

STOHAISTIČKI, DEZAGREGATNI MODEL PONAŠANJA KORISNIKA CESTE: AUTOCESTA ILI PRATEĆA CESTA

SAŽETAK

U članku je kalibriran stohastički, dezagregatni, binarni model izbora: autocesta ili prateća cesta.

Varijable modela su duljina korištenja autoceste i razlike u vremenu putovanja autocestom i pratećom cestom.

S obzirom na korisnikov način vrednovanja vremenskih ušteda, vremenska varijabla je oblikovana na dva načina: u obliku "razlika" (vrijeme putovanja po autocesti - vrijeme putovanja po pratećoj cesti), odnosno "kvocijenta" (vrijeme putovanja po autocesti/vrijeme putovanja po pratećoj cesti).

U prvom slučaju se pretpostavlja da su za korisnikov izbor važne apsolutne, a u drugom, relativne (postotne) vremenske uštede.

Rezultat modela predstavljaju krivulje skretanja prometa koje pokazuju ovisnost vjerojatnosti izbora autoceste o duljini korištenja autoceste i veličini vremenskih ušteda.

Krivulje skretanja prometa mogu se koristiti pri asignaciji očekivanog prometa na autocestu i prateću cestu.

1. UVOD

Gradnja autoceste predstavlja poboljšanje prijevoznih performansi prometnog sustava, a posebno prijevozne sposobnosti postojeće cestovne mreže.

Na promjenu prometne ponude korisnici odgovaraju promjenom ponašanja, što ima za posljedicu promjenu potražnje za pojedinim ciljevima, prijevoznim sredstvima i putovima putovanja.

U ovom radu isključivo nas zanima utjecaj izgradnje autoceste na veličinu prometa prateće dvotračne ceste.

2. DEFINIRANJE CILJA ISTRAŽIVANJA

Svrha je ovog rada da se odredi koje će odluke donositi korisnici cestovne mreže u binarnoj situaciji izbora: autocesta (u daljnjem tekstu AC) ili prateća dvotračna ("stara") cesta (u daljnjem tekstu SC), kao najpogodnija varijanta.

Dakle, potrebno je modelirati korisnikov izbor ceste, tj. uspostaviti uzročno-posljedičnu vezu između korisnikovog izbora ceste, s jedne strane, te osobina ceste (vrijeme, troškovi putovanja,...), putovanja (svrha, duljina putovanja,...) i korisnika (spol, starost, dohodak po glavi domaćinstva,...), s druge strane.

3. BAZA PODATAKA

Baza podataka je oblikovana u rujnu 1987. godine s pomoću anketiranja poštom.

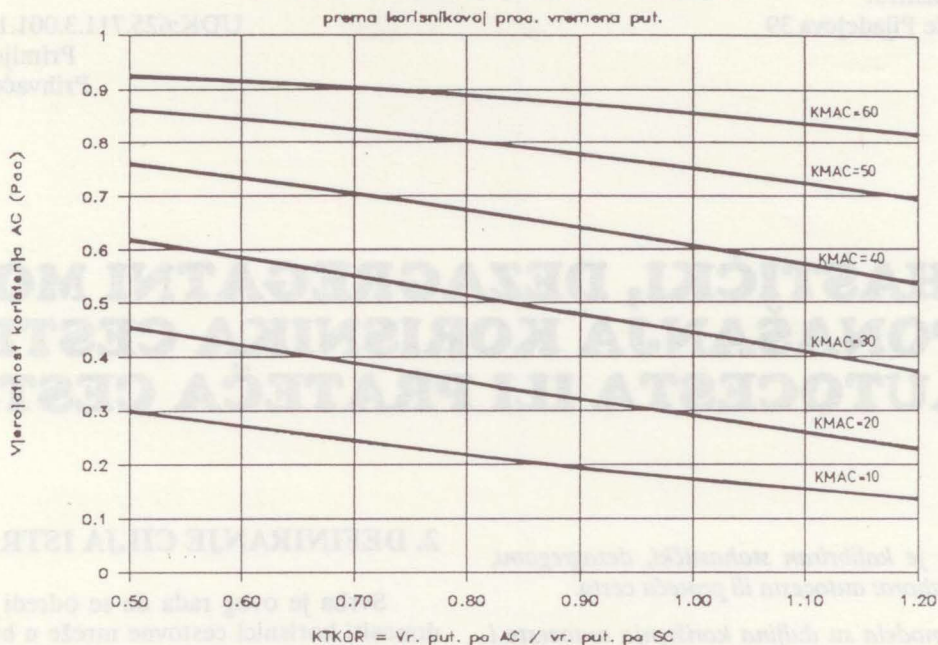
Uzorkovanje je bilo na načelu slučajnoga stratificiranog uzorka. Od 1030 anketnih upitnika poslanih na adrese vlasnika osobnih automobila (stanovnika gravitacijskog područja autoceste Ljubljana-Razdrto), vratilo se 237 uporabljivih upitnika.

4. MODEL

4.1. Agregatni (deterministički) i dezagregatni (stohastički) modeli prometne potražnje

Za rješavanje sličnih problema prijevozne potražnje razlikuju se dva pristupa ili dvije vrste modela: agregatni i dezagregatni modeli.

KRIVULJE SKRETANJA PROMETA



Prilog 1.

U zadnjih dvadesetak godina najčešće se koriste dezagregatni modeli, prvenstveno zato što su mnogo jeftiniji i pouzdaniji nego agregatni modeli.

Naime, u dezagregatnim modelima se pod pojmom "korisnik" prometnog sustava" razumijeva pojedinac (domaćinstvo), a u agregatnim modelima skupina. Stoga je, za kalibraciju dezagregatnog modela, potrebno mnogo manje podataka, što omogućuje da se najskuplja i "najsporija" faza istraživanja - faza skupljanja podataka, obavi jeftino i brzo. Dakle, u agregatnih se modela procjena zavisne varijable (izbora) obavlja na temelju "prosječnih" (agregiranih) vrijednosti nezavisnih varijabli, dok se dezagregatni modeli kalibriraju na temelju dezagregiranih podataka, ili, preciznije, podataka agregiranih na puno nižoj razini (npr. domaćinstva s jednakim primanjima).

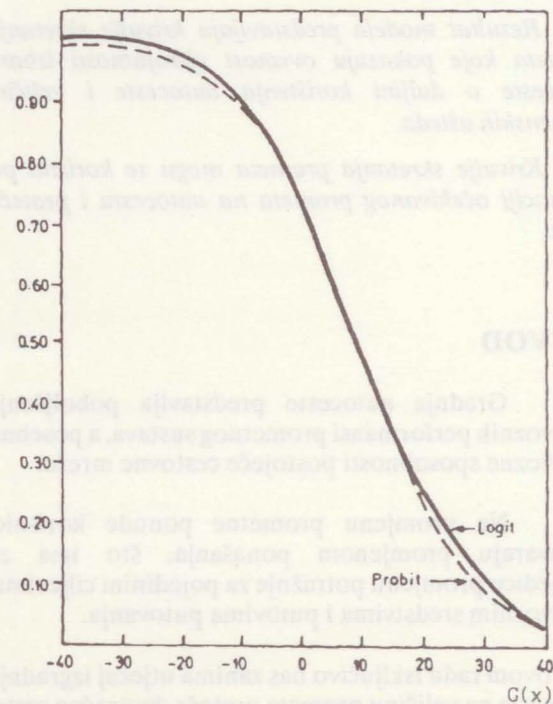
Međutim, to se ne odražava na pouzdanost rezultata dezagregatnih modela, jer, kako su istraživanja pokazala (1), puno puta su varijacije, unutar iste zone, intenzivnije nego između različitih zona, zbog čega rezultati modela kalibriranog na temelju "prosječnih" podataka daju unekoliko "izvitoperenu" sliku stvarnosti.

Kako dezagregatni modeli nisu vezani za zoning, najčešće su uporabljivi i u drugim područjima istraživanja.

Zbog prirode podataka s kojima je model kalibriran, agregiranim se modelima predviđa *postotni dio izvršenja određenog izbora*, a dezagregatnim *vjerojatnost realizacije izbora*. U tom smislu su svi agregatni modeli istodobno deterministički, a dezagregatni - stohastički (slučajni).

U dezagregatnim modelima, za razliku od agregatnih, funkcija je korisnosti slučajna, što je u skladu s fundamentalnom pretpostavkom o slučajnoj prirodi ljudskog ponašanja (prometnog izbora) (1).

S obzirom na distribuciju funkcije korisnosti, razlikuju se dva osnovna tipa modela: LOGIT (dvostruka Gumbelova distribucija) i PROBIT (normalna distribucija).



Slika 1. Usporedba rezultata LOGIT i PROBIT modela

Rezultati tih modela bitno se ne razlikuju. Iz slike 1, na kojoj je prikazana kumulativna funkcija distribucije (Gx) LOGIT i PROBIT modela, vidi se da se razlike pojavljuju u području infleksije funkcije, odnosno za visoke vrijednosti funkcije korisnosti.

4.2. Struktura modela

Korisnikov izbor ceste ovisi o prednostima koje dotična cesta, po njegovoj subjektivnoj procjeni, posjeduje u odnosu na konkurentnu cestu.

Vjerojatnost izbora AC (Pac) tj. SC (Psc) proporcionalna je njihovoj "korisnosti", privlačnosti (Uac, Usc):

$$Pac/Psc = Uac/Usc$$

Funkcija "korisnost" (Uac, Usc) ovisna je o:

- a) egzogenim i apstraktnim osobinama ceste (Xn, ac; Xn, sc): vrijeme, troškovi, sigurnost, udobnost putovanja,
- b) socioekonomskim i psihofizičkim osobinama korisnika (Yi): osobni dohodak, spol, starost, zanimanje,
- c) osobinama putovanja (Z): duljine, svrhe, učestalosti.

Zbog različitih percepcija i preferencija, svaki pojedini korisnik (i) ima drugačiju funkciju korisnosti (Uac, i; Usc, i):

$$Uac,i = f(Xac, Yi)$$

$$Usc,i = f(Xsc, Yi)$$

Uz pretpostavku da je funkcija korisnosti linearna, dobiva se:

$$Uac,i = Ao,ac + B1 X1,ac + \dots + Bn Xn,ac$$

$$Usc,i = Ao,sc + B1 X1,sc + \dots + Bn Xn,sc$$

Razlika između funkcije korisnosti SC i AC predstavlja relativnu funkciju korisnosti (Gx):

$$Uac - Usc = G(x) = Ao + B1 (X1,ac - X1,sc) + \dots + Bn (Xn,ac - Xn,sc)$$

gdje je:

- Ao - konstanta kalibracije
- Bn - koeficijent (vektor, parametar), pakazatelj preferenciji korisnika
- Xn,ac; Xn,sc - neovisne varijable (vektori), osobine Ao (SC) odnosno putovanja (cestarina, vrijeme i duljina putovanja...)

Kako vjerojatnost dobiva vrijednosti između 0 i 1 (0 Pac 1), pretpostavlja se da relativna funkcija korisnosti ima eksponencijalni oblik. Izvođenjem formule (1) dobiva se LOGIT model:

$$Pac = \frac{e^{Uac-Usc}}{1 + e^{Uac-Usc}}$$

odnosno:

$$Pac = \frac{1}{1 + e^{-(Uac-Usc)}}$$

$$Pac = \frac{1^5}{1 + e^{-G(x)}}$$

4.3. Varijable modela

U prethodnim analizama (3) utvrđeno je da:

- a) cestarina, u sadašnjim uvjetima (prosječni dohodak po članu domaćinstva), nema utjecaja na korisnikov izbor ceste,
- b) najvažniju ulogu pri izboru ceste imaju tzv. apstraktne ("nemjerljive") osobine ceste (tekuće odvijanje prometa, sigurnost, tj. osjećaj opuštenosti tijekom vožnje, kvaliteta tj. udobnost vožnje s obzirom na stanje kolnika), a tek onda brzina vožnje.

U ovoj fazi istraživanja, zbog jednostavne i egzaktno kvantifikacije, u model se uključuju samo egzogene ("mjerljive") osobine ceste. Pregled i definicija varijabli predočeni su u tablici 1.

Modeli, kalibrirani na temelju korisnikovih procjena performansi sustava, najčešće daju pouzdanije rezultate od modela kalibriranih na temelju vrijednosti performansi sustava utvrđenih s pomoću inženjerskih metoda. Vrijeme putovanja ustanovili smo s pomoću metode pokretnog promatrača (2).

S obzirom na korisnikov sustav vrednovanja vremenskih ušteda, oblikovane su vremenske varijable na dva načina: u obliku razlike (DTPKOR, DTPING) i kvocijenta (KTKOR, KTING).

U prvom slučaju su za korisnikovu odluku važne apsolutne, a u drugom relativne (postotne) vremenske uštede (tab. 1).

Drugim riječima, po modelu "razlika" korisnikov izbor je jednak u situaciji A i C, dok u istom slučaju model "kvocijenta" predviđa drugačiju korisnikovu odluku. Međutim, u situacijama A i B model "razlika" predviđa drugačiji izbor od modela "kvocijenta".

Tablica 1.

Opis varijable	Simbol
Ovisne varijable	
Vjerojatnost izbora AC	Pac
Vjerojatnost izbora SC	Psc
Neovisne varijable	
Duljina putovanja po AC	KMAC
Duljina putovanja po SC	KMSC
Vrijeme putovanja po AC (korisnikova procjena)	VRACKOR
Vrijeme putovanja po SC (korisnikova procjena)	VRCKOR
Vrijeme putovanja po AC (procjena metodom pokretnog promatrača)	VRACING
Vrijeme putovanja po SC (procjena metodom pokretnog promatrača)	VRSCING
Vremenske uštede (po korisnikovoj procjeni): VRACKOR-VRCKOR =	DTPKOR
Vremenske uštede (po inženjerskoj procjeni): VRACING-VRSCING =	DTPING
Koeficijent vremenskih ušteda (korisnikova procjena): VRACKOR/VRCKOR =	KTKOR
Koeficijent vremenskih ušteda (inženjerska procjena): VRACING/VRSCING =	KTING

5. KALIBRACIJA MODELA

Diskriminacijska analiza jedna je od tehnika pogodnih za kalibraciju nelinearnih modela ponašanja.

Riječ je o postupku klasificiranja anketirane populacije u dvije skupine (korisnike AC tj. SC) u Tablici 2. Usporedba rezultata modela u kojih je vremenska varijabla oblikovana u obliku "razlike i kvocjenta"

ALTERNATIVA IZBORA	VARIJABLA	SITUACIJA IZBORA		
		A	B	C
AC	VRACKOR =	5	30	55
SC	VRCKOR =	10	60	60
Model "razlika"	DTPKOR =	5	30	5
Model "kvocjenta"	KTKOR =	2	2	0.91

ovisnosti o vrijednosti tzv. diskriminacijske funkcije, odnosno vrijednosti neovisnih varijabli od kojih je ona oblikovana.

Osnovna (anketirana) populacija sastoji se od dviju skupina koje su normalno distribuirane u odnosu na diskriminacijsku funkciju (sl. 2).

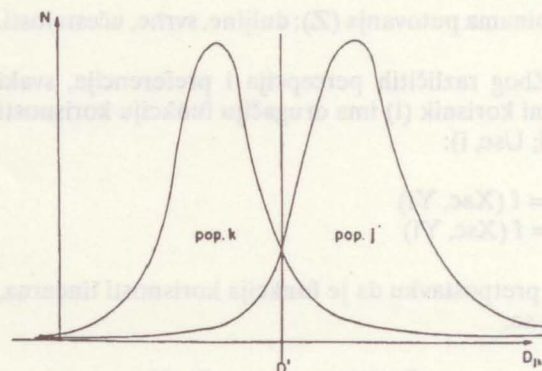
Kako se radi o binarnoj situaciji izbora, diskriminacijska funkcija može se definirati:

$$D_{jk,i} = A_{0i} + A_{1i}(X_{1j}, X_{1k}) + \dots + A_n(X_{nj}, X_{nk})$$

gdje je:

$D_{jk,i}$ - diskriminacijska funkcija za alternativne mogućnosti "j" i "k" za korisnika "i"

(X_{nj}, X_{nk}) - relativna funkcija "n"-te osobine



Slika 2. Pretpostavljena distribucija uzorka za primjenu diskriminacijske analize

alternativne mogućnosti "j" i "k"

Klasifikacija pripadnosti člana "k" određenoj skupini obavlja se po pravilu:

$$I_{jk,i} = \begin{cases} 1 & \text{ako je } D_{jk,i} > D \\ 0 & \text{ako je } D_{jk,i} < D \end{cases}$$

gdje je:

$I_{jk,i}$ = skupina u koju pripada osoba "i", tako da je

$I_{jk,i} = 0$ ako član "i" pripada u skupinu korisnika "j"
 $I_{jk,i} = 1$ ako član "i" pripada u skupinu korisnika "k"

j - Ac
k - Sc

D - granična vrijednost nestandarizirane diskriminacijske funkcije

U konačnom obliku model glasi:

$$P_{ac} = \frac{Ae^D}{1 + Ae^D}$$

gdje je:

$$A = \text{br. kor. AC} / \text{br. kor. SC} = 240 / 101 = 2.31$$

Rezultati kalibracije modela predočeni su u tablici 2.

6. IZBOR I VALIDACIJA MODELA

Preliminarni izbor modela obavljen je na temelju testa logičnosti predznaka koeficijenta (npr. koeficijent uz varijablu - duljina putovanja, jer, što je veća duljina putovanja po AC, toliko je veća "korisnost", odnosno vjerojatnost izbora AC).

U uži izbor su ušli modeli DSC 1, DSC 2 i DSC 3 (tab. 2).

Daljnja selekcija modela obavljena je tako da su uspoređivane teoretske distribucije putovanja po relacijama AC (rezultat modela) sa stvarnim distribucijama. Stvarne distribucije su dobivene iz dvaju izvora:

- iz uzorka,
- rezultata terenskih snimanja Republičkog SIZ-a za ceste SR Slovenije (u daljnjem tekstu RSC) (4) (tab. 3).

Raspodjela ukupnog prometa jednaka je u uzorku i u stvarnosti (70% AC, 30% SC).

Ako se uspoređuje distribucija putovanja po relacijama AC po uzorku (stupac 1) s distribucijom po RSC (stupac 2), mogu se primijetiti odstupanja (stupac 3) na relacijama u (iz) smjeru Logatca (Ljubljana - Logatec, Logatec - Postojna, Logatec - Razdrto, Tablica 2. Rezultati kalibracije modela

Logatec - Unec). Ova odstupanja su, vjerojatno, posljedica premalog broja anketnih upitnika vraćenih iz Logatca.

I razlike između stvarnih (po RSC) i teoretskih distribucija (stupci 6, 9, 12) nastaju na relaciji Unec-Postojna. Na tom smjeru, studija RSC nije na pouzdan način utvrdila veličinu prometa, već je procijenila njegovu vrijednost. Naime, na toj relaciji nije bilo anketnog (brojačkog) mjesta.

Smatramo da je naš rezultat točniji, jer se u Postojnu može doći po pratećoj (regionalnoj) cesti za isto vrijeme kao po AC. Između Unca i Razdrtega bilo je brojačko mjesto, ali se nije vodilo računa o mogućnosti da se u to mjesto može stići po regionalnoj, a ne samo po magistralnoj cesti. Zato nije bio obuhvaćen sav promet na tim relacijama.

Valja napomenuti da ukupni ("izvorni" i "ciljni") promet Logatca i Unca čine 18% ukupnog PDP AC i SC.

Iz tablice 3. vidi se da nema bitnih razlika u rezultatima modela DSC 1 i DSC 3, što navodi na zaključak da se korisnikove procjene vremena putovanja bitno ne razlikuju od rezultata metode pokretnog promatrača.

Uspoređujemo li rezultate modela DSC 2 i DSC 3, možemo zaključiti da su oba modela validna. Odlučili smo se za model DSC 3 (DTPKOR) zbog jednostavnije predstave o veličini vremenskih ušteda (lakše je razmišljati u apsolutnim nego u postotnim iznosima).

7. ZAKLJUČAK

Iz slike 3, na kojoj su prikazani rezultati modela DSC 3, vidi se da se s porastom duljine korištenja AC i veličine vremenskih ušteda povećava vjerojatnost uporabe AC.

Na kraćim relacijama (do 35 km), kada nema razlike u vremenima putovanja po AC i SC (DTPKOR=0), korisnici bi izabrali SC (Pac 0.5).

Međutim, na duljim relacijama pa čak i kada je AC "sporija", izabrana bi bila AC. To objašnjavamo time što prednosti AC, glede apstraktnih osobina, dolaze do izražaja tek na duljim relacijama putovanja. Drugim

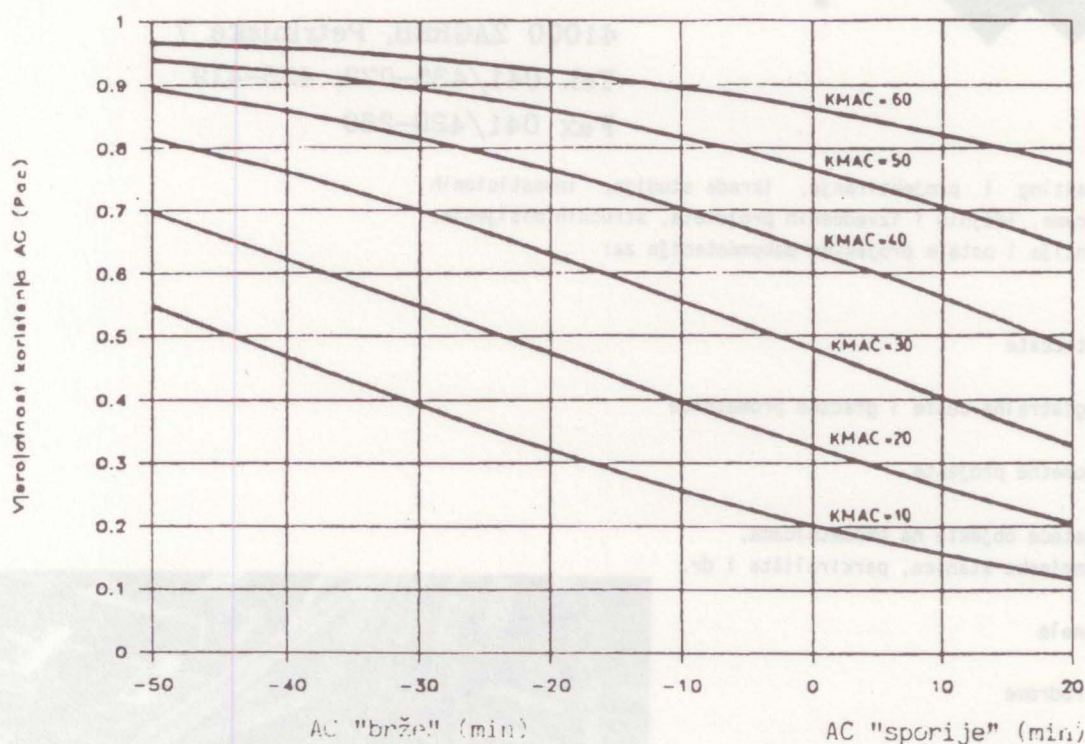
Model	Konstanta kalibracije	Neovisne varjable				Ispravno klasif. primjera (%)
		KMAC Duljina putovanja po AC (km)	DTPING=VRACING-VRSCIN G	DTPKOR=VRACKOR-CRSCOR	GTKOR=VRACKO R:VRSCOR	
DSC 1	-2.96576	0.06649	-0.02681			84.71
DSC 2	-1.6331	0.06682			-1.44287	83.72
DSC3	-2.85022	0.06407		-0.03115		80.00

RELACIJA	Distribucija po relacijama		Razlika između distribucija po uzorku i RSC	MODEL DSC1			MODEL DSC2			MODEL DSC3		
	Po uzorku	Po RSC		Postotak putovanja Po AC	Razlika između teorijske distribucije i distribucije		Postotak putovanja Po AC	Razlika između teorijske distribucije i distribucije		Postotak putovanja Po AC	Razlika između teorijske distribucije i distribucije	
					Po uzorku	Po RSC		Po uzorku	Po RSC		Po uzorku	Po RSC
LJUBLJANA-VRHNIKA	0.45	0.18	0.28	0.278	-0.17	0.10	0.340	-0.11	0.16	0.323	-0.13	0.15
LJUBLJANA-LOGATEC	0.38	0.23	0.14	0.465	0.09	0.23	0.477	0.10	0.25	0.513	0.14	0.28
LJUBLJANA-UNEC	0.86	0.89	-0.02	0.654	-0.21	-0.23	0.643	-0.22	-0.24	0.685	-0.18	-0.20
LJUBLJANA-POSTOJNA	0.93	0.93	0.00	0.827	-0.11	-0.10	0.803	-0.13	-0.13	0.830	-0.10	-0.10
LJUBLJANA-RAZDRTO	0.99	0.87	0.12	0.908	-0.08	0.04	0.886	-0.10	0.01	0.911	-0.08	0.04
VRHNIKA-LOGATEC	0.04	0.04	0.00	0.459	0.42	0.42	0.322	0.28	0.28	0.443	0.40	0.40
VRHNIKA-UNEC	0.57	0.82	-0.25	0.330	-0.24	-0.49	0.240	-0.23	-0.48	0.281	-0.29	-0.54
VRHNIKA-POSTOJNA	0.67	0.68	-0.01	0.421	-0.24	-0.25	0.424	-0.24	-0.25	0.438	-0.23	-0.24
VRHNIKA-RAZDRTO	0.75	0.80	-0.05	0.761	0.01	-0.04	0.746	0.00	-0.05	0.775	0.03	-0.02
LOGATEC-UNEC	0.50	0.78	-0.28	0.270	-0.23	-0.51	0.291	-0.21	-0.49	0.296	-0.20	-0.48
LOGATEC-POSTOJNA	0.00	0.46	-0.46	0.533	0.53	0.08	0.575	0.58	0.12	0.563	0.56	0.11
LOGATEC-RAZDRTO	0.67	0.48	0.19	0.623	-0.04	0.14	0.625	-0.04	0.15	0.652	-0.01	0.17
UNEC-POSTOJNA	0.09	0.87	-0.79	0.296	0.21	-0.58	0.252	0.17	-0.62	0.266	0.18	-0.61
UNEC-RAZDRTO	0.67	0.81	-0.14	0.461	-0.21	-0.35	0.470	-0.20	-0.34	0.484	-0.19	-0.32
POSTOJNA-RAZDRTO	0.15	0.17	-0.02	0.308	0.16	0.13	0.313	0.16	0.14	0.357	0.21	0.18
Prosječna razlika			-0.09		-0.01	-0.09		-0.01	-0.10		0.01	-0.08
Standardna devijacija			0.26		0.24	0.19		0.22	0.28		0.24	0.30

Tablica 3. Validacija modela

riječima, čimbenici udobnosti putovanja (sloboda manevriranja, kvaliteta i sigurnost vožnje...) imaju primarni utjecaj na vozačev izbor ceste tek na duljim relacijama. Kako apstraktne osobine AC i SC nisu bile definirane varijablama modela, one se izražavaju

In the first case we suppose that for the user's decision, absolute time savings goes into making the choice while in the second one relative (per cent) time savings goes into making the choice.



Slika 3. Krivulje skretanja prometa

konstantom kalibracije. Zapravo, konstanta kalibracije pokazuje inicijalnu prednost AC.

Krivulje skretanja prometa mogu se, uz ostalo, primijeniti pri asignaciji očekivanog prometa na AC i SC.

SUMMARY

STOCHASTIC DISAGGREGATE MODEL OF ROAD USER BEHAVIOUR PATTERN: MOTORWAY OR PARALLEL ROAD

This paper deals with calibration (structuring) of a stochastic disaggregate binary model of road use selection: the motorway of a parallel road option.

The variables of the model are the length of the road used and differences in the time of journey on the motorway and parallel road.

Considering the road user's manner of assessment of time savings, a time variable has been structured in two ways: in the shape of "differences" (time of journey on the motorway - time of journey on the parallel road) i.e. the quotient (time of journey on the motorway / time of journey on the parallel road).

The result of the model is represented by the curves of traffic flow diversion (rerouting) that indicate they are dependent upon the probability of motorway selection upon the length of route of the motorway covered and the value of time savings.

The curves of traffic diversion can be used in assigning the expected traffic flows to the motorway and parallel road.

LITERATURA

- 1) M. Ben-Akiva, S.R. Lerman: Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1985.
- 2) R.J. Salter: Traffic Engineering. London, Macmillan Education Ltd, 1981.
- 3) B. Radović: Ponašanje vozača pri izboru: autocesta ili prateća cesta. Ceste i mostovi, 35, 1989.
- 4) L. Šubic: Analiza vzrokov odliva prometa avtoceste Ljubljana-Razdrto. Republiška skupnost za ceste SR Slovenije, Ljubljana, 1980.