaveda, npr. realne cene vozilo-kilometra, vrednosti časa izgubljenega na poti itd... V tem primeru imajo vse uteži »u« vrednost 1.0.

- Metoda, ki upošteva, da so občutene vrednosti (lahko) bistveno drugačne, kot realne. Upoštevajo se **občutene vrednosti**. Voznik OA občuti strošek vožnje le kot ceno goriva (in je torej utež ob ekonomski ceni kilometra manjša kot 1.0), čas med čakanjem občuti kot »daljši« (in je utež a bistveno večja od 1.0), vse analize in študije dokazujejo, da je občuten upor proti prestopanju velik. V izračunih v nadaljevanju smo upoštevali naslednje:

Čas čakanja ($t_{ij,jpp}^c$) uporabniki občutijo kot »zelo zoprno«. Zato smo v računu »B« (metoda občutenih vrednosti) jemali utež 2.0 .

Čas prestopanja ($t_{ij,jpp}^m$)

V izračunih smo privzeli, da povprečni potnik prestopanja ne opravi. Po analizi (vir Lep 2007: Analiza prestopanj v sistemu JPP), ko smo ugotovili, da v RS prestopa manj kot 3 % vseh potovalcev, z zanemaritvijo tega elementa nismo napravili občutne napake.

5.4. Določanje koeficienta β

Če vzamemo enačbo (1a) oblike:

$$p_{ij}^{JPP} = T_{ij}^{JPP} / T_{ij} = e^{-\beta \cdot c_{ij}^{JPP}} / (e^{-\beta \cdot c_{ij}^{JPP}} + e^{-\beta \cdot c_{ij}^{OA}})$$

s pomočjo enačb (2) ter (3) izračunamo vrednosti uporov »c« ter iz tabele 2 vzamemo izračunane vrednosti za p_{ij}^{JPP} . Imamo (na primeru potovanj na delo v Maribor) 16 meritev, s pomočjo katerih lahko z uporabo enačbe (5) ugotavljamo veljavnost enačbe (1), saj bi ob pogoju, da smo korektno izračunali stroške »c«, dobjene vrednosti za koeficiente β morale konvergirati oziroma kazati vsaj neko statistično veljavnost.

Koeficient β izračunavamo po enačbi:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{1}{P_{jpp}} - 1\right)}{(C_{oa} - C_{jpp})} \quad (5)$$

V nadaljevanju prikazujemo dva izračuna:

- Brez upoštevanja uteži
- Z upoštevanjem uteži

1,75 € (razred 10-20km). K uporom nismo dodajali kazni zaradi splošnega »neudobja« ali »nezanesljivosti«.

Za osebne avtomobile:

Vzeli smo izračunani vozni čas, na primeru Rače 20 minut, k temu dodali 20% dodatek (na primeru Rače 4 minute) za zamude v koničnih časih ter izgubljeni čas za iskanje parkirnega prostora. Čas pešačenja (za Maribor) je ocenjen z 10 minutami. Kilometrino je ekonomska (0,3 €/km) ta je pomnožena z razdaljo v eni smeri (za primer Rače 17km). Parkiranje je - statistično - leta 2002 v Mariboru stalo 0,5€/dan.

Vrednost časa je 0,06 €/minuto.

Izračunane vrednosti parametra β (Tabela 11) jasno kažejo, da je tak pristop neustrezen.

Tabela 11. Določitev koeficienta β na primeru potovanj v Maribor, metoda »homo economicus«.

	1 = vlak			MODAL SPLIT			C-bus	C-vlak	C-oa
	0-bus	1-vlak	avto	JPP	OA				
Spodnji Duplek	25	0	254	0,09	0,91		6,32	0,00	6,22
Zgornji Duplek	45	0	346	0,12	0,88		5,40	0,00	5,55
Lenart v Slov. goricah	29	0	259	0,1	0,9		6,42	0,00	8,32
Miklavž na Dravskem polju	129	0	641	0,17	0,83		4,80	0,00	4,74
Pesnica pri Mariboru	15	0	132	0,1	0,9		4,56	0,00	4,22
Rače	11	65	351	0,03	0,97		7,42	4,99	7,64
Ruše	81	7	490	0,14	0,86		6,14	0,00	6,44
Selnica ob Dravi	31	0	174	0,15	0,85		5,42	0,00	6,44
Poljčane	1	3	38	0,45	0,55		14,66	7,81	14,19
Pragersko	1	0	78	0,45	0,55		8,34	5,35	11,07
Slovenska Bistrica	39	3	349	0,1	0,9		7,42	0,00	10,26
Starše	54	0	84	0,39	0,61		6,24	0,00	7,41
Hotinja vas	28	32	233	0,11	0,89		6,72	4,99	5,92
Radizel	41	3	296	0,12	0,88		5,60	0,00	5,48
Spodnje Hoče	75	8	324	0,19	0,81		4,80	0,00	4,29
Zgornje Hoče	35	0	110	0,24	0,76		4,98	0,00	5,11

Iz gornjega računa je razvidno, da dnevni migranti (pričakovano!), niso »homo economicus«; saj se – teoretično – odločajo povsem »neekonomično«. Na primeru Spodnjega Dupleka lahko, na primer, ugotovimo, da je realni strošek uporabe osebne avtomobila približno enak ceni uporabe avtobusa (6,22€ : 6,32€), kar bi moralo rezultirati v modal splitu približno 50% : 50%. V praksi smo izmerili razmerje 91% (za OA) proti 9% (za JPP)!

Iz teh nelogičnosti sledi, da vrednosti koeficienta β ne kažejo nikakršne zakonitosti ali konvergence.

Izračun posplošenih stroškov in koeficienta β , metoda »občutenih vrednosti« (B)

Tabela 12. Izračun posplošenih stroškov na primeru cilja Maribor, metoda občutenih vrednosti.

JPP - bus										JPP - vlak										OA									
a1	1	Tv	- čas v vozilu							a1	1	Tv	- čas v vozilu							a1	1	Tv	- čas v vozilu						
a2	1	Tw	5 - dodatek za zamudo							a2	1	Tw	5 - dodatek za zamudo							a2	1	Tw	0,2 - dodatek za zamudo						
a3	2	Tw'	10 - čas od postaje							a3	2	Tw'	10 - čas od postaje							a5	1	Tw	10 - čas do parkirišča						
a4	0	Tt	13 - čas čakanja							a4	0	Tt	13 - čas čakanja							a6	1								
a5	1	Tn	0 - čas prestopanja							a5	1	Tn	0 - čas prestopanja									F	- razdalja km						
a6	0	F	- cena vozovnice							a6	0	F	- cena vozovnice										0,1 - kolimetrina						
VOT	0,1	Φ	0 - parkiranje na postaji							VOT	0,1	Φ	0 - parkiranje na postaji							VOT	0,1	Φ	0,5 - parkiranje na dan						
		δ	20 - ostali parametri									δ	0 - ostali parametri								δ	0 - ostali parametri							
		Tv	Tv +	Tw	Tw'	Tt	Tn	F	Φ	δ			Tv	Tv +	Tw	Tw'	Tt	Tn	F	Φ	δ			Tv	Tv +	Tw	F	Φ	δ
Spodnji Duplek		35	4	5	10	13	0	2,3	0	20									0	0	0	17	3,4	10	13	0,5	0		
Zgornji Duplek		28	4	5	10	13	0	1,8	0	20									0	0	0	16	3,2	10	11	0,5	0		
Lenart v Slov. goricah		30	4	5	10	13	0	2,7	0	20									0	0	0	17	3,4	10	20	0,5	0		
Miklavž na Dravskem polju		18	4	5	10	13	0	1,8	0	20									0	0	0	13	2,6	10	9	0,5	0		
Pesnica pri Mariboru		14	4	5	10	13	0	1,8	0	20									0	0	0	10	2	10	8	0,5	0		
Rače		40	4	5	10	13	0	3,1	0	20	16	5	10	10	13	0	1,75	0	0	0	0	20	4	10	17	0,5	0		
Ruše		32	4	5	10	13	0	2,3	0	20									0	0	0	20	4	10	13	0,5	0		
Selnica ob Dravi		20	4	5	10	13	0	2,3	0	20									0	0	0	20	4	10	13	0,5	0		
Poljčane		89	4	5	10	13	0	7,4	0	20	38	5	10	10	13	0	3,25	0	0	0	0	36	7,2	10	35	0,5	0		
Pragersko		47	4	5	10	13	0	3,6	0	20	22	5	10	10	13	0	1,75	0	0	0	0	26	5,2	10	27	0,5	0		
Slovenska Bistrica		40	4	5	10	13	0	3,1	0	20									0	0	0	23	4,6	10	25	0,5	0		
Starše		27	4	5	10	13	0	2,7	0	20									0	0	0	21	4,2	10	16	0,5	0		
Hotinja vas		35	4	5	10	13	0	2,7	0	20	16	5	10	10	13	0	1,75	0	0	0	0	17	3,4	10	12	0,5	0		
Radizel		23	4	5	10	13	0	2,3	0	20									0	0	0	15	3	10	11	0,5	0		
Spodnje Hoče		18	4	5	10	13	0	1,8	0	20									0	0	0	11	2,2	10	8	0,5	0		
Zgornje Hoče		21	4	5	10	13	0	1,8	0	20									0	0	0	14	2,8	10	10	0,5	0		

V tabeli 12 smo (v primerjavi s tabelo 11) vnesli nekaj sprememb, ki odražajo občutene vrednosti:

- Utež za čakanje smo postavili na 2.0.
- Avtobusom smo dodali splošno »kazen« 20 minut. Ta dodatna obremenitev zrcali splošno nezanesljivost sistem in obvezne rezerve, ki jih mora uporabnik vkalkulirati v svoje potovanje na delo, da ne bi (pre)pogosto zamujal.
- Občuteno vrednost časa smo dvignili na 0,1€/minuto.
- Kot občuteni strošek vožnje z osebnimi avtomobilom smo vzeli 0,1€/kilometer

Takšna interpretacija je dala naslednji izračun:

Tabela 13. Določitev koeficienta β na primeru potovanj v Maribor, metoda »občutenih vrednosti«.

	1 = vlak			MODAL SPLIT			C-bus	C-vlak	C-oa
	0-bus	1-vlak	avto	JPP	OA				
Spodnji Duplek	25	0	254	0,09	0,91		12,30	0,00	4,84
Zgornji Duplek	45	0	346	0,12	0,88		11,10	0,00	4,52
Lenart v Slov. goricah	29	0	259	0,1	0,9		12,20	0,00	5,54
Miklavž na Dravskem polju	129	0	641	0,17	0,83		10,10	0,00	3,96
Pesnica pri Mariboru	15	0	132	0,1	0,9		9,70	0,00	3,50
Rače	11	65	351	0,03	0,97		13,60	8,45	5,60
Ruše	81	7	490	0,14	0,86		12,00	0,00	5,20
Selnica ob Dravi	31	0	174	0,15	0,85		10,80	0,00	5,20
Poljčane	1	3	38	0,45	0,55		22,80	12,15	9,32
Pragersko	1	0	78	0,45	0,55		14,80	9,05	7,32
Slovenska Bistrica	39	3	349	0,1	0,9		13,60	0,00	6,76
Starše	54	0	84	0,39	0,61		11,90	0,00	5,62
Hotinja vas	28	32	233	0,11	0,89		12,70	8,45	4,74
Radizel	41	3	296	0,12	0,88		11,10	0,00	4,40
Spodnje Hoče	75	8	324	0,19	0,81		10,10	0,00	3,62
Zgornje Hoče	35	0	110	0,24	0,76		10,40	0,00	4,18

Kar je že zelo blizu temu, da bi lahko potrdili statistično veljavnost razvitih enačb, vključno s koeficientom β (veljavnim vsaj za Maribor z okoliškimi naselji), velikosti **0,27**. Standardni odklon za koeficient β je 0,08.

Opomba:

V primeru dveh naselij (Starše in Poljčane) opazamo večje odstopanje, zelo nizko vrednost koeficienta β . Če gre koeficient β proti 0, to pomeni, da so potniki povsem neobčutljivi na kakovost ponudbe. Kar nakazuje na dve, sicer poznani dejstvi:

- vlak potniki občutijo kot privlačnejšega kot v resnici morda je in je že po stoletni tradiciji priljubljeno prevozno sredstvo (Poljčane),
- dejstvo, da že desetletja avtobusi vozijo po vsem poznanim intervalu od zgodnjega jutra do polnoči, daje veliko manjše občutene upore »čakanja« in »nezanesljivosti« (kar bi lahko veljalo za Starše).

Enak pristop daje za Ljubljano vrednost koeficienta β 0,34 (standardni odklon 0,07), za Celje pa 0,39 (s standardnim odklonom 0,08).

Zapišimo predlagane umerjene in zadovoljivo validirane enačbe:

Za Ljubljano:

$$p_{i,Lj}^{JPP} = T_{i,Lj}^{JPP} / T_{i,Lj} = e^{0.34 \cdot c_{i,Lj}^{JPP}} / (e^{0.34 \cdot c_{i,Lj}^{JPP}} + e^{0.34 \cdot c_{i,Lj}^{OA}}) \quad (6a)$$

Za Maribor:

$$p_{i,Mb}^{JPP} = T_{i,Mb}^{JPP} / T_{i,Mb} = e^{0.27 \cdot c_{i,Mb}^{JPP}} / (e^{0.27 \cdot c_{i,Mb}^{JPP}} + e^{0.27 \cdot c_{i,Mb}^{OA}}) \quad (6b)$$

Za Celje:

$$p_{i,Ce}^{JPP} = T_{i,Ce}^{JPP} / T_{i,Ce} = e^{0.39 \cdot c_{i,Ce}^{JPP}} / (e^{0.39 \cdot c_{i,Ce}^{JPP}} + e^{0.39 \cdot c_{i,Ce}^{OA}}) \quad (6c)$$

5.5. Analiza občutljivosti in prenosljivosti modela?

Povsem jasno je, da je model (lahko) izjemno občutljiv na spremembe vhodnih podatkov, to velja predvsem za vrednost časa in občuteno ceno kilometrine, manj pa za ocenjene čase »čakanja«, »pešačenja« itd..

Pri razvoju enačb sta se pojavljala dva sistemska vira (možnih) napak:

- Pretvorba vseh količin na izhodiščno leto 2002. Za veliko večino uporabljenih parametrov je bilo moč najti ustrezne vrednosti za leto 2002 (potovalni časi po voznem redu, cene vozovnic, tudi cena goriva in posledično kilometrine za OA), pri nekaterih pa so narejene ocene na podlagi podatkov, pridobljenih v drugih časovnih prerezih (na primer: povprečne zamude prihodov avtobusov ali povprečne strošek parkiranja v mestih).
- Prenos nekaterih uteži, ki opisujejo občutene vrednosti uporov iz tujih okolij (čakanje kot 2.0, prestopanje kot 3.0).

Drug pojav, ki se mu ni bilo moč izogniti, je relativna statistična šibkost vzorca na podlagi katerega so enačbe validirane in umerjene. Na primeru Maribora je bilo uporabljenih 16 naselij, na primeru Ljubljane 12 ter na primeru Celja 9.

5.6. Prikaz uporabne vrednosti modela

Primer 1: Integrirana vozovnica

Vpeljava:

- enotne (integrirane) vozovnice
- ugodnih abonentskih vozovnic (letnih)

Predpostavlja se, da se bistveno zmanjša **občuteni upor uporabe JPP**; predvsem zaradi dejstva, da se zmanjšajo (statistični) čakalni časi, občutek nezanesljivosti itd., kar bi moralo rezultirati v spremembi modal splita v korist večjega deleža uporabnikov JPP? Ali je to res in koliko?

Primer Maribor – jug (Rače, Hotinja vas):

- Za obe naselji bi možnost uporabe katerekoli od obeh ponudb pomenila (statistično) skrajšanje poti do in od postajališč, zmanjšanje intervala med dvema odhodom ter splošno zmanjšanje nezanesljivosti sistema. Za vsakega od zgoraj navedenih elementov smo ocenili, da je občuteni prihranek 5 minut, ter izračunali nove upore.
- Vpeljavo enotne vozovnice na conskem principu ter možnost nakupa ugodne abonentske (letne) vozovnice (te bi dale enak učinek kot vinjete, redni uporabniki občutimo uporabo AC »kot skoraj zastoj«) smo interpretirali, kot da uporabnik občuti ceno vožnje v višini enega eura.

Posledice za »modal split« bi bile:

Rače:

Ukrep:	C bus	C vlak	C OA	Delež uporabnikov JPP
Brez	13,60	11,85	5,60	15,6%
i)	10,25	11,35	5,60	22,1%
ii)	9,50	10,60	5,60	25,9%

Hotinja vas:

Ukrep:	C bus	C vlak	C OA	Delež uporabnikov JPP
Brez	12,70	11,85	4,74	12,8%
i)	10,70	11,35	4,74	16,7%
ii)	9,00	10,60	4,74	21,7%

V obeh primerih vidimo, da je občuteni strošek uporabe osebnega avtomobila še vedno bistveno nižji, vendar se občuteni upor uporabe JPP (tako pri avtobusu kot pri vlaku) zmanjša, a ne drastično. Posledice so, da se delež uporabnikov OA zmanjša iz 82% do 85% na 74% do 78%.

Primer 2: Analiza učinkovitosti povečanja ponudbe železniškega prevoza.

Prikažimo analizo učinkovitosti (smiselnosti) investicije v železniško ponudbo na relaciji Maribor – Ruše iz vidika potniškega prometa. Postavimo vprašanje kakšna in kolikšna bi morala biti ponudba vlaka, da bi dosegli določene učinke pri modal splitu ?

Kljub izjemno ugodni železniški povezavi med Mariborom in Rušami (pri čemer je treba priznati, da so železniška postajališča znotraj obeh naselij bistveno slabše locirana kot avtobusna!), danes praktično nihče ne uporablja vlaka, saj ob sobotah in nedeljah ne vozi, sicer pa ima le (še) šest parov odhodov na dan.

Po enačbah (3) in (4) so upori za potovanje na relaciji Maribor - Ruše:

C bus	C vlak	C OA	Delež uporabnikov bus	Delež uporabnikov vlaka
12,00	28,50	5,20	14%	1%

Ustrezni učinek definirajmo kot 25% delež uporabnikov vlaka. Edini praktično izvedljivi ukrep je povečanje števila garnitur – v koničnem času na 30 minut, v izvenkoničnem (kar vpliva na občutek zanesljivost sistema) na 60 minut. Kar bi rezultiralo v naslednje spremembe uporov in modal splita:

C bus	C vlak	C OA	Delež uporabnikov JPP
11,00	10,25	5,20	20,4%

Z ukrepom integrirane, poceni abonentske vozovnice pa:

C bus	C vlak	C OA	Delež uporabnikov JPP
9,70	9,50	5,20	23,8%

Vidimo, da se – vsaj teoretično – približamo zadanemu cilju, če bi uspeli (kar je v praksi trenutno iluzorno) zagotoviti železniško povezavo vsakih 30 minut.

Primer 3: Analiza učinkov parkirnih politik v mestih

Analizirajmo učinke dviga splošne cene parkiranja in njegov učinek na izbor sredstva.

Na primeru Maribora postavimo ukrep dvig posplošene cene parkiranja na vrednost 4,0 EUR/dan, pustimo ponudbo JPP kot je ter uporabimo model.

	C bus	C vlak	C OA ukrep	Modal split JPP (danes, merjeno)	Modal split JPP (ukrep)
Spodnji Duplek	12,30		8,34	0,09	0,26
Zgornji Duplek	11,10		8,02	0,12	0,30
Lenart v Slov. Goricah	12,20		9,04	0,10	0,30
Miklavž na Dravskem polju	10,10		7,46	0,17	0,33
Pesnica pri Mariboru	9,70		7,00	0,10	0,33
Rače	13,60	11,85	9,10	0,16	0,32
Ruše	12,00		8,70	0,14	0,29
Selnica ob Dravi	10,80		8,70	0,15	0,36
Poljčane	22,80	12,15	12,82	0,45	0,55
Pragersko	14,80	9,05	10,82	0,45	0,62
Slovenska Bistrica	13,60		10,26	0,10	0,29
Starše	11,90		9,12	0,39	0,32
Hotinja vas	12,70	11,85	8,24	0,11	0,49
Radizel	11,10		7,90	0,12	0,30
Spodnje Hoče	10,10		7,12	0,19	0,31
Zgornje Hoče	10,40		7,68	0,24	0,32

Iz zgornje tabele vidimo, da bi dvig posplošene cene parkiranja na 4€/dan – vsaj teoretično – prisilil, na primer, 17% voznikov iz Spodnjega Dupleka, da bi uporabili JPP.

5.7. Sklep

Razvili smo model, ki daje upanje, da bo bolje napovedal načrtovane učinke prometne politike, kot smo to uspevali v preteklosti.

Model sam je možno samostojno razvijati, saj vrsta študij in raziskovalnih aktivnosti, ki tečejo na terenu, omogoča, da se parametri in vrednosti v prikazanih enačbah bolj natančno določijo.

Enačba je univerzalna in prevedena v obrazec (form), pripravljen v MS Office Excelu, tako, da je možno preigravati scenarije in ukrepe z veliko zanesljivostjo, da se bo modelirano tudi v praksi uresničilo.

V razvoju enačb sicer nismo neposredno nagovarjali načina potovanja, ki postaja vse bolj zanimiv, tj. P&R, a je možno enačbe za izračunavanje občutenih uporov potovanj aplicirati tudi za ta način potovanja. Pri tem je še posebej občutljivo napovedovanje uteži (občutenega upora) prestopanja iz OA v sistem JPP.

5.8. Viri

Božičnik 2004	Božičnik S. S soavtorji: Analiza eksternih stroškov prometa, končno poročilo CRP 2001-2006. Maribor, Ljubljana, Koper 2004.
Đurić 2006	Đurić A. s sodelavci: Spremljanje izvajanja GJS, Logitech, naročnik DRSC (interno), Maribor, Ljubljana 2006.
Gabrovec 2008	Gabrovec M. s soavtorji: Dnevna prometna migracija na delovno mesto in v šolo. CRP Konkurenčnost Slovenije 2006-2013, 2008
Gabrovec 2009	Gabrovec M., Bole D.: Dnevna mobilnost v Sloveniji, Založba ZRC, Ljubljana 2009
Lep 2005	Lep M. s soavtorji: Spremljanje izvajanja GJS (Koper), naročnik DRSC, Maribor, Ljubljana 2005
Lep 2007	Lep M., Čelan M.: Prestopanja v sistemu integriranega javnega potniškega prometa, končno poročilo. Naročnik MzP, Maribor, Ljubljana 2007.
Lep 2009	Lep M. s soavtorji: Priprava strokovnih podlag za izboljšanje javnega potniškega prevoza v Mariboru (v okviru projekta PIMMS TRANSFER), Naročnik MOM, Maribor 2009
MOL 2003	Anketa po gospodinjstvih, Raziskava potovalnih navad prebivalcev Ljubljanske regije. URBI, PNZ, Ninamedia. Naročnik MOL, Ljubljana 2003.
Plevnik 2003	Plevnik A. S sodelavci: Razvojne možnosti JPP in poselitve v Republiki Sloveniji, zaključno poročilo. UIRS, Ljubljana 2003.
Popis 2002	Popis prebivalstva 2002. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana.
Stopher 1977	Stopher P., Meyburg A.: Urban Transportation Modeling and Planning, Lexington Books, Canada 1977
Žagavec 2004	Žagavec B.:Spremljanje kakovosti izvajanja GJS. Diplomsko delo Fakultete za gradbeništvo UM, Maribor 2004.

Sklep

Pri analizah med samim izvajanjem projekta smo izvajalci prišli do spoznanja, da je enkratna vzpostavitev nekega prometnega modela z nakupom neke licence, s pripravo obsežnih podatkov ter z umerjanjem modela, sicer zahtevna, obsežna (torej tudi draga), a izvedljiva naloga. Težje pa je zagotavljati trajno vzdrževanje modela, sploh, če ga je treba polniti predvsem s podatki, ki ne nastajajo v Sloveniji. Zato smo med samim izvajanjem projekta testirali programsko orodje TRANSTOOLS, ki ga je naročila, financirala in dala vsem prometnim strokovnjakom v uporabo Evropska komisija.

Programsko orodje ima vrsto tehničnih prednosti (sprejemljiva licenčna, podatki, potrebni za delovanje modela se pripravljajo kontinuirano, je dobro dokumentiran), a tudi – vsaj iz vidika Slovenije – nekaj slabosti (je dokaj grob in ni neposredno uporaben na mikro-nivoju, odzivi so predolgi, sama namestitvev zahteva nekaj dodatnih investicij itd.).

Programskemu orodju vsebinsko ni česa očitati, je vse-evropski, intermodalen, obravnava tako potniški kot tovorni promet itd.

Da izbor tega orodja, kot predlog orodja s katerim bi Slovenija tudi v prihodnosti podpirala svoje strateške odločitve, ni slepa ulica, potrjuje tudi dejstvo, da je aprila 2011 objavljena nova Bela knjiga o prometu vse svoje scenarijske preračune opravila z orodjem TRANSTOOLS, kakor tudi obvestila avtorjev, da pripravljajo novo različico, ki bo med drugim odpravila edino resno tehnično oviro – počasnost.

Orodje TRANSTOOLS je pregrobo, da bi nadomestilo orodja s katerim Republika Slovenija že vrsto let uspešno modelira notranje cestno-prometne tokove, zato smo v poročilu tudi pripravili metodologijo, kako strateški model (TRANSTOOLS) smiselno povezati z nacionalnim.

Samostojno smo obdelali tudi problematiko, kako napovedovati učinke ukrepov prometne politike na spremembo izbora sredstva pri potovanju na delo. Pripravljena enačba bi morala bolje kot je to bilo izvedljivo do sedaj napovedati ali bo nek ukrep uspel napolniti avtobuse in vlake z bivšimi vozniki osebnih avtomobilov...