

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo  
in geodezijo*

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



**PODIPLOMSKI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA**

**MAGISTRSKI ŠTUDIJ  
PROMETNA SMER**

Kandidat:

**ROK MARSETIČ, univ.dipl.inž.grad.**

**MODELIRANJE VPLIVA CESTNINE NA IZBIRO POTI V  
CESTNI MREŽI**

Magistrsko delo štev.: 199

**TOLL MODELING IN CONTEXT OF ROAD NETWORK  
ASSIGNMENT**

Master of Science Thesis No.: 199

**Mentor:**  
Doc.dr. Marijan Žura

**Predsednik komisije:**  
Doc.dr. Alojz Juvanc

**Član:**  
Doc.dr. Tomaž Maher

Ljubljana, junij 2008

## **POPRAVKI**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani ROK MARSETIČ izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom:  
**»MODELIRANJE VPLIVA CESTNINE NA IZBIRO POTI V CESTNI MREŽI«.**

Ljubljana, 16. junij 2008

.....

(podpis)

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so pregledali učitelji prometne smeri:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>656.1.03(043.3)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Rok Marsetič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Marijan Žura</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>76 str., 8 pregl., 26 sl., 18 en., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>vrednost časa, cestnina, izbira poti, anketa izražene preference</b>

### **Izvleček**

V klasičnem štirifaznem modelu za napoved prometa je zadnja faza, razporejanje potovanj po cestni mreži. Za razporejanje potovanj obstajajo različne tehnike, od najenostavnejših kot je na primer metoda vse ali nič, do kompleksnih iterativnih metod, kot je na primer Tribut metoda. Vendar so le nekatere med njimi primerne za modeliranje razporejanja potovanj po cestni mreži z upoštevanjem cestnine. Za modeliranje prometnega modela, ki upošteva vpliv cestnine, potrebujemo t.i. vrednost prihranka časa. Vrednost prihranka časa, ki je pogojena z dejanskim odlivom prometa s cestninskih cest na vzporedne ceste, je možno ugotoviti z raziskavami odkrite preference. Te se lahko izvajajo tudi z anketami voznikov na cestni mreži. Vendar je ta metoda neizvedljiva brez sodelovanja policije, poleg tega je za beleženje registrskih tablic potrebna obsežna izurjena ekipa in s tem tudi sorazmerno obsežna sredstva. Zaradi omenjenega se v svetu vedno pogosteje uporabljajo ankete izraženih preferenc. S temi anketami lahko že s sorazmerno majhnim številom anketirancev ter ustreznimi statističnimi metodami dobimo dokaj zanesljive ocene o vrednosti prihranka časa.

Namen naloge je predstavitev najbolj primerne metode izražene preference in primerjavo različnih pristopov analize izraženih preferenc. Nazadnje so pridobljeni rezultati z izraženimi preferencami primerjani z rezultati odkritih preferenc.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 656.1.03(043.3)

**Author:** Rok Marsetič

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Marijan Žura

**Title:** Toll modeling in context of road network assignment

**Notes:** 76 p., 8 tab., 26 fig., 18 eq., 1 ann.

**Key words:** value of time, toll, network assignment, stated preference survey

### **Abstract**

Traffic network assignment is the last phase in the classical 4-phase traffic forecasting model. There are different methods of traffic assignment ranging from the most simple »all or nothing« method to the complex iterative methods such as Tribute method, however, only some of them are suitable for network assignment distribution modeling considering toll collection influence. For toll collection influence modeling we must consider the so called value of time. Value of time is indicated in the actual diversions from motorways and can be established with revealed preference surveys. Surveys can also be performed by questioning the road-users. The method cannot be used without the help of the police and besides that it requires a highly qualified team for registering the plates and additional sources. Due to the mentioned factors the stated preference survey has commonly been used in the world. The respondents express their preferences regarding their reactions in some hypothetical situations. Such surveys achieve rather reliable estimations even when based on relatively small samples.

The purpose of this paper is to present the most suitable stated preference survey method and to compare different methods of stated preference data analysis. Finally, the results of simulation using stated preference data are compared to revealed preference surveys.

## **ZAHVALA**

*Na tem mestu se bi rad zahvalil mentorju doc. dr. Marijanu Žuri za številne napotke in podporo pri nastajanju magistrskega dela ter g. Zdenku Breški za pomoč pri matematičnem delu naloge. Zahvaljujem se vsem na PTI-ju, ki so prisostvovali pri nastajanju tega dela in za dobro, sproščeno vzdušje. Hvala vsem bližnjim, ki so mi ves čas študija stali ob strani.*

## KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
KAZALO PREGLEDNIC	X
LIST OF TABLES	X
KAZALO SLIK	XI
LIST OF FIGURES	XII
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Predstavitev problematike, aktualnost tematike</b>	<b>1</b>
1.1.1 Izhodišča za izvedbo naloge, program in metode dela	2
<b>1.2 Cilji naloge</b>	<b>3</b>
<b>2 PREGLED TUJIH RAZISKAV</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Primerno zastavljena cena</b>	<b>4</b>
2.1.1 Merjenje uporabnikove koristi	8
2.1.2 Nelinearna struktura cene	9
<b>2.2 Povpraševanje po cestninjenih povezavah</b>	<b>9</b>
2.2.1 Vrednost časa za model povpraševanja	10
2.2.2 Uporabljen vrednost časa pri vrednotenju projektov	13
<b>2.3 Vrednost časa in operativni stroški</b>	<b>15</b>
2.3.1 Vrednost delovnega časa na osebo	15
2.3.2 Vrednost nedelavnega časa na osebo	17
2.3.3 Letne mere rasti in vrednosti časa	19
<b>3 TEORETIČNE OSNOVE</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Funkcija upora</b>	<b>21</b>
3.1.1 Potovalni časi	21
3.1.2 Upor	24
3.1.3 Osnovni volumen	25
<b>3.2 Tribut metoda</b>	<b>25</b>
3.2.1 Zgodovina Tribut-a	25
3.2.2 Splošni pregled	26
3.2.3 Formuliranje naloge	26
3.2.4 Stroškovno časovni diagram	27
3.2.5 Vrednost časa kot log-normalno porazdeljena slučajna spremenljivka	28
3.2.6 Iskanje poti: Efektivna meja kot izključujoči kriterij	29
3.2.7 Iskanje poti za podano množico alternativ	31
3.2.8 Uravnavanje izbire poti med iteracijami	32



3.2.9	Cestninski modeli	34
3.2.10	Razporejanje potovanj več razredov hkrati	35
3.2.11	Določanje parametrov $\overline{vt}$ in $\sigma$	35
3.2.12	Nekaj vidikov modeliranja potovalnega časa	36
3.2.13	Razširjenost Tribut metode	36
<b>3.3</b>	<b>Inkrementalna metoda</b>	<b>37</b>
3.3.1	Ocena inkrementalne metode	38
<b>3.4</b>	<b>Metoda ravnovesja</b>	<b>39</b>
3.4.1	Ocena ravnotežne metode	40
<b>4</b>	<b>UPORABLJENA METODOLOGIJA</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Anketa izražene preference</b>	<b>43</b>
4.1.1	Značilnost anketiranja	43
4.1.2	Atributi in alternative	44
4.1.3	Zasnova alternativ	44
4.1.4	Identifikacija preferenc	45
4.1.5	Način vzorčenja	45
4.1.6	Realnost in kompleksnost analize	46
4.1.7	Kvaliteta analize	46
<b>4.2</b>	<b>Zasnova programske opreme – uporabniški vmesnik anketarja</b>	<b>47</b>
4.2.1	Uporaba računalnikov v analizi	49
<b>4.3</b>	<b>Obdelava anket</b>	<b>50</b>
4.3.1	Log-normalna porazdelitev	50
4.3.2	Logit analiza ankete izraženih preferenc	51
<b>5</b>	<b>REZULTATI ANKET</b>	<b>54</b>
5.1.1	Lokacije anketiranja	54
5.1.2	Tržni segmenti anketiranja	54
5.1.3	Osnovne analize anket	56
<b>5.2</b>	<b>Rezultati obdelave anket</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>PRIMERJAVA REZULTATOV SIMULACIJE</b>	<b>63</b>
<b>6.1</b>	<b>Obremenjevanje s Tribut metodo</b>	<b>65</b>
<b>6.2</b>	<b>Validacija modela</b>	<b>66</b>
<b>6.3</b>	<b>Rezultati simulacije in števni podatkov</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČKI IN UGOTOVITVE</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>73</b>
	<b>VIRI</b>	<b>75</b>
	<b>PRILOGA</b>	<b>77</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lokacije anketiranja	54
Preglednica 2: Primerjava rezultatov z logit in log-normalno analizo	61
Preglednica 3: Koeficienti funkcije koristi	61
Preglednica 4: Vrednost časa na AC krakih (osebna vozila)	62
Preglednica 5: Karakteristike simuliranih povezav	64
Preglednica 6: Uporabljeni parametri za Tribut metodo	66
Preglednica 7: Primerjava rezultatov Tribut metode in štetja	67
Preglednica 8: Validacija – statistična metoda GEH	68

## LIST OF TABLES

Table 1: Enquiry location	54
Table 2: Comparison results of logit and log-normal analysis	61
Table 3: Coefficient of benefit function	61
Table 4: Value of time on motorways legs (personal vehicle)	62
Table 5: Characteristics of simulated links	64
Table 6: Used parameters for Tribute method	66
Table 7: Comparison of simulation results with observed data	67
Table 8: Validation – statistical method GEH	68

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz razmerja med ceno in dobičkom	5
Slika 2: Prikaz razmerja med ceno in volumnom	7
Slika 3: Linearna in nelinearna struktura cene	9
Slika 4: Vrednost časa v Evropi (Eur/h) za delovni potovanje – osebni avto	14
Slika 5: CR funkcija za $a=1$ in $c=1$ , $t_{cur}=t_0*f(q/q_{max})$	22
Slika 6: CR funkcija za $c=1$ , $t_{cur}=t_0*f(Sat)$	24
Slika 7: Stroškovno-časovni diagram z alternativnimi potmi in kritično vrednostjo časa	28
Slika 8: Funkcija gostote	29
Slika 9: Porazdelitvena funkcija	29
Slika 10: Efektivna meja optimalne poti	30
Slika 11: Izbira poti za začetno obremenjevanje	32
Slika 12: Sprememba efektivne meje	34
Slika 13: Različne porazdelitve VT	35
Slika 14: Potek inkrementalne metode	38
Slika 15: Potek ravnovesne metode	40
Slika 16: Ravnoteženje mreže enega O-D para	41
Slika 17: Programska oprema pri anketiranju – Anketiranec	47
Slika 18: Programska oprema pri anketiranju – Potovanje	48
Slika 19: Programska oprema pri anketiranju – Situacije	48
Slika 20: Deleži anketiranih na avtocesti	55
Slika 21: Delež anketiranih na vzporedni cesti	56
Slika 22: Struktura anketiranih po mesečnih dohodkih	57
Slika 23: Struktura anketiranih po izobrazbi	58
Slika 24: Zasedenosti osebnih vozil	59
Slika 25: Status	60
Slika 26: Lokacije beleženja registrskih tablic (a) Iv. Gorica, (b) Bič	65

## LIST OF FIGURES

Figure 1: Relation between cost and profit	5
Figure 2: Relation between cost and volume	7
Figure 3: Linear and non- linear price structure	9
Figure 4: Value of time in Europe (Euro/h) for working travel by private car	14
Figure 5: CR function for $a=1$ and $c=1$ , $t_{cur}=t_0*f(q/q_{max})$	22
Figure 6: CR function for $c=1$ , $t_{cur}=t_0*f(Sat)$	24
Figure 7: Time-cost diagram with alternative paths and critical value of time	28
Figure 8: Density function	29
Figure 9: Distribution function	29
Figure 10: Efficient frontier of optimum path	30
Figure 11: Path choice for initial loading	32
Figure 12: Adjustment of the efficient frontier	34
Figure 13: Multi-class VT-distributions	35
Figure 14: Incremental assignment procedure	38
Figure 15: Equilibrium assignment procedure	40
Figure 16: Network balancing for an O-D pair	41
Figure 17: Survey software equipment – Respondent	47
Figure 18: Survey software equipment – Journey	48
Figure 19: Survey software equipment – Situations	48
Figure 20: Portions of respondents on motorway	55
Figure 21: Portions of respondents on parallel road	56
Figure 22: Structure of respondents according to monthly income	57
Figure 23: Structure of respondents regarding education	58
Figure 24: Vehicle occupancy	59
Figure 25: Social position	60
Figure 26: Locations of license plate matching (a) Iv. Gorica, (b) Bič	65

# 1 UVOD

V klasičnem štirifaznem modelu za napoved prometa je zadnja faza, razporejanje potovanj po cestni mreži. Za razporejanje potovanj obstajajo različne tehnike, od najenostavnejših, kot je na primer metoda vse ali nič, do kompleksnih iterativnih metod, kot je npr. inkrementalno razporejanje in Tribut metoda. Vendar so le nekatere med njimi primerne za modeliranje razporejanja potovanj po cestni mreži z upoštevanjem cestnine.

Za modeliranje prometnega modela, ki upošteva vpliv cestnine, potrebujemo t.i. vrednost prihranka časa. Vrednost prihranka časa, ki se izraža z dejanskim odlivom prometa s cestninskih cest na vzporedne ceste, je možno ugotoviti z raziskavami odkrite preference. Te se lahko izvajajo tudi z anketami voznikov na cestni mreži. Vendar je ta metoda neizvedljiva brez sodelovanja policije, poleg tega je za beleženje registrskih tablic potrebna obsežna izurjena ekipa in s tem tudi sredstva. Zaradi omenjenega se v svetu vedno pogosteje uporabljajo ankete izraženih preferenc. S temi anketami lahko že s sorazmerno majhnim vzorcem dosežemo statistično dokaj zanesljive ocene.

## 1.1 Predstavitev problematike, aktualnost tematike

Cestnina predstavlja pomemben finančni vir za izgradnjo in vzdrževanje avtocest in je zato lahko učinkovito orodje prometne politike. S primerno višino cestnine lahko maksimiramo prihodke od pobranih cestnin ter vplivamo na razporejanje potovanj med plačljivimi cestami in tistimi, kjer cestnine ni. V primerih, ko imamo situacije z izredno negativnim vplivom na okolje, se lahko s pomočjo cestnine promet preusmerja na alternativne poti. S povečanjem razlik med plačilnimi razredi se lahko vzpodbuja preusmerjanje tovornega prometa preusmeri na železnico, kjer je vpliv na okolje občutno manjši. S spreminjanjem višine cestnine med dnevom lahko vplivamo na razporeditev prometnih konic in s tem tudi na okoljski vidik onesnaževanja med prometnimi zastoji.

Pred vsako odločitvijo je potrebo predvideti oziroma preveriti do kakšnih sprememb bo prišlo. Lahko se zgodi, da je sprememba cene premajhna in ne dosežemo zelenega učinka. Z

druge strani lahko prevelika sprememba v ceni privede do velikega odliva vozil s plačljive ceste in s tem do zastojev na paralelnih povezavah. Za napoved takih pojavov se uporablja različne matematične modele. Najbolj razširjen je štiristopenjski model, v katerem je napoved prometa po mreži zadnja faza v postopku.

### **1.1.1 Izhodišča za izvedbo naloge, program in metode dela**

Potencialen vir podatkov za razvoj diskretnih modelov izbire poti ponavadi potrebuje podatke ankete izražene preference. Lahko se uporabi tudi anketne podatke odkrite preference vendar potrebujejo obsežno zbirko obstoječih podatkov o lastnostih in potovalnih vzorcih uporabnika. V primerjavi s preteklostjo so vsekakor v veliko olajšavo GIS orodja in dostopnejši podatki, vendar pri odkritih preferencah ostajajo še vedno nekateri tehnični problemi.

V okviru naloge je bil izdelan pregled različnih metod za izvedbo analize izraženih preferenc, obdelane so bile teoretične osnove posameznih metod analize podatkov in teoretične osnove različnih tehnik razporejanj potovanj po mreži. Primernost posameznih metod je bila preizkušena tako, da je bil simuliran odliv na izbranem odseku ter primerjan z dejanskim odlivom, ki je bil ugotovljen s štetjem prometa.

Med metodami razporejanja potovanj po mreži, ki upoštevajo vrednost cestnine, je bila preizkušena Tribut metoda.

V prvi fazi so bile podrobno predstavljene teoretične osnove posameznih metod, s poudarkom na tuji literaturi. Zasnovana je bila anketa oziroma izdelano je bilo programsko orodje za izvedbo ankete.

V drugi fazi je bila izvedena anketa na terenu na izbranem vzorcu, ki je bil definiran v predhodni fazi. Glede na prve izkušnje »poskusnega« anketiranja je bila ustrezno modificirana programska oprema za izvedbo ankete.

V zadnji fazi so bili analizirani rezultati ankete in ocena primernost uporabe določenih metod glede na specifične razmere v Sloveniji (razširjenost programske opreme, prostorske razlike v vrednosti časa...) s predlogi za nadaljnjo uporabo.

## **1.2 Cilji naloge**

Namen naloge je bil izdelati predlog najprimernejše metode raziskav izraženih preferenc, primerjati različne metode analize podatkov in testirati rezultate simulacije odlivov z dejanskim stanjem (odlivi pridobljenimi s štetjem prometa).

Rezultat raziskave je predlog optimalne metode za izvedbo anket izraženih preferenc, obdelavo podatkov in metode razporejanja potovanj po cestni mreži. Z uporabo novih metod pričakujemo zmanjšanje stroškov pri zbiranju potrebnih podatkov pri izdelavi prometnih študij, ki vključujejo cestninske ceste.

Na osnovi izraženih preferenc dobljena vrednost prihranka časa bo služila za oceno optimalne višine cestnine z vidika maksimiranja prihodkov ter za ostale relevantne kasnejše ekonomske analize.

## 2 PREGLED TUJIH RAZISKAV

### 2.1 Primerno zastavljena cena

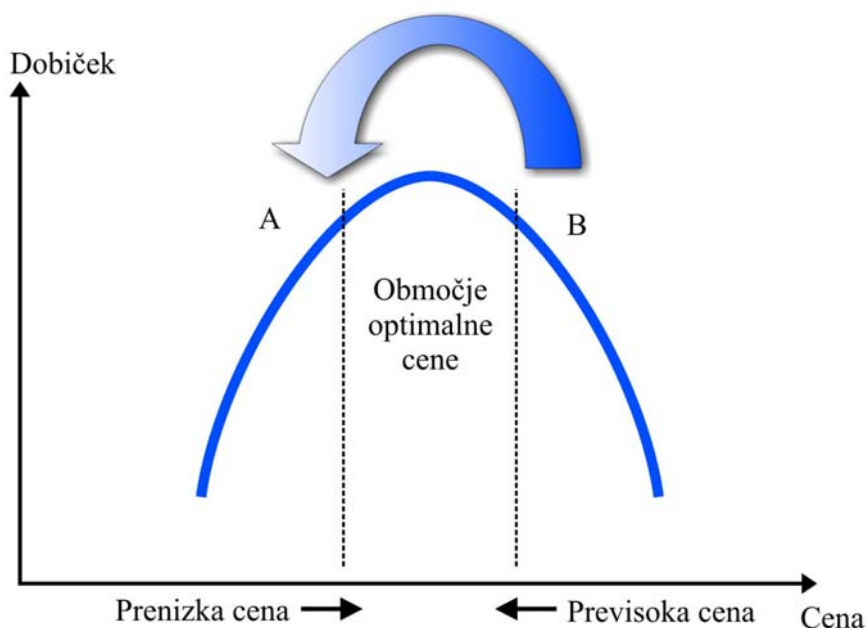
V zadnjih 20 letih interes po privatnem financiranju cest, predorov in mostov nenehno narašča. Poleg dobljenih rezultatov vrednosti časa velja še opomniti na nekaj pogledov, izkušenj in rezultatov iz tujih projektov pri postavitvah optimalnih cen.

Z nekaterimi projekti se je v preteklosti dokazalo, da se variabilno cestninjenje lahko na zelo obremenjeni cesti, učinkovito uporabi za zamik prometa iz konic na nekonični čas. Moderni sistemi cestninjenja ne omogočajo samo zbiranja cestnine po času v dnevu ali v tednu ampak omogočajo tudi cestninjenje glede na nivo uslug prometa in/ali uporabo posebnih prometnih pasov.

Za zagotovitev rentabilnosti tovrstnih projektov je potrebno uporabiti vse prometne napovedi, ki so osnovane na ekonomskih ocenah.

Konkreten primer, kako pomembno je določiti primerno mostnino je most Oresund med mestoma Malmo na Švedskem in Kopenhagen na Danskem preko Oresunda. Po odprtju je promet zelo dolgo ostajal pod pričakovanjem upravljavcev mostu. Namesto 10.000 avtomobilov na dan in 1.000 tovornih vozil je most prečkalo manj kot 9.000 avtomobilov in 300 tovornih vozil na dan. Prometni strokovnjaki so vzrok za nizek prometni pretok pripisali previsoki mostnini. Spregledali so, da most predstavlja alternativo za ekonomsko vzdržnost samo za potovanja iz in v najjužnejši del Švedske. Povrh je bila cena enosmerne vožnje za avtomobile višja od železniške alternative. Kasneje so upravljavci reagirali in prvotno ceno znižali skoraj za 50 %. Razmerje med ceno in dobičkom je prikazano na naslednji sliki.





*Slika 1: Prikaz razmerja med ceno in dobičkom*

*Figure 1: Relation between cost and profit*

V primeru zviševanja cene je zelo pomembna hitrost zviševanja. Primeri iz Kanade kjer so upravljavci zvišali cestnino v dveh letih za petino, to potrjuje, saj so zviševali ceno postopoma in ne naenkrat. Po določenem času se je odločitev izkazala kot dobra saj je bil dobiček od pobrane cestnine neprimerno večji.

Izbira ustrezne cestnine potrebuje poznavanje zveze med prometnim volumnom in ceno. To je mogoče samo z dobrim poznavanjem uporabnikovih koristi. Ob poznavanju uporabnikovih koristi je mogoče v največji meri izkoristiti uporabnikovo pripravljenosti plačati za neko storitev. Vsekakor je profesionalni marketing in dobro zastavljena cena, lahko uporabna pri vseh fazah projekta. Popolna strategija cenovnih opcij se mora oceniti že v začetni fazi projekta, kar tudi večina upravljavcev cest, predorov in mostov stori. V začetni fazi se lahko zastavi naslednja vprašanja:

- Kako potencialni uporabniki privatnega dela ceste, mostu ali predora vrednotijo ponujeno alternativo (pozitivno ali negativno) v primerjavi z drugimi alternativami?
- Katero so ključni vozniki za ciljno skupino uporabnikov?

- Ali je mogoče določiti segmente kateri bi lahko doprinesli dodaten dobiček, v primeru ponujenega dodatnega – alternativnega servisa?
- Kako celoten prometni volumen vpliva pri različnih cenovnih ravneh?
- Strategija cen se mora razviti, ko je projekt dodeljen in gre v izvedbo, s pomočjo ugotovljenih tržnih informacij katere so bile pridobljene v začetni fazi.

Običajen pristop pri katerem je mišljeno samo na kategorijo vozil, kot so avtomobili, tovornjaki, motorna kolesa je popolnoma zgrešen. V fazi implementacije bi morali biti postavljeni naslednji koraki:

- Kakšna je prilagodljivost cene (price elasticity) in pripravljenost plačila za vsak segment? Na primer kako je prihranek časa podan – vrednosten za vsak segment?
- Katero kategorijo cen ima smisel uporabiti? Primer vključuje cenovne skupine, službene/privatne cene, konično/nekonično razmerje, težka/lahka vozila.
- Kako se lahko nudi konkurenčen prevoz, v primerjavi z železniškim ali ladijskim prometom?
- Kako se lahko prometni volumen in dohodek spremeni v srednjem in dolgem časovnem obdobju?
- Kateri proces se mora definirati in kateri sistem se mora razviti za implementacijo optimalne strategije postavitve cene?

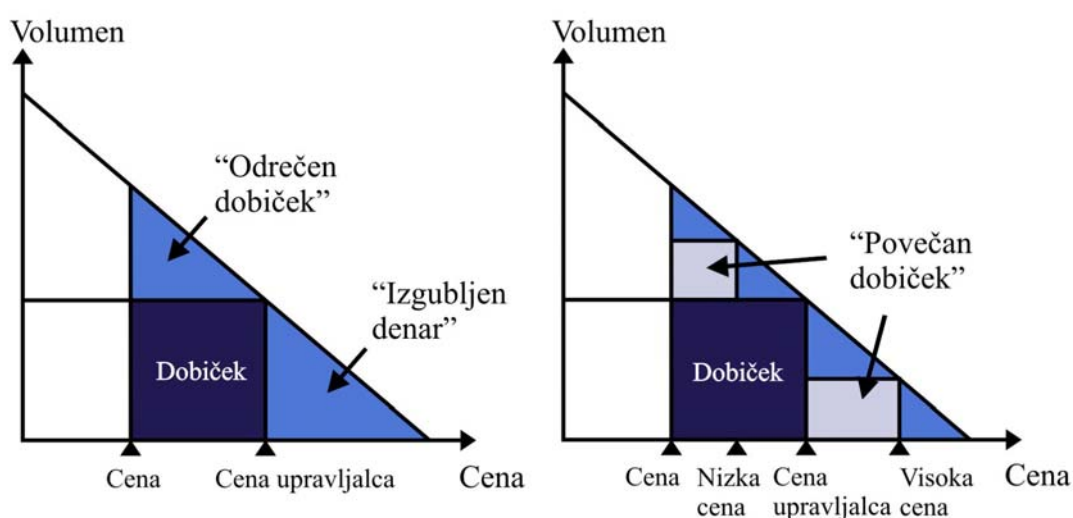
Ustrezno in popolno delovanje v fazi obratovanja lahko zagotavlja samo profesionalni marketing. Na tem mestu je potrebno izvesti naslednje korake:

- pregled in podrobna obdelava prometa ter finančna napoved;
- stopnjevanje dohodka preko natančne strukture cene v okvirih vzvodov javne politike
- razvoj marketinških programov za podporo – uporabe cest, mostov in tunelov in za povezavo koristi, kot tudi razpoložljive strukture cene za vsak segment uporabnikov.

Višina in struktura cestnine je vsekakor kritičnega pomena za dobiček privatnega financiranja cest, predorov in mostov. Ključ do dobrega cenovnega sistema je zadovoljiti potrebam vsem vrstam uporabnikov, pri katerih je vsekakor potrebno ustreči specifičnim potrebam skupine.

Potencialne uporabnike se lahko deli na primer na dnevne migrante, dopustnike, službene potnike itd. Iz vidika dobička je ponavadi služenje vsem segmentom z enim produktom z eno ceno neoptimalno. To pa zato, ker je pripravljenost plačila pri nekaterih uporabnikih lahko višja (pridobitev dobička) pri drugih pa nižja (izguba dobička).

Na naslednji sliki so prikazana območja za različne plačilne razrede in strukture za posamezne segmente, ki zelo vplivajo na potencialno višino dobička.



Slika 2: Prikaz razmerja med ceno in volumnom

Figure 2: Relation between cost and volume

Čeprav primerno določena cena predstavlja dobro možnost dobička za upravljavce cest, predorov ali mostov se je potrebno zavedati tudi pasti v primeru napačno določenih cen. Iz preteklih izkušenj je razvidno, da so želene tržne informacije običajno nepopolne oziroma dostopne samo v okrnjeni obliki.

V naslednjem koraku se z uporabo tržnih simulacijskih modelov, ki so razviti ravno za ta namen, določi optimalna plačila za posamezne skupine in strukturo plačila z upoštevanjem prilagodljive cene in pripravljenostjo plačila.

Za zvečanje dobička obstoječih cest, predorov in mostov lahko uporabimo enak pristop kot je uporabljen za novo infrastrukturo.

V tem kontekstu redni pregled strukture cene, stopnje cene in določitev posameznih segmentov lahko nudi ogromno možnost dobička.

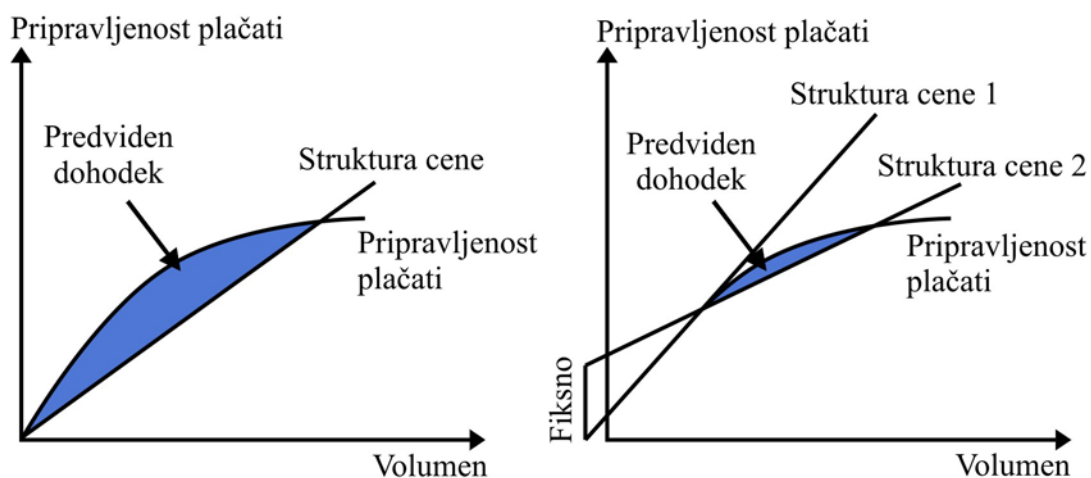
### **2.1.1 Merjenje uporabnikove koristi**

Skupno merjenje omogoča izmero pomembnosti, ki povezuje posameznika na določen produkt ali servis in se izogiba pastem direktnega spraševanja. Ta se odraža v odgovorih, ki so grobi približki posameznikovega odnosa do potovalnih alternativ in v najslabšem primeru, predmet manipulacije. S skupno meritvijo je potencialni uporabnik seznanjen z potovalnimi alternativami in izbira med alternativami, ki sistematično variirajo z uporabo interaktivnega računalniškega programa. Rezultati so zelo realni in dovoljujejo pravilno določitev vrednosti koristi, ki predstavljajo osnovo za identifikacijo segmentov, določajo »pripravljenost plačati« in nazadnje za odgovarjanje na zgoraj zastavljena vprašanja.

Maksimiziran dobiček je odvisen od cene in strukture cene. Smiselno je prilagoditi cestnine individualni uporabi cest, predorov in mostov. Nelinearna struktura cene ima dva ali več komponent obračunavanja katere so:

- fiksni del cestnine, ki je neodvisen od nivoja uporabe in
- variabilni del cestnine (na primer dolžina na cesti, uporaba predorov in mostov).

V takem pristopu je potrebno imeti kombinacijo linearno in nelinearno strukturo cene tako kot je prikazano na naslednji sliki.



*Slika 3: Linearna in nelinearna struktura cene*

*Figure 3: Linear and non- linear price structure*

### 2.1.2 Nelinearna struktura cene

Nelinearna struktura cene nudi boljše možnosti izkoriščanja v primerjavi z linearno ceno zato, ker cena za enoto (npr. na prevožen kilometer) pada z večanjem dolžine poti. Prednost nelinearne strukture cene je v tem, da uporabniki po plačilu fiksnega dela cestnine, za relativno majhno ceno koristijo cestninjene povezave.

## 2.2 Povpraševanje po cestninjenih povezavah

Pri prometnem obremenjevanju je potrebno posvetiti posebno pozornost pri uporabi primerne vrednosti časa.

Nekateri prometni modeli uporabljajo enotno vrednost časa za vse uporabnike v cestni mreži. Enotne vrednosti časa se uporablja za pridobitev generaliziranih stroškov potovanj in za izvorno-ciljne (O-D) matrike na cestni mreži.

### 2.2.1 Vrednost časa za model povpraševanja

Iz raziskav, ki so bile narejene na tujem je razvidno, da se vrednost časa, katero se uporablja za namen prometnega povpraševanja mora ločiti od vrednosti, ki se uporablja za evaluacijo prometnih projektov in strategij. Pri določevanju cene in koristi za ekonomsko vrednotenje, morajo potovalni stroški odražati skupno družbeno vrednost, medtem ko modeliranje povpraševanja potovanj zahteva oceno vrednosti potovalnega časa posameznika. Glede na potnikovo izbiro cilja (distribucija potovanja – trip distribution), vrsto potovanja (modal-split) in izbiro poti (prometno obremenjevanje – traffic assignment) se pri prometnem modeliranju uporabljajo različne vrednosti časa. V praksi se uporablja »generaliziran stošek«, ki vključuje različne lastnosti potovanja (čas potovanja, cena), v stroškovni funkciji. Zaradi tega se za pretvorbo časovnih enot v ekvivalentne denarne enote uporablja vrednost časa.

Veliko število raziskovalnih ustanov, upravljavcev avtocest v Avstraliji, severni Ameriki, Evropi in drugod uporablja enotno vrednost časa za vse vrste potovanj oziroma tržnih segmentov.

Vrednosti časa se lahko določi na naslednje načine:

- Empirične študije, ki lahko uporabljajo izražene ali odkrite preference. V anketah izraženih preferenc se uporabnike ali potencialne uporabnike prometnih sistemov sprašuje po izbiri med potovalnim časom, ceno potovanja in ostalih potovalnih atributih v seriji hipotetičnih situacij. Razmerja se beležijo med časom in stroškom, pri tem pa se vrednost časa izpelje s kalibracijo logit modelov. Alternativa so odkrite preference katere se lahko uporabljajo na osnovi dejanske izbire respondentov, kjer se izbire beležijo na poteku dejanskih potovanj.
- Pregled raziskav vrednosti delovnega časa. Ocene se nanašajo na potovanja katera so bila narejena v okviru dela, kot osnova se uporabljajo odnosi med plačami.

Tehnike izraženih preferenc imajo prednosti pred pristopi odkritih preferenc zaradi:

- Možnosti pridobitve podatkov o namelih uporabnikov katere je težko ali nemogoče pridobiti iz odkritih preferenc;
- Možnosti pridobitve niza opcij, katerih trenutno nimamo na voljo.

V avstralski raziskavi, v katero je bilo vključenih šest glavnih mest, so za določitev vrednosti časa uporabljali tehnike izraženih preferenc. Za osebna vozila so se vrednosti gibale med 6,5 in 7,2 \$/uro za javni promet pa med 3,4 in 7,5 \$/uro. Ugotovili so, da na vrednost časa vpliva starost voznikov, osebni dohodek in lastništvo osebnega avtomobila. Druge socio-ekonomske karakteristike kot so zaposlenost, zaposlitveni status, spol, mesto stalnega bivališča, imetje vozniškega dovoljenja, stopnja izobrazbe niso vplivale na vrednost časa.

*Vrednost časa za glavna avstralska mesta (\$/h) glede na letni prihodek (\$000) (Povzeto po: Lake, Ferreira, 2002)*

Prihodek	9	25	35	45	55	65	80
VT poln delovni čas-osebni avto	2,11	5,87	8,22	10,56	12,91	15,26	18,78
VT poln delovni čas-javni prevoz	2,11	5,87	8,22	10,56	12,91	15,26	18,78
VT polovični delovni čas-osebni avto	1,83	5,08	7,12	9,15	11,18	13,22	16,27
VT polovični delovni čas-javni prevoz	1,83	5,08	7,12	9,15	11,18	13,22	16,27

Iz raziskav v Veliki Britaniji je moč razbrati, da model izražene preference daje zanesljivejše rezultate v primerjavi z ostalimi raziskavami, saj je metoda enostavnejša in lažje primerljiva z dejanskim procesom odločanja. Metode izražene preference in odkrite preference dajejo v povprečju podobne rezultate, vendar je pri vrednostnih odkritih preferenc opaziti večje razlike.

*Vrednost časa za glavna avstralska mesta (\$/h) glede na dolžino potovanja (Povzeto po: Lake, Ferreira, 2002)*

Prihodek	Dolžina potovanja	Poln	Poln	Polovični	Polovični
		delovni čas osebni avto	delovni čas osebni avto	delovni čas tranzit	delovni čas tranzit
9	kratka	2,11	1,85	2,01	1,77
9	srednja	2,00	1,74	2,18	1,92
9	dolga	2,16	1,81	0,96	0,74
25	kratka	5,49	4,81	4,58	4,00
25	srednja	5,82	5,02	4,58	4,02
25	dolga	6,25	5,20	5,12	4,52
35	kratka	7,57	6,63	6,16	5,36
35	srednja	7,98	6,88	6,29	5,51
35	dolga	9,18	7,69	6,44	5,65
45	kratka	9,81	8,59	7,75	6,73
45	srednja	10,94	9,40	7,67	6,69
45	dolga	11,16	9,44	8,05	7,05
55	kratka	11,89	10,41	8,02	6,72
55	srednja	12,85	11,09	9,61	8,39
55	dolga	14,63	12,20	9,77	8,55
65	kratka	14,18	12,40	-	-
65	srednja	16,02	13,73	-	-
65	dolga	17,71	14,88	12,80	-
80	kratka	17,21	15,07	12,56	10,73
80	srednja	19,01	16,36	13,62	-
80	dolga	21,22	17,93	14,05	-

Poleg zanesljivosti metode izražene preference je bilo raziskano ozadje voljnosti plačila cestnine, s pomočjo uporabe vprašalnika, izbire-poti in programskih orodij. Rezultati so pokazali, da obstaja povečana možnost odliva iz cestninskih povezav v kolikor je vrednost časa večja od 9,3 penija na minuto.



Zelo razširjeno (pri nas in v tujini) analitično programsko orodje AASIDRA ima za nekatere države po svetu že vnaprej prednastavljene vrednosti za izračun vrednosti časa. Privzete vrednosti za izračun vrednosti časa v programskem orodju AASIDRA so podane v naslednji preglednici.

*Privzete vrednosti časa v programskem orodju AASIDRA: Avstralija, Nova Zelandija in Združene države Amerike (Povzeto po: Akcelik, 2000)*

	Avstralija (\$AUD)	Nova Zelandija (\$NZD)	ZDA (\$USD)
Povprečen dohodek (poln delovni čas; povprečni urni zaslužek) (\$/h)	20,00	16,80	15,00
Faktor vrednosti časa proporcionalno na poprečno urno postavko	0,60	0,90	0,40
Povprečna zasedenost vozila	1,5	1,5	1,2
VT (faktor vrednosti časa - povprečen dohodek)	12,00	15,12	6,00
VT (faktor vrednosti časa - povprečen dohodek - zasedenost vozila)	18,00	22,68	7,20

Ocene vrednosti časa pridobljene s pomočjo izraženih preferenc so občutljive na:

- število alternativ pri ponujeni izbiri,
- niz in raven časovnih in stroškovnih atributov.

### **2.2.2 Uporabljena vrednost časa pri vrednotenju projektov**

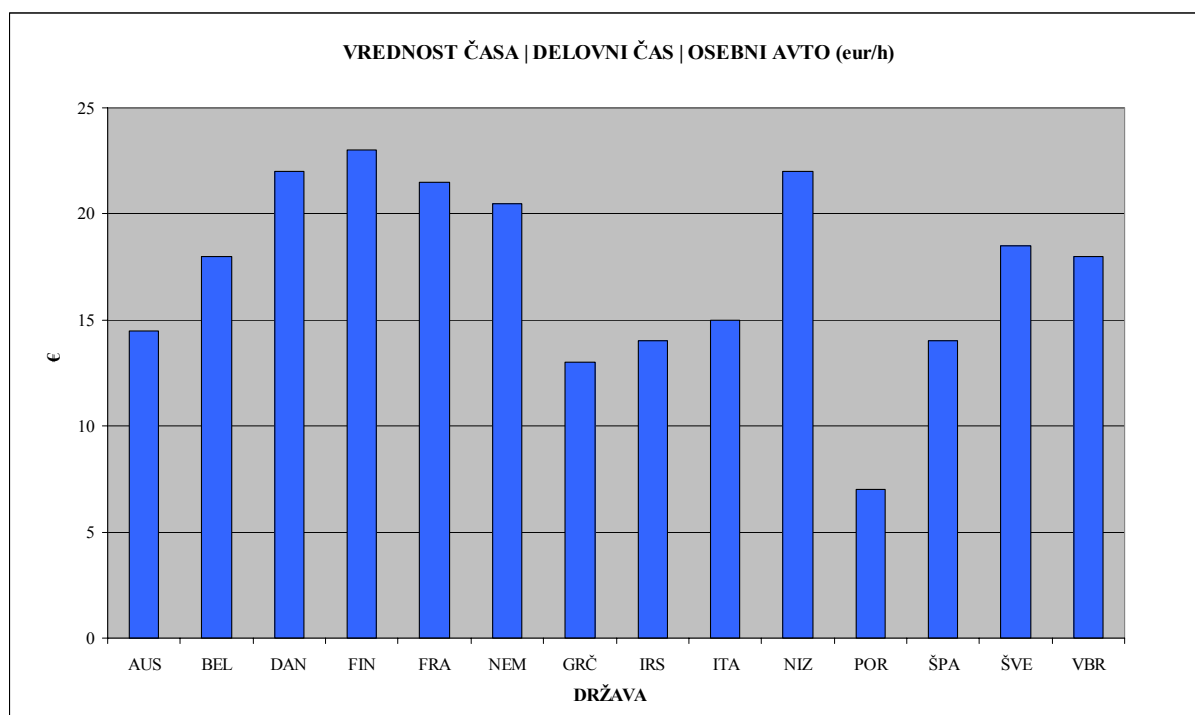
Za določitev vrednosti časa za potrebe vrednotenja projektov je bilo narejenih veliko raziskav v različnih državah. V Nemčiji je evaluacija transportnih projektov zasnovana na dveh izvorih: (1) odnos med povprečno plačo in (2) analize izražene preference za generiranje različne strukture članov gospodinjstva za potovalne namene, izbiro transportnega sredstva in kategorijo vozil.

V Evropski uniji se vrednost časa za vrednotenje projektov razlikuje po različnih kategorijah, vključujoč: na osebo ali na vozilo, namen potovanja, vrsta transportnega sredstva, dolžine,

potovalni razred in vrsto vozila. Razpon vrednosti časa se giba med 6,3-23 €/uro za službeno potovanje in 2-8 €/uro za neslužbeno potovanje z osebnim vozilom. Nekatere države npr. Avstrija, Belgija, Francija in Grčija ne uporabljajo ločenih vrednosti časa za delovni in nedelovni čas. V kolikor se razlikuje vrednost delovnega in nedelovnega časa, je učinkovito merilo višina plač. Omenjeni pristop uporabljajo na Nizozemskem in Švedskem, kjer kombinirajo oceno vrednosti prihranka časa delodajalca in delojemalca. V veliko državah za vrednost časa za nedelovni čas uporabljajo od 10% do 45% vrednosti delovnega časa.

Slika 4: Vrednost časa v Evropi (Eur/h) za delovni potovanje – osebni avto

Figure 4: Value of time in Europe (Euro/h) for working travel by private car



V primerjalnih raziskavah metodologij projektov vrednotenja v Veliki Britaniji, Združenih državah Amerike, Franciji, Nemčiji in Japonski je vrednost časa osnovana na podlagi prihodkov, vendar pri določanju vrednosti časa variirajo različni faktorji, kot so tip vozil in namen potovanj.

Uporabljena vrednost časa za vrednotenje projektov:

- Običajno temelji na povprečnem dohodku;

- Običajno je sestavljena iz večih delov: tipom uporabnika ali osebnim prihodkom; namenom potovanja, izbiro prometnega sredstva, dolžino potovanja in vrsto vozila; in
- Največkrat ločena na nedelovni in delovni čas. Z izjemo Japonske večina držav uporablja nižjo vrednost za nedelovni čas.

*Uporabljene vrednosti časa v projektih vrednotenja (Povzeto po: Lake, Ferreira, 2002)*

	VB	Francija	Japonska	ZDA	Nemčija
Vrednost časa	Osnovano na delavnih/ nedelavnih voznikih/ potnikih in vrsti vozila	Vrednosti delavnega in nedelavnega časa so enake	Osnovano na vrsti vozila, delavniku/ dopustu (upošteva čas transferjev in faktorje zastojev pri železniškem prometu)	Odvisno od delavnega časa (višina dohodka) ali nedelavnega časa	Kategorija namena potovanja in vrsti prevoznega sredstva (avtobus, avto, železnica, tovornjak)
Približna vrednost časa (\$/h) delovni čas, osebni avto	18	21	20	8 - 10	20

## 2.3 Vrednost časa in operativni stroški

### 2.3.1 Vrednost delovnega časa na osebo

Čas, ki se porabi med službenim potovanjem se beleži kot strošek delodajalca. Predvideva se, da prihranek med potovanjem spremeni neproduktivni čas v produktiven. Na prostem delovnem trgu se vrednost delovnega časa posameznika odraža v prihodku.

Vrednost delovnega časa se nanaša samo na službena potovanja med delovnim časom kar izključuje potovanja do službenega mesta.

Med procesom prehajanja med skupinami uporabnikov različnih transportnih sredstev, se vrednosti časa ne spreminjajo. V ocenah so za vrednost časa uporabljene povprečne vrednosti. V vsaki skupini (avtobusni potniki, vozniki avtomobila itd.) je porazdelitev vrednosti okoli povprečne vrednosti skupine. Vrednost časa vsakega posameznega potnika v skupini ni enaka

povprečni vrednosti skupine. Poleg tega, lahko prihaja do velikega prekrivanja med porazdelitvami za različne skupine, kar razreši očitno nelogičnost v prehodu med posameznimi skupinami. Vrednost časa se ohranja, vendar, glede na staro skupino, zavzame v novi skupini drug položaj v porazdelitvi vrednosti časa. Npr. voznik avtomobila z višjo vrednostjo časa od povprečne za vse voznike avtomobilov, lahko preide na železnico, kjer je lahko njegova vrednost časa nižja kot povprečna vrednost za vse železniške potnike.

V primerih, kjer se pričakuje velike spremembe v posamezni skupini, lahko prihaja do velikih odstopanj v vrednosti časa, zato se uporablja alternativni pristop, ki se izogne takim problemom, t.j. razdelitev potnikov na skupine, na katere ti dejavniki nimajo vpliva, npr. skupine deljene po prihodku. Vsaki skupini je predpisana svoja vrednost časa. Kjer pride v upoštevanje uporaba takega pristopa, se bi moral izvesti teste z dokazom, da bo privzeta razdelitev odražala raznolikost v vrednostih posameznih skupin.

V določenih okoliščinah bi bilo primerno predvideti skupno vrednost delovnega časa za vse potnike, pri čemer se bi uporabilo povprečno vrednost za vse vrste delavcev (npr. vozniki osebnih avtomobilov, motoristi, kolesarji, pešci itd.). Kjer se uporablja omenjeni pristop, bi bilo potrebno izvesti teste občutljivosti pri katerih se uporabi vrednosti posameznih skupin uporabnikov različnih vrst transportnega sredstva.

*Vrednost delovnega časa na osebo v VB (£/h) (Povzeto po: Values of Time and Operating Costs, 2004)*

Vrsta vozila/udeleženelec prometa	Izhodiščna vrednost	Dejanska vrednost	Cena na trgu
Osebni avto voznik	21,86	21,86	26,43
Osebni avto potnik	15,66	15,66	18,94
Tovorna vozila nad 3,5t (voznik ali potnik)	8,42	8,42	10,18
Tovorna vozila nad 3,5t (voznik ali potnik)	8,42	8,42	10,18

se nadaljuje...

...nadaljevanje

Avtobus, kombi voznik	8,42	8,42	10,18
Avtobus, kombi potnik	16,72	16,72	20,22
Taksi voznik	8,08	8,08	9,77
Taksi potnik	36,97	36,97	44,69
Vlak potnik	30,57	30,57	36,96
Podzemna železnica potnik	29,74	29,74	35,95
Pešec	24,51	24,51	29,64
Kolesar	14,06	14,06	17,00
Motorist	19,78	19,78	23,91
Povprečje vseh delavcev	22,11	22,11	26,73

---

Spremembe v potovalnem času so v podjetjih ovrednotene enako, ne glede na izbiro potovanja – t.j. noben upor ni uporabljen za upoštevanje nepripravljenosti potnikov za hojo ali čakanje na transportno sredstvo. To pa zato, ker se porabljeni ali prihranjeni čas nadomesti ali izgubi v produktivnem delovnem času – potovalni aktivnosti.

### 2.3.2 Vrednost nedelavnega časa na osebo

Večina potovanj se izvede v potnikovem prostem času in ne med delovnim časom. Ljudje ocenjujejo vrednost časa med svojim prostim časom nižje kot med službenim časom. Drugače povedano, ravnati poskušajo varčneje. Zato je primerno upoštevati pri tovrstni vrednosti ocenjevanja vpliv različnih potovalnih strategij oziroma načrtov.

Pripravljenost plačati se lahko znatno spreminja v odvisnosti od prihodka posameznega potnika, vrednosti namena potovanja, nujnosti, udobnosti in atrakcije samega potovanja.

Različne vrednosti lahko potemtakem pravilno pripišemo za:

- porabljen čas pri sami aktivnosti različnih uporabnikov, katerih prihodek in potovalne karakteristike so lahko različne in
- porabljen čas posameznika, na različnih potovanjih ali delih potovanj.

Porabljen čas za hojo oziroma čakalni čas na javni prevoz je pogosto ocenjen veliko več kot pa čas na istem, dejanskem potovanju. Dejstvo je, da so ljudje pripravljeni plačati več za

prihranek časa za čakanje ali hojo, kot bi za enakovreden prihranek časa za vožnjo. Omenjeni pristop je navadno privzet za multi-modalno transportno oceno.

Potnikom predstavlja prihranek časa precejšen delež ugodja potovalne investicije. Če so ocenjene vrednosti časa osnovane na potnikovi pripravljenosti plačati (vedenjske vrednosti) katere so povezane s prihodkom, potem se morajo strategije in plani nagibati proti tistim ocenam, pri katerih imajo največjo korist potniki z višjimi dohodki. Tako se investicije koncentrirajo na področja-cone z visokimi dohodki in se ne ozirajo na tiste z nižjimi dohodki, kateri so lahko v podrejenem položaju (manjša stopnja mobilnosti). Zaradi tega ocena multi-modalnega transporta običajno upošteva vrednosti za nedelavni čas, kar velja za vse skupine in potovalne namene.

Vrednost nedelavnega časa se uporablja za vse nedelavne namene potovanj, vključujoč potovanja do in od delavnega mesta, z vsemi izbirami prometnih sredstev.

Udeležence prometa, ki dnevno potujejo od in do delovnega mesta imenujemo dnevni migranti. Potovanja za druge nedelovne namene, na primer potovanja v prostem času, so lahko združena v skupino ostalo. Med različnimi izbirami prometnega sredstva ni razlik v vrednostih časa med dnevnimi migranti in ostalimi.

Podane vrednosti v preglednici so povprečja katera vključujejo v izračunu tudi upokojene.

*Vrednost nedelovnega časa na osebo v VB (£/h) (Povzeto po: Values of Time and Operating Costs, 2004)*

Namen- pogostost	Izhodiščna vrednost	Dejanska vrednost	Cena na trgu
Dnevni migranti	4,17	5,08	5,04
Ostali	3,68	4,46	4,46

Kjer sta peš in kolesarski promet edini možnosti za prehod iz ene vrste transporta v drugo vrsto prometa, so vrednosti peš in kolesarskega prometa dvakrat večje od vrednosti dnevnih migrantov in ostalih udeležencev.

### 2.3.3 Letne mere rasti in vrednosti časa

V VB uporabljajo vrednost nedelavnega časa, ki je za petino manjša od vrednosti delavnega časa. Vrednosti delovnega časa je nedvomno v povezavi s prihodkom. Za uporabljeno mero prihodka uporabljajo BDP na osebo. Napoved rasti v realnih vrednostih časa je prikazana v naslednji preglednici.

*Napoved rasti vrednosti delovnega in nedelovnega časa (Povzeto po: Values of Time and Operating Costs, 2004)*

Obdobje	Rast BDP (%)	Rast prebivalstva (%)	Rast vrednosti delovnega časa (%)	Rast vrednosti nedelovnega časa (%)
2002 - 2003	2,25	0,27	1,98	1,58
2003 - 2004	2,50	0,27	2,22	1,78
2004 - 2005	3,50	0,28	3,21	2,57
2005 - 2006	3,25	0,28	2,96	2,37
2006 - 2007	2,75	0,28	2,46	1,97
2007 - 2011	2,50	0,29	2,20	1,76
2011 - 2021	2,25	0,31	1,94	1,55
2021 - 2031	1,75	0,20	1,55	1,24
2031 - 2051	2,00	0,01	1,99	1,59
2051 - 2061	1,75	-0,06	1,81	1,45
2061 naprej	2,00	0,00	2,00	1,60

### 3 TEORETIČNE OSNOVE

V okviru naloge so bile obdelane naslednje metode razporejanja potovanj:

- Tribut metoda je bikriterialno razporejanje prometa, ki enakovredno upošteva potovalni čas in stroške. Izbira poti je modelirana z definiranjem vrednosti časa kot naključne spremenljivke porazdeljene log-normalno. Pri tem upoštevamo, da je znesek, ki ga je vsak potnik pripravljen odšteti za plačilo cestnine, odvisen ne samo od prihranka časa, ampak tudi od potnikove preference.
- Inkrementalna metoda, v kateri se izvorno-ciljna matrika (O-D matrika) razdeli v več delnih matrik. Te delne matrike nato zaporedno obremenjujejo mrežo. Iskanje poti izvedemo z upoštevanjem upora, ki je odvisno od prometnih obremenitev predhodnega koraka.
- Metoda ravnovesja, kjer se prometne zahteve razporedijo glede na Wardropov prvi princip: "Vsak posamezen potnik izbere svojo pot na tak način, da bi bilo trajanje njegovega potovanja enako na vseh alternativnih poteh, menjavanje poti pa bi zgolj povečalo potovalni čas." Ravnotežje dosežemo z množico iteracij, katere prvi korak je inkrementalna porazdelitev. V notranji iteraciji se primerjata dve različni poti s prerazporeditvami vozil po teh dveh poteh. Z zunanjo iteracijo preverjamo, če obstajajo nove poti z nižjim uporom, kot posledica obstoječega stanja mreže.

Uporabljene oznake

$v_0$  hitrost prostega prometnega toka [km/h]

$t_0$  potovalni čas prostega prometnega toka [s]

$v_{cur}$  hitrost na napolnjeni prometni mreži [km/h]

$t_{cur}$  potovalni čas na napolnjeni prometni mreži [s]

Imp upor =  $f(t_{cur})$

$q$  prometni tok [št.os.vozil/časovno enoto] = vsota tokov vseh transportnih sredstev, vključno z osnovnim prometnim tokom (preloaded volume)

$q_{max}$  kapaciteta [EOV/časovno enoto]

Sat nasičenje



- $F_{ij}$     število potovanj [št.vozil/čas.enoto] med conama i in j  
F        O-D matrika vseh potovanj

### 3.1 Funkcija upora

Uporabnikova izbira poti je odvisna od objektivnih in subjektivnih faktorjev. Nekateri faktorji, ki vplivajo na izbiro poti, so:

- potovalni čas za posamezno pot,
- dolžina poti in
- cestnina (če obstaja).

#### 3.1.1 Potovalni časi

Potovalni časi so odvisni od nasičenja povezav in križišč, nasičenje pa je odvisno od prometnih obremenitev in kapacitet teh objektov. Potovalni čas med dvema conama je sestavljen iz:

- dostopnega in izstopnega časa,
- časa vožnje po povezavah in
- časa v križiščih.

Za prosti prometni tok je potovalni čas  $t_0$  po povezavi določen z dolžino povezave in dovoljeno hitrostjo  $v_0$ . Pri zavijanjih v križiščih se zavijalni čas določi direktno. Pri napolnjenih mrežah določimo potovalne čase povezav in zavijalne čase v križiščih s pomočjo CR funkcije (capacity restraint function). Te funkcije opisujejo razmerje med dejanskim prometnim tokom  $q$  in kapaciteto  $q_{max}$ . Rezultat teh funkcij je potovalni čas  $t_{cur}$  na obremenjenih mrežah. Tipi CR funkcij:

- HCM funkcije ameriškega "Highway Capacity Manual" (3.1),
- modificirana HCM funkcija z različnim parametrom  $b$  za nasičeno/nenasičeno stanje (3.2, 3.3),
- modificirana HCM funkcija z dodatnim kazenskim parametrom  $d$ , za vsako vozilo v nasičenem prometnem toku (3.4, 3.5),

- INRETS funkcije, razvite na francoskem inštitutu National de Recherche sur les Transports et Leur Securite (3.6, 3.7),
- konstantna funkcija, kjer kapaciteta ne vpliva na potovalni čas ( $t_{cur} = t_0$ ).

HCM funkcije iz ameriškega "Highway Capacity Manual"

$$t_{cur} = t_0 * \left( 1 + a \left( \frac{q}{q_{max} * c} \right)^b \right) \quad (3.1)$$

kjer je:

$t_{cur}$  potovalni čas na obremenjeni mreži [s],

$t_0$  potovalni čas prostega prometnega toka [s],

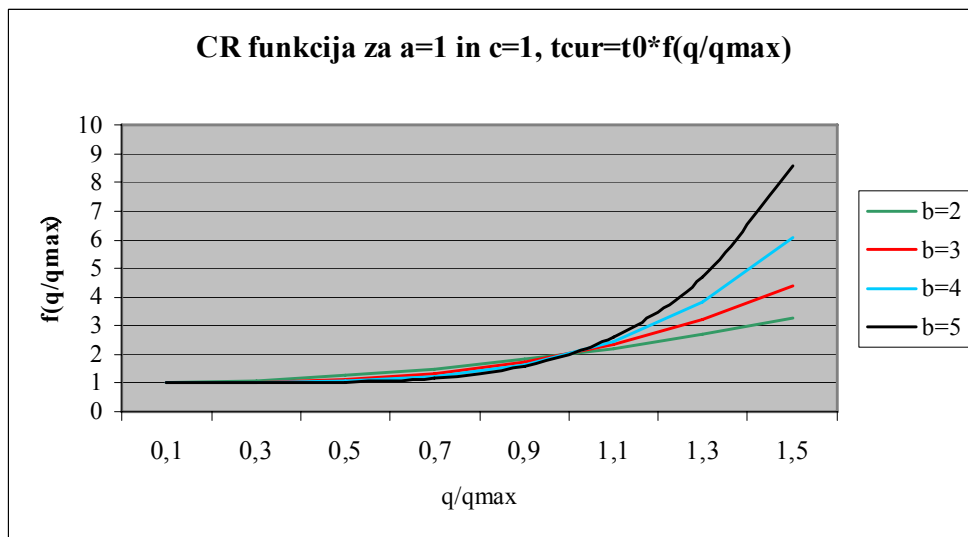
$q$  prometni volumen [EOV/čas. interval] = vsota volumnov vseh transportnih sredstev, vključno s prometom, ki je že na prometni mreži,

$q_{max}$  kapaciteta [EOV/čas. interval],

$a, b, c$  parametri funkcije  $a \in [0; \infty)$

$b \in (1, 2, 3, \dots, 9)$

$c \in [0; \infty)$ .



Slika 5: CR funkcija za  $a=1$  in  $c=1$ ,  $t_{cur}=t_0*f(q/q_{max})$

Figure 5: CR function for  $a=1$  and  $c=1$ ,  $t_{cur}= t_0*f(q/q_{max})$

Modificirana HCM enačba z različnim parametrom b

$$t_{cur} = t_0 * (1 + a * Sat^{b1}) \quad \text{nasičenje} < 1 \quad (3.2)$$

$$t_{cur} = t_0 * (1 + a * Sat^{b2}) \quad \text{nasičenje} < 1 \quad (3.3)$$

kjer so:

$$\begin{aligned} a, b_1, b_2, c & \quad \text{parametri funkcije, in sicer} \quad a \in \{0; \infty\} \\ & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad b_{1,2} \in \{1, 2, 3, \dots, 10\} \\ & \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad c \in \{0; \infty\} \end{aligned}$$

Modificirana HCM enačba z dodatnim parametrom d

$$t_{cur} = t_0 * (1 + a * Sat^b) \quad \text{nasičenje} < 1 \quad (3.4)$$

$$t_{cur} = t_0 * (1 + a * Sat^b) + ((q - q_{max}) * d) \quad \text{nasičenje} > 1 \quad (3.5)$$

Enačba INRETS funkcije

$$t_{cur} = t_0 * \left( \frac{1.1 - a * Sat}{1.1 - Sat} \right) \quad \text{nasičenje} < 1 \quad (3.6)$$

$$t_{cur} = t_0 * \left( \frac{1.1 - a}{0.1} * Sat^2 \right) \quad \text{nasičenje} \Rightarrow 1 \quad (3.7)$$

kjer je:

$$\text{Sat} \quad \text{nasičenje, } Sat = \frac{q}{q_{max} * c}$$

$t_{cur}$  potovalni čas na obremenjeni mreži [s],

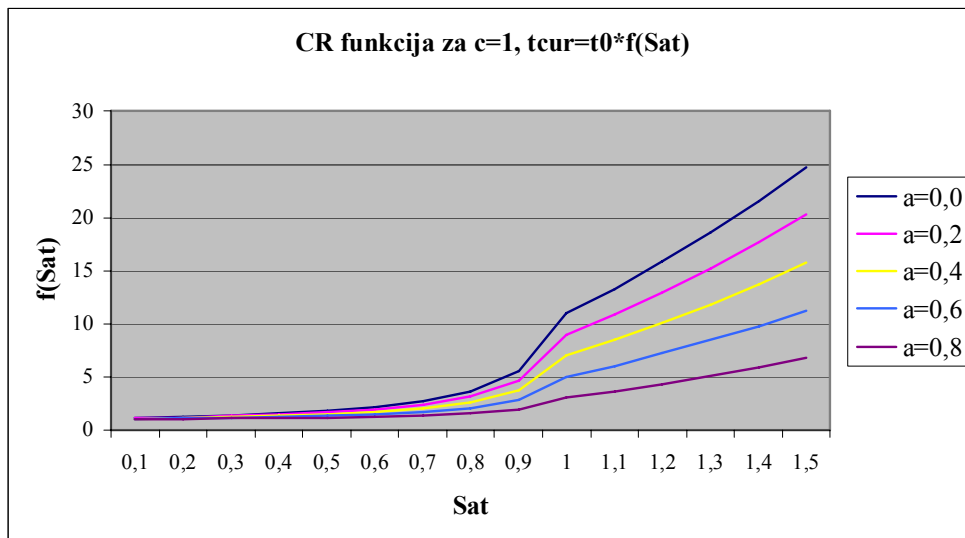
$t_0$  potovalni čas v prostem prometnem toku [s],

$q$  prometni tok [EOV/čas. interval] = vsota tokov vseh transportnih sredstev, vključno z prednaloženim tokom,

$q_{max}$  kapaciteta [EOV/čas. interval],

$a, c$  parametri funkcije, in sicer  $a \in (0; 1]$

$c \in [0; \infty)$ .



Slika 6: CR funkcija za  $c=1$ ,  $t_{cur}=t_0*f(Sat)$

Figure 6: CR function for  $c=1$ ,  $t_{cur}=t_0*f(Sat)$

### 3.1.2 Upor

Upor poti med dvema conama je sestavljen iz:

- upora konektorjev,
- upora povezav (linkov) in
- upora zavijanj.

Upor je funkcija, ki je definirana za vsako vozilo in je odvisna od naslednjih spremenljivk:

- potovalnega časa posameznega transportnega sredstva  $t_{cur}$  [s] na obremenjeni mreži,
- dolžine povezave [m],
- cestnine za posamezno transportno sredstvo [denarna enota],
- definirane "Addvalues",
- faktorja vrste povezave [-].

Ker imajo te spremenljivke različne enote (sekunda, meter, denarna enota), je potrebno, da izražamo upor v denarnih enotah, to pomeni, da potovalne čase pretvorimo v denar s pomočjo faktorja vrednosti časa.

Upor konektorjev in zavijanj je odvisen zgolj od spremenljivk  $t_{cur}$  in v nekaterih primerih tudi od "AddValue". Ker upor konektorjev ni odvisen od kapacitete, je upor dostopnih in izstopnih časov enak, t.j.  $t_{cur} = t_0$ . Proporcionalno distribucijo prometnih obremenitev na različne konektorje se doseže z »virtualno« kapaciteto tako, da se lahko za konektorje privzame  $t_{cur} > t_0$ .

### 3.1.3 Osnovni volumen

Po tem, ko so upori določeni, lahko preučimo tudi osnovni ali prednaloženi volumen (preloaded volume). Osnovni volumni so lahko dodatno definirane vrednosti ali pa vrednosti, ki jih dobimo s porazdelitvijo različnih transportnih sistemov.

## 3.2 Tribut metoda

Tribut je dvokriterijska metoda razporejanja potovanj po mreži (bicriterion traffic assignment method), ki upošteva tako čas potovanja kot ceno. Izbira potovanja med različnimi potmi je modelirana z definiranjem vrednosti časa kot log-normalno porazdeljeno slučajno spremenljivko, pri čemer se privzame, da obstaja za vsako potovanje določena pripravljenost plačila cestnine za ustrezno zmanjšanje časa potovanja. Številne uporabe Tribut-a v svetu so pokazale, da ta pristop nudi precej boljšo cenovno prožnost kot enokriterijske metode. V opisu je obravnavana teoretična osnova Tribut-a v njegovih najizrazitejših značilnostih, ki so: verjetnostna porazdelitev vrednosti časa, načini iskanja ter izbire poti. Poleg tega predstavlja različne vidike uporabe v praksi, še posebej določitve različnih razredov povpraševanja, modeliranje linearnih in nelinearnih cenovnih shem in ocene vrednosti časa.

### 3.2.1 Zgodovina Tribut-a

Tribut je razvil francoski raziskovalni inštitut Inrets, v prakso pa uvedel Francois Barbier-Saint-Hilaire v okviru francoskega programa Davis. Od leta 1990 so Tribut uporabljali francoski prometni inženirji v številnih cestninskih projektih po celem svetu. Tak razvoj s strani Francije ni presenetljiv glede na to, da je bila Francija prva evropska država, ki je uvedla obsežno cestninjenje na njihovi avtocestni mreži. Tako je veliko število cestninskih projektov pokazalo potrebo po bolj sofisticiranih modelih in francoski raziskovalci so postali

vodilni na področju dvokriterijskih modelov razporejanja potovanj, kot tudi z empiričnim raziskovanjem uporabnikov in njihovega obnašanja v kontekstu cestnin.

Ob koncu 1998 je Tribut dobil nov izgled z modelom Visum, ki je del komercialnega paketa PTV Vision. Ta je rezultat dvoletnega razvoja francoskega Inrets-a in nemškega podjetja PTV. Rezultat tega je, da Tribut ne sloni več na sistemu globalnega ravnovesja (Frank/Wolfe global equilibrium approach), ampak je prevzel O-D bazirano ravnovesje prejšnjih enokriterijskih postopkov Visum-a.

### 3.2.2 Splošni pregled

Pri modeliranju cest s cestninskimi postajami morata biti med določanjem upoštevana dva kriterija: čas na poti in cena poti oz. cestnina. Konvencionalen pristop z določanjem statičnih cestnin (static toll assignment) poenostavlja ta dvokriterijski problem na enokriterijskega z uporabo konstantne vrednosti časa za iskanje poti, kar v osnovi spremeni čas in ceno v upor. Glede na to, da obe uporabljata konvencionalne enokriterijske algoritme iskanja poti, ki so v uporabi v večini obstoječih paketov modeliranja prometa, ni nobene razlike med cestninsko in necestninsko določitvijo. V nasprotju s to konvencionalno metodo je Tribut metoda osnovana na dvokriterijskem algoritmu iskanja poti. Dvokriterijska določitev pomeni, da sta dva kriterija, čas in cena, vrednotena in shranjena ločeno med iskanjem poti in izbiro poti. Individualna izbira med različnimi potmi je modelirana z uporabo slučajne porazdelitve vrednosti časa, ki je lahko definirana za različne skupine uporabnikov različno.

### 3.2.3 Formuliranje naloge

Pri določanju cestnin kriterij za izbor poti  $p$  upošteva čas  $t_p$  in ceno  $c_p$ . Funkcijo ali generaliziran kriterij izbire poti  $Crit_p$  lahko formuliramo tako:

$$Crit_p = t_p + \frac{c_p}{VT} = \sum_{L \in p} t_L + \frac{\sum_{L \in p} c_L}{VT} \quad (3.8)$$

pri čemer je:

$t_L$  Potovalni čas na prometni mreži  $L$  kot funkcija prometnega toka  $t_L = t(vol_L)$ , pri čemer je  $L$  lahko povezava, vozlišče ali pa tudi obračališče,

- $vol_L$     volumen na objektu L,  
 $c_l$         cestnina za uporabo objekta L,  
VT        vrednost časa, npr. EUR/h.

Predpostavlja se, da se pri vsakem individualnem potovanju poskuša minimizirati  $Crit_p$  z izbiro poti znotraj prometne mreže. Tako kot je  $Crit_p$  formuliran v zgornji formuli, predstavlja generaliziran čas.  $Crit_p$  je lahko definiran tudi kot generaliziran strošek tako, da se uporabi vrednost časa VT za pretvorbo časa v ceno, kar bi privedlo v identično izpeljavo.

Konvencionalno enokriterijsko določanje cestnin in Tribut sta lahko opisani z isto objektivno funkcijo. Razlikujeta se v načinu modeliranja vrednosti časa VT.

- Pri enokriterijskem načinu je vrednost časa VT privzeta kot konstantna za vsa potovanja oz. vsaj za vsa potovanja v okviru istega razreda, to je O-D matrike. V tem primeru izraz  $c_p/VT$  v objektivni funkciji  $Crit_p$  predstavlja konstanten dodatek času  $t_p$  za vsako pot p. Posledično je vrednost  $Crit_p$  identična za vsa potovanja.
- Pri dvokriterijskem načinu Tribut metode je vrednost časa VT slučajna spremenljivka. Tako lahko za vsako potovanje znotraj O-D matrike uporabimo specifično vrednost časa in upošteva se, da ima vsako potovanje svoj lastni pogled na porabljen čas in denar.

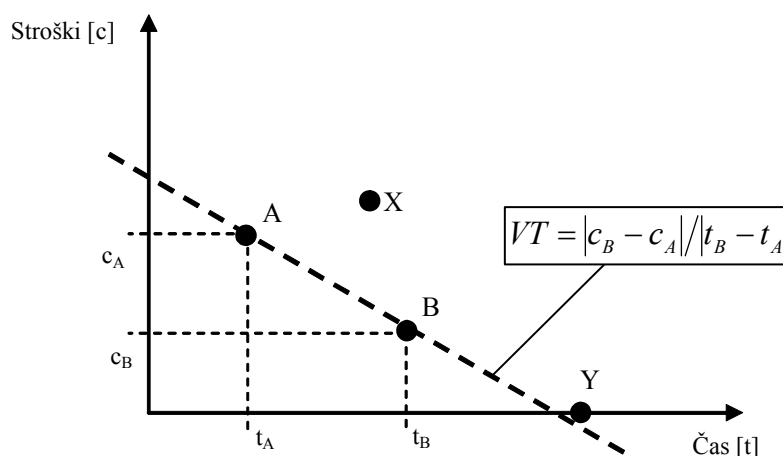
Predpostavka individualnih vrednosti časa ima različne posledice na strukturo modela:

- med določanjem morata biti oba kriterija  $t_r$  in  $c_r$  dostopna za vsako pot v vsakem trenutku, tako da morajo biti vrednosti časa in cene shranjene v podatkovnih strukturah,
- ena sama »najboljša« pot ne obstaja, saj ima vsako potovanje svojo specifično »najboljšo« pot. To ima dve posledici: (1) določitev bo generirala več alternativnih poti, (2) potreben je algoritem iskanja več poti (multi-path-search).

### 3.2.4 Stroškovno časovni diagram

Stroškovno-časovni diagram, ki je prikazan na naslednji sliki, lahko ilustrira nekaj vidikov dvokriterijske izbire poti. V tem diagramu so alternativne poti za en O-D par predstavljene z naborom točk, pri čemer je cena podana kot funkcija časa, to je na primer za pot A točka ( $t_A$ ,  $c_A$ ). Graf vrednosti časa VT za posameznega uporabnika je premica z naklonskim koeficientom -VT. Če ista premica VT zadošča dvema potema, pravimo, da sta »enako dobri«

za uporabnika, ki ima ta VT. Na sliki je ravna linija, ki predstavlja kritični VT za A in B, narisana kot črtkana črta.



Slika 7: Stroškovno-časovni diagram z alternativnimi potmi in kritično vrednostjo časa

Figure 7: Time-cost diagram with alternative paths and critical value of time

Točka, kjer se sekata VT linija in ordinatna os, predstavlja ekvivalentne skupne cene za obe poti A in B za kritično vrednost časa. Ustrezna točka na x-osi, ki prikazuje čas, predstavlja splošni kriterij (ekvivalentni čas). Jasno je, da bodo potovanja dala prednost poti A in ne X za katerokoli vrednost časa, se pravi, da A prevladuje. Na splošno, za vsak VT je vsaka pot na zgornji strani VT linije slabša, ker se predpostavlja, da vsa potovanja dajejo prednost tistim potem, ki minimizirajo splošni kriterij in ekvivalentne cene.

### 3.2.5 Vrednost časa kot log-normalno porazdeljena slučajna spremenljivka

Kot je bilo že omenjeno, vsako vozilo uporablja svojo individualno vrednost časa VT, za katero v modelu predpostavljamo, da je log-normalno porazdeljena slučajna spremenljivka.

$$VT = \log N(\bar{vt}, \sigma) \quad (3.9)$$

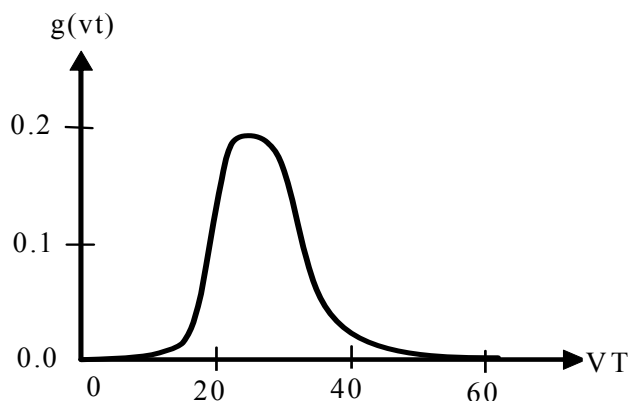
pri čemer je:

$\bar{vt}$  mediana VT,

$\sigma$  standardna deviacija slučajne spremenljivke  $Y = \ln(VT)$ , pri čemer je  $Y$  normalno porazdeljena.

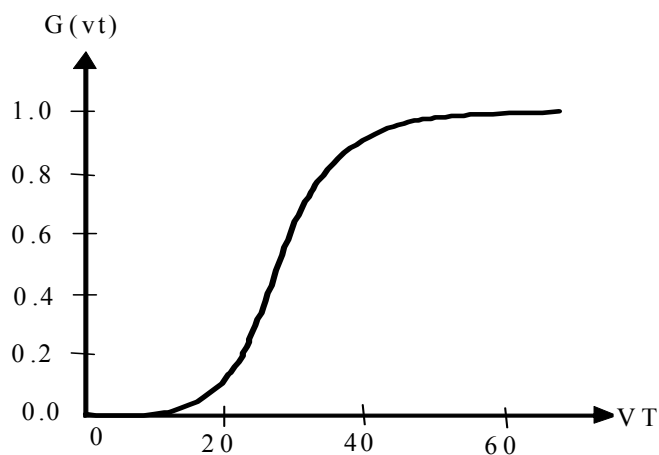


Uporaba mediane  $\bar{vt}$  kot sredinskega parametra je na prvi pogled morda neprimerna, vendar ustreza dogovoru v dohodninskih statistikah, da naj se navajajo raje kvantili kot pa povprečne vrednosti. Ne glede na to je log-normalna porazdelitev prav tako dobro definirana s srednjo vrednostjo  $\mu = \ln(\bar{vt})$  ter standardno deviacijo  $\sigma$ .



*Slika 8: Funkcija gostote*

*Figure 8: Density function*



*Slika 9: Porazdelitvena funkcija*

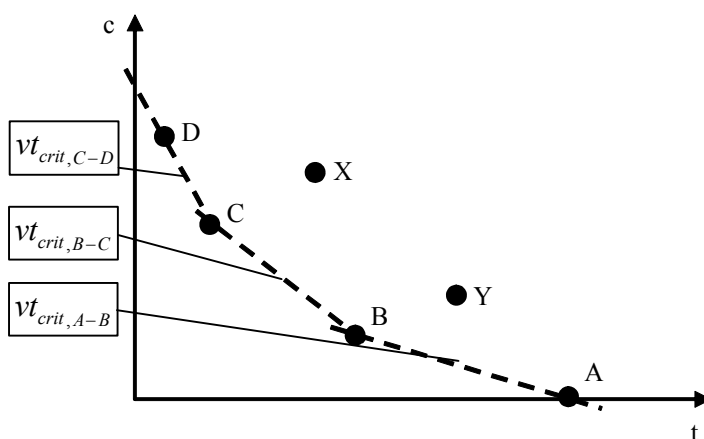
*Figure 9: Distribution function*

### 3.2.6 Iskanje poti: Efektivna meja kot izključujoči kriterij

V enokriterijskih metodah je za vsak O-D par določena ena, najboljša (najhitrejša) pot. V primeru Tributa morajo biti zaradi slučajne porazdelitve VT-ja določene in shranjene številne »najboljše« poti, ne samo med iskanjem poti, ampak tudi med celotnim določitvenim

postopkom. To je razlog za veliko kompleksnost multikriterijskih metod. Kljub temu je možno zmanjšati to kompleksnost z identifikacijo učinkivnih poti za vsak O-D par.

Slika 10 prikazuje primer izbora poti med šestimi alternativami, kjer poti A, B, C in D predstavljajo nabor učinkivnih poti. Grafično ali analitično lahko pokažemo, da ni nobenega VT-ja, zaradi katerega bi bili poti X in Y boljši od A, B, C ali D. Na splošno, konveksna krivulja oblikovana s tremi kritičnimi VT ravnimi linijami A-B, B-C, C-D omejuje območje relevantnih kombinacij časa in cene. Ta konveksna lomljenka se zato imenuje učinkivna meja. Poti X in Y nista optimalni in ju lahko pozabimo v nadaljnjih postopkih.



Slika 10: Učinkivna meja optimalne poti

Figure 10: Efficient frontier of optimum path

Uvedba te meje ima nekaj pomembnih posledic:

- Samo učinkivne poti morajo biti shranjene med iskanjem poti za naslednjo izbiro poti. Tako lahko zavržemo večino različnih poti za en O-D par in s tem omejimo čas izračunavanja in računalniškega spomina.
- Kljub temu mora Tribut izvesti simultano iskanje poti (multi-path search), ki je veliko bolj kompleksno kot iskanje najboljše poti v primeru enokriterijske metode.

Množica učinkivnih poti katerekakoli O-D para je ena sama za stanje omrežja, kar pomeni, da ni odvisna od vrste VT distribucije, ki je bila definirana. Vendar pa je v primeru določitve večih razredov (multi-class assignment) potrebno izvesti le eno iskanje v vsaki ponovitvi

iskanja ravnovesja (equilibrium iteration), čeprav bo naslednja razporeditev povpraševanja določena posebej za vsak razred povpraševanja.

Tribut-ov algoritem iskanja več poti (multi-path-search) je sestavljen iz dveh korakov:

1. Uporablja klasično iskanje najhitrejše poti, da določi poti z minimalnim potovalnim časom iz ene točke do vseh elementov v omrežju. To pomeni, da klasično iskanje najkrajše poti poišče le poti, ki vodijo iz ene točke k vsem destinacijam. Prvi korak ni zadosten za določitev celotne učinkovite meje, saj bo poiskal najhitrejše poti, ki so lahko tudi najdražje poti na področju učinkovitega območja.
2. V naslednjem koraku postopek razširi drevo poti tudi na tiste cenejše. Ta razširitev ni dosežena z upoštevanjem potovalnega časa, temveč z upoštevanjem kritične vrednosti časa med potjo, ki je bila vstavljena v omrežje zadnja, in ostalimi kandidati.

### 3.2.7 Iskanje poti za podano množico alternativ

Izbiranje poti si prizadeva razporediti potovanja na množico poti, ki so na razpolago. V primeru dvokriterijske metode je povpraševanje razporejeno med učinkovite poti. Način razporejanja celotnega povpraševanja na različne poti je odvisen od kritične vrednosti časa med dvema sosednjima potema na učinkoviti meji. V našem primeru so tri kritične VT določene s pari poti A-B, B-C, C-D. Delež povpraševanja, ki pripada vsaki učinkoviti poti, se dobi iz dane porazdelitvene funkcije.

Naslednja slika prikazuje porazdelitveno funkcijo izračunano za tri vrednosti  $VT = vt_{crit,A-B}$ ,

$VT = vt_{crit,B-C}$  in  $VT = vt_{crit,C-D}$ . Delež  $P(A)$  za alternativo A pri najnižji ceni je

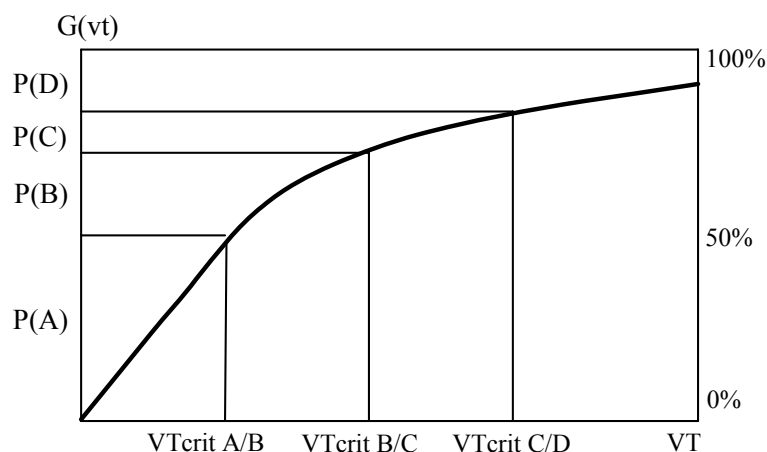
$P(A) = G(VT = vt_{crit,A-B})$ , medtem ko so deleži za B, C in D enaki

$P(B) = G(VT = vt_{crit,B-C}) - P(A)$ ,

$P(C) = G(VT = vt_{crit,C-D}) - G(VT = vt_{crit,B-C})$  ter

$P(D) = 1 - G(VT = vt_{crit,C-D})$ .

Potnik, ki ni pripravljen plačati za potovanje ( $VT \approx 0$ ) oziroma katerega  $VT \leq vt_{crit,A-B}$ , bo izbral najcenejšo alternativo A. Potnik, ki pa je pripravljen plačati – z  $VT \geq vt_{crit,C-D}$  pa bo izbral najdražjo alternativo D.



Slika 11: Izbira poti za začetno obremenjevanje

Figure 11: Path choice for initial loading

Znotraj Tribut-a se tak način izbire poti uporabi le enkrat, da se dobi začetno obremenitev omrežja. Ta korak, ki neodvisno obravnava vsak O-D par, je podoben določanju po metodi »vse ali nič« in priskrbi začetno rešitev. Toda glede na to, da je potovalni čas na objektih omrežja odvisen od kapacitete, izbira poti za en O-D par zavisi od izbire poti vseh ostalih parov. To vodi k iterativnemu postopku, ki poskuša najti rešitev, kjer so vsi O-D pari v ravnovesju.

### 3.2.8 Uravnavanje izbire poti med iteracijami

O-D par je v ravnovesju, če so zadovoljeni naslednji pogoji:

- iskanje poti ne najde nobene druge učinkovite poti za O-D par,
- od volumna odvisen potovalni čas je enak za vse učinkovite poti na istem cenovnem nivoju,
- delež povpraševanja na različnih cenovnih nivojih ustreza porazdelitvi VT.

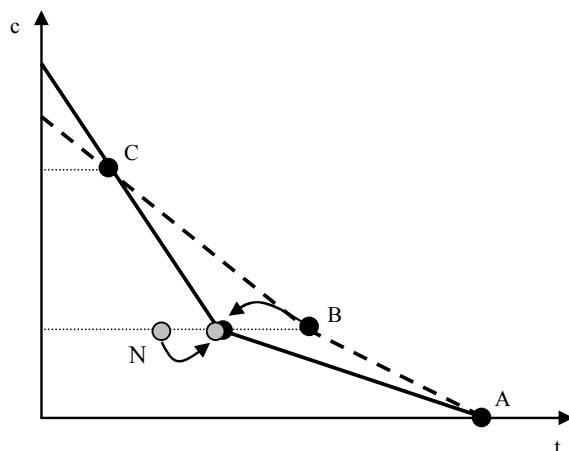
Tribut opravi iskanje poti na začetku vsake nove iteracije. Če najde nove poti, ki so locirane na efektivni meji ali na njeni spodnji strani, so le te dodane množici že obstoječih efektivnih poti.

Če so najdene in shranjene nove poti za nek O-D par, mora biti O-D povpraševanje prerazporejeno v okviru nove efektivne meje, da se ohrani ravnovesje. To dosežemo v dveh korakih:

- znotrajnivojsko uravnovešanje (Intra level balancing): prerazporeditev povpraševanja med potmi O-D parov, ki so na istem cenovnem nivoju in preračun časa, odvisnega od volumna,
- mednivojsko uravnovešanje (Inter level balancing): prerazporeditev povpraševanja med potmi dveh sosednjih cenovnih razredov in preračun časa, odvisnega od volumna.

Pomembno je omeniti, da se med uravnalnimi procesom prestavljanja povpraševanja iz ene efektivne poti na drugo spremeni potovalni čas, saj je odvisen od obsega prometa. Tako se med uravnavanjem spremenita oblika efektivne meje in kritična vrednost časa.

Naslednja slika prikazuje primer efektivne meje s tremi alternativami A, B, C. Če se najde nova pot N, ki je na istem cenovnem nivoju kot efektivna pot B, je povpraševanje preneseno iz B na N. Posledično se spremenita tudi potovalna časa  $t_b$  in  $t_n$ . Tako se bosta obe poti premaknili na točko v sredino njunih začetnih pozicij. Tako se bodo spremenile tudi kritične vrednosti časa sosednjih cenovnih nivojev. Povpraševanje mora biti prerazporejeno med vsemi efektivnimi potmi in med različnimi cenovnimi nivoji. Do takega preprostega uravnavanja pride le, če poti A in C nimata nobenih skupnih povezav z B ali N, tako da  $t_a$  in  $t_c$  nista spremenjena.



*Slika 12: Sprememba efektivne meje*

*Figure 12: Adjustment of the efficient frontier*

Čas, odvisen od volumna na povezavi, se v tem postopku izračuna na teh treh točkah:

- pri začetni obremenitvi po vsakem izvornem računu,
- pri znotrajnivojskem uravnovešenju, ko so vozila prestavljena iz ene poti na drugo v okviru istega cenovnega nivoja (za vsak spremenjen pretok po povezavi je potrebno potovalni čas ponovno izračunati),
- pri mednivojskem uravnovešenju, ko so vozila premaknjena iz enega cenovnega nivoja na drugega in prestavljena med potmi teh nivojev.

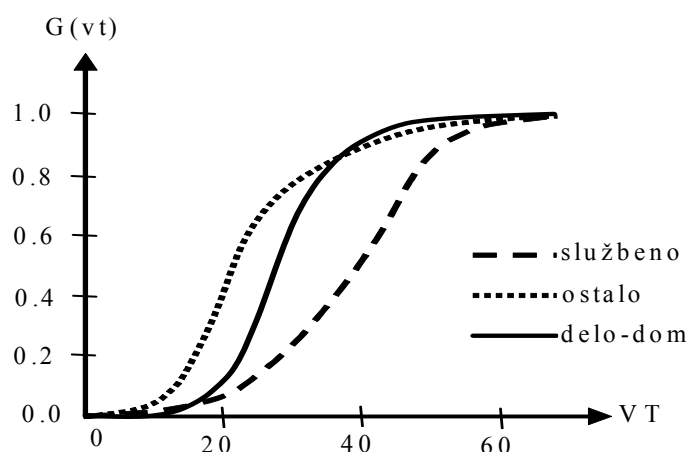
### 3.2.9 Cestninski modeli

Nekateri modeli omogočajo uporabo linearnih in nelinearnih modelov cestnin. Linearna cestnina je modelirana kot cestnina dela cestne povezave. Za modeliranje klasičnih cestnin, kjer je cestnina običajno premosorazmerna dolžini poti in kjer se cestnina plača za naslednji cestni odsek na postajah, ki so locirane na vhodnih ali izhodnih točkah, linearni cestninski model povsem zadošča. Pri modernih cestninskih projektih se uporablja bolj sofisticirane sisteme cestninjenja. Posebne telematske tehnike dovoljujejo modeliranje cestnin tako, da cena vožnje od A do C via B ni nujno enaka seštevku A-B in B-C. Ti nelinearni modeli so lahko modelirani v okviru Visum-a kot cenovne matrike med avtocestnimi vhodi in izhodi.

### 3.2.10 Razporejanje potovanj več razredov hkrati

Vpeljava razredov povpraševanja v model je uporabna v primeru cestninjenja specifičnih skupin za različne tipe vozil ali potnike z različnimi tipi kart (občasni vozači z enosmernimi vozovnicami, dnevni vozači z večdnevnimi vozovnicami).

Poleg tega so lahko definirane porazdelitve vrednosti časa za vsak razred povpraševanja, kar vodi k bolj realističnemu modeliranju celotnega povpraševanja in njegove prilagodljivosti cenovni politiki. Primer porazdelitve vrednosti časa za različne razrede je prikazan na naslednji sliki.



Slika 13: Različne porazdelitve VT

Figure 13: Multi-class VT-distributions

### 3.2.11 Določanje parametrov $\bar{vt}$ in $\sigma$

Pri uporabi Tribut metode v planiranju je določitev obeh porazdelitvenih parametrov  $\bar{vt}$  in  $\sigma$  eden od najpomembnejših korakov. V praksi obstajajo trije načini kako najdemo parametra: analiza odkritih preferenc, analiza izraženih preferenc ali makroekonomski izračuni. Najšibkejša in tudi najcenejša metoda je metoda makroekonomskih izračunov, ki na primer določi razmerje skupnega dohodka v družbi s skupnim delovnim časom, tako da bi dobil srednjo vrednost časa za potovanje na delo. Tak pristop ne prikaže resničnega obnašanja, npr. velike razlike v vedenju vozačev v urbanih predelih v primerjavi s tistimi, ki se na delo vozijo iz oddaljenih krajev. Ta način določa srednjo vrednost časa, ki je manj primerna kot mediana.

Pri uvajanju cestnin, kjer ne obstaja izkušnja z njimi, so ponavadi v uporabi metode izražene preference. V anketah izražene preference do simuliranih različnih hipotetičnih situacij z variacijami časa in cene z namenom poiskati kritično kombinacijo časa in cene (transfer price), kjer potnik spreminja svoje vedenje.

Tretja metoda za oceno vrednosti časa je na podlagi odkrite preference. Pri tem potrebujemo cesto s cestninskimi postajami in cestninskim sistemom, ki deluje vsaj tri ali štiri leta pred raziskavo, da se prepričamo, da je sistem postal stabilen.

### **3.2.12 Nekaj vidikov modeliranja potovalnega časa**

Glede na to, da cena ni odvisna od količine prometa, je dana kot vhodni parameter. Na drugi strani je čas modeliran s pomočjo funkcij odvisnih od pretoka in tako predstavlja manj zanesljiv podatek v določitvenem modelu (assignment model). Toda natančnost ocene predvidenega volumna v cestninskih projektih je močno odvisna od potovalnega časa in cene. Zato modeliranje časa odvisnega od pretoka na povezavah in vozliščih zahteva več pozornosti kot pri navadnem modeliranju projektov brez cestnin. Oblikovalec mora pretehtati predvsem naslednje vidike:

- Za potovanja, ki imajo začetek ali konec zunaj omrežja, model pokriva le del njihove poti. Zato je nemogoče oceniti celotni čas potovanja in tako ni priporočljiva uporaba iste distribucije vrednosti časa kot za notranja potovanja.
- Pretokom na povezavah in vozliščih, ki presegajo kapacitete povezav, se bi morali izogibati. V tem primeru funkcije kapacitetne omejitve ne dajo realne ocene potovalnega časa. Če so vključene prometne konice, morajo biti kapacitete zelo obremenjenih povezav še posebej previdno definirane.

### **3.2.13 Razširjenost Tribut metode**

Tribut je bil do zdaj v uporabi v številnih cestninskih raziskavah posebno v urbanih področjih Evrope, Amerike in Avstralije. Na podlagi izkušenj iz uspešnih raziskav, so Tribut sprejela podjetja, ki financirajo cestne projekte, da bi pridobili stvarne napovedi prihodkov ter planerji, da bi ocenili posledične vplive na vzporednih omrežjih. Prednost Tribut-a se najbolj odraža, ko je potrebno preveriti različne cenovne politike. Običajni enokriterijski pristop se izkaže za neprimerne za modeliranje kakršnihkoli povpraševanj, ki zadevajo spreminjanje cen.



Empirične raziskave v Evropi so potrdile predpostavko, da je VT primerno modelirati kot log-normalno porazdeljeno slučajno spremenljivko. Da pa bi še izboljšali dvokriterijski mrežni model, bi bile potrebne dodatne raziskave na naslednjih področjih:

Analiza odkrite preference: da bi se določile porazdelitve VT za različne družbene sloje, različna mestna področja in za različne razrede povpraševanja.

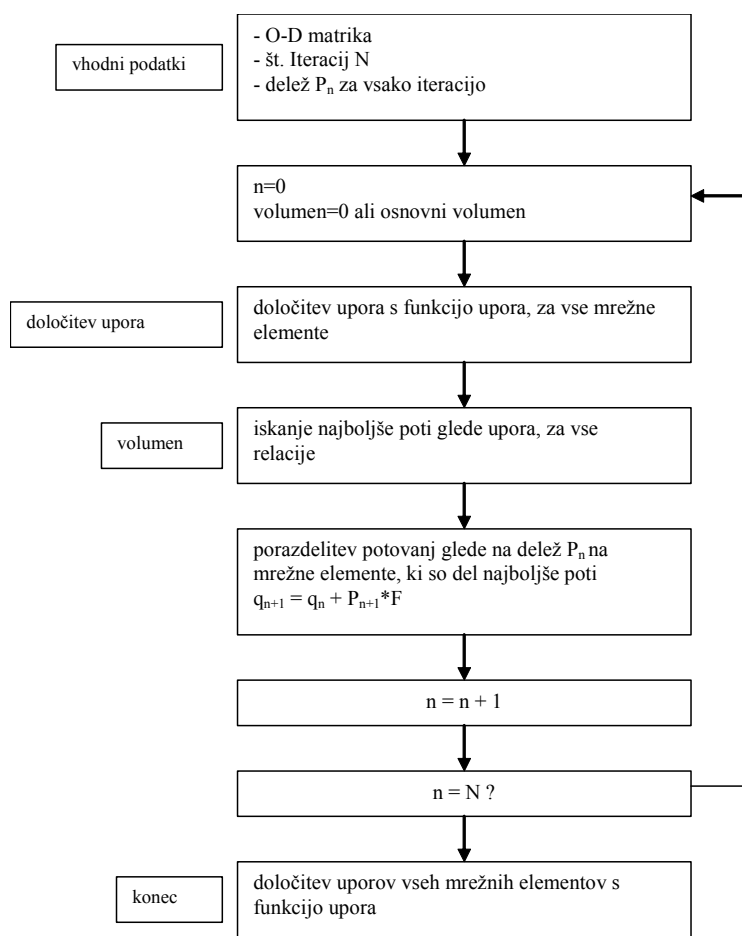
Prenosljivost VT : kako se dajo parametri porazdelitve VT, ki so bili določeni za neko mesto ali državo, uporabiti v drugih okoljih. Kako lahko razlike v družinskih prihodkih in bogastvo vplivajo, če se parametri uporabijo v drugih geografskih okoljih?

Uporaba parametrov odkrite in izražene reference: Uporaba izražene in odkrite preference za isto območje lahko pomaga pri ocenitvi sistematičnih napak pri izražanju preference in omogoča določitev empirične zveze za realistično VT v področjih, kjer so na voljo samo podatki izražene preference.

### **3.3 Inkrementalna metoda**

Princip inkrementalne metode je, da se obremenjuje omrežja po korakih oziroma inkrementih. Število korakov pri tej metodi je običajno od tri in dvanajst. Na začetku imajo uporabniki na voljo prosto mrežo, na kateri obstaja za vsako potovanje ena sama najkrajša pot. V prvem koraku se torej izračuna upor prazne mreže in glede na rezultate se obremeni omrežje z delom izvorno-ciljne matrike. Nato se s tem prometom izračuna nove upore posameznih odsekov (povezave, konektorji, vozlišča), čemur se doda obremenitev z drugim inkrementom matrike. Nato se postopek ponavlja dokler se ne »naloži« celotne matrike na omrežje.

### Opis postopka inkrementalne metode



Slika 14: Potek inkrementalne metode

Figure 14: Incremental assignment procedure

#### 3.3.1 Ocena inkrementalne metode

Prednost metode je predvsem v tem, da je enostavna za programiranje in je dober pokazatelj možnih zastojev v koničnih urah.

Slabosti inkrementalne metode so:

- Ker metoda ne omogoča preusmerjanja prometa iz enega odseka na drug odsek lahko nastopi težava, če je določen odsek (pot) že v prvem odseku preobremenjen.
- Kvaliteta rezultatov je odvisna od števila in velikosti matrik, vendar postopka za določitev optimalnega števila matrik ni.

- Preračun se konča po vnaprej določenem številu korakov, ne da bi se preverilo ujemanje med rezultirajočim prometnim volumnom in uporom povezav.

### 3.4 Metoda ravnovesja

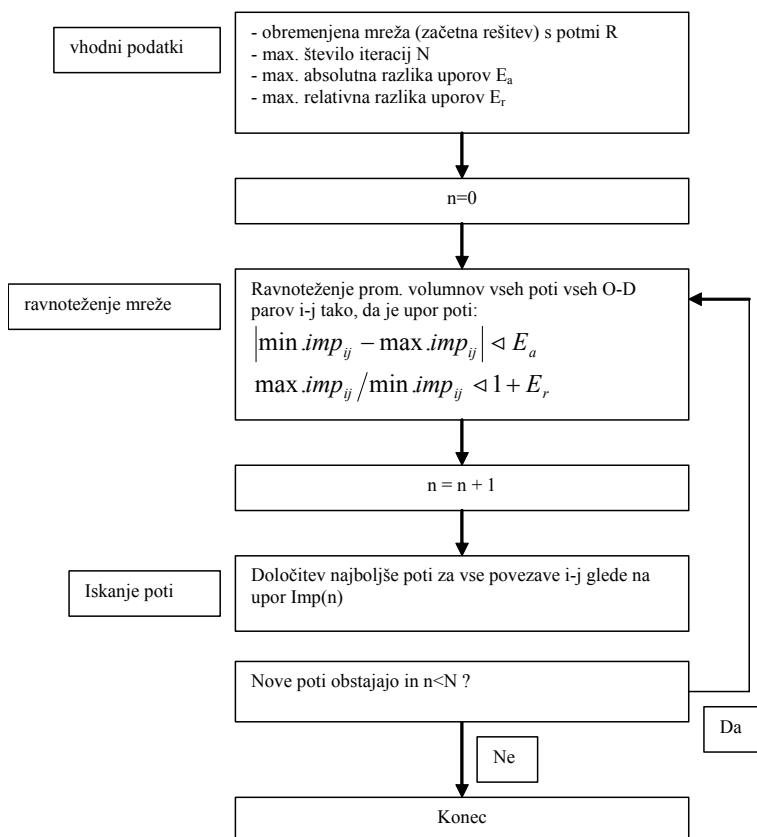
Ta metoda razporedi potovanja po Wardropovem prvem principu, ki ga lahko v prometno-inženirskem smislu zapišemo kot: »Ko se doseže ravnovesje v nasičenih razmerah, se promet uredi tako, da imajo vse uporabljene poti med posameznimi pari izvorov in ciljev enake tj. minimalne stroške; vse ostale neuporabljene poti pa večje ali enake.« Ravnotežje se doseže z multisukcesivno iteracijo, katere prvi korak je inkrementalno razporejanje. V notranji iteraciji se primerjata dve različni poti z prerazporeditvami vozil po teh dveh poteh. Zunanja iteracija preverja, če obstajajo nove poti z nižjim uporom kot posledica obstoječega stanja mreže.

Metoda ravnovesja poišče optimum uporabnika, ki pa je različen od optimuma sistema;

- optimum uporabnika pomeni, da je upor vseh poti med  $i$  in  $j$  enak,
- optimum sistema pomeni, da je produkt upora poti in volumna poti minimiziran za vse prometne relacije.

Čas izračunavanja ravnotežne procedure je odvisen od nasičenja prometne mreže, saj se nove poti pojavijo z vsako iteracijo.

### Opis postopka ravnotežne metode



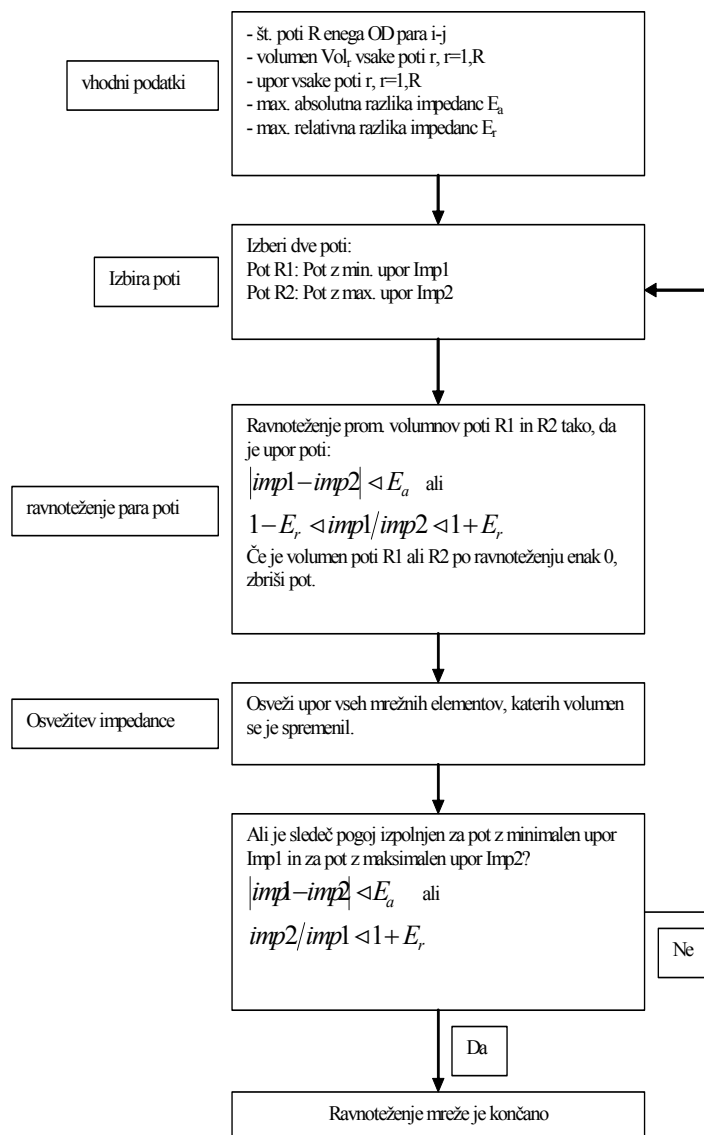
Slika 15: Potek ravnovesne metode

Figure 15: Equilibrium assignment procedure

#### 3.4.1 Ocena ravnotežne metode

Procedura se konča šele takrat, ko so vse poti katerekoli O-D povezave uravnotežene. Zato dobimo s to metodo boljše rezultate kot z inkrementalno metodo. Pri manjših prometnih volumnih je priporočljivo uporabiti inkrementalno metodo.

Ravnoteženje mreže enega O-D para z uporabo ravnotežnega postopka:



Slika 16: Ravnoteženje mreže enega O-D para

Figure 16: Network balancing for an O-D pair

## 4 UPORABLJENA METODOLOGIJA

Anketna vprašanja, katera so namenjena ugotavljanju koliko je posameznik pripravljen plačati za predmet ali storitev (npr. »Koliko bi bili pripravljeni plačati za zdravstveno zavarovanje?«) se velikokrat smatrajo kot pomanjkljive in nezanesljive. To še zlasti velja za okoljske ankete (npr. »Koliko ste pripravljeni plačati za električni avto?«). V preteklih letih, je prišlo do zaključkov, da vprašanja takega tipa kot je »pripravljenost plačati za nekaj« dajejo lahko pristranske in napačne rezultate.

### Nepravilnosti pri anketiranju

Pri takih tipih vprašanj so velikokrat opažene nepravilnosti pri rezultatih kot so na primer:

- V anketi zdravstvenega zavarovanja lahko nekateri anketiranci podajo socialno zaželeno odgovore, npr. da so pripravljeni plačati veliko več kot bi plačali v realni situaciji.
- Pogosto vprašanja »ali ste pripravljeni plačati« napačno domnevajo, da je oseba, ki pravi da je pripravljena plačati določen znesek, resnično pripravljena to plačati .
- Odgovori na tovrsten tip vprašanj so težko ocenjeni, ker denarna slika (npr. 30 € na mesec) ima popolnoma drugačno vrednost za nekoga, ki zasluži 10.000 € na leto napram nekemu, ki zasluži 35.000 € na leto.

### Alternativni pristopi

Obstaja kar nekaj alternativ kako zastaviti vprašanje »ali ste pripravljeni plačati« na drugačen, primernejši način.

- Primerjava: S postavljanjem primerjalnih vprašanj se želi ovrednotiti vrednost ene dobrine v primerjavi z drugimi dobrinami. Na primer »Kaj je za vas bolj pomembno: a) imeti zdravstveno zavarovanje ali b) imeti avto, itd.?«
- Preverjanje predstave vrednosti dobrin v okviru osebnega dohodka: Po ugotovitvi o osnovnem proračunu se postavi vprašanje »Koliko ste pripravljeni plačati za določeno dobrino ali storitev?« Na osnovi teh dveh podatkov se lahko izločijo nelogični rezultati posameznega anketiranca.

## 4.1 Anketa izražene preference

Anketa izražene preference je razmeroma nova tehnika zbiranja podatkov v prometnem planiranju. Njena glavna značilnost je, da anketirance sprašuje kako bi ravnali v predstavljenih hipotetičnih situacijah, ti pa s svojimi odgovori izražajo svoje preference. Tehnike izražene preference se lahko uporabljajo na številnih področjih prometnega planiranja.

Eno izmed ključnih vprašanj analiz izražene preference je, ali lahko zaupamo izjavam anketirancev, t.j. ali bodo ravnali skladno z izjavami, ko se bo situacija dejansko pojavila. Tovrstne izkušnje v preteklih letih niso bile dobre. Pojavile so se razlike med napovedanim in kasnejšim, dejanskim vedenjem. Situacija se je kasneje izboljšala in rezultati so postali točnejši. To je posledica izboljšanja metod zbiranja podatkov, tako v smislu vsebine anket, načinu anketiranja kot tudi izurjenosti osebja, ki izvaja anketo.

### 4.1.1 Značilnost anketiranja

Glavne lastnosti anketiranja so:

- od anketiranca pridobimo izjavo o tem, katero izmed predstavljenih alternativ bi izbral v predstavljenih hipotetičnih situacijah,
- vsaka alternativa je predstavljena kot kombinacija različnih atributov, kot so potovalni čas, stroški, zanesljivost...,
- raziskovalec pripravi te alternative tako, da se lahko oceni individualen efekt posameznega atributa potovanja na odločitev (to dosežemo s pravilno zasnovo eksperimenta, ki zagotavlja medsebojno neodvisnost posameznih atributov),
- raziskovalec mora zastavljati vprašanja tako, da vsak anketiranec predstavljene situacije dobro razume,
- anketiranci lahko izražajo svoje preference z razvrščanjem (ranking) alternativ po atraktivnosti, z ocenjevanjem (rating) alternativ po nekem merilu ali zgolj z izbiro najljubše alternative med ostalimi,
- odgovore anketirancev nato analiziramo in ugotovimo vpliv posameznih atributov na odločitve.

Anketa je zasnovana iz dveh delov. V prvem delu so vprašanja, iz katerih se pridobi podatke o socialno-ekonomskem statusu voznika (starost, spol, izobrazba, status zaposlitve, dohodek, znamka vozila) in o potovanju (izvor, cilj, namen, dolžina...).

V drugem delu se voznikom predstavi 10 hipotetičnih situacij. Pri teh situacijah se variira potovalne čase po AC in vzporedni cesti ter višino cestnine. Vozniki po svojih merilih izbirajo varianto (AC ali vzporedno cesto), ki bi jo pri posamezni hipotetični situaciji izbrali.

#### **4.1.2 Atributi in alternative**

Analiza izražene preference ima kot enega ključnih elementov izdelavo hipotetičnih možnosti, imenovanih tudi tehnološko možne alternative. Te so definirane na osnovi faktorjev, ki najmočneje vplivajo na odločitve. Izdelava teh tehnološko možnih alternativ je sestavljena iz treh točk: (a) identifikacija vseh možnih alternativ, (b) izbira atributov vsake izmed alternativ, (c) izbira merila in stopenj vsakega atributa.

- (a) Število vseh možnih alternativ je odvisno od namena študije. Vsekakor pa ne smemo izpustiti nobene izmed možnosti, ki bi jo lahko uporabnik izbral v prihodnosti.
- (b) Število in vrsta atributov mora biti določena tako, da zagotavljajo možne odgovore. Pazljivi moramo biti na kombinacije različnih atributov, ki bi lahko naredile neko alternativo neresnično.
- (c) Merilo večine atributov je linearno, pri nekaterih atributih (npr. zanesljivost, varnost...) pa je potrebno merilo atributov predhodno pretehtati in določiti.

#### **4.1.3 Zasnova alternativ**

Zasnova alternativ in njihovih predstavitev je sestavljena iz treh korakov: (a) izbira stopenj atributov in njihove kombinacije, ki sestavijo različne alternative, (b) modeliranje predstavitev teh alternativ in (c) podroben opis odgovorov, ki jih dobimo od anketirancev.

Večina analiz izražene preference uporablja eksperimentalno modeliranje za sestavo alternativ. Zasnova je ponavadi ortogonalna, kar pomeni, da so atributi med seboj neodvisni. Prednost tega je, da lahko vpliv vsakega atributa lažje identificiramo.



Eden ključnih elementov zasnove analize je kompleksnost. Izkušnje so pokazale, da dajo ankete najzanesljivejše rezultate, če morajo anketiranci razmisliti med največ tremi atributi. Več ko je atributov, več je možnosti napak, tako v fazi priprave ankete, anketiranja kot tudi obdelave ankete.

Anketiranje je možno izvajati tudi na bolj prilagodljiv način, pri katerem izvajalci ankete uporabljajo prenosne računalnike. Uporaba programske opreme omogoča sprotno prilagajanje ankete odgovorom anketiranca.

Neodvisno od pristopa k anketiranju je potrebno pred začetkom izvajanja ankete preveriti uporabnost tovrstnega anketiranja in odpraviti morebitne pomanjkljivosti.

#### **4.1.4 Identifikacija preferenc**

Obstajajo trije glavni načini zbiranja podatkov o preferencah:

- (a) Razvrščanje (ranking). Pri tem načinu anketirancu predstavimo vse variante hkrati, on pa jih nato razvrsti glede na atraktivnost od najbolj do najmanj atraktivne. Prednost tega načina je v tem, da so vse možnosti predstavljene hkrati, vendar pa je zaradi tega njihovo število omejeno.
- (b) Ocenjevanje (rating). Pri tem načinu mora anketiranec izraziti stopnjo preference za vsako varianto. Pri ocenjevanju uporablja vnaprej predpisano merilo, npr: 1-zelo neatraktivna, 5-neopredeljeno, 10-zelo atraktivna. Rezultati se lahko obdelujejo z običajnimi aritmetičnimi operacijami (povprečne vrednosti, razmerja...).
- (c) Izbira (choice). Anketiranec mora izbrati najatraktivnejšo alternativo med skupino predstavljenih alternativ. Izbira je samo ena, lahko pa se uvede tudi možnost »nobeno od tega«.

#### **4.1.5 Način vzorčenja**

Kot pri vsakem anketiranju je tudi pri tem pomembna velikost in reprezentativnost vzorca. Analize izražene preference so statistično učinkovite, saj vsak anketiranec poda več odgovorov znotraj istega konteksta. Zato so vzorci analiz tipično manjši kot pri enakovrednih

analizah odkrite preference. Raziskave so pokazale, da je pravšnji vzorec 75 – 100 anketirancev na tržni segment.

Pojavi se težava, katere vzrok je v naravi informacij, ki jih dobimo z analizami izražene preference. Vsak anketiranec poda več odgovorov, ki pa so različni znotraj enega samega posameznika. Potrebno pa je dobiti različne odgovore tako med skupino anketirancev kakor tudi znotraj enega samega anketiranca. To omogoča zgolj primerno velik in reprezentativen vzorec.

Torej je potrebno za reprezentativne rezultate izbrati več vrst med seboj različnih posameznikov, npr. glede na spol, starost, socialni položaj...

#### **4.1.6 Realnost in kompleksnost analize**

Ključni element raziskave izražene preference je objektivnost podatkov, dobljenih v anketi, zato je bilo skozi prakso razvitih več postopkov. Realnost moramo ohranjati v kontekstu analize, možnostih, ki jih predstavimo, in odgovorih, ki so na voljo. To lahko dosežemo na več načinov:

- osredotočiti se moramo na specifičnost odgovorov, manj na splošnost odgovorov,
- vse pomembne značilnosti morajo biti zajete v anketi,
- možne izbire morajo biti enostavne in sprejemljive za anketiranca,
- dovoliti moramo anketirancu, da poda odgovor, ki ni znotraj predvidenih možnosti,
- zagotoviti je potrebno, da so vse možnosti natančno definirane. To je lahko oteženo, ko imamo opraviti npr. z varnostjo, udobnostjo...

#### **4.1.7 Kvaliteta analize**

Tehnike izražanja preference so se pokazale kot zelo koristen inštrument v prometnih in drugih raziskavah. Bolj kot nas zanima prihodnje vedenje uporabnikov, bolj je potreben kvalitetno izdelan kontekst analize. Ena izmed nevarnosti pri analizah je, da postaja analiza čedalje bolj splošna in čedalje manj specifična. To sicer naredi analizo enostavnejšo, rezultate pa manj natančne. Dobre analize so pogosto kombinacija podatkov izražene in odkrite

preference. Analize izražene preference so glede na druge vrste analiz najcenejši način pridobitve zelenih podatkov.

## 4.2 Zasnova programske opreme – uporabniški vmesnik anketarja

Za potrebe izvedbe ankete je bila razvita programska oprema, ki omogoča enostaven vnos in shranjevanje podatkov o anketirancu ter generiranje hipotetičnih situacij (Slika 19) v odvisnosti od izvora in cilja, ki ga je anketirani navedel v prvem delu (Slika 17 in Slika 18). V prvem delu se poleg potovalnih navad zbirajo podatki kot so npr. stopnja izobrazbe, status, mesečni zaslužek, zasedenost vozila, starost anketiranca, tip vozila itd. Na spodnjih treh slikah je prikazan izgled uporabljene programske opreme, ki je bila uporabljena za potrebe izvedbe ankete. Vhodni podatki so se vnašali preko uporabniškega vmesnika (MS Access) v bazo podatkov. Glede na prve izkušnje »poskusnega« anketiranja je bila ustrezno modificirana programska opremo za izvedbo ankete. Ustrezno je bila spremenjena programska oprema in sicer korekcije pri podajanju alternativ ter dodana je bila cena v stari valuti. Slednje je bilo dodano zaradi »sveže« zamenjave plačilne valute.

The screenshot shows a software window titled 'anketirani' with a dropdown menu set to 'Voklo AC'. Below this, there are two tabs: 'Anketiranec' (selected) and 'Potovanje'. The 'Anketiranec' tab contains a form with the following fields and values:

id	1
anketno mesto	Voklo
Spol	moški
Starost	30
Stopnja izobrazbe	višja
Status	zaposlen
Mesečni zaslužek (eur)	1000 do 2000
cas ankete	4.5.2007 10:37:58
Znamka vozila	VW
Zasedenost	2
Tip vozila	osebni
Starost vozila v letih	3
Tuja registracija	<input type="checkbox"/>

At the bottom of the window, there is a status bar that reads 'Record: 1 of 1'.

Slika 17: Programska oprema pri anketiranju – Anketiranec

Figure 17: Survey software equipment – Respondent

anketirani

Voklo AC

Anketiranec Potovanje

Kraj začetka potovanja Kranj

Kraj konca potovanja Ljubljana

Dolžina (km) 34

Namen dom. OA služba

Čas vožnje po AC (minut) 0

Čas vožnje po vzp. cesti (minut) 0

Cestnina (eur) 0

Pogostost vsak dan

Ali bi uporabili alternativno?

Če ne, zakaj ne?

Situacije

Shrani in nov

Record: 14 1 of 1

Slika 18: Programska oprema pri anketiranju – Potovanje

Figure 18: Survey software equipment – Journey

situacije

Hipotetična situacija št.: 6

**Avtocesta**

čas vožnje 21

višina cestnine 1,7

SIT 407

**Vzporedna cesta**

čas vožnje 37

Razlika časov 16

izbor

avtocesta

vzporedna cesta

Record: 14 6 of 10 (Filtered)

Slika 19: Programska oprema pri anketiranju – Situacije

Figure 19: Survey software equipment – Situations

Prednost anketiranja izražene preference je v tem, da lahko sestavimo anketo tako, da pridobimo podatke, ki so prilagojeni študiji. Zagotoviti moramo realistične situacije, torej takšne, ki bi se v prihodnosti lahko pojavile, ter ustrezen potek analize in tudi končno obdelavo:

- identificiramo ključne attribute in izdelamo več alternativ,
- oblikujemo ustrezen način predstavitve možnosti anketirancu in način, kako anketiranec izrazi svoje preference (predstavitev mora biti anketirancu čim bolj razumljiva),
- izberemo način vzorčenja, ki nam omogoča najbolj reprezentativne podatke,

- zagotovimo primerno vodenje celotne analize, vključno z nadzorom,
- uporabimo primerne tehnike ocenjevanja modela, po možnosti kombiniranje in primerjava podatkov izražene in odkrite preference.

#### **4.2.1 Uporaba računalnikov v analizi**

Računalniki se pri različnih prometnih analizah uporabljajo že vrsto let, prav tako so nepogrešljivi tudi pri analizah izražene preference. Računalniki imajo pogosto prednosti pred papirjem in svinčnikom, imajo pa tudi nekaj omejitev.

Pri anketiranju je najuporabnejši prav prenosni računalnik. Kljub uporabnosti računalnikov si v nekaterih primerih določene situacije anketiranec lažje predstavlja z uporabo klasičnih prikazovanj in slik, kot z računalniško grafiko. Predvsem je to opazno pri metodi razvrščanja alternativ, kjer se lahko uporablja kartice, na katerih so prikazani atributi posamezne variante.

Prednost računalnika je v tem, da lahko potek ankete spreminjamo glede na odgovore anketiranca. Pogosto vprašalniki vsebujejo tudi vprašanje o zadnjem, preteklem potovanju, glede katerega se nato zastavijo nova vprašanja. Programska oprema vodi potek ankete glede na odgovore preteklih vprašanj.

Z računalniškim sistemom lahko odgovore na vprašalnik uporabimo za generacijo nadaljnje analize in možnosti avtomatičnega generiranja nadaljnjih vprašanj za vsako temo posebej. Avtomatski »routing« omogoča izbiro primernega vprašalnika za vsakega posameznika glede na njegove okoliščine.

Računalniško anketiranje omogoča bolj kompleksne intervjuje. Dobra programska oprema omogoča naključno podajanje možnosti anketirancu, lahko pa tudi že izloči nemožne odgovore zanj. Podatki se shranjujejo neposredno na disk, zato je možnost napak manjša, podatki pa so takoj pripravljeni za obdelavo.

Prednosti tovrstnega anketiranja so:

- avtomatsko vodenje anketiranja,

- avtomatsko shranjevanje dobljenih podatkov,
- enostavnost prilagajanja ankete posamezniku,
- prihranek časa,
- prihranek stroškov šolanja,
- možnosti naključnosti vprašanj.

### 4.3 Obdelava anket

Vrednost časa je bila ocenjena po dveh metodah, in sicer najprej ob predpostavki, da je VT porazdeljena log-normalno, ter drugič z uporabo logit analize.

#### 4.3.1 Log-normalna porazdelitev

Denimo, da ima neka populacija uporabnikov prometnega omrežja na voljo dve možnosti izbire potovanja med dvema vozliščema omrežja. Prva je cenejša in zahteva daljši čas, druga je dražja in hitrejša. Uporabnik se odloča za eno ali drugo alternativo v odvisnosti od lastnih preferenc tako, da bo potovanje zanj v nekem smislu optimalno, kar pomeni, da izbira pot tako, da bodo njegovi generalizirani stroški minimalni. V našem primeru bo to pomenilo, da se bo vsak uporabnik odločal o varianti na osnovi dejstva, koliko mu v denarju pomeni prihranek časa. Ta količina je različna od uporabnika do uporabnika in jo lahko obravnavamo kot slučajno spremenljivko (imenujmo jo VT). V našem primeru privzemimo, da je VT porazdeljena log-normalno, kar pomeni, da je njen logaritem porazdeljen normalno. Pri tem privzemimo še to, da VT ni prav nič odvisna od posameznega O-D para, kar pomeni, da je njena porazdelitev na vsem omrežju enaka. Naša naloga je, da iz razpoložljivih podatkov, zbranih na osnovi opazovanj ali anket, ocenimo parametra matematično upanje  $a_0$  in standardna deviacijo  $\sigma_0$  slučajne spremenljivke VT.

Analizirajmo izbiro poti med dvema možnima alternativama v primeru C-T (cena proti času). Prva pot je počasnejša s časom  $T_1$  in nižjo ceno  $C_1$ , medtem ko je druga hitrejša s časom  $T_2 < T_1$  ter višjo ceno  $C_2 > C_1$ . Naj bo  $T = T_1 - T_2$  ter  $C = C_2 - C_1$ . Na strani povpraševanja imejmo N uporabnikov z razmerjem  $C/T$ , ki naj bo slučajna spremenljivka VT z verjetnostno funkcijo  $F(v) = P(VT < v)$ . To pomeni, da je pri nekem  $v$  delež uporabnikov z  $VT < v$  enak  $F(v)$ .

Za uporabnika z VT enako  $v$  je generalizirana cena  $k$ -te alternative enaka  $G_k(v) = P_k + vT_k$ . Uporabnik izbere cenejšo pot, to je prvo, če je  $G_1(v) < G_2(v)$  oziroma drugo, če je  $G_2(v) < G_1(v)$ . Mejna vrednost  $v_m$  količine  $v = C/T$  je tista vrednost, ki razmejuje nižje VT, ki se podajo po časovno daljši poti od višjih VT, ki se poslužijo časovno krajše poti. Tako imamo  $N \cdot F(v_m)$  uporabnikov z VT manjšim od  $v_m$  oziroma  $N \cdot (1 - F(v_m))$  z VT večjim od  $v_m$ .

Privzemimo, da je VT log-normalno porazdeljena, kar pomeni, da je logaritem VT normalno porazdeljen. Naša naloga je, da ocenimo matematično upanje  $a$  in standardno deviacijo  $\sigma$  logaritma VT. Vsakemu  $t$  paru O-D priredimo opazovano količino

$$y_t = F(v_t) \tag{4.1}$$

kjer je:

$v_t$  mejna vrednost VT,

$y_t$  tržni delež uporabnikov, ki izberejo počasnejšo pot ter

$$F(v) = \Phi\left(\frac{\ln(v) - a}{\sigma}\right), \tag{4.2}$$

pri čemer smo z  $\Phi$  označili verjetnostno funkcijo standardizirane normalne porazdelitve z matematičnim upanjem 0 in standardno deviacijo 1.

### 4.3.2 Logit analiza ankete izraženih preferenc

Najprej moramo ugotoviti, da je pri vsaki situaciji odvisna spremenljivka (izbira poti) diskretna oziroma kategorialna – izberem AC ali pa je ne izberem. Ta izbira je v splošnem odvisna od mnogih parametrov, kot so prihranek časa, udobje, varnost, cestnina, dolžina potovanja, pogostost potovanja itd. V našem primeru smo za ilustriranje metode upoštevali samo dva elementa, prihranek časa ter cestnina. V kolikor bi bila odvisna spremenljivka na primer zvezna, bi lahko uteži pri neodvisnih spremenljivkah določili z metodo multiple regresije. To pa v našem primeru ni tako. Iz ekonomske teorije, predvsem s področja raziskav trga, si lahko izposodimo Logit model za analizo naše binarne slučajne spremenljivke.

Pri logit analizi moramo oceniti za vsako alternativno pot  $i$  ter za vsakega posameznega uporabnika  $j$  koeficiente funkcije  $U_{ji}$ , ki jo imenujemo funkcija koristi ali atraktivnosti poti  $i$  za uporabnika  $j$  in ki običajno vsebuje karakteristike potovanja (cena, čas, udobje, varnost...) kot tudi morebitne socialno ekonomske elemente (starost, prihodki, socialni status...).

Funkcija koristi  $U_{ji}$  ima običajno obliko

$$U_{ji} = a_0 + a_1 X_{j1} + \dots + a_n X_{jn} + e \quad (4.3)$$

pri čemer so:

- $X_{j1}, \dots, X_{jn}$  atributi alternative za uporabnika  $j$ ,
- $a_0, \dots, a_n$  parametri modela,
- $e$  slučajna spremenljivka variabilnosti modela.

Večja kot je funkcija koristi neke poti za danega uporabnika, bolj verjetno je, da bo uporabnik izbral tako pot.

V logit formulaciji je verjetnost  $P_j(i)$  da bo uporabnik  $j$  izbral pot  $i$  proporcionalna  $e^{U_{ji}}$ . Pri  $I$  različnih možnosti izbire je tako

$$P_j(i) = \frac{e^{U_{ji}}}{\sum_{k=1, \dots, I} e^{U_{jk}}} \quad (4.4)$$

Parametre  $a_0, \dots, a_n$  funkcije koristi določimo tako, da poiščemo maksimum funkcije verjetja  $L$ , ki je

$$L = \prod_{j=1, \dots, N} \prod_{i=1, \dots, I} P_j(i)^{\delta_{ij}} \quad (4.5)$$

in je  $N$  število uporabnikov,  $I$  število možnih alternativ ter  $\delta_{ij}$  zavzame vrednost 1, če je uporabnik  $j$  dejansko izbral alternativo  $i$ , sicer ima vrednost 0. V praksi poskušamo raje poiskati maksimum logaritma funkcije verjetja, torej iščemo



$$\max[\ln(L)] = \max \sum_{j=1, \dots, N} \sum_{i=1, \dots, I} \delta_{ij} \ln(P_j(i)). \quad (4.6)$$

V našem primeru smo preizkusili linearni model funkcije koristi

$$U_j = a_0 + a_1 T_1 + a_2 T_2 \quad (4.7)$$

kjer je

$T_1$             prihranek časa pri potovanju po AC,

$T_2$             cestnina.

Pri linearnem logit modelu je vrednost časa VT enaka

$$VT = -\frac{a_1}{a_2}. \quad (4.8)$$

## 5 REZULTATI ANKET

### 5.1.1 Lokacije anketiranja

Pred izvedbo ankete na terenu so bila pridobljena vsa dovoljenja posameznih podjetij za anketiranje na njihovih bencinskih servisih. Anketirani so bili vozniki na bencinskih servisih na avtocesti in na vzporedni cesti. Anketiranje je potekalo na desetih lokacijah. Na vseh štirih krakih (gorenjski, štajerski, dolenski in primorski) po dve lokaciji (AC in vzporedna cesta), razen na štajerskem kraku, kjer so bile štiri lokacije (na AC BS Lukovica in BS Tepanje; na vzporedni cesti BS Blagovica in BS Sl. Bistrica). Na vsakem kraku je bilo izvedeno 400 anket (skupaj 1600 anket). Pred samim začetkom anketiranja je bilo izvedeno še poskusno anketiranje s katerim je bila ustrezno modificirana programska oprema (korekcije pri podajanju alternativ) za izvedbo ankete.

*Preglednica 1: Lokacije anketiranja*

*Table 1: Enquiry location*

Krak	Bencinski servis na AC	Bencinski servis na vzporedni cesti
gorenjski	Voklo	Medvode
štajerski	Lukovica/Tepanje	Blagovica/Sl. Bistrica
dolenski	Grosuplje	Iv. Gorica
primorski	Lom	Logatec

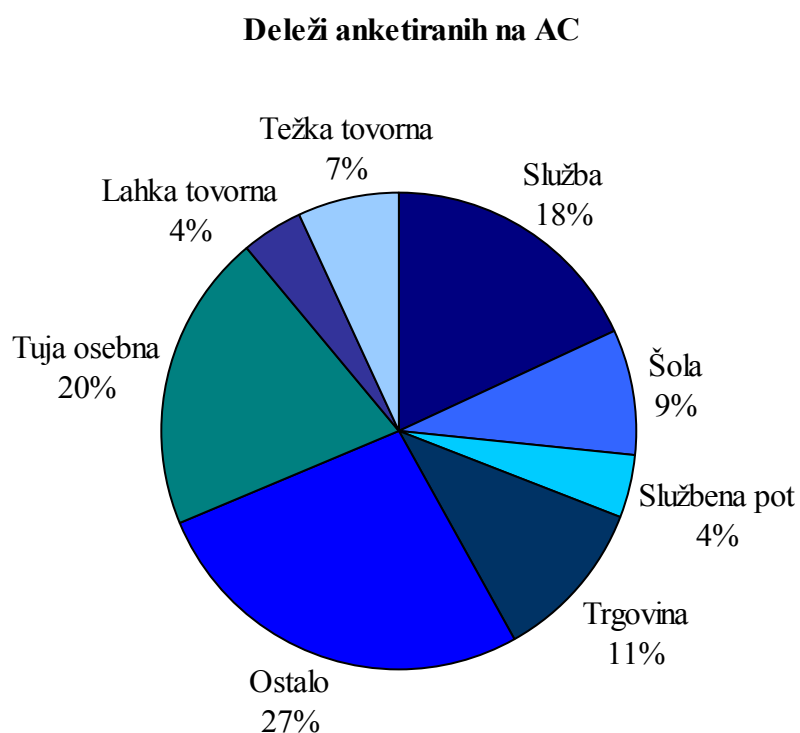
### 5.1.2 Tržni segmenti anketiranja

V anketi so bili zajeti naslednji tržni segmenti:

- domača osebna vozila,
  - namen dom-služba,
  - namen dom-šola,
  - namen službena pot,
  - namen trgovina,
  - namen ostalo,
- tuja osebna vozila,

- lahka tovorna vozila,
- težka tovorna vozila.

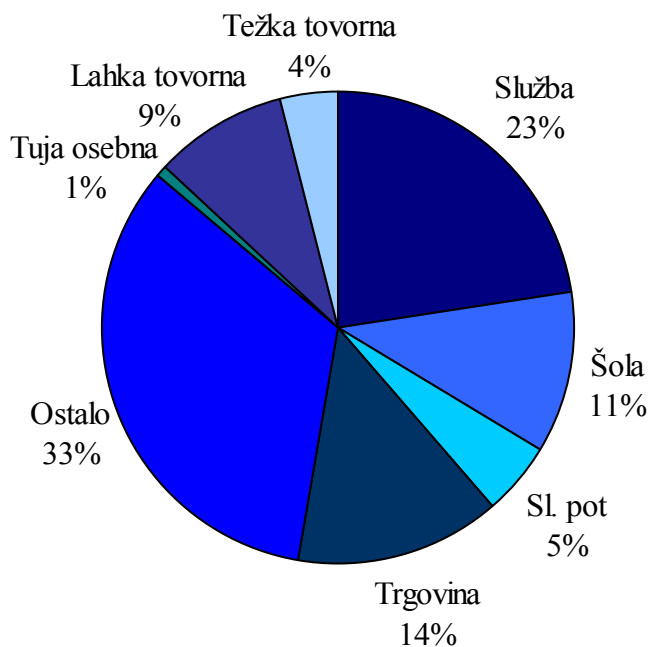
Anketirani so bili različni deleži posameznih tržnih segmentov. Prav tako so bili anketirani različni deleži glede na lokacijo anketiranja, torej avtocesta ali vzporedna cesta. Posamezni deleži segmentov so prikazani na naslednjih dveh slikah.



*Slika 20: Deleži anketiranih na avtocesti*

*Figure 20: Portions of respondents on motorway*

### Deleži anketiranih na vzporedni cesti



*Slika 21: Delež anketiranih na vzporedni cesti*

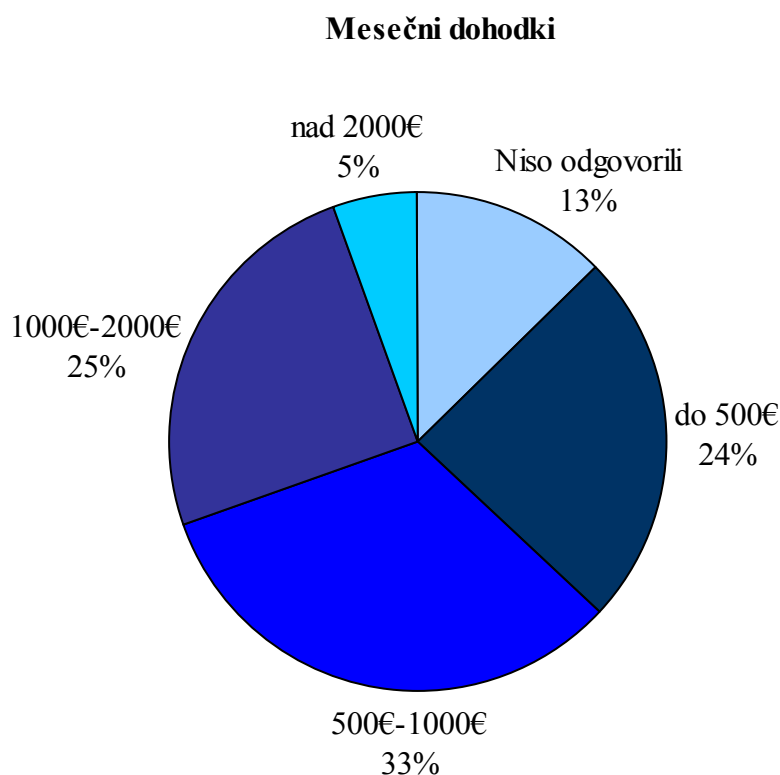
*Figure 21: Portions of respondents on parallel road*

#### 5.1.3 Osnovne analize anket

Na vsaki lokaciji je bila izurjena ekipa dveh oz. treh anketarjev, ki so zbirali podatke ankete izražanja preference. Po opravljeni anketi na bencinskih servisih so bile izdelane osnovne analize anket. Analizirani so bili posamezni deleži anketirancev glede mesečnega dohodka, izobrazbe, zasedenosti osebnih vozil in statusa.

### 5.1.3.1 Mesečni dohodki

V prvem delu ankete so se pridobili podatki o mesečnem zaslužku anketirancev. V kolikor so želeli odgovoriti na zastavljeno vprašanje, so se opredelili v enega izmed štirih razredov višine dohodka. Od celotnega vzorca, torej 1600 anket, je bilo 24 % voznikov z mesečnim zaslužkom do 500 €, 33 % od 500 € do 1000 €, 25 % od 1000 € do 2000 €, 5% nad 2000 €, 13 % pa jih ni želelo odgovoriti na zastavljeno vprašanje.

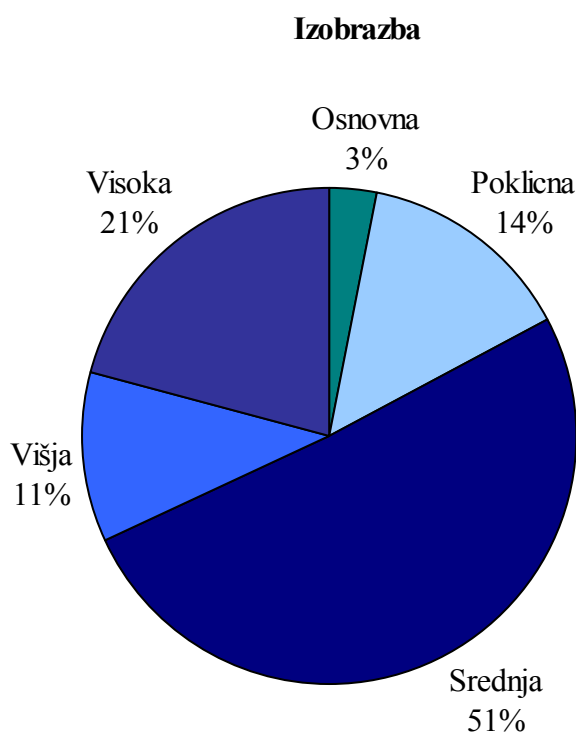


*Slika 22: Struktura anketiranih po mesečnih dohodkih*

*Figure 22: Structure of respondents according to monthly income*

### 5.1.3.2 Izobrazba

Struktura anketiranih po izobrazbi je bila sledeča: 3 % anketiranih je imelo opravljeno osnovno šolo, 14 % jih je imelo pridobljeno poklicno izobrazbo, največji odstotek anketirancev je imelo narejeno srednjo šolo in sicer 51 odstotkov. Višjo šolo je imelo narejeno 11 % anketirancev, medtem ko je imelo višjo izobrazbo 21 % anketiranega vzorca. Opisani rezultati z deleži izobrazbe so grafično prikazani na naslednji sliki.

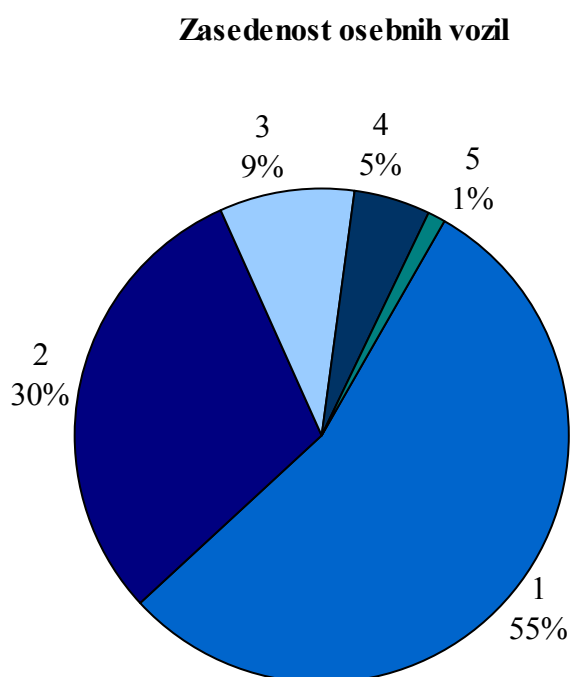


*Slika 23: Struktura anketiranih po izobrazbi*

*Figure 23: Structure of respondents regarding education*

### 5.1.3.3 Zasedenost osebnih vozil

Prav tako je zasedenost osebnih vozil eden izmed podatkov, ki so se pridobili v prvem delu ankete. 1 % osebnih vozil je bilo zasedeno s 5 ljudmi, 5 % s 4 ljudmi in 9 % s 3 ljudmi. Delež zasedenosti osebnega vozila z 2 človekoma je dosegel 30 odstotkov in kar 55 % osebnih vozil je bilo zasedenih z 1 človekom. Izračunana povprečna zasedenost osebnih vozil je bila 1,7 človeka na osebno vozilo.

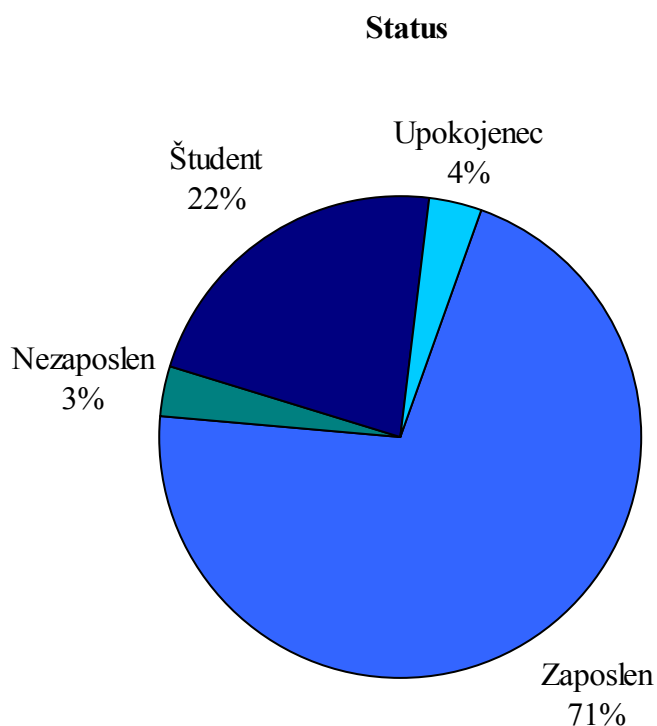


*Slika 24: Zasedenosti osebnih vozil*

*Figure 24: Vehicle occupancy*

#### 5.1.3.4 Status

Rezultati ankete glede na status zaposlitve so bili sledeči: 71 % anketiranih je bilo zaposlenih, Delež nezaposlenih anketirancev je 3 %, 22 odstotkov izprašanih je bilo študentov in 4 % upokoјencev.



*Slika 25: Status*

*Figure 25: Social position*

## 5.2 Rezultati obdelave anket

Rezultati se po obeh metodah sicer razlikujejo, vendar je razlika, gledano iz inženirskega stališča, sprejemljiva. Rezultati vrednosti časa za posamezne vrste vozil, namenov potovanj in pogostosti potovanj so prikazani v naslednji preglednici.



*Preglednica 2: Primerjava rezultatov z logit in log-normalno analizo*

*Table 2: Comparison results of logit and log-normal analysis*

Vrsta vozila-namen potovanja/pogostost	Logit analiza	Log-normalna analiza	
	VT [€/h]	VT [€/h]	Standardna deviacija
osebna vozila – služba	6,30	6,33	0,41
osebna vozila – šola	5,60	6,28	0,18
osebna vozila – nakupi	6,57	7,70	0,36
osebna vozila – službena pot	7,11	7,77	0,38
osebna vozila – ostalo	6,77	7,74	0,29
osebna vozila – tuja	9,38	8,00	0,35
kombinirana vozila	8,66	8,96	0,35
lahka tovorna vozila	17,01	17,36	0,35
težka tovorna vozila	22,78	23,73	0,32
osebna vozila / dnevni migranti	6,30	6,34	0,16
osebna vozila / občasni migranti	7,06	7,77	0,30

V spodnji preglednici so predstavljeni koeficienti funkcije koristi, ki so bili uporabljeni pri izračunu.

*Preglednica 3: Koeficienti funkcije koristi*

*Table 3: Coefficient of benefit function*

Vrsta vozila-namen potovanja /pogostost	a1	a2
osebna vozila – služba	15,30	-2,43
osebna vozila – šola	12,33	-2,20
osebna vozila – nakupi	12,37	-1,88
osebna vozila – službena pot	9,98	-1,40
osebna vozila – ostalo	11,50	-1,70

se nadaljuje...

...nadaljevanje

osebna vozila – tuja	21,20	-2,26
kombinirana vozila	3,86	-0,45
lahka tovorna vozila	10,32	-0,61
težka tovorna vozila	13,04	-0,57
osebna vozila / dnevni migranti	12,54	-2,07
osebna vozila / občasni migranti	11,68	-1,65

Poleg rezultatov vrednosti časa za posamezne vrste vozila, namenov potovanj in pogostosti potovanja, je bila narejena še analiza po AC krakih (gorenjski, štajerski, dolenski, in primorski). Rezultati so predstavljeni v naslednji preglednici.

*Preglednica 4: Vrednost časa na AC krakih (osebna vozila)*

*Table 4: Value of time on motorways legs (personal vehicle)*

AC krak	Logit analiza
	VT [€/h]
gorenjski	6,25
štajerski	5,79
dolenski	7,08
primorski	5,60

## 6 PRIMERJAVA REZULTATOV SIMULACIJE

Glavni cilj ankete izražene preference je oceniti verjetnost pri kateri višini cestnine se vozniki preusmerijo iz plačljive ceste na neplačljivo cesto. Eden od rezultatov anketiranja je ocena povprečne vrednosti cestnine katero so vozniki pripravljeni plačati. Naslednji rezultat pa je pridobiti vrednost vrednosti časa.

Za določitev vrednosti časa in pripravljenosti plačati, so vprašanja v anketi postavljena na način, da izključujejo možnost nasprotujočih se odgovorov. Navadno prvi del ankete zajema splošna vprašanja glede razlogov potovanja. Sem spadajo nekatere informacij, ki so temelj ankete izražene preference in hkrati osnova za delitev podatkov. Vprašanja vključujejo:

- vrsto vozila,
- število potnikov,
- državo iz katere prihaja vozilo,
- izvor začetka potovanja,
- namen potovanja,
- cilj potovanja,
- razlog potovanja,
- pogostost potovanja,
- voznikova približna ocena dolžine potovanja,
- prevožena dolžina plačljivega odseka,
- voznikov pričakovani čas potovanja na plačljivem odseku,
- starost,
- spol,
- ekonomski status in
- stopnjo izobrazbe.

Anketa izražene preference vsebuje predhodno pripravljene situacije pri katerih se morajo vozniki s sigurnostjo ali verjetnostjo opredeliti za vožnjo po cestninjeni cesti. Običajne spremenljivke so višina cestnine, celoten čas potovanja in standard vožnje po avtocesti.

Za preizkus primernosti posameznih metod analize izraženih preferenc je bila narejena simulacija na primeru cestninske postaje Dob, katera je bila primerjana z dejanskimi odlivi. S tem namenom je bilo izvedeno štetje prometa oziroma beleženje registrskih tablic. Na terenu se je beležilo registrske tablice vozil, ki so zapuščale AC, in vozila, ki so prihajala na AC. Lokacije beleženj so prikazane na naslednjih dveh slikah. Poleg beleženja tablic so bile izvedene meritve potovalnih časov tako na AC kot tudi na vzporedni povezavi. Prometna mreža je sestavljena iz dveh konektorjev, ki na mreži generirata promet; cestninjenje cestne povezave in vzporedne necestninjene povezave. Karakteristike obeh povezav so prikazane v preglednici. Števnimi podatki iz AC so bili pridobljeni iz CP Dob za isti dan kot je bilo izvedeno beleženje registrskih tablic. Na cestninski postaji Dob se cestnini odsek v dolžini 37 km.

*Preglednica 5: Karakteristike simuliranih povezav*

*Table 5: Characteristics of simulated links*

	Cestninjena povezava		Necestninjena povezava
	ABC	Brez ABC	
Povprečna potovalna hitrost	105 km/h	95 km/h	56 km/h
Kapaciteta	30.000 vozil/dan	30.000 vozil/dan	3000 vozil/dan
Dolžina povezave	6,6 km	6,6 km	9,5 km
Povprečni potovalni čas (mm:ss)	3:45	4:20	9:55



*Slika 26: Lokacije beleženja registrskih tablic (a) Iv. Gorica, (b) Bič*

*Figure 26: Locations of license plate matching (a) Iv. Gorica, (b) Bič*

Med seboj se je primerjalo rezultate štetja na odseku med Iv. Gorico in Bičem ter rezultate, ki so dobili pridobljeni s Tribut metodo. Pri metodi se je upoštevalo predpostavko, da se promet težkih tovornih vozil in avtobusov privzame kot “fiksno“ vrednost. To predpostavko se lahko utemelji s tem, da težka tovorna vozila zaradi zakonskih omejitev ne smejo uporabljati vzporedne povezave. Rezultati prometa Tribut metode so bili pretvorjeni v rezultate po osebnih vozilih, lahkih tovornih vozilih in težkih tovornih vozilih in nato primerjani s števničnimi rezultati beleženja registrskih tablic in podatkov iz cestninske postaje.

## **6.1 Obremenjevanje s Tribut metodo**

Ugotovljeno je bilo, da je glede na razmere med pregledanimi obdelanimi metodami razporejanja potovanj po mreži najprimernejša Tribut metoda, saj so rezultati simulacije po tej metodi najbližje dejanskemu stanju, katero je bilo primerjano s štetjem prometa (služi kot referenca).

V prometnem modelu, ki je bil izdelan s programskim orodjem PTV Visum 9.40, so bili za Tribut metodo uporabljeni parametri iz naslednje preglednice.

*Preglednica 6: Uporabljeni parametri za Tribut metodo*

*Table 6: Used parameters for Tribute method*

<b>Vrsta vozila-namen potovanja</b>	<b>VT [€/h]</b>	<b>Standardna deviacija</b>
Osebna vozila – služba	6,33	0,41
Osebna vozila – šola	6,28	0,18
Osebna vozila – nakupi	7,70	0,36
Osebna vozila – službena pot	7,77	0,38
Osebna vozila – ostalo	7,74	0,29
Osebna vozila tuja	8,00	0,35
Kombinirana vozila	8,96	0,35
Lahka tovorna vozila	17,36	0,35
Težka tovorna vozila	23,73	0,32

Dobljene prometne obremenitve so v prilogah podane grafično za vsa vozila skupaj, posebej za osebna vozila, lahka tovorna vozila in težka tovorna vozila.

## 6.2 Validacija modela

Preveritev ustreznosti modela oziroma validacija je bila narejena po mednarodnih merilih. Validacija je bila narejena s števničnimi podatki motornega prometa. Opravljeno je bilo beleženje registrskih tablic na dveh presekih.

Statistična metoda GEH je oblika  $X^2$  testa, ki vključuje tako absolutne kot relativna napake:

$$GEH = \sqrt{\frac{(PT_m - PT_s)^2}{0,5 \cdot (PT_m + PT_s)}}, \quad (6.1)$$

kjer je:

$PT_m$  prometni tok iz modela in

$PT_{\xi}$  prometni tok iz štetja.

85% posameznih prometnih tokov naj ne bi imelo večje vrednosti indeksa GEH kot 5. Analiza je narejena za tokove osebnega avtomobilskega prometa.

Po naslednjem kriteriju naj bi na največ 15% odsekov modelske vrednosti odstopale od števnih in sicer:

- za tokove manjše kot 700 vozil/h sme biti razlika največ 100 vozil/h,
- za tokove velikosti 700-2000 vozil/h sme biti razlika največ 15%,
- za tokove večje od 2.700 vozil/h sme biti razlika največ 400 vozil/h.

### 6.3 Rezultati simulacije in števnih podatkov

Rezultati simulacije so predstavljeni v preglednici, ki sledi. V modelu je bilo upoštevano, da je bila AC povezava (link) obremenjena s cestnino 0,046 EUR/km. Taka predpostavka je bila uporabljena zaradi tega, ker je dolenski AC krak odprtega tipa.

*Preglednica 7: Primerjava rezultatov Tribut metode in štetja*

*Table 7: Comparison of simulation results with observed data*

	Tribut metoda		Števni podatki		Tribut/Štetje	
	AC	Vzporedna cesta	AC	Vzporedna cesta	AC	Vzporedna cesta
Osebna vozila	10618	1121	10689	1057	0,99	1,06
Lahka tovorna vozila	469	69	474	62	0,99	1,11
Težka tovorna vozila	1133	17	1139	11	0,99	1,55
Potovalni čas (oseb.voz.)	4:53	9:01	4:15	9:55	+0:38 (1,15)	-0:54 (0,91)

Kombiji niso bili zajeti v primerjavi, ker niso bili posebej ločeni pri beleženju registrskih tablic.

*Preglednica 8: Validacija – statistična metoda GEH*

*Table 8: Validation – statistical method GEH*

<b>Št. linka</b>	<b>Model</b>	<b>Štetje</b>	<b>GEH</b>	<b>Pogoj GEH &lt; 5</b>
1562	1121	1057	1,94	1
1563	1121	1057	1,94	1
1622	10618	10689	0,69	1

Iz preglednice je razvidno, da model ustreza navedenim pogojem v poglavju 6.2. Odstopanja med rezultati simulacije in števniimi podatki so bili znotraj tolerance  $\pm 15\%$ , razen pri težkih tovornih vozilih na paralelni cesti, kjer pa je bila obremenitev zelo nizka 11 : 17 vozil. Pri tako nizkih obremenitvah pa velja pogoj, da mora biti razlika manjša od 100 vozil. Ustreza tudi analiza statistične metode GEH, po kateri mora imeti 85% vseh posameznih prometnih tokov manjšo vrednost od 5.

S Tribut metodo lahko ustrezno simuliramo realno stanje na cestni mreži. Primerna je še zlasti pri modelih na odsekih zaprtega tipa cestninjenja, medtem ko je na odprtih odsekih cestninjenja potrebno biti previden pri modeliranju modela. Pri odprtih sistemih je potrebno cestnino podati proporcionalno glede na dolžino linka, saj v nasprotnem primeru rezultati pokažejo večji odliv, kot je le-ta v resnici. Torej, ko je bila uporabljena cestnina določena proporcionalno na dolžino linka, so bili dobljeni rezultati primerljivi z rezultati iz štetja. Razlog zakaj je temu tako lahko pripišemo dejstvu da uporabniki primerjajo višino cestnine s potovalnim časom na celotnem odseku in ne samo na plačljivem odseku.



## 7 ZAKLJUČKI IN UGOTOVITVE

Tehnike izražene preference se uporabljajo pogosteje kot odkrite preference, saj je za slednje težje pridobiti potrebne podatke, ki se nanašajo na dostopne potovalne navade, vezane na čas in strošek. Glavna prednost pristopa izraženih preferenc je ta, da se lahko preveri niz opcij katerih trenutno nimamo na voljo. V okviru naloge je bil izdelan pregled različnih metod ankete izražene preference.

Glavni zaključki pri primerjavi študij izraženih preferenc so bili:

- Dohodek je brez dvoma povezan z vrednostjo časa in mora biti umeščen v modele za napoved;
- Vrednost časa narašča s trajanjem potovanja;
- Vrednost časa pada pri potovanjih v prostem času;
- Pri starejših komutatorjih ostaja vrednost časa na nizki ravni.

Analizirane smo teoretične osnove posameznih metod podatkovnih analiz in različnih tehnik obremenjevanja mreže.

Iz izvedenih anket smo ocenili vrednost časa po dveh metodah in sicer najprej ob predpostavki, da je vrednost časa porazdeljena log-normalno, ter drugič z uporabo logit modela. Rezultati obdelave anket se po obeh metodah sicer razlikujejo, vendar je razlika, gledano iz inženirskega stališča, sprejemljiva.

Ustreznost metod smo preverili s simulacijo odliva na odseku avtoceste Višnja gora – Bič ter dobljene vrednosti primerjali z dejanskim odlivom, ki smo ga ugotovili pridobljenim s štetjem prometa. Ugotovili smo, da lahko s Tribut metodo ustrezno simuliramo realno stanje. Omenjeno metodo ocene vrednosti časa in Tribut obremenjevalno metodo lahko ocenimo za primerni pri modelih na odsekih zaprtega tipa cestninjenja, medtem ko je odsekom odprtega tipa cestninjenja potrebno nameniti posebno pozornost. Pri odprtih sistemih je cestnina določena samo na določenih linkih in ni proporcionalno določena glede na dolžino linka ali potovalnega časa. V tem primeru je znesek cestnine na linku določen glede na celotno dolžino

odseka, to je 37 km. To je v modelu vodilo k večjemu odlivu kot je bil le-ta v resnici. Ko je bila uporabljena cestnina določena proporcionalno na dolžino linka, so bili dobljeni rezultati primerljivi z rezultati iz štetja. To lahko pojasnimo z dejstvom, da uporabniki primerjajo višino cestnine s potovalnim časom na celotnem odseku in ne samo na cestninjenem odseku (linku).

## 8 POVZETEK

Zadnja faza v klasičnem štirifaznem modelu za napoved prometa je razporejanje potovanj po cestni mreži. Za razporejanje potovanj obstajajo različne tehnike, od najenostavnejših, kot je na primer metoda »vse ali nič«, do kompleksnih iterativnih metod, kot je Tribut metoda, vendar so le nekatere med njimi primerne za modeliranje razporejanja potovanj po cestni mreži z upoštevanjem cestnine. Za modeliranje prometnega modela, ki upošteva vpliv cestnine, potrebujemo t.i. vrednost prihranka časa. Vrednost prihranka časa, ki je pogojena z dejanskim odlivom prometa s cestninskih cest na vzporedne ceste, je možno ugotoviti z raziskavami odkritih preferenc. Raziskave se lahko izvajajo tudi z anketami voznikov na cestni mreži, vendar je ta metoda neizvedljiva brez sodelovanja policije, poleg tega je za beleženje registrskih tablic potrebna obsežna izurjena ekipa in s tem tudi sredstva. Zaradi omenjenega se v svetu vedno pogosteje uporabljajo ankete izraženih preferenc. V anketi anketiranci s svojimi odgovori izražajo preference, kako bi ravnali v hipotetičnih situacijah. S temi anketami lahko že s sorazmerno majhnim vzorcem dosežemo statistično relativno zanesljive ocene.

V okviru naloge so bile pregledane prednosti in slabosti Tribut metode, inkrementalne metode in metode ravnovesja.

Programska oprema, ki je bila razvita za izvajanje ankete izražene preference, omogoča enostaven vnos in shranjevanje podatkov o anketirancu in generiranje hipotetičnih situacij v odvisnosti od izvora in cilja. Prednost tovrstnega anketiranja je v tem, da se anketna vprašanja lahko sestavljajo poljubno glede na podatke, ki jih želimo pridobiti. V anketi je potrebno predpostaviti realne situacije, ki se lahko pojavijo v prihodnosti, zagotoviti ustrezen potek analize ter končno obdelavo podatkov.

Vrednost časa je bila ocenjena po dveh metodah, in sicer najprej ob predpostavki, da je vrednost časa porazdeljena log-normalno ter drugič z uporabo logit analize.

Glavni cilj ankete izražene preference je oceniti vrednost, pri kateri višini cestnine se vozniki preusmerijo iz plačljive ceste na neplačljivo cesto. Rezultat, ki ga je možno dobiti iz ankete, je vrednost cestnine, ki so jo vozniki še pripravljeni plačati za uporabo plačljivih cest. Eden izmed rezultatov anketiranja po tej metodi je tudi pridobitev ocene vrednosti časa. Za preizkus primernosti posameznih metod analize izraženih preferenc je bila narejena simulacija na primeru cestninske postaje Dob, ki je bila primerjana z dejanskimi odlivi.

Rezultati so pokazali, da lahko s Tribut metodo ustrezno simuliramo realno stanje na cestni mreži. Omenjeno metodo ocene vrednosti časa in Tribut obremenjevalno metodo se lahko oceni za primerno, vendar le pri modelih na odsekih zaprtega tipa cestninjenja. Na odsekih odprtega tipa cestninjenja pa je potrebno metode prilagoditi, saj je pri odprtih sistemih cestnina določena samo na določenih povezavah (linkih) in ni proporcionalno določena glede na dolžino povezave (linka) ali potovalnega časa.

## 9 SUMMARY

Traffic network assignment is the last phase in the classical 4-phase traffic forecasting model. There are different methods of traffic assignment ranging from the most simple »all or nothing« method to the complex iterative methods such as Tribute method, however, only some of them are suitable for network assignment distribution modeling considering toll collection influence. For toll collection influence modeling we must consider the so called value of time. Value of time is indicated in the actual diversions from motorways and can be established with revealed preference surveys. Surveys can also be performed by questioning the road-users. The method cannot be used without the help of the police and besides that it requires a highly qualified team for registering the plates and additional resources. Due to the mentioned factors the stated preference survey has commonly been used in the world. The respondents express their preferences regarding their reactions in some hypothetical situations. Such surveys achieve rather reliable estimations even when based on relatively small samples.

This paper is a list of advantages and disadvantages of the Tribute, the Incremental and the Equilibrium methods.

The software designed for performance of the stated preference survey enables simple input and saving of the data on the respondents as well as creation of hypothetical situations depending on origin and destination. An advantage of such survey is that survey questions can be formed optionally in accordance with the information we want to gather. The survey requires supposition of real situations which are likely to happen in the future, assurance of suitable analysis procedure and final information processing.

Value of time has been evaluated on the basis of two methods, firstly, by a supposition that value of time is lognormally distributed and secondly, using logit analysis.

The main aim of the stated preference survey is to evaluate the amount of toll at which the road-users diverse from motorways to regional roads. A result of this survey is the amount of

toll which road-users are still willing to pay. Using this method of survey we can also get estimation of value of time. We have tested the suitability of each analysis of stated preference method on the example of the toll station Dob which we have compared with the actual outflow.

The results show that the Tribute method is suitable for simulation of real conditions on the traffic network. The mentioned method of time value evaluation and Tribute method can be defined as suitable, however, only with models on the closed toll systems sectors. The open toll system sectors require adapted methods owing to the fact that open systems define toll only on specific links and are not proportional to the link length or travel time.

## VIRI

Bickel, P. et al. 2006. Proposal for Harmonised Guidelines. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Germany, IER: 193 str.

Bristow, A.L., Nellthorp, J. 2000 *Transport project appraisal in the European Union* Transport Policy 7. Pergamon, Elsevier Science Ltd: 51 str.

Brownstone, D. et al. 2003. Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project. Atlanta, Elsevier: 31 str.

Cirillo, C., Axhausen, K.W. 2004. Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary. Zürich, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, Zürich, ETH: 33 str.

Guidebook on Method to Estimate Non-Motorized Travel: Supporting Documentation. 1999. Georgetown, Federal Highway Administration: 180 str.

Influence of tolling on transport demand

[http://rru.worldbank.org/Documents/Toolkits/Highways/3\\_public/33/3335.htm](http://rru.worldbank.org/Documents/Toolkits/Highways/3_public/33/3335.htm). 16. maj 2007.

Kawamura, K. 2000. Value of Time FOR Truck operators. Washington, D.C. Transportation Research Board 79th Annual Meeting: 14 str.

Lake, M., Ferreira, L. 2002. Demand for toll roads: a summary of elasticities, travel time values and modelling approaches. Brisbane, Transport research consortium, Queensland University of technology: 28 str.

Lauszus, D., Rambold, A., Arena, G. 2001. The right price. World Highways 51-52.

Mackie, P.J. et al. 2003. Value of travel time savings in the UK. Sheffield, University of Leeds: 123 str.

Sidra Intersections user guide. 2000-2006. Greythorn, Akcelik & Associates Pty Ltd: 486 str.

State Health Access Data Assistance Center, University of Minnesota School of Public Health 2001. Why Surveying "Willingness to Pay" is Difficult: 5str.

Values of Time and Operating Costs. 2004. London, Department for Transport: 21 str.

Value of time in traffic models. 2004. Copenhagen, Centre for Transport Research on Environmental and Health Impacts and Policy: 10 str.

Vildrik, S.M. 2003. Discrete Choice Models Estimation of Passenger Traffic. Doktorska disertacija. Lyngby, Centre for Traffic and Transport Technical University of Denmark: 231 str.

VISUM user manual, version 9. 2006. Karlsruhe, PTV Vision AG: 1538 str.

Vrednost časa za vse udeležence v prometu. 2007. Raziskovalna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 42 str.

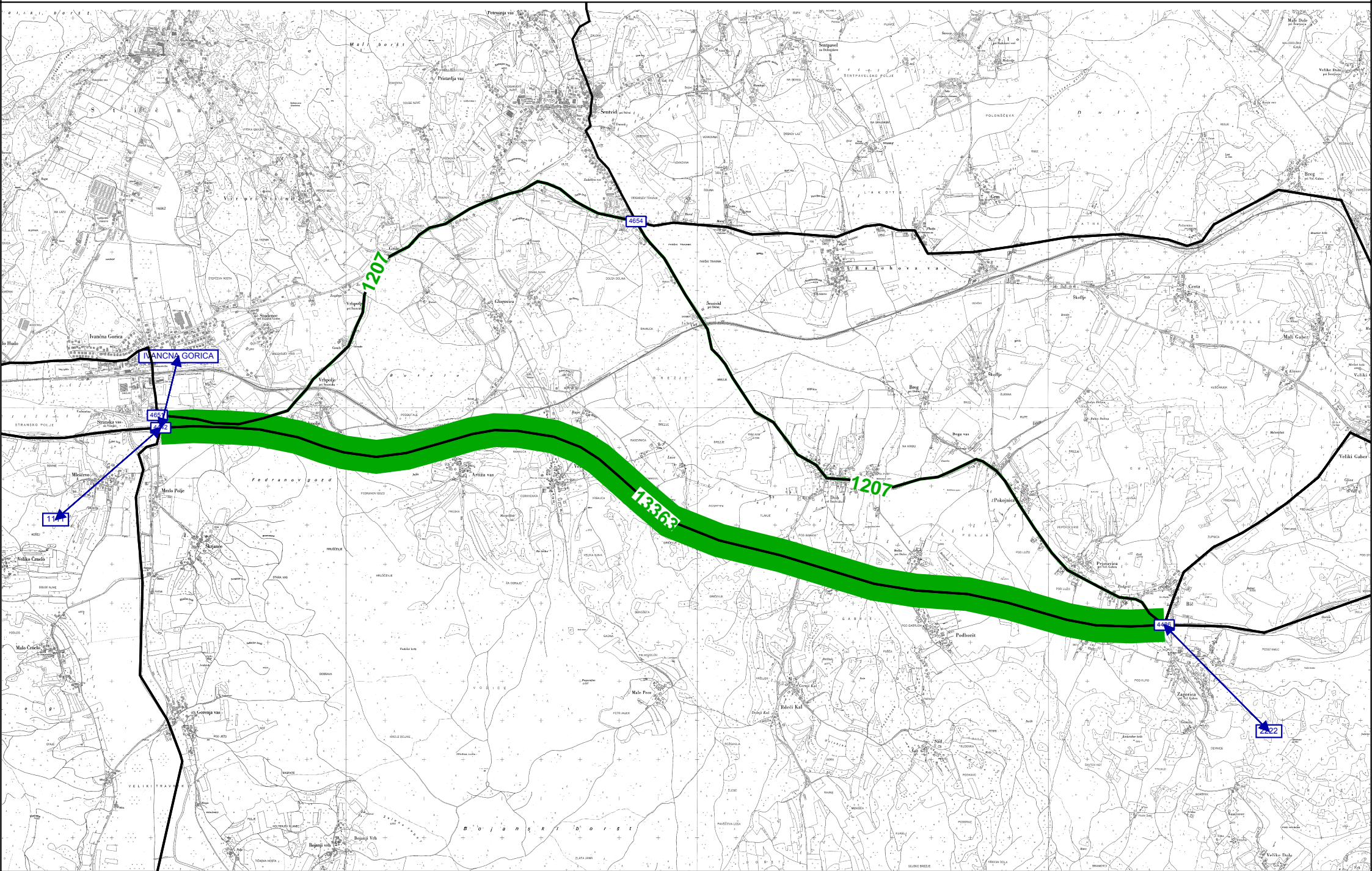


## **PRILOGA**

*Priloga A Izhodni rezultati programskega orodja PTV Vision VISUM 9 (Tribut metoda),  
odsek Iv. Gorica – Bič*

- A1 Vsa vozila*
- A2 Osebna vozila*
- A3 Lahka tovorna vozila*
- A4 Težka tovorna vozila*
- A5 Številke linkov*

# Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži



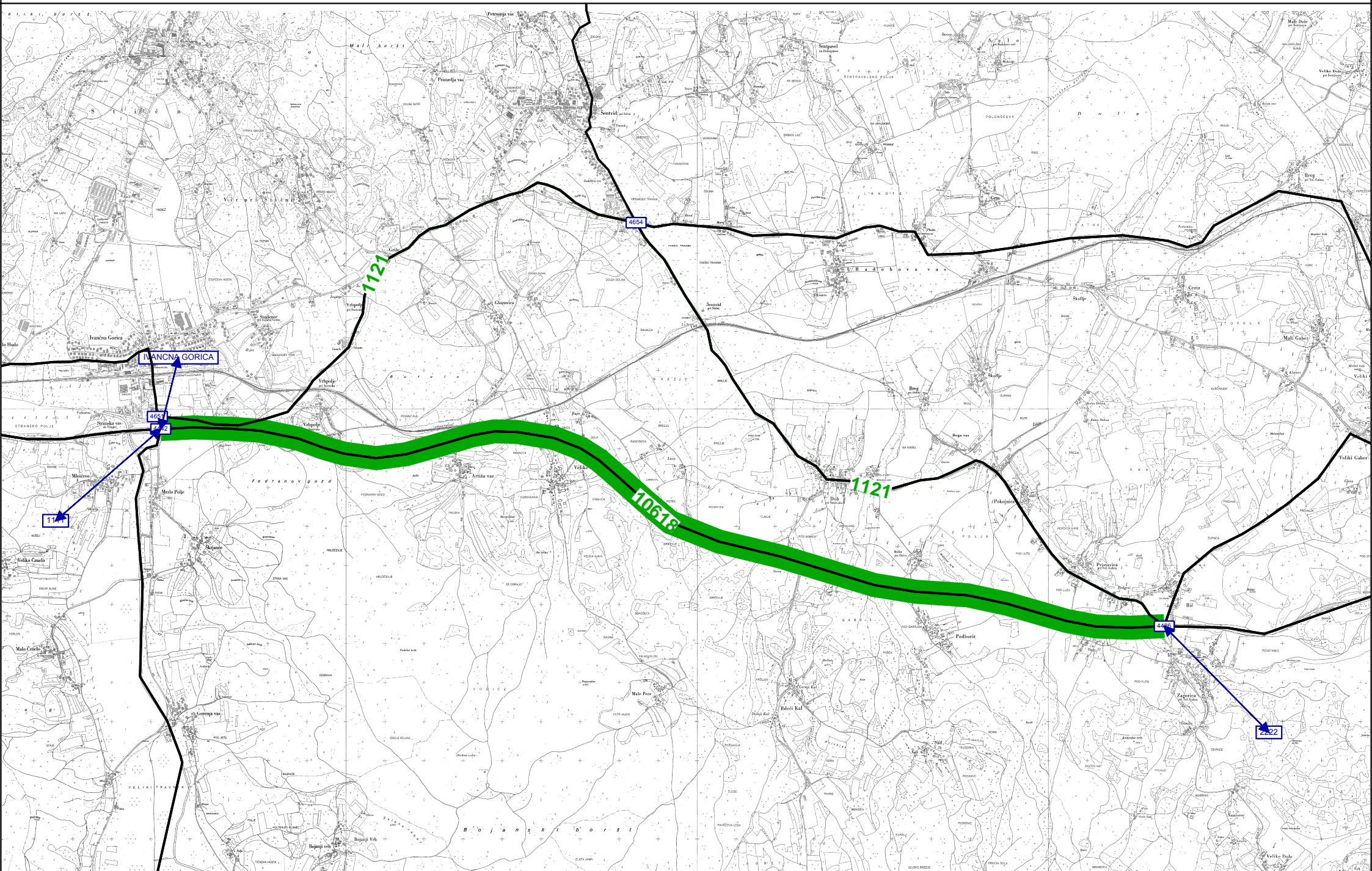
Tribut metoda

9.44

Vsa vozila

1:30000

# Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži



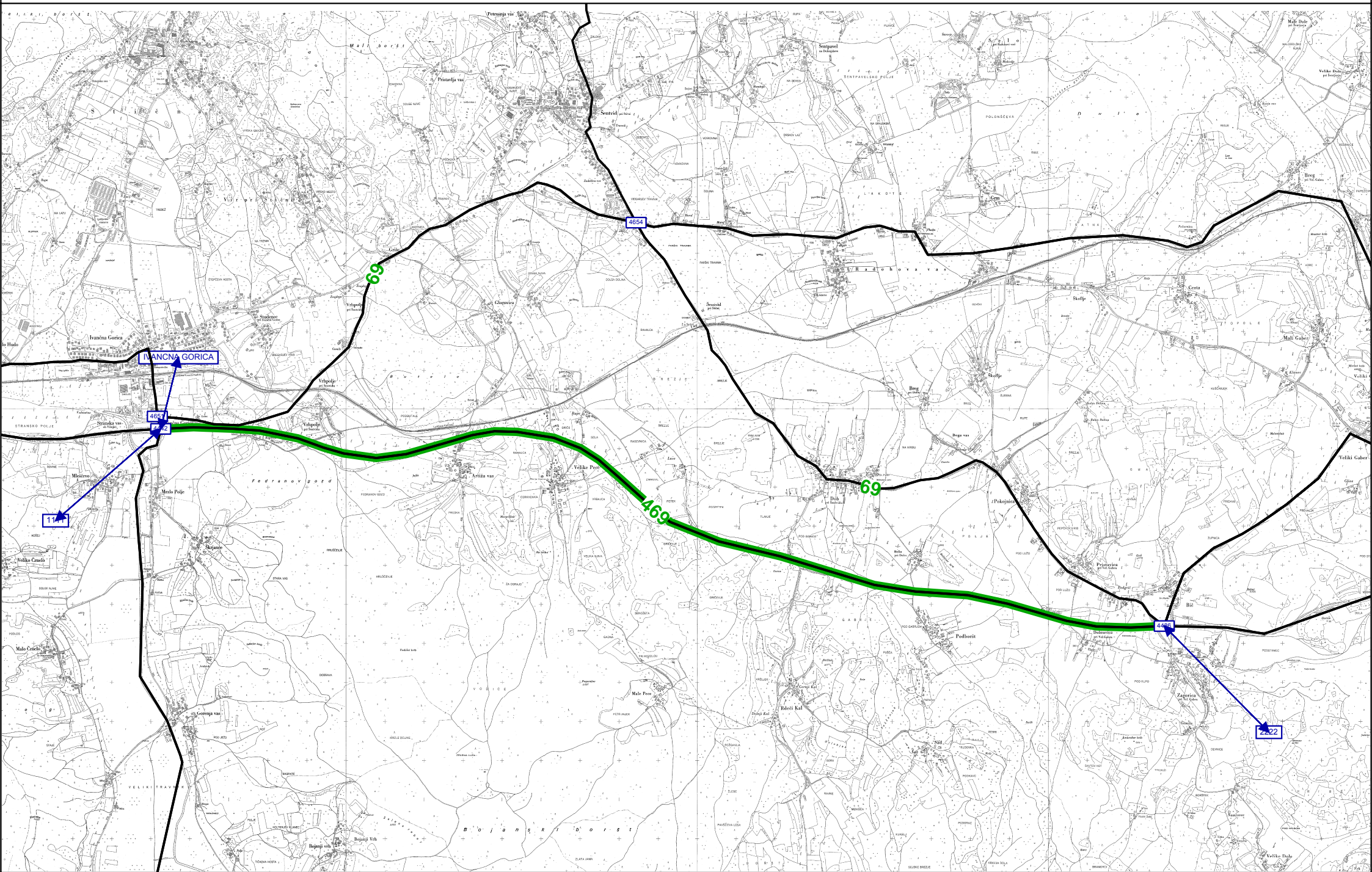
Tribut metoda

9.44

Osebna vozila

1:30000

# Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži



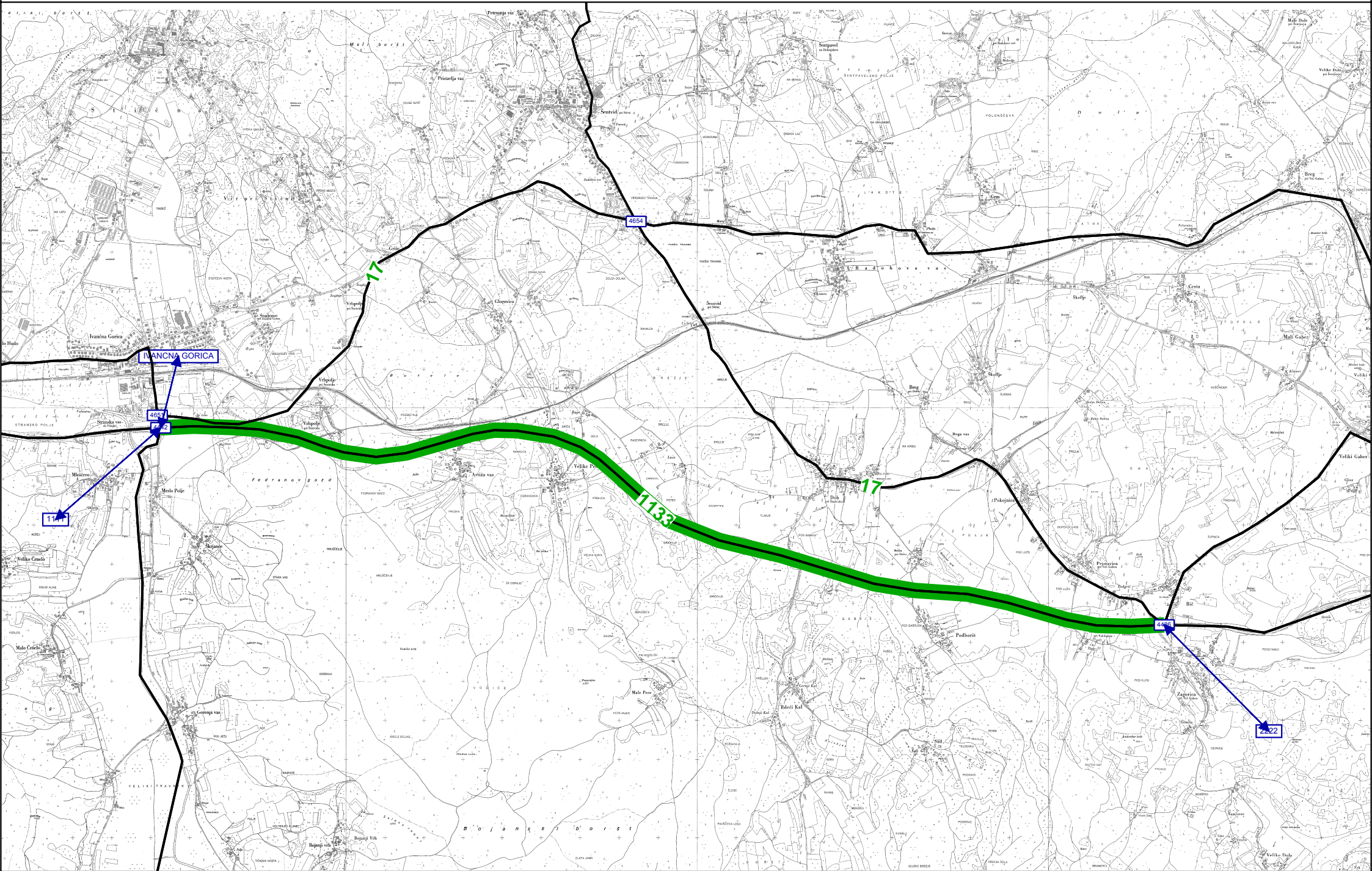
Tribut metoda

Lahka tovorna vozila

9.44

1:30000

# Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži



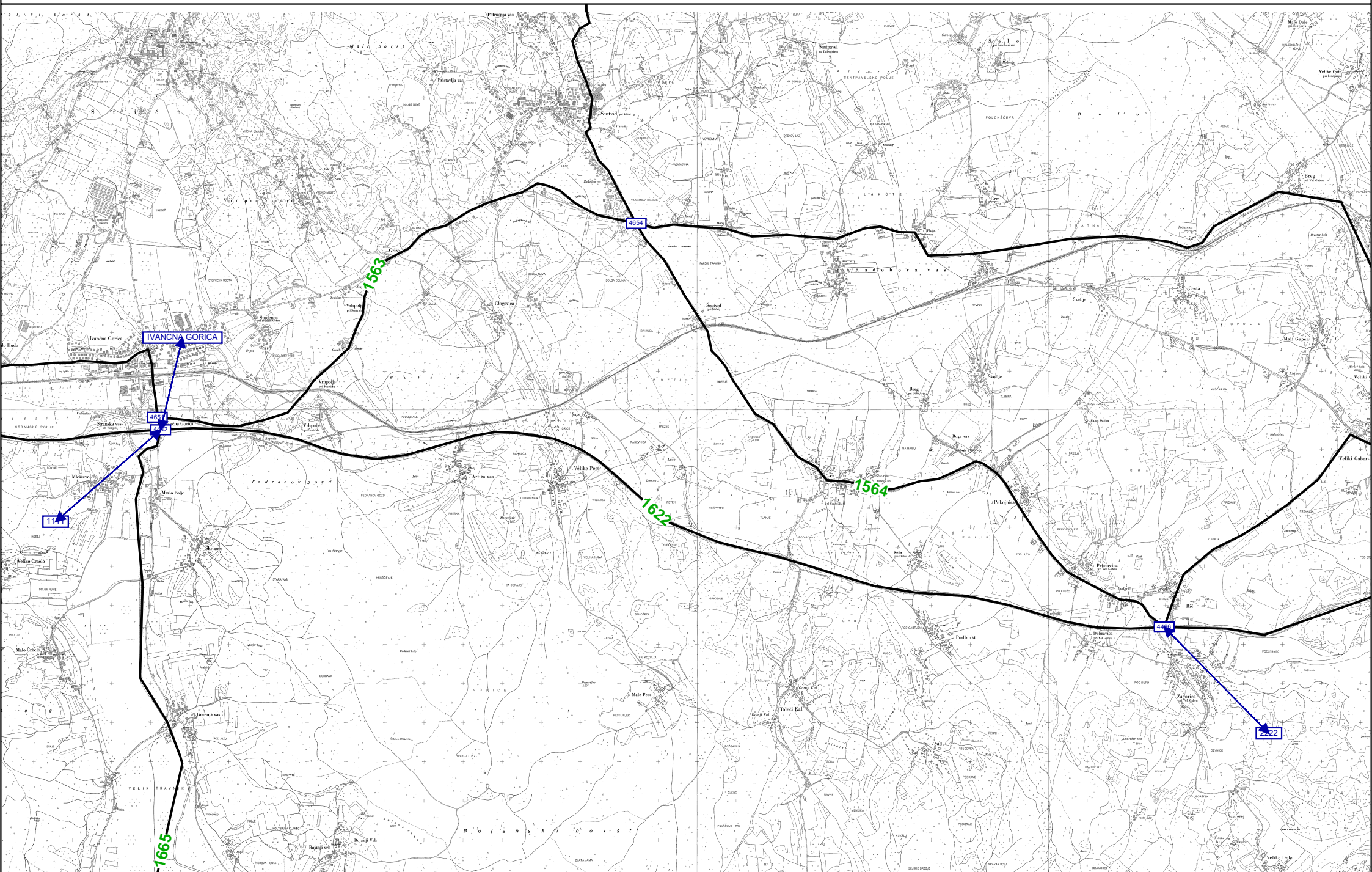
Tribut metoda

9.44

Težka tovorna vozila

1:30000

# Modeliranje vpliva cestnine na izbiro poti v cestni mreži



Tribut metoda

9.44

Številke linkov

1:30000