

# Cestovna mreža Varaždinske regije – neki rezultati računalne primjene teorije grafa

Milan Ilić\*

U članku se govori o računalnoj primjeni teorije grafa u analizi prometne mreže. Primjenjeni program je GIS PC ARC/INFO. Izračunata je topološka, kilometarska i vremenska dostupnost čvorišta u cestovnoj mreži Varaždinske regije.

**Ključne riječi:** teorija grafa, GIS, cestovna mreža, Varaždinska regija.

## **The Road Network of Varaždin Region – some Results of Computer Application of Graph Theory**

The article deals with the computer application of the graph theory method in traffic network analysis. GIS PC ARC/INFO program package was used. Topological, kilometer distance and time – consuming distance accessibility of nodes in road network of Varaždin region were calculated.

**Key Words:** graph theory, GIS, road network, Varaždin region

## UVOD

Uloga i zadaci prometne geografije mijenjali su se s razvojem same geografske znanosti, njezinih metoda i misli o njezinoj ulozi, ali i s razvojem prometa i porastom njegove uloge u organizaciji prostora. Jedan od osnovnih predmeta proučavanja prometne geografije je analiza prometne mreže, položaj pojedinih čvorišta i njihova međusobna povezanost. Razvoj metoda u proučavanju prometnih mreža pratio je promjenu uloge prometne geografije. Iako je uloga prometa na ljudske djelatnosti i promjene u prostoru bila jasnija i isticana u starijim radovima (npr. Thünnenova izolirana država 1826.), glavna metoda prometne geografije dugo je bila deskripcija prometnih putova i mreža. Do naglih promjena došlo je šezdesetih godina s početkom promatranja prometa kao sustava koji utječe na raspored i razvoj naselja i različitih društvenih aktivnosti. U prometnoj geografiji došlo je do značajne primjene kvantitativnih metoda i teorijskih modela. Pri tome najveću primjenu imaju metode koje proizlaze iz teorijskih i praktičnih spoznaja s područja teorije grafa.

Teorija grafa je grana topologije pomoću koje kvantitativno analiziramo značajke prometne mreže. Mreža se pojednostavljuje i svodi na niz međusobno povezanih čvorišta. O samoj primjeni metode i pokazateljima raz-

\* Mr., Znanstveni novak, Geografski odjel, Prirodoslovno-matematički fakultet, Marulićev trg 19, 41000 Zagreb, Hrvatska.

vijenosti prometne mreže pisano je u brojnim radovima, ponajprije u svjetskoj, (Kansky, 1963., Haggert & Chorley, 1969., Taffee & Gauthier, 1973., Greenwood, 1983., Žagar, 1989. i dr.), a zatim i u domaćoj literaturi (Vresk, 1975., Sić, 1981., 1983., 1986., Ilić, 1991. i dr.).

Analiza prometne mreže primjenom teorije grafa svodi se na izračunavanje pokazatelja o razvijenosti i povezanosti prometne mreže, te na određivanje dostupnosti pojedinih čvorišta i važnosti pojedinih veza u mreži. Međutim, određivanje najkraćeg puta težak je zadatak koji zahtijeva puno vremena. Zadatak je tim teži što je proučavana mreža veća, odnosno razvijenija i što je analiza složenija (npr. ako najkraći put nije određen brojem veza, nego stvarnom udaljenošću, vremenom putovanja, cijenom prijevoza ili na neki drugi način). Razvojem informatike, primjenom odgovarajućih programa i računala s dovoljnom memorijom taj je zadatak znatno olakšan i ubrzan.

Tema ovog rada je prikazati mogućnosti analize jedne velike prometne mreže. Za primjer je uzeta cestovna mreža Varaždinske regije.

## VARAŽDINSKA REGIJA

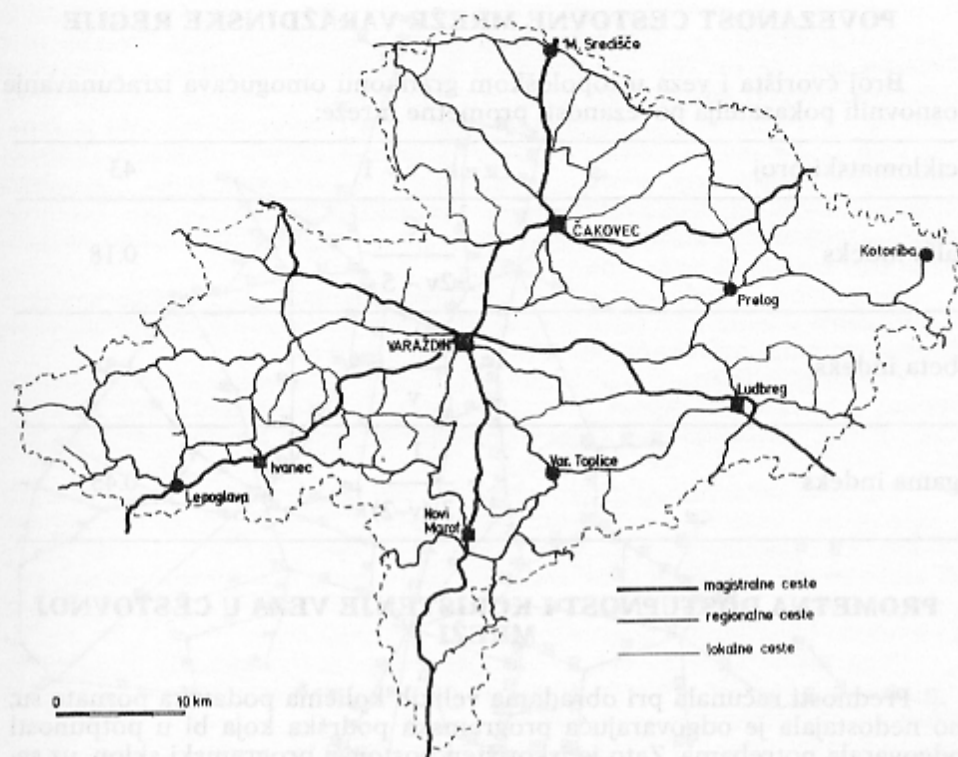
Pod pojmom Varaždinske regije u ovom radu podrazumijeva se područje 5 bivših općina (Čakovec, Ivanec, Ludbreg, Novi Marof i Varaždin) koje su bile i administrativno povezane u nekadašnju zajednicu općina Varaždin. Prema novom teritorijalnom ustrojstvu Republike Hrvatske područje našeg istraživanja obuhvaćeno dvijema županijama: Varaždinskom (središte u Varaždinu) i Međimurskom (središte u Čakovcu).

Dobar prometni položaj (ovuda prolazi najkraći put i važne prometnice iz velikog dijela srednje i istočne Europe prema Jadranu, odnosno Sredozemlju), povoljna prirodno – geografska osnova, visoka gospodarska razvijenost i vrlo gusta naseljenost (157.4 st/km<sup>2</sup>, Hrvatska 84.6 st/km<sup>2</sup>) uzrokom su dobro razvijene prometne mreže (Tab. 1, Sl. 1).

Tab. 1. Gustoća cestovne mreže Varaždinske regije 1990. godine (po bivšim općinama)

općina	na 100 km <sup>2</sup>		na 1000 st.		Engelov koef	
	sve ceste	suvr. kolnik	sve ceste	suvr. kolnik	sve ceste	suvr. kolnik
ČAKOVEC	69.8	62.7	42.2	37.9	54.3	48.8
IVANEC	92.0	58.1	76.2	48.1	83.7	52.8
LUDBREG	85.6	42.3	87.3	43.2	84.6	41.8
NOVI MAROF	88.5	45.6	85.6	44.1	87.0	44.8
VARAŽDIN	111.3	75.0	44.2	29.8	70.1	47.3
VARAŽDINSKA REGIJA	86.2	59.4	54.8	37.8	68.7	47.4
REPUBLIKA HRVATSKA	25.8	16.0	30.4	19.0	28.0	17.4

Izvor: Razvrstane ceste u SR Hrvatskoj u razdoblju 1986–1990., Zagreb  
Statistički ljetopis 1992., Zagreb



Sl. 1 Cestovna mreža Varaždinske regije.

Fig. 1 Road network of the Varaždin region.

Za analizu cestovne mreže Varaždinske regije teorijom grafa uzeli smo u obzir magistralne, regionalne i one lokalne ceste koje se koriste u mreži javnog autobusnog prometa.

Takva je selekcija bila nužna radi izbjegavanja prenatrpanosti grafa, a i razumljiva jer se glavnina prometa odvija na magistralnim i regionalnim cestama.

Topološki grafikon napravljen je na temelju cestovne mreže prikazane na sl. 1. Takav topološki grafikon ima 123 čvorišta povezana s 165 veza.

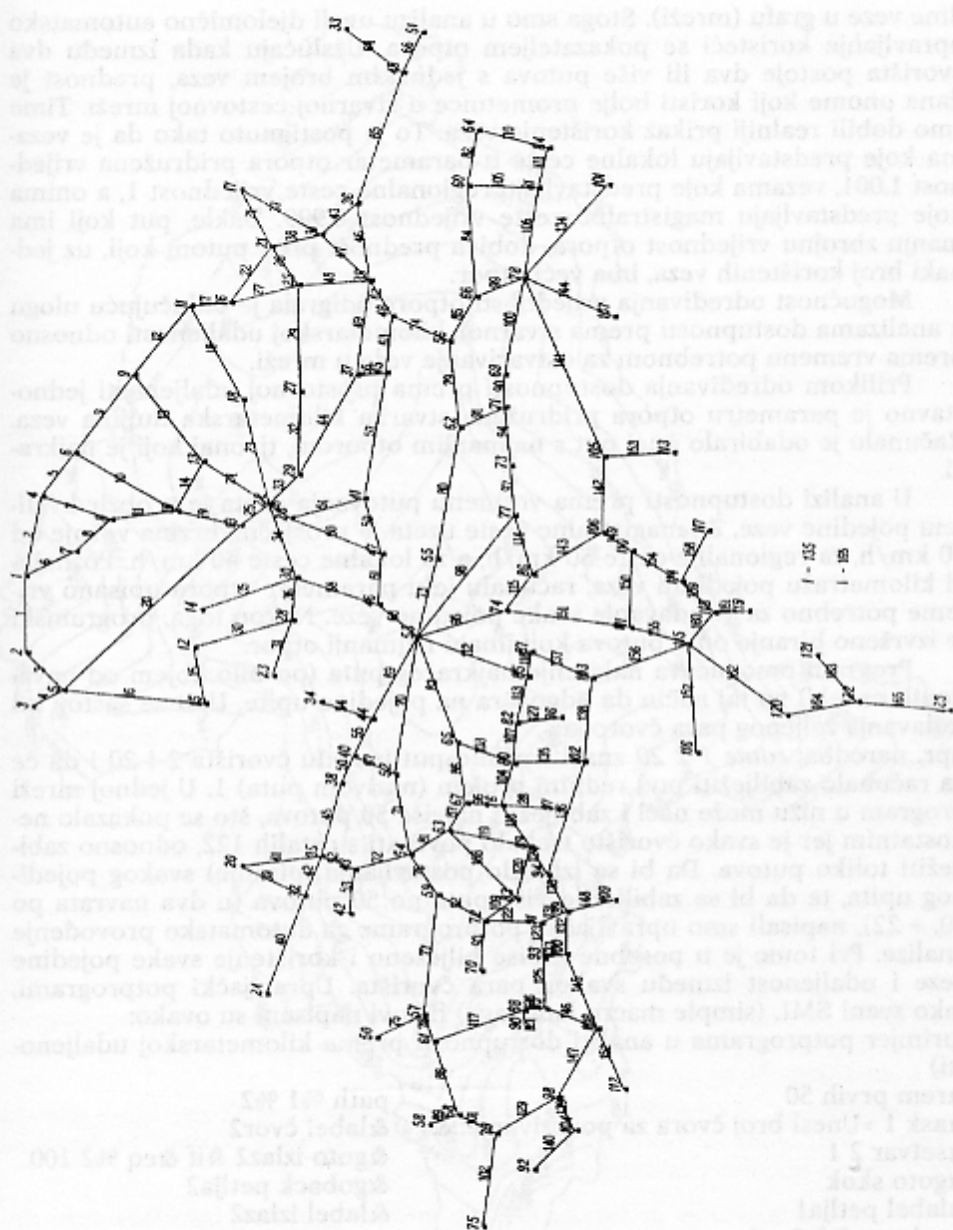
## POVEZANOST CESTOVNE MREŽE VARAŽDINSKE REGIJE

Broj čvorišta i veza u topološkom grafikonu omogućava izračunavanje osnovnih pokazatelja povezanosti prometne mreže:

ciklomatski broj	$= l - v + 1$	43
alfa indeks	$= \frac{C}{2v - 5}$	0.18
beta indeks	$= \frac{l}{v}$	1.34
gama indeks	$= \frac{l}{3(v-2)}$	0.45

## PROMETNA DOSTUPNOST I KORIŠTENJE VEZA U CESTOVNOJ MREŽI

Prednosti računala pri obradama velikih količina podataka poznate su, no nedostajala je odgovarajuća programska podrška koja bi u potpunosti odgovarala potrebama. Zato je iskorišten postojeći programski sklop, uz samostalno provedene odgovarajuće korisničke modifikacije, što je znatno jednostavnije i jeftinije od stvaranja posebnog programa. Osnova za rad bio je geografski informacijski sustav vektorskoga tipa PC ARC/INFO 3.4D, odnosno njegov potprogram PC NETWORK. Taj potprogram ima neke mogućnosti rada s mrežnim modelima, te je kao takav mogao biti prilagođen potrebama analize teorijom grafa. Osnovna prednost mu je mogućnost da razmjerno brzo pronalazi najkraći put unutar mreže (grafa), uz zadane osnovne parametre. Razlikuju se parametri vezani uz čvorišta (koja također mogu biti različito definirana) i oni vezani uz veze. Budući da u teoriji grafa čvorišta ne predstavljaju mjesta posebnih zahtjeva, vrijednost pokazatelja vezanih za čvorišta bila je uvijek nula. Najvažniji je bio pokazatelj koji se odnosi na veze, a naziva se *impedance*. Taj bi pokazatelj mogli prevesti kao otpor kojeg pruža pojedina veza prilikom kretanja kroz mrežu. Međutim, u topološkoj dostupnosti sve su veze jednako vrijedne, traži se samo broj veza te stoga *impedance* (otpor) na prvi pogled nema nikakvu ulogu. Naime, za brojanje veza koristili smo programski podatak o broju veza u svakom putu (*number of arcs*). Ipak, postojanje pokazatelja otpora, dovelo je do ideje o djelomično upravljanoj modelu. Naime, između nekih čvorišta postoje dva puta s jednakim brojem veza. Budući da prema teoriji grafa graf ne nosi nikakvu informaciju osim postojanja ili nepostojanja veza, niti jedan put nema prednosti. Računalo bi (a slično bi se dogodilo i pri »ručnoj« obradi) put odabiralo nasumično. To ne bi imalo nikakav utjecaj na dostupnost pojedinog čvorišta, ali bi se odrazilo na vrednovanje, odnosno korištenje poje-



Sl. 2 Topološki grafikon cestovne mreže Varaždinske regije.

Fig. 2 Topological graph of the road network of the Varaždin region.

dine veze u grafu (mreži). Stoga smo u analizu uveli djelomično automatsko upravljanje koristeći se pokazateljem otpora. U slučaju kada između dva čvorišta postoje dva ili više putova s jednakim brojem veza, prednost je dana onome koji koristi bolje prometnice u stvarnoj cestovnoj mreži. Time smo dobili realniji prikaz korištenja veza. To je postignuto tako da je vezama koje predstavljaju lokalne ceste u parametar otpora pridružena vrijednost 1.001, vezama koje predstavljaju regionalne ceste vrijednost 1, a onima koje predstavljaju magistralne ceste vrijednost 0.999. Dakle, put koji ima manju zbrojnu vrijednost otpora, dobiva prednost pred putom koji, uz jednaki broj korištenih veza, ima veći otpor.

Mogućnost određivanja vrijednosti otpora odigrala je odlučujuću ulogu u analizama dostupnosti prema stvarnoj, kilometarskoj udaljenosti odnosno prema vremenu potrebnom za ostvarivanje veza u mreži.

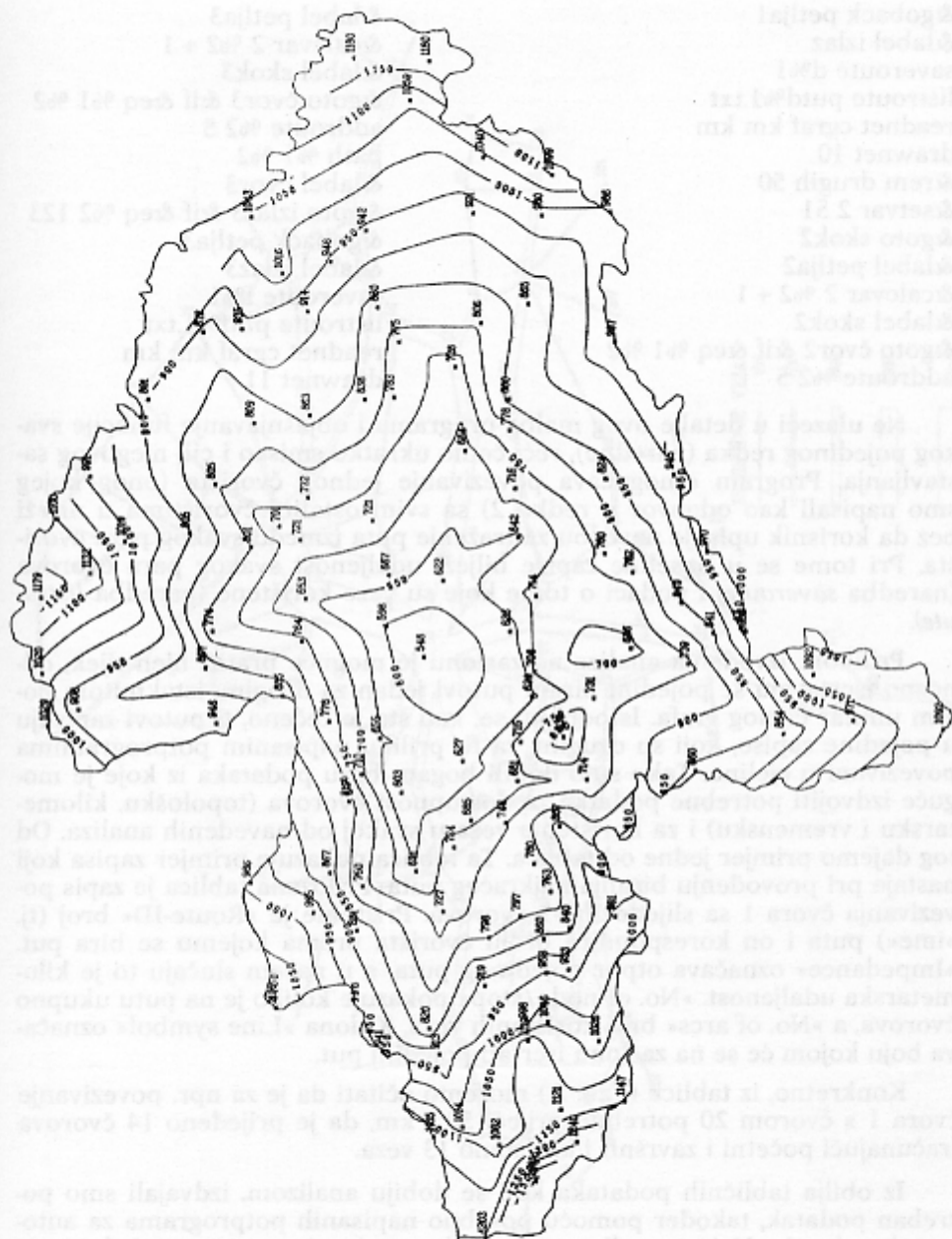
Prilikom određivanja dostupnosti prema prostornoj udaljenosti jednostavno je parametru otpora pridružena stvarna kilometarska duljina veza. Računalo je odabiralo onaj put s najmanjim otporom, tj. onaj koji je najkraći.

U analizi dostupnosti prema vremenu putovanja uzeta je u obzir kvaliteta pojedine veze. Za magistralne ceste uzeta je prosječna brzina vožnje od 70 km/h, za regionalne ceste 50 km/h, a za lokalne ceste 40 km/h. Poznajući kilometražu pojedinih veza, računalo je u parametar otpora upisano vrijeme potrebno za svladavanje svake pojedine veze. Nakon toga, programski je izvršeno biranje onih putova koji imaju najmanji otpor.

Program omogućava nalaženje najkraćeg puta (po bilo kojem od navedenih načela) na taj način da odgovara na pojedine upite. Upit se sastoji od zadavanja željenog para čvorova:

npr. naredba: *route 1 2 20* znači tražimo put između čvorišta 2 i 20 i da će ga računalo zabilježiti pod rednim brojem (nazivom puta) 1. U jednoj mreži program u nizu može naći i zabilježiti najviše 50 putova, što se pokazalo nedostatnim jer je svako čvorište trebalo povezati s ostalih 122, odnosno zabilježiti toliko putova. Da bi se izbjeglo postavljanje (pisanje) svakog pojedinog upita, te da bi se zabilježilo više puta po 50 putova (u dva navrata po 50, + 22), napisali smo upravljačke potprograme za automatsko provođenje analize. Pri tome je u posebne zapise bilježeno i korištenje svake pojedine veze i udaljenost između svakog para čvorišta. Upravljački potprogrami, tako zvani SML (simple macro language) fileovi napisani su ovako: (primjer potprograma u analizi dostupnosti prema kilometarskoj udaljenosti)

&rem prvih 50	path %1 %2
&ask 1 »Unesi broj čvora za povezivanje: &F«	&label čvor2
&setvar 2 1	&goto izlaz2 &if &eq %2 100
&goto skok	&goback petlja2
&label petlja1	&label izlaz2
&calcvar 2 %2 + 1	saveroute e%1
&label skok	listroute pute%1.txt
&goto čvor &if &eq %1 %2	readnet cgraf km km
addroute %2 5	drawnet 15
path %1 %2	&rem zadnjih 23
&label čvor	&setvar 2 101
&goto izlaz &if &eq %2 50	&goto skok3



Sl. 3 Topološka dostupnost čvorišta u cestovnoj mreži Varaždinske regije – brojevi označavaju vrijednosti Shimbelovog indeksa izraženog u broju korištenih veza.

Fig. 3 Topological accessibility of intersections in the road network of the Varaždin region – number denote the values of Shimbel index expressed in the number of utilized connections.

```

&goback petlja1
&label izlaz
saveroute d%1
listroute putd%1.txt
readnet cgraf km km
drawnet 10
&rem drugih 50
&setvar 2 51
&goto skok2
&label petlja2
&calcvvar 2 %2 + 1
&label skok2
&goto čvor2 &if &eq %1 %2
addroute %2 5
&label petlja3
&calcvvar 2 %2 + 1
&label skok3
&goto čvor3 &if &eq %1 %2
addroute %2 5
path %1 %2
&label čvor3
&goto izlaz3 &if &eq %2 123
&goback petlja3
&label izlaz3
saveroute f%1
listroute putf%1.txt
readnet cgraf km km
drawnet 11

```

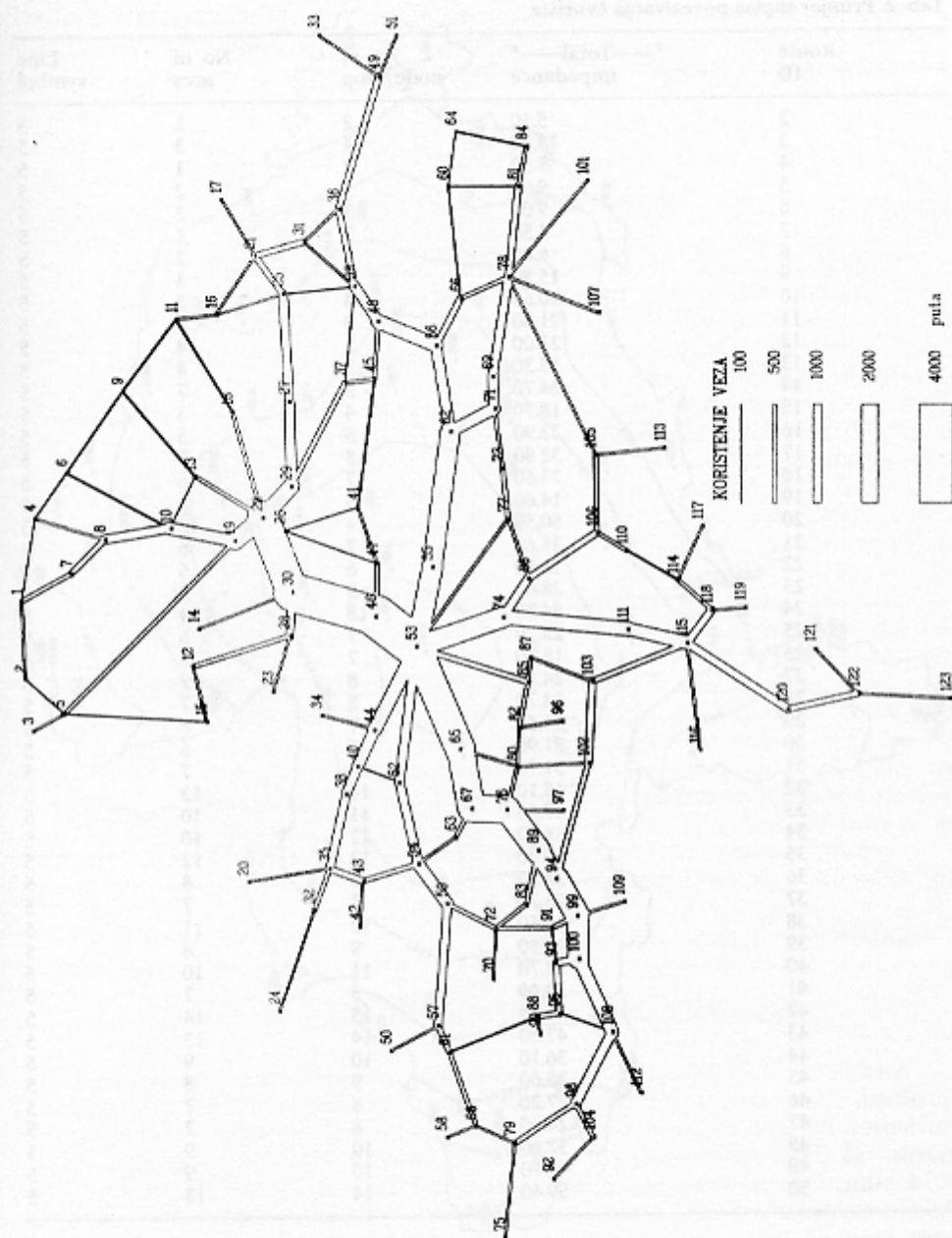
Ne ulazeći u detalje ovog malog programa i objašnjavanje funkcije svakog pojedinog reda (naredbe), reći ćemo ukratko smisao i cilj njegovog sastavljanja. Program omogućava povezivanje jednog čvorišta (onog kojeg smo napisali kao odgovor u reduku 2) sa svim ostalim čvorištima u mreži bez da korisnik upisuje naredbu za traženje puta između svakog para čvorišta. Pri tome se u posebne zapise bilježi udaljenost svakog para čvorova (naredba *saveroute*) i podaci o tome koje su veze korištene (naredba *listroute*).

Prilikom izvođenja analize na zaslonu je moguće pratiti njen tijek, odnosno iscrtavaju se pojedini birani putovi jedan za drugim, istaknutom bojom unutar cijelog grafa. Istodobno se, kao što je rečeno, ti putovi zapisuju u pojedine zapise, koji su drugim, za tu priliku napisanim potprogramima povezivani u cjeline. Tako smo dobili bogatu bazu podataka iz koje je moguće izdvojiti potrebne podatke za dostupnost čvorova (topološku, kilometarsku i vremensku) i za korištenje veza u svakoj od navedenih analiza. Od tog dajemo primjer jedne od tablica. Ta tablica pokazuje primjer zapisa koji nastaje pri provođenju biranja najkraćeg puta. Priložena tablica je zapis povezivanja čvora 1 sa slijedećih 49 čvorova. Pri tome je »Route-ID« broj (tj. »ime«) puta i on korespondira broju čvorišta prema kojemu se bira put. »Impedance« označava otpor pojedinog puta, a u našem slučaju to je kilometarska udaljenost. »No. of node/stop« pokazuje koliko je na putu ukupno čvorova, a »No. of arcs« broj korištenih veza. Kolona »Line symbol« označava boju kojom će se na zaslonu iscrutati pojedini put.

Konkretno, iz tablice (Tab. 2.) možemo očitati da je za npr. povezivanje čvora 1 s čvorom 20 potrebno prijeći 50.5 km, da je prijeđeno 14 čvorova (računajući početni i završni) i korišteno 13 veza.

Iz obilja tabličnih podataka koji se dobiju analizom, izdvajali smo potreban podatak, također pomoću posebno napisanih potprograma za automatsku obradu. Naime, mali, za tu potrebu napisani potprogram jednostavno je za svako čvorište zbrojio vrijednosti otpora na najkraćim putovima do svih ostalih čvorišta, čime se dobiva Shimbellov indeks. Taj je postupak proveden posebno za topološku, kilometarsku i vremensku dostupnost. Za automatsko brojanje korištenja veza (u sve tri analize) također je napisan mali potprogram.





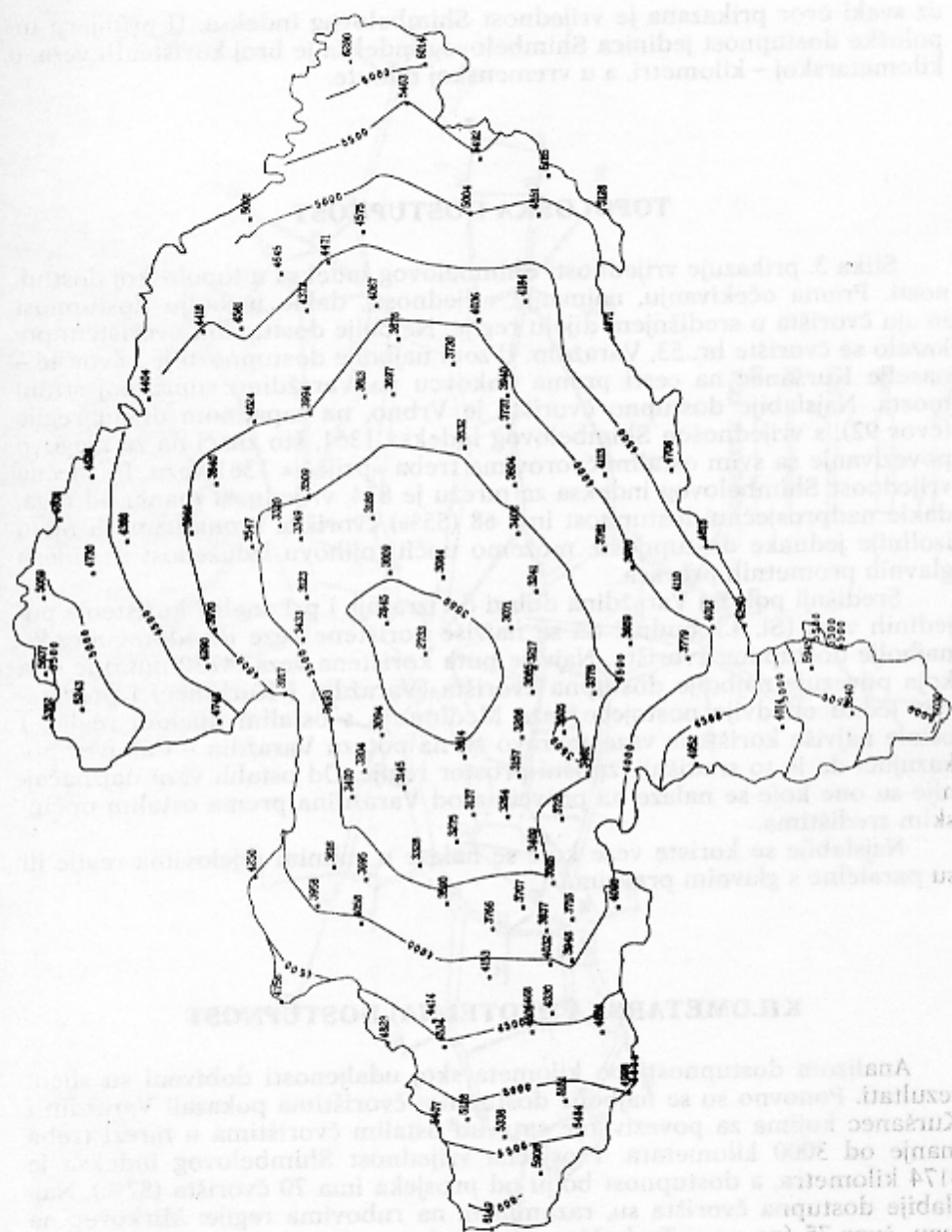
Sl. 4 Korištenje veza u topološkoj dostupnosti.

Fig. 4 Utilized connections in topological accessibility.

Tab. 2. Primjer zapisa povezivanja čvorišta

Route ID	*—Total—*	No. of node/stop	No. of arcs	Line symbol
2	5.10	2	1	5
3	18.70	4	3	5
4	5.50	2	1	5
5	9.00	3	2	5
6	9.00	3	2	5
7	3.50	2	1	5
8	6.60	3	2	5
9	15.50	4	3	5
10	10.60	4	3	5
11	21.30	5	4	5
12	23.00	5	4	5
13	15.30	5	4	5
14	24.70	8	7	5
15	18.70	4	3	5
16	23.90	6	5	5
17	32.80	8	7	5
18	23.60	7	6	5
19	14.60	5	4	5
20	50.50	14	13	5
21	28.60	7	6	5
22	16.80	6	5	5
23	28.60	9	8	5
24	54.50	15	14	5
25	28.70	7	6	5
26	18.40	7	6	5
27	24.70	8	7	5
28	24.70	8	7	5
29	19.50	7	6	5
30	21.90	7	6	5
31	31.70	8	7	5
32	48.10	14	13	5
33	47.10	11	10	5
34	38.70	11	10	5
35	45.20	13	12	5
36	34.80	9	8	5
37	26.70	8	7	5
38	40.50	12	11	5
39	32.80	9	8	5
40	38.70	11	10	5
41	23.40	8	7	5
42	51.30	15	14	5
43	47.50	14	13	5
44	36.10	10	9	5
45	28.60	9	8	5
46	27.20	8	7	5
47	24.90	8	7	5
48	32.60	10	9	5
49	44.10	10	9	5
50	59.40	14	13	5

Prezentacija dobivenih rezultata analiza dostupnosti izvršena je također u PC ARC/INFO programu, u njegovom dijelu PC TIN. To je potprogram koji omogućava, na temelju točkaste distribucije pojave, interpolaciju izoliranih iste dostupnosti. Na prikaz izoliranih odlučili smo se prvenstveno zbog veće čitljivosti i lakog vizualnog doživljaja prezentiranih podataka, a



Sl. 5 Kilometarska dostupnost čvorišta u cestovnoj mreži Varaždinske regije – brojevi označavaju vrijednosti Shimbelovog indeksa izraženog u kilometrima.

Fig. 5 Kilometric accessibility of intersections in the road network of Varaždin region – numbers denote the values of Shimbel index expressed in kilometers.

uz svaki čvor prikazana je vrijednost Shimbellovog indeksa. U primjeru topološke dostupnosti jedinica Shimbellovog indeksa je broj korištenih veza, a u kilometarskoj – kilometri, a u vremenskoj minute.

### TOPOLOŠKA DOSTUPNOST

Slika 3. prikazuje vrijednosti Shimbellovog indeksa u topološkoj dostupnosti. Prema očekivanju, najmanje vrijednosti, dakle najbolju dostupnost imaju čvorišta u središnjem dijelu regije. Najbolje dostupnim čvorištem pokazalo se čvorište br. 53, Varaždin. U zoni najbolje dostupnosti je i čvor 46 – naselje Kuršanec na cesti prema Čakovcu na Varaždinu suprotnoj strani mosta. Najslabije dostupno čvorište je Vrbno, na zapadnom dijelu regije (čvor 92), s vrijednošću Shimbellovog indeksa 1361, što znači da za njegovo povezivanje sa svim ostalim čvorovima treba »prijeći« 1361 vezu. Prosječna vrijednost Shimbellovog indeksa za mrežu je 874, vrijednost manju od toga, dakle nadprosječnu dostupnost ima 68 (55%) čvorišta. Promotrimo li malo izolijnije jednake dostupnosti, možemo uočiti njihovu izduženost u smjeru glavnih prometnih pravaca.

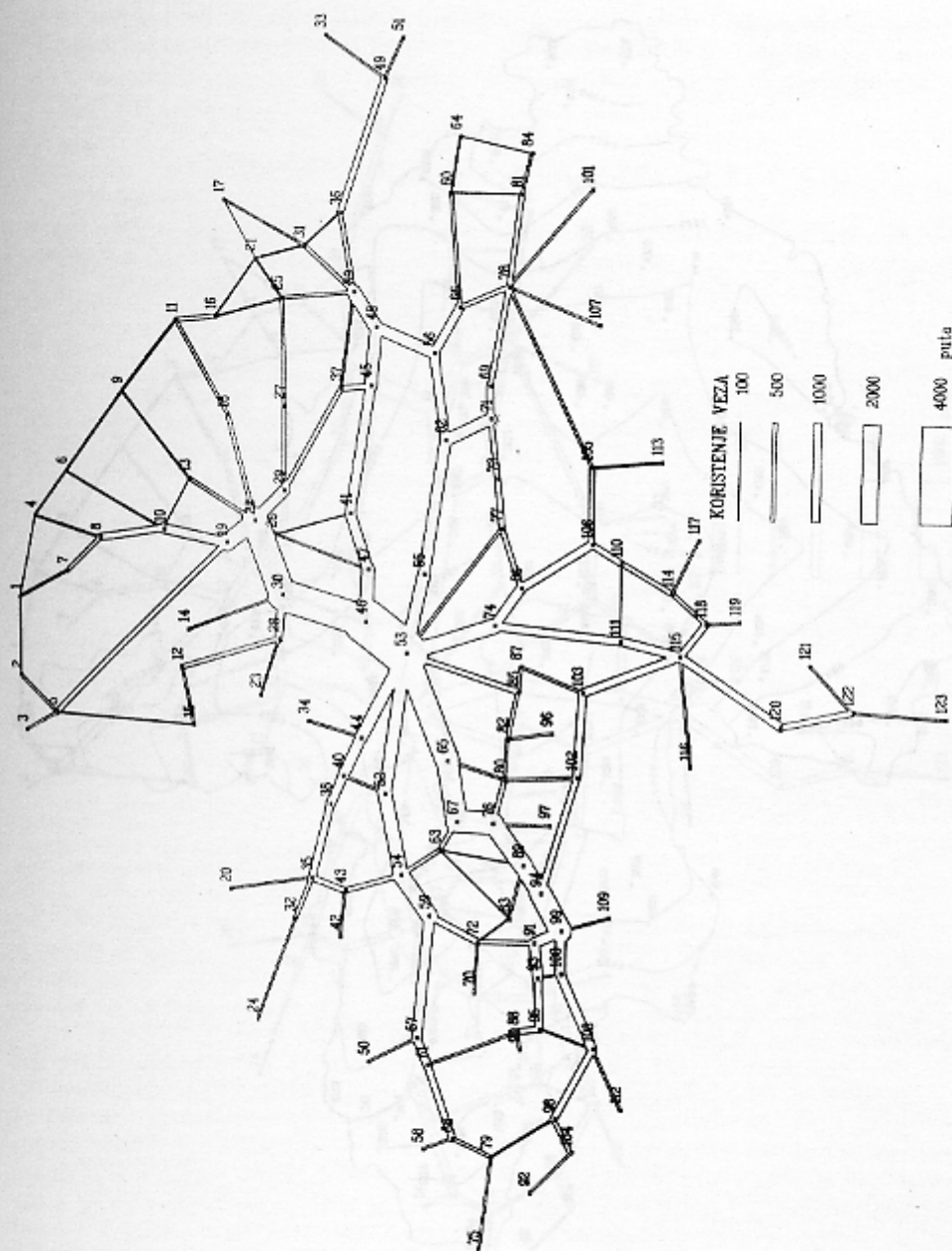
Središnji položaj Varaždina dolazi do izražaja i pri analizi korištenja pojedinih veza (Sl. 4.), budući da se najviše korištene veze usredotočuju oko najbolje dostupnog čvorišta. Najviše puta korištena veza (4730 puta) je ona koja povezuje najbolje dostupna čvorišta (Varaždin i Kuršanec) i predstavlja jednu od dvije postojeće veze Međimurja s ostalim dijelom regije. I ostale najviše korištene veze zapravo su na potezu Varaždin – Čakovec pokazujući da je to središnji, žarišni prostor regije. Od ostalih veza najznačajnije su one koje se nalaze na pravcima od Varaždina prema ostalim općinskim središtima.

Najslabije se koriste veze koje se nalaze u rubnim dijelovima regije ili su paralelne s glavnim pravcima.

### KILOMETARSKA (IZOTELNA) DOSTUPNOST

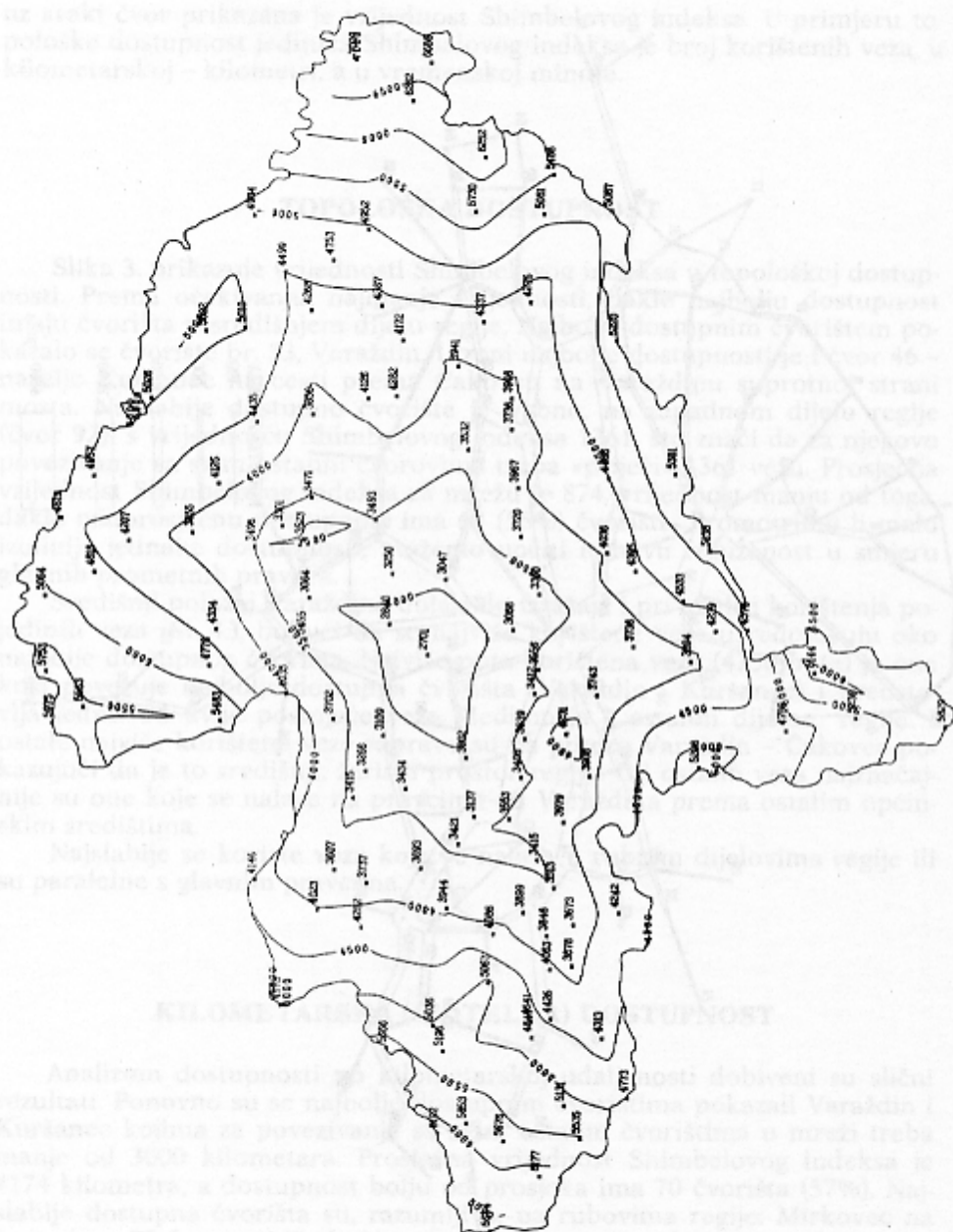
Analizom dostupnosti po kilometarskoj udaljenosti dobiveni su slični rezultati. Ponovno su se najbolje dostupnim čvorištima pokazali Varaždin i Kuršanec kojima za povezivanje sa svim ostalim čvorištima u mreži treba manje od 3000 kilometara. Prosječna vrijednost Shimbellovog indeksa je 4174 kilometra, a dostupnost bolju od prosjeka ima 70 čvorišta (57%). Najslabije dostupna čvorišta su, razumljivo, na rubovima regije: Mirkovec na jugu, čvor 75 (na cesti Trakošćan – zagorska magistrala) na zapadu, te Donja Dubrava i Kotoriba na istoku kojima za povezivanje sa svim ostalim čvorištima treba više od 6000 kilometara.

Promotrimo li korištenje veza, razlike u odnosu na topološku analizu su značajne. Veza između Varaždina prema Čakovcu je i dalje dominirajuća (koristi se 5274 puta), ali se znatno jače ističu veze na pravcu od Varaždina



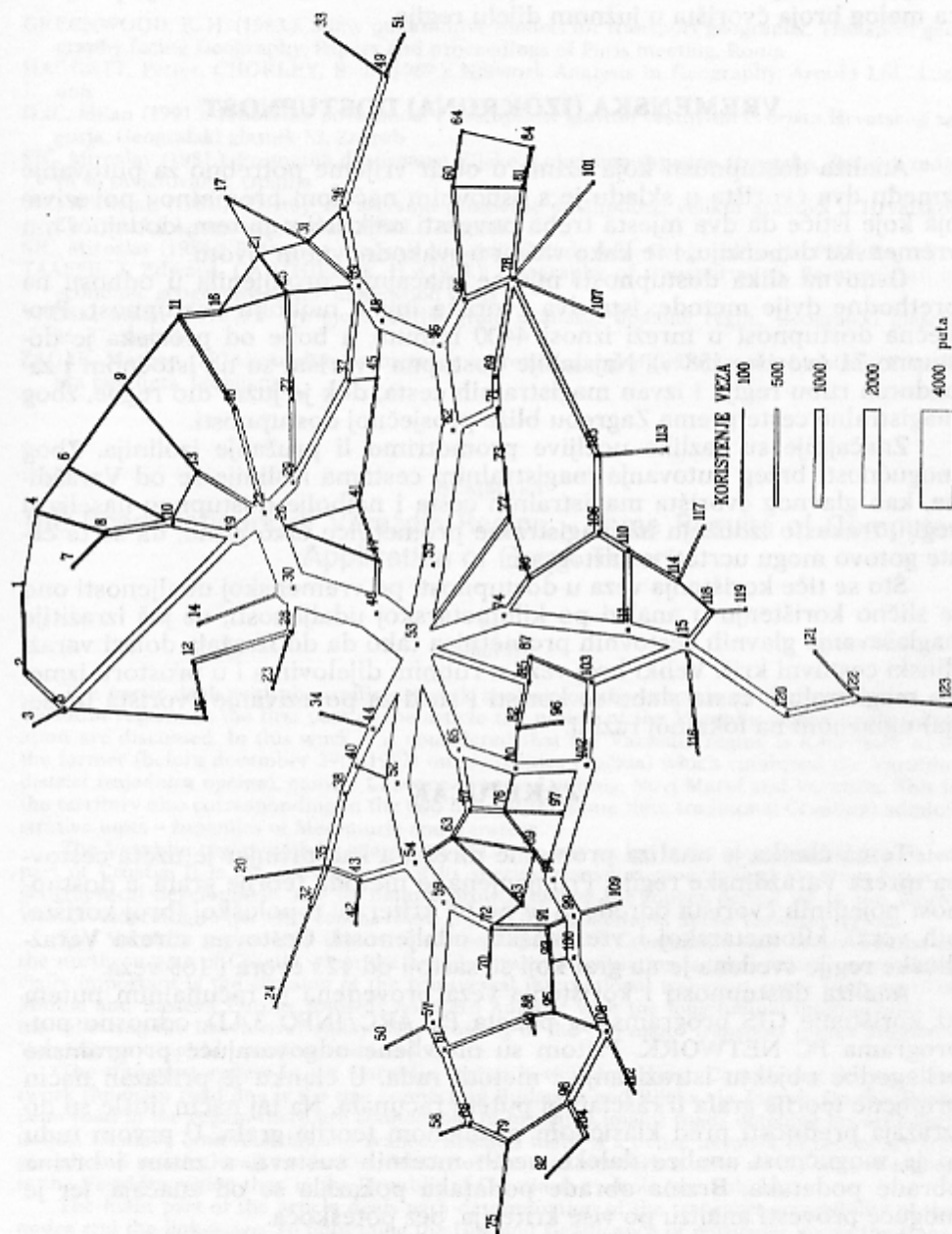
Sl. 6 Korištenje veza u kilometarskoj dostupnosti.

Fig. 6 Utilization of connections in kilometric accessibility.



Sl. 7 Vremenska dostupnost čvorišta u cestovnoj mreži Varaždinske regije – brojevi označavaju vrijednosti Shimbelovog indeksa izraženog u minutama.

Fig. 7 Time accessibility of intersections in the road network of the Varaždin region – numbers denote the values of Shimbel index expressed in minutes.



Sl. 8 Korištenje veza u vremenskoj dostupnosti.

Fig. 8 Utilization of connections in time accessibility.

prema Ivancu, dakle duž magistralne ceste. Donekle iznenađuje slabo korištenje veza na pravcu od Varaždina prema Novom Marofu, ali to je posljedica malog broja čvorišta u južnom dijelu regije.

## VREMENSKA (IZOKRONA) DOSTUPNOST

Analiza dostupnosti koja uzima u obzir vrijeme potrebno za putovanje između dva čvorišta u skladu je s osnovnim načelom prometnog povezivanja koje ističe da dva mjesta treba povezati najkraćim putem, dodajući mu vremensku dimenziju, i te kako važnu u svakodnevnom životu.

Osnovna slika dostupnosti nije se značajnije promijenila u odnosu na prethodne dvije metode: ista dva čvorišta imaju najbolju dostupnost. Prosječna dostupnost u mreži iznosi 4400 minuta, a bolje od prosjeka je dostupno 71 čvorište (58%). Najslabije dostupna čvorišta su na istočnom i zapadnom rubu regije i izvan magistralnih cesta, dok je južni dio regije, zbog magistralne ceste prema Zagrebu bliže prosječnoj dostupnosti.

Značajnije su razlike uočljive promotrimo li pružanje izolinija. Zbog mogućnosti bržeg putovanja magistralnim cestama izolinije se od Varaždina, kao glavnog čvorišta magistralnih cesta i najbolje dostupnog naselja u regiji, zrakasto izdužuju uz magistralne prometnice tako jasno, da se te ceste gotovo mogu ucrtati u kartogram.

Što se tiče korištenja veza u dostupnosti po vremenskoj udaljenosti ono je slično korištenju u analizi po kilometarskoj udaljenosti, uz još izrazitije naglašavanje glavnih cestovnih prometnica tako da do izražaja dolazi varaždinski cestovni križ. Veliki broj veza u rubnim dijelovima i u prostoru između magistralnih cesta slabo se koristi i služi za povezivanje čvorišta (naselja) uglavnom na lokalnoj razini.

## ZAKLJUČAK

Tema članka je analiza prometne mreže, a kao primjer je uzeta cestovna mreža Varaždinske regije. Primjenjena je metoda teorije grafa, a dostupnost pojedinih čvorišta određena je po tri kriterija: topološkoj (broj korištenih veza), kilometarskoj i vremenskoj udaljenosti. Cestovna mreža Varaždinske regije svedena je na graf koji se sastoji od 123 čvora i 165 veza.

Analiza dostupnosti i korištenja veza provedena je računalnim putem uz korištenje GIS programskog paketa PC ARC/INFO 3.4.D, odnosno programa PC NETWORK. Pritom su obavljene odgovarajuće programske prilagodbe objektu istraživanja i metodi rada. U članku je prikazan način primjene teorije grafa u raščlambi putem računala. Na taj način došle su do izražaja prednosti pred klasičnom primjenom teorije grafa. U prvom redu to je mogućnost analize daleko većih mrežnih sustava, a zatim i brzina obrade podataka. Brzina obrade podataka pokazala se od značaja, jer je moguće provesti analizu po više kriterija, bez poteškoća.

Od posebnog je značenja baza podataka oblikovana pri provedbi postupka. Prostorna baza podataka može se nadograđivati i dovoditi u vezu rezultate analize s drugim geografskim objektima i pojavama (demografskim, ekonomskim i dr.).



## LITERATURA

- GREENWOOD, R. H. (1983.): Some quantitative models for transport geography, *Transport geography facing Geography, Papers and proceedings of Paris meeting*, Roma
- HAGGETT, Petter, CHORLEY, R. J. (1969.): *Network Analysis in Geography*, Arnold Ltd., London
- ILIC, Milan (1991.): Prometna povezanost i dostupnost glavnih cestovnih čvorišta Hrvatskog zagorja, *Geografski glasnik* 53, Zagreb
- SIC, Miroslav (1981.): Prometna dostupnost Rijeke u okvirima zapadne Hrvatske, *Zbornik radova sa savjetovanja, Opatija*
- SIC, Miroslav (1983.): Pristup istraživanju prometne dostupnosti velikih gradova u Hrvatskoj, *Zbornik XI. kongresa geografa SFRJ, Titograd*
- SIC, Miroslav (1986.): Prometno značenje Varaždina, *Radovi 21, Geografski odjel PMF, Zagreb*
- TAAFFE, J. Edward, GAUTHIER, L. H. (1973.): *Geography of transportation*, Prentice Hall of economic geography series, Englewood Cliffs
- VRESK, Milan (1975.): O primjeni teorije grafa u analizi nodalne regije, *Geografski glasnik* 36-37, Zagreb
- ZAGAR, Marijan (1978.): *Analiza prometnega omrežja v geografiji, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana*

## SUMMARY

## The Road Network of Varaždin Region – some Results of Computer Application of Graph Theory

by  
Milan Ilić

The paper deals with the traffic network analysis on the example of road network of the Varaždin region. In the first part of the article the notion of the Varaždin region and its situation are discussed. In this work it is considered that the Varaždin region is a territory as of the former (before december 29th 1992) municipalities (općina) which combined the Varaždin district (zajednica općina), namely Čakovec, Ivanec, Ludbreg, Novi Marof and Varaždin. This is the territory also corresponding to the two new (at the same time traditional Croatian) administrative units – županijas of Međimurje and Varaždin.

The Varaždin region with its average of 157.4 inh. per sq. km is the most densely populated part of Croatia. It is the consequence of its specific transport-geographical location, historic-geographical development and its natural growth during the longer period up to the World War II. According to the 1991 census there are 307 021 inhabitants in the Varaždin region.

The Varaždin region is in the north of the Republic of Croatia and may be considered as the northern gate of Croatia when the broader transport situation is taken into account. Especially important is the crossing of the transversal international transport route from parts of Middle and Eastern Europe towards northern Adriatic with the longitudinal international route following the Drava river valley. This crossing of the two major transport routes promotes Varaždin as a typical transport node and centre.

The transport system in the Varaždin region is well developed. Considering the road network the main road line is the one connecting Budapest and Rijeka via Zagreb. On this European road in the region there are connections of principal (main) roads outgoing towards Ptuj, Osijek, Lendava (and Austria) and Ivanec. Besides, there is a dense network of secondary (regional) and minor (local) roads. The density of the road network is after all the indices higher in the Varaždin region than in the Republic of Croatia as a whole (see Tab. 1.).

The main part of the article deals with determination of the transport accessibility of the nodes and the link-usage. To determine the role and significance of particular nodes the transport accessibility was calculated applying the method of graph theory. The accessibility of particular nodes was separately calculated using three different criteria: topological (number of used links), kilometer distance and time-consuming distance. For this purpose the regional road network was reduced to the graph consisting of 123 nodes and 165 links.

The analysis of accessibility and link-usage was performed with the aid of a GIS PC ARC/INFO 3.4.D software package (program PC NETWORK). Certain program modifications were made to cope with the matter of analysis and applied methods. This is presented in the paper along with the results. During the process of determining the accessibility of nodes the significance of the particular links was also numerically expressed. Using the PCTIN sub-program, the areas of same accessibility was determined. The Shimbel index shows the accessibility of the particular node. The units in topological accessibility is the number of used links, in kilometer accessibility the length of used roads in kilometers, and in time-consuming accessibility the time of travel in minutes.

In all three calculations the most accessible node in the region is Varaždin, and the most important links are those leading towards Varaždin. During the accessibility analysis an elongation of the best accessibility areas is clearly noticed along principal (main) roads, especially using the time-consuming distance as a criterion.

Computer application provided several advantages over usual graph theory application. The main ones are the possibility of analysing far larger networks as well as the data processing speed.

We emphasize the importance of the database formed during the network analysis. Spatial database can be updated, enlarged and connected with the other geographical data levels (demographical, economical etc.).

Primljeno: 22. rujna 1994.

Received: September 22, 1994