

## **NAPOVEDOVANJE UČINKOV UKREPOV SPODBUJANJA JAVNEGA PREVOZA POTNIKOV**

### **Marjan Lep**

dr., univ.dipl.inž.gradb., docent  
Univerza v Mariboru  
Fakulteta za gradbeništvo,  
Smetanova 17, SI - 2000 Maribor, Slovenija  
e-mail: lep@uni-mb.si

### **Simon Hmelak,**

univ.dipl.inž.prometa  
Univerza v Mariboru  
Fakulteta za gradbeništvo,  
Smetanova 17, SI - 2000 Maribor, Slovenija  
e-mail: simon.hmelak@gmail.com

UDK:

COBISS:

### ***Izvleček***

#### **Napovedovanje učinkov ukrepov spodbujanja javnega prevoza potnikov**

V Sloveniji že leta izjavljamo, da želimo imeti bolj trajnostno mobilnost, na terenu pa lahko ugotovimo drugačna dejstva. Pri razvoju sistema javnega potniškega prometa se sprašujemo predvsem, kam investirati javni denar, da bo prišlo do zelenih premikov v izboru načina potovanja. V podporo nosilec odločanja je razvit model v obliki enačbe, s pomočjo katere je moč verodostojneje napovedati učinke ukrepov, kot so integrirana enotna vozovnica, bistveno znižanje cene vozovnic, sprememba cene parkiranja v mestih, povečanje obsega ponudbe vlakov itd.. Model je validiran in umerjen na vzorcu potovanj na delo iz okoliških naselij v Maribor.

#### ***Ključne besede***

javni potniški promet, vozač, potovalne navade, izbor sredstva, logit, Maribor

### ***Abstract***

#### **Predicting the effects of measures to promote public passengers transport**

A more sustainable mobility has been strived for in Slovenia in the past years, yet the situation in the field has not shown adequate results. In developing the public transport system experts are trying to find answers to a question about where to invest public money to achieve a shift in the selection of the desired mode of transport. In order to support decision makers, the model was developed in the form of an equation with can predict effects of more authentic measures such as integrated ticketing, significant decrease of fares, change of parking rates in cities, increase of train services etc. The model was validated and calibrated using a sample of journeys to work from agglomerations surrounding the city of Maribor.

#### ***Keywords***

public transport, commuter, travel behaviour, modal split, logit, Maribor

*Uredništvo je članek prejelo 20.11.2011*

## 1. Uvod

V Sloveniji že leta izjavljamo, da želimo imeti bolj trajnostno mobilnost, na terenu pa lahko ugotovimo drugačna dejstva. Prostorsko planiranje spodbuja več motoriziranih potovanj, obseg ponudbe in uporaba javnega prevoza upadata, povečujejo se kapacitete cestnega omrežja, predvsem parkirnih mest. Javna sredstva, namenjena spodbujanju bolj trajnostnih načinov mobilnosti, se uporabljajo za lepotne korekcije in ne za ukrepe, ki bi omogočali spremembo potovalnih navad prebivalstva. Del krivde za ugotovljeno stanje nosi prometna stroka, ki je v preteklosti izdelovala številne prometne napovedi podprte s prometnimi modeli, za katere je moč danes ugotoviti, da so bili popolnoma zgrešeni. Pri razvoju sistema javnega potniškega prometa se sprašujemo predvsem, kam investirati omejene količine javnega denarja, da bo prišlo do zelenih premikov v izboru načina potovanja. Prometno inženirstvo mora biti sposobno zapisati umerjene in veljavne enačbe, s pomočjo katerih bo moč verodostojno napovedati, kaj se bo zgodilo, če na primer bistveno znižamo cene vozovnic ali če spremenimo cene parkiranja v mestih. V nadaljevanju poročamo o modelu, ki kvantitativno opisuje zakonitosti procesa odločanja pri izboru načina potovanja. Model smo razvili z namenom omogočiti načrtovalcem prometnih politik verodostojnejše in zanesljivejše napovedovanje posledic in učinkov določenih sklopov ukrepov.

Omejili smo se na razvoj in umerjanje modela (enačbe), ki bo opisoval, kako se obnašajo tisti, ki se iz nekega naselja dnevno (ali skoraj vsak dan) vozijo na delo v drugo naselje. Gabrovec in Bole zanje predlagata izraz vozači na delo (Gabrovec 2009, 16 in 17), a jih bomo v nadaljevanju imenovali migranti. Prav tako obstaja dilema, ali je bolje uporabljati izraz »sredstvo« ali pa »način« potovanja. V nadaljevanju bomo uporabljali izraz način ter pri tem mislili na načina javni potniški promet (JPP) in osebni avtomobil (OA), način JPP pa je moč izvesti z dvema sredstvoma avtobusom in vlakom.

## 2. Metoda dela

### 2.1 Problem diskretnega binarnega odločanja

Ko obravnavamo ravnanje dnevnih migrantov glede potovanja na delo, rešujemo problem binarnega diskretnega odločanja. Odločamo se med dvema možnostim: za uporabo osebnega avtomobila ali za uporabo sredstev javnega potniškega prometa. Izračunavamo deleže uporabnikov ene izmed dveh možnosti. V splošnem sta na voljo dva osnovna pristopa.

Po prvem obravnavano populacijo razdelimo na kategorije ali skupine, za katere vemo ali upravičeno menimo, da imajo homogeno mobilnostno obnašanje. Posledica te podmene je, da vsi pripadniki kategorije izberejo zanje najboljšo možnost. Pri tem je osrednje vprašanje kriterij kategorizacije oziroma števila kategorij. Za neko uporabno veljavnost bi potrebovali veliko števil kategorij, kategorizacijo bi morali opraviti na podlagi socio-ekonomskih lastnosti, pa tudi lastništva OA, razpoložljivosti parkirnega mesta in podobno. Pristop lahko poimenujemo kot »analiza kategorij + vse ali nič«. Pri tem pristopu nastopijo težave pridobivanja ustreznih podatkov.

Drug pristop je logistična ali kakršna koli druga distribucija, kjer populacija ostane ena sama, se pa na podlagi zakonitosti (enačbe) odloča tudi za ponudbo, ki objektivno ni najboljša. Pri tem je osrednji problem, kako umeriti enačbo (sicer eno samo), da bo veljavna. Prednost te metode je, da iz popisa prebivalstva poznamo

rezultat (izbor načina in sredstva) in je torej zadovoljiv eksperiment za potrebe verifikacije enačbe na voljo.

Možna bi bila seveda kombinacija obeh zgoraj navedenih pristopov ( »analiza kategorij + logistična distribucija znotraj kategorije«), kjer populacijo razdelimo sicer na manjše število kategorij (npr.: dve kategoriji lastniki/vozniki : nevozniki; delitev po kategorijah prihodkov; delitve glede na možnosti parkiranja ...), a tudi tu trčimo na problem pomanjkanja ustreznih podatkov.

V nadaljevanju bomo obravnavali pristop logistične distribucije, kjer uporabimo logit enačbo oblike:

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

Kjer so:

- $p_{ij}^1$  Verjetnost, da bo za potovanje med naseljema »i« in »j« izbrana ponujena možnost »1«.
- $T_{ij}^1$  Število potovanj med naseljem »i« in naseljem »j«, ki se opravijo na način »1«.
- $T_{ij}$  Število vseh potovanj med naseljem »i« in naseljem »j«.
- $c_{ij}^1$  Posplošeni stroški potovanja med naseljema »i« in »j« ponujene možnosti »1«
- $c_{ij}^2$  Posplošeni stroški potovanja med naseljema »i« in »j« ponujene možnosti »2«
- $\beta$  Koeficient, ki določa strmino logit krivulje.

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

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

Pri zapisovanju in uporabi enačbe (2) se postavlja vrsta teoretičnih in praktičnih vprašanj; predvsem, kako se določa »c« (posplošeni strošek oziroma upor) za ponudbo OA, kako za ponudbo JPP, kako določiti koeficient  $\beta$ , ki opisuje občutljivost potnikov na občutene razlike v ponudbi, kaj je verodostojna in ponovljiva meritev, da bi lahko verificirali in umerili enačbo, kako vse elemente enačbe spraviti na isti časovni imenovalc in podobno. V enačbi (2) prav tako ni neposredno navedenih kapacitet, razpoložljivih parkirnih mest v mestih, kot tudi kapacitet na sredstvih JPP v času konic.

## 2.2 Podatkovna baza, meritev

Za izbor sredstev za potovanja na delo obstaja dokaj verodostojna podatkovna baza iz popisa prebivalstva iz leta 2002 (Popis 2002), vendar je potrebno podatke prirediti na nivo naselij. Za naselja, ki so dovolj velika in v primerni oddaljenosti od urbanih centrov, smo pridobili podatke, katerih del prikazujemo v Preglednici 1.

Preglednica 1: Izbor prevoznega sredstva delovnih migrantov v Maribor.

| Delovno aktivno prebivalstvo po kraju dela in načinu potovanja - dnevni migranti, Slovenija, popis 2002 |        |                  |                    |         |      |       |
|---|--------|------------------|--------------------|---------|------|-------|
| Kraj dela - naselje MARIBOR   |        |                  |                    |         |      |       |
| Naselje   | skupaj | avto -<br>voznik | avto -<br>sopotnik | avtobus | vlak | drugo |
| Spodnji Duplek  | 284    | 239              | 15                 | 25      | -    | 5     |
| Zgornji Duplek  | 391    | 321              | 25                 | 45      | -    | -     |
| Lenart v Slov. gorica   | 305    | 231              | 28                 | 29      | -    | 17    |
| Miklavž na Dravskem polju   | 788    | 581              | 60                 | 129     | -    | 18    |
| Pesnica pri Mariboru  | 147    | 118              | 14                 | 15      | -    | -     |
| Rače  | 443    | 329              | 22                 | 11      | 65   | 16    |
| Ruše  | 603    | 467              | 23                 | 81      | 7    | 25    |
| Selnica ob Dravi  | 205    | 161              | 13                 | 31      | -    | -     |
| Poljčane  | 88     | 45               | 2                  | 3       | 38   | -     |
| Pragersko   | 182    | 88               | 9                  | -       | 78   | 7     |
| Slovenska Bistrica  | 409    | 326              | 23                 | 39      | 3    | 18    |
| Starše  | 141    | 73               | 11                 | 54      | -    | 3     |
| Hotinja vas   | 293    | 203              | 30                 | 28      | 32   | -     |
| Radizel   | 340    | 274              | 22                 | 41      | 3    | -     |
| Spodnje Hoče  | 428    | 306              | 18                 | 75      | 8    | 21    |

Vir: Popis 2002.

Preglednica 1 omogoča določanje deleža uporabnikov JPP oziroma vrednosti  $p_{JPP}^{ij}$  iz enačbe (2). Pri tem smo kategorijo »sopotnik v OA« prišteli k uporabnikom OA, kategorijo »drugo« pa izločili. Preglednica 2 prikazuje izračunane deleže uporabe načinov (JPP, OA) za izbrana naselja.

Preglednica 2: Izračun izbora sredstva za potovanja na delo v Maribor.

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

Podatki, prikazani v gornjih preglednicah, omogočajo, da izvedemo validacijo in umerjanje enačb, saj bi morali dobiti veljavne korelacije med izborom sredstva (»p«) in posplošenim stroškom oziroma uporom (»c«). Poljčane in Pragersko bi, na primer, morala imeti približno enake upore za vlak in OA, saj iz Poljčan in Pragerskega približno 50% vseh dnevnih migrantov za pot na delo v Maribor uporablja vlak. Omogočajo tudi verifikacijo, ali korektno določamo posplošene stroške (»c«) za avtobuse in vlake. Za naselje Hotinja vas, na primer, bi morali izračunati približno enake vrednosti upora za avtobus kot za vlak, saj se približno enako število dnevnih migrantov odloča za obe razpoložljivi sredstvi (28:32).

### 2.3 Izračun posplošenih stroškov

Splošno obliko enačbe za določanje posplošenega stroška potovanja med naseljema »i« in »j« (»c<sub>ij</sub>«), s prevoznim sredstvom »k«, lahko zapišemo (prirejeno po:

Stopher 1977) kot:

$$C_{ij,k} = u_{v,k} \cdot t_{ij,k}^v + u_{h,k} \cdot t_{ij,k}^h + u_{\check{c},k} \cdot t_{ij,k}^{\check{c}} + u_{m,k} \cdot t_{ij,k}^m + u_{cp,k} \cdot CP_{ij,k} + u_{ct,k} \cdot CT_{j,k} + \delta ; (3)$$

kjer so:

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

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

$$C_{ij,JPP} = u_{v,jpp} \cdot t_{ij,jpp}^v + u_{h,jpp} \cdot t_{ij,jpp}^h + u_{\check{c},jpp} \cdot t_{ij,jpp}^{\check{c}} + u_{m,jpp} \cdot t_{ij,jpp}^m + u_{cp,jpp} \cdot CP_{ij,jpp} + \delta (4)$$

Za določanje upora pri uporabi OA pa lahko iz enačbe (3) izločimo člena, ki opisujeta čas za menjavo sredstva in čas čakanja na sredstvo ter dobimo:

$$C_{ij,OA} = u_{v,OA} \cdot t_{ij,OA}^v + u_{h,OA} \cdot t_{ij,OA}^h + u_{cp,OA} \cdot CP_{ij,OA} + u_{ct,OA} \cdot CT_{j,OA} + \delta (5)$$

Splošna napotila za izračun posameznih elementov posplošenega stroška so podana v preglednicah 3 in 4.

Preglednica 3: Določanje vrednosti posplošenega upora za JPP.

|                          |                 |  |
|--------------------------|-----------------|--|
| $t_{ij,jpp}^v$           | Čas v vozilu    | Je čas po voznem redu v minutah, ki mu dodamo pričakovane vrednosti zamud v koničnem času. Vrednosti pričakovanih zamud določamo na podlagi opazovanj.   |
| $t_{ij,jp}^h$            | Čas hoje        | Je sestavljen iz časa hoje od doma do postaje ter od časa hoje od ciljne postaje do delovnega mesta.   |
| $t_{ij,jpp}^{\check{c}}$ | Čas čakanja     | Potnik, ki želi uporabiti JPP, občuti dva elementa čakalnega časa:<br>i) Čas, ko mora biti prej na postaji.<br>ii) Čas, ki »je izgubljen«, saj vozni redi in delovne obveznosti pri prihodu na delo ali odhodu z dela niso sinhronizirani. |
| $t_{ij,jp}^m$            | Čas prestopanja | Opomba: V izračunih smo privzeli, da povprečni potnik prestopanja ne opravi. Po analizi (Lep 2007), kjer smo ugotovili, da v RS prestopa manj kot 3% vseh migrantov, z zanemaritvijo tega elementa nismo napravili občutne napake.         |

|                          |                  |   |
|--------------------------|------------------|---|
| CP <sub>ij,jp</sub><br>p | Cena vozovnice   | Upoštevana je vrednost cene enosmerne vozovnice ali štiridesetina mesečne delavske plače.   |
| δ                        | Ostali parametri | V to skupino spada predvsem splošna nezanesljivost sistema JPP. Ta element ni zanemarljiv. Po opazovanjih (npr. Maribor 2005, 2009,...) približno 3% vseh voženj v sistemu JPP odpade, bistveno zamuja ali uporabnikom ni povsem jasno, kateri vozni red velja. Velikost in utež tega parametra sta bistvena za določitev občutene uporabe. |

Preglednica 4: Določanje vrednosti posplošenega upora za OA.

|                         |                        |   |
|-------------------------|------------------------|---|
| t <sub>ij,OA</sub><br>v | Čas vožnje             | Je enak potovalnemu času od središča naselja »i« do središča ciljnega naselja »j«, kot ga ponujajo, na primer, spletni proizvedovalniki. K temu času dodamo dodatek za zamudo zaradi podaljšanih potovalnih časov v konicah ter povprečni čas iskanja parkirnega mesta.   |
| t <sub>ij,OA</sub><br>h | Čas hoje od parkirišča | V skladu z ekonomskimi teorijami ravnovesja bi povprečni čas hoje od razpoložljivih zastoj parkirišč na obrobju mestnih središč pomnožen s poznano vrednostjo časa moral biti enak ceni celodnevnega parkiranja v mestnem središču.   |
| CP <sub>ij,O</sub><br>A | Cena prevoza           | So neposredni stroški prevoza oziroma kilometrina. Pri konkretnih izračunih kilometrine se pojavljajo vsaj tri možne vrednosti: ekonomska kilometrina (0,3 €/km), občutena kilometrina, ki je približno enaka strošku za gorivo 0,1€/km ali 0,18 €/km, kot se danes priznava javnim uslužbencem, ki dokazujejo, da nimajo ustrezne ponudbe JPP. |
| CT <sub>ij,O</sub><br>A | Cena parkiranja        | Povprečna cena parkiranja je enaka vrednosti izgubljenega časa pešačenja za tiste, ki ne želijo/morejo plačati. Je odvisna tudi od deleža vseh migrantov-voznikov, ki imajo zagotovljeno zastoj parkiranje pri delovnem mestu. Za konkretne izračune smo prevzeli strošek iz študije migracij na delo (Gabrovec 2008).                          |
| δ                       | Ostali parametri       | V splošnem velja, da povprečni uporabniki OA ne občutijo dodatnih stroškov ali uporov.  |

## 2.5 Vrednost časa in uteži

V enačbah (3) (4) in (5) nastopajo količine, ki jih merimo ali v denarnih enotah (€) ali v časovnih enotah (minute). Da bi enačbe bile tudi praktično izračunljive, potrebujemo pretvornik. Za pretvorbo uporabljamo količino vrednost časa oziroma angleško »value of time«, okrajšano VOT. Kolikšni sta ekonomska in občutena vrednost časa, je najpomembnejši in za model najboljčutljivejši parameter. Po nekaterih virih (Božičnik 2004) je ekonomska vrednost časa, izgubljenega za potovanja na delo, enaka 25% vrednosti delovne ure. Za leto 2002 je le-ta znašala 0,25 x 6 € /uro ali 0,025 €/minuto. Občutena vrednost časa, predvsem izgubljenega na poti na delo, je višja od ekonomske.

Enačbi (4) in (5) omogočata metodološko pregledno delitev spremenljivk na tiste, ki jih je možno objektivno in neposredno izmeriti ali statistično določiti - te so v enačbah zapisani kot cena (»CP« in »CT«) ali čas (»t«) - ter na tiste, ki opisujejo občutene količine in so zapisane kot uteži (»u«). Če bi se potnik pri svojem odločanju zavedal realne cene vozilo-kilometra, vrednosti časa izgubljenega na poti itd., bi imele vse uteži »u« vrednost 1.0. Takšen pristop ne daje smiselnih rezultatov (Lep 2011).

Za nadaljnje izračune je bila uporabljena metoda, ki upošteva, da so občutene vrednosti (lahko) bistveno drugačne kot realne. Voznik OA občuti strošek vožnje le kot ceno goriva (in je torej utež ob ekonomski ceni kilometra manjša kot 1.0), čas med čakanjem občuti kot »daljši« (in je utež a bistveno večja od 1.0). Vse analize in študije dokazujejo, da je občuten upor proti prestopanju velik. V izračunih v nadaljevanju smo upoštevali, da je utež časa čakanja u<sub>č,jpp</sub> enaka 2.0.

### 3. Spoznanja

#### 3.1 Izračun posplošenih stroškov in koeficienta $\beta$

Izračuni posplošenih stroškov so bili opravljeni z naslednjimi vhodnimi podatki: za avtobuse smo čas vožnje povzeli po voznem redu (na primeru Rače 40 minut), dodatek za pričakovano zamudo je 4 minute, čas pešačenja do postaje je 5 minut, od postaje do cilja pa 10 minut (velja za cilj Maribor). Čas čakanja je 13 minut, kar predstavlja povprečje polovic intervala v jutranjem in popoldanskem koničnem času (ta je 20 minut) z dodanimi tremi minutami zaradi pojava prehitrih prihodov avtobusov. Za vsako naselje je glede na oddaljenost od Maribora izračunana cena enosmerne vozovnice (na primeru Rače 3,1 €). Avtobusom smo dodali splošno »kazen« 20 minut. Ta dodatna obremenitev zrcali splošno nezanesljivost sistema in obvezne rezerve, ki jih mora uporabnik vkalkulirati v svoje potovanje na delo, da ne bi (pre)pogosto zamujal.

Za vlake je izračun je opravljen le za tista naselja, kjer povezava z vlakom sploh obstaja in je na primerni ravni ponudbe. Pri vlaku smo prav tako upoštevali vozni čas po voznem redu, k temu dodali 5 minut splošne pričakovane zamude. Čas pešačenja do postaje in od postaje do cilja smo ocenili z 10 minutami. Čas čakanja smo vzeli 13 minut (kot pri avtobusu), četudi so intervali pri vlakih praviloma večji kot pri avtobusih. Cena vozovnice za enosmerno potovanje je na primeru Rače 1,75 € (dolžinski razred 10-20km). K uporabi nismo dodajali kazni zaradi splošnega neudobja ali nezanesljivosti.

Za osebne avtomobile smo vzeli izračunani vozni čas (na primeru Rače 20 minut), k temu dodali 20% dodatek (na primeru Rače 4 minute) za zamude v koničnih časih ter izgubljeni čas za iskanje parkirnega prostora. Čas pešačenja (za Maribor) je ocenjen z 10 minutami. Kot občuteni strošek vožnje z osebnimi avtomobilom smo vzeli 0,1€/kilometer. Ta je pomnožen z razdaljo v eni smeri (za primer Rače 17km). Parkiranje je - statistično - leta 2002 v Mariboru stalo 0,5€/dan.

Utež za čakanje smo postavili na 2.0. Za izračune občutene vrednosti izgubljenega časa smo jemali vrednost 0,1 €/minuto. Takšna interpretacija je dala naslednji izračun, viden v Preglednici 5.

Preglednica 5 omogoča, da s preoblikovanjem enačbe (2) na podlagi šestnajstih opazovanj izračunavamo neznan koeficient  $\beta$ . Ob pogoju, da smo korektno izračunali stroške »c«, bi dobljene vrednosti za koeficiente  $\beta$  morale konvergirati oziroma kazati vsaj neko statistično veljavnost.

Izračunana povprečna vrednost koeficienta  $\beta$  je velikosti 0,27. Standardni odklon za koeficient  $\beta$  je 0,08, kar je solidna osnova za trditev, da smo umerili enačbo, ki velja vsaj za Maribor z okoliškimi naselji:

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

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

Preglednica 5: Izračun posplošenih stroškov na primeru cilja Maribor.

| Naselje                | JPP - avtobus |     |    |     |    |     |    | JPP - vlak |     |    |     |    |      |   | Osebni avtomobil |     |    |    |     |
|------------------------|---------------|-----|----|-----|----|-----|----|------------|-----|----|-----|----|------|---|------------------|-----|----|----|-----|
|                        | Tv            | Tv+ | Th | Th' | Tč | CV  | δ  | Tv         | Tv+ | Th | Th' | Tč | CV   | δ | Tv               | Tv+ | Th | CV | CT  |
| Spodnji Duplek         | 35            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,3 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 17               | 3,4 | 10 | 13 | 0,5 |
| Zgornji Duplek         | 28            | 4   | 5  | 10  | 13 | 1,8 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 16               | 3,2 | 10 | 11 | 0,5 |
| Lenart v Slov. goricah | 30            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,7 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 17               | 3,4 | 10 | 20 | 0,5 |
| Miklavž na Dravskem p. | 18            | 4   | 5  | 10  | 13 | 1,8 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 13               | 2,6 | 10 | 9  | 0,5 |
| Pesnica pri Mariboru   | 14            | 4   | 5  | 10  | 13 | 1,8 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 10               | 2   | 10 | 8  | 0,5 |
| Rače                   | 40            | 4   | 5  | 10  | 13 | 3,1 | 20 | 16         | 5   | 10 | 10  | 30 | 1,75 | 0 | 20               | 4   | 10 | 17 | 0,5 |
| Ruše                   | 32            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,3 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 20               | 4   | 10 | 13 | 0,5 |
| Selnica ob Dravi       | 20            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,3 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 20               | 4   | 10 | 13 | 0,5 |
| Poljčane               | 89            | 4   | 5  | 10  | 13 | 7,4 | 20 | 38         | 5   | 10 | 10  | 13 | 3,25 | 0 | 36               | 7,2 | 10 | 35 | 0,5 |
| Pragersko              | 47            | 4   | 5  | 10  | 13 | 3,6 | 20 | 22         | 5   | 10 | 10  | 13 | 1,75 | 0 | 26               | 5,2 | 10 | 27 | 0,5 |
| Slovenska Bistrica     | 40            | 4   | 5  | 10  | 13 | 3,1 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 23               | 4,6 | 10 | 25 | 0,5 |
| Starše                 | 27            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,7 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 21               | 4,2 | 10 | 16 | 0,5 |
| Hotinja vas            | 35            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,7 | 20 | 16         | 5   | 10 | 10  | 13 | 1,75 | 0 | 17               | 3,4 | 10 | 12 | 0,5 |
| Radizel                | 23            | 4   | 5  | 10  | 13 | 2,3 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 15               | 3   | 10 | 11 | 0,5 |
| Spodnje Hoče           | 18            | 4   | 5  | 10  | 13 | 1,8 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 11               | 2,2 | 10 | 8  | 0,5 |
| Zgornje Hoče           | 21            | 4   | 5  | 10  | 13 | 1,8 | 20 |            |     |    |     |    |      |   | 14               | 2,8 | 10 | 10 | 0,5 |

Preglednica 6: Določitev koeficienta  $\beta$  na primeru potovanj v Maribor.

| Naselje                | Deleži uporabe |      | Posplošeni stroški |          |        | $\beta$ |
|------------------------|----------------|------|--------------------|----------|--------|---------|
|                        | JPP            | OA   | C - bus            | C - vlak | C - OA |         |
| Spodnji Duplek         | 0,09           | 0,91 | 12,30              |          | 4,84   | -0,31   |
| Zgornji Duplek         | 0,12           | 0,88 | 11,10              |          | 4,52   | -0,31   |
| Lenart v Slov. goricah | 0,10           | 0,90 | 12,20              |          | 5,54   | -0,33   |
| Miklavž na Dravskem p. | 0,17           | 0,83 | 10,10              |          | 3,96   | -0,26   |
| Pesnica pri Mariboru   | 0,10           | 0,90 | 9,70               |          | 3,50   | -0,35   |
| Rače                   | 0,03           | 0,97 | 13,60              | 11,85    | 5,60   | -0,43   |
| Ruše                   | 0,14           | 0,86 | 12,00              |          | 5,20   | -0,26   |
| Selnica ob Dravi       | 0,15           | 0,85 | 10,80              |          | 5,20   | -0,31   |
| Poljčane               | 0,45           | 0,55 | 22,80              | 12,15    | 9,32   | -0,08   |
| Pragersko              | 0,45           | 0,55 | 14,80              | 9,05     | 7,32   | -0,13   |
| Slovenska Bistrica     | 0,10           | 0,90 | 13,60              |          | 6,76   | -0,32   |
| Starše                 | 0,39           | 0,61 | 11,90              |          | 5,62   | -0,07   |
| Hotinja vas            | 0,11           | 0,89 | 12,70              | 8,45     | 4,74   | -0,27   |
| Radizel                | 0,12           | 0,88 | 11,10              |          | 4,40   | -0,30   |
| Spodnje Hoče           | 0,19           | 0,81 | 10,10              |          | 3,62   | -0,23   |
| Zgornje Hoče           | 0,24           | 0,76 | 10,40              |          | 4,18   | -0,18   |

### 3.3 Prikaz uporabne vrednosti modela

Primer 1: Vpeljava enotne (integrirane) vozovnice in zelo ugodnih terminskih (letnih) vozovnic

Predpostavlja se, da se bistveno zmanjša občuteni upor uporabe JPP, predvsem zaradi dejstva, da se zmanjšajo (statistični) čakalni časi, skrajšajo poti ter zmanjša občutek nezanesljivosti sistema, kar bi moralo rezultirati v večjem deležu uporabnikov JPP. Analizo bomo opravili na primerih naselij Rače in Hotinja vas. Za vsakega od zgoraj navedenih elementov smo ocenili, da je občuteni prihranek 5



minut ter izračunali nove upore. Možnost nakupa ugodne abonentske (letne) vozovnice smo interpretirali, kot da uporabnik občuti ceno vožnje v višini enega eura. Posledice so prikazane v Preglednici 7.

Preglednica 7: Posledica ukrepov uvedbe enotne in ugodne letne vozovnica.

| Rače                                    |       |        |      |                       |
|---|-------|--------|------|-----------------------|
|   | C bus | C vlak | C OA | Delež uporabnikov JPP |
| Brez ukrepov                            | 13,60 | 11,85  | 5,60 | 15,6%                 |
| Enotna vozovnica                        | 10,25 | 11,35  | 5,60 | 22,1%                 |
| Enotna + atraktivna terminska vozovnica | 9,50  | 10,60  | 5,60 | 25,9%                 |
| Hotinja vas                             |       |        |      |                       |
|   | C bus | C vlak | C OA | Delež uporabnikov JPP |
| Brez ukrepov                            | 12,70 | 11,85  | 4,74 | 12,8%                 |
| Enotna vozovnica                        | 10,70 | 11,35  | 4,74 | 16,7%                 |
| Enotna + atraktivna terminska vozovnica | 9,00  | 10,60  | 4,74 | 21,7%                 |

V obeh primerih vidimo, da je občuteni strošek uporabe osebnega avtomobila še vedno bistveno nižji, vendar se občuteni upor uporabe JPP (tako pri avtobusu kot pri vlaku) zmanjša. Posledice so, da se delež uporabnikov OA zmanjša iz 84% (87%) na 74% (78%).

Primer 2: Analiza učinkovitosti povečanja ponudbe železniškega prevoza.

Prikažimo analizo učinkovitosti (smiselnosti) investicije v železniško ponudbo na relaciji Maribor – Ruše. Postavimo vprašanje, kakšna in kolikšna bi morala biti ponudba vlaka, da bi dosegli učinek vsaj 25% uporabe vlaka? Simulirajmo ukrep povečanja števila vlakovnih povezav v koničnem času na 30 minut, v izvenkoničnem pa na 60 minut. Nato dodajmo še učinke ukrepa integrirane letne vozovnice. Modelski preračun je prikazan v Preglednici 8.

Preglednica 8: Posledice ukrepov bistvenega povečanja števila vlakovnih povezav Maribor-Ruše.

|                                  | C bus | C vlak | C OA | Delež uporabnikov JPP |           |
|----------------------------------|-------|--------|------|-----------------------|-----------|
| Brez ukrepov                     | 12,00 | 28,50  | 5,20 | 14% (bus)             | 1% (vlak) |
| Dvig frekvence vlaka na 30 minut | 11,00 | 10,25  | 5,20 | 20,4%                 |           |
| Atraktivna terminska vozovnica   | 9,70  | 9,50   | 5,20 | 23,8%                 |           |

Vidimo, da se, vsaj teoretično, približamo zadanemu cilju, če bi uspeli zagotoviti železniško povezavo vsakih 30 minut.

Primer 3: Analiza učinkov parkirnih politik v mestih  
 Analizirajmo učinke dviga splošne cene parkiranja na izbor sredstva. Na primeru Maribora postavimo ukrep dviga posplošene cene parkiranja na vrednost 4,0 EUR/dan, pustimo ponudbo JPP kakršna je, ter uporabimo model.

Preglednica 9: Posledice ukrepa dviga cene parkiranja v Mariboru.

|                           | Stanje brez ukrepa |        |        |                       | Ukrep |                       |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|-----------------------|-------|-----------------------|
|                           | C bus              | C vlak | C - OA | Delež uporabnikov JPP | C OA  | Delež uporabnikov JPP |
| Spodnji Duplek            | 12,30              |        | 4,84   | 0,09                  | 8,34  | 0,26                  |
| Zgornji Duplek            | 11,10              |        | 4,52   | 0,12                  | 8,02  | 0,30                  |
| Lenart v Slov. goricah    | 12,20              |        | 5,54   | 0,10                  | 9,04  | 0,30                  |
| Miklavž na Dravskem polju | 10,10              |        | 3,96   | 0,17                  | 7,46  | 0,33                  |
| Pesnica pri Mariboru      | 9,70               |        | 3,50   | 0,10                  | 7,00  | 0,33                  |
| Rače                      | 13,60              | 11,85  | 5,60   | 0,16                  | 9,10  | 0,32                  |
| Ruše                      | 12,00              |        | 5,20   | 0,14                  | 8,70  | 0,29                  |
| Selnica ob Dravi          | 10,80              |        | 5,20   | 0,15                  | 8,70  | 0,36                  |
| Poljčane                  | 22,80              | 12,15  | 9,32   | 0,45                  | 12,82 | 0,55                  |
| Pragersko                 | 14,80              | 9,05   | 7,32   | 0,45                  | 10,82 | 0,62                  |
| Slovenska Bistrica        | 13,60              |        | 6,76   | 0,10                  | 10,26 | 0,29                  |
| Starše                    | 11,90              |        | 5,62   | 0,39                  | 9,12  | 0,32                  |
| Hotinja vas               | 12,70              | 11,85  | 4,74   | 0,11                  | 8,24  | 0,49                  |
| Radizel                   | 11,10              |        | 4,40   | 0,12                  | 7,90  | 0,30                  |
| Spodnje Hoče              | 10,10              |        | 3,62   | 0,19                  | 7,12  | 0,31                  |
| Zgornje Hoče              | 10,40              |        | 4,18   | 0,24                  | 7,68  | 0,32                  |

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

#### 4. Zaključek

Razvili smo model, ki bo morda bolje napovedal načrtovane učinke prometne politike, kot smo to uspevali v preteklosti. Model sam je možno samostojno razvijati, saj vrsta študij in raziskovalnih aktivnosti, ki tečejo na terenu, omogoča, da se parametri in vrednosti v prikazanih enačbah natančneje določijo. V razvoju enačb sicer nismo neposredno nagovarjali načina potovanja, ki postaja vse bolj zanimiv, tj. parkiraj in pelji (P&R), a je možno enačbe za izračunavanje občutenih uporov potovanj aplicirati tudi za ta način potovanja. Pri tem je še posebej občutljivo napovedovanje uteži (občutenega upora) prestopanja iz OA v sistem JPP.

## **Literatura**

- Božičnik, S. 2004: Analiza eksternih stroškov prometa, končno poročilo. CRP 2001-2006. Maribor.
- Đurić, A. 2006: Spremljanje izvajanja GJS, poročilo. Naročnik DRSC, Maribor, Ljubljana.
- Gabrovec, M. 2008: Dnevna prometna migracija na delovno mesto in v šolo. CRP Konkurenčnost Slovenije 2006-2013. Ljubljana.
- Gabrovec, M., Bole D. 2009: Dnevna mobilnost v Sloveniji, Založba ZRC, Ljubljana.
- Lep, M., Čelan, M. 2007: Prestopanja v sistemu integriranega javnega potniškega prometa, končno poročilo. Naročnik MzP, Maribor.
- Lep, M. 2009: Priprava strokovnih podlag za izboljšanje javnega potniškega prevoza v Mariboru (v okviru projekta PIMMS TRANSFER). Naročnik MOM, Maribor.
- Lep, M. 2011: Modeliranje prometnih tokov, končno poročilo. CRP 2007-2013. Maribor.
- Plevnik, A. 2003: Razvojne možnosti JPP in poselitve v Republiki Sloveniji, zaključno poročilo. UIRS, Ljubljana.
- Popis prebivalstva 2002. Statistični urad Republike Slovenije. Ljubljana.
- Stopher, P., Meyburg, A. 1977: Urban Transportation Modeling and Planning. Canada.
- Žagavec, B. 2004: Spremljanje kakovosti izvajanja GJS. Diplomsko delo Fakultete za gradbeništvo UM, Maribor.

## **PREDICTING THE EFFECTS OF MEASURES TO PROMOTE PUBLIC PASSENGERS TRANSPORT**

### **Summary**

A more sustainable mobility has been strived for in Slovenia in the past years, yet the situation in the field has not shown adequate results. Spatial planning encourages the increase of motorized trips, services and the use of public transport decline, the capacity of the road network increases, especially that of parking places. Part of the blame for the situation goes to the transport profession, which produced a number of traffic prediction models in the past which are now regarded as being completely wrong. In developing a public transport system experts are trying to find answers to a question about where to invest public money to achieve a shift in the selection of the desired mode of transport. In order to support decision makers, the model was developed in the form of an equation which can predict effects of more authentic measures such as integrated ticketing, significant decrease of fares, change of parking rates in cities, increase of train services etc.. The model was validated and calibrated using a sample of journeys to work from agglomerations surrounding the city of Maribor.

The scope of the investigation was limited to the development and calibration of the model (equation) which describes the selection of mode of transport for daily commuters to work.

The method of logistic distribution (logit) was used and data from the census of 2002 were applied instead of direct counting. Equations were developed for determining the perceived generalized travel costs by bus, train and car. The logit equation was calibrated with the stated statistical validity by using sixteen surrounding agglomerations.

The practical value of the developed equation is shown with three case-studies in which measures have been simulated for the introduction of integrated ticketing, acceptable annual tickets, a substantial increase in the train service supply and a significant rise of parking rates in the city of Maribor.