

Primena fuzzy logike u merenju saobraćajnih zagušenja – primer dela mreže grada Beograda

Autor: Ana Trpković, dis

Saobraćajni fakultet,
Univerzitet u Beogradu

Rezultat rada na projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije br. 15002

Šta su saobraćajna zagušenja?



Kada nastaju saobraćajna zagušenja?

- kada saobraćajna mreža ne može da prihvati saobraćajni zahtev sa adekvatnom brzinom,
- kada je izražena heterogenost saobraćajnog toka i
- kada je upravljački proces neprilagođen trenutnim uslovima u saobraćaju.

Uzročnici zagušenja

Osnovnim uzročnikom zagušenja može se smatrati prostorna razdvojenost poslovnog prostora, škola, trgovine..., od mesta stanovanja.

Uzroke zagušenja možemo naći u tri vremenska preseka (Rothenberg, 1986):

- duži (koordinacija u razvoju, namena površina),
- srednji (socio-ekonomski, institucionalno-politički, metodološki) i
- kraći (predvidivi, nepredvidivi).

Priroda, lokacija i jačina zagušenja određena je prostornim razmeštajem aktivnosti i načinom na koji se do njih stiže.

Izmeritelji zagušenja

- Izmerene vrednosti mogu biti:
 - parametri saobraćajnog toka koji predstavljaju iskustvo korisnika sistema (vreme putovanja, zastoji, dužina reda);
 - parametri koji predstavljaju karakteristike samog saobraćajnog toka (gustina, protok..);
- U literaturi se kao „osnovni“ izmeritelji navode (Lomax, i ostali, 1997):
 - vreme putovanja i
 - vremenski gubici (zastoji).
- Najpopouarnija mera saobraćajnog zagušenja - *nivo usluge (NU)* u kojoj se odnos između ponude i potražnje meri kroz jednu od šest ponuđenih klasa od A do F (Highway Capacity Manual, 2000).
- Mnogi drugi izmeritelji se koriste i korisni su u različitim saobraćajnim situacijama: RCI - road congestion index, relative delay rate, congestion index, itd. Oni su proizvod istraživačkog rada raznih autora (Shrank; Lomax, D'Este, Taylor..).

Nedostaci klasičnih izmeritelja

- nepreciznost prikupljenih (snimljenih) podataka sa terena;
- postojanje veoma tačnih granica u vrednovanju izmeritelja (što je u suprotnosti sa karakteristikama same pojave i snimljenih podataka), a može dovesti do izvođenja pogrešnih zaključaka;
- izmeritelji zagušenja najčešće reprezentuju samo jednu od karakterisitka procesa zagušenja, a najčešće se sagledavaju vreme putovanja i zastoje;
- faktori koji reprezentuju korisnikovu percepciju o prihvatljivosti tj. neprihvatljivosti uslova odvijanja saobraćaja nisu uključeni, itd.

Primena fuzzy logike u merenju zagušenja

Karakteristike samog procesa zagušenja ukazuju na činjenicu da se radi o višedimenzionalnom problemu čije promenjive najčešće nemaju precizno definisane vrednosti, ili ih je teško izmeriti. Rešavanje takve vrste problema je moguće primenom fuzzy logike koja to omogućava svojim „maglovitim“ (*vague*) pristupom.

Pojedini autori su već razmatrali mogućnosti primene fuzzy logičkih sistema u rešavanju problema (merenja)zagušenja (Hawas, 2007; Lu,Cao, 2003; Hamad, Kikuchi,2002;...), a pozitivni rezultati do kojih su došli ukazuju da bi istraživanja u tom pravcu trebalo nastaviti.

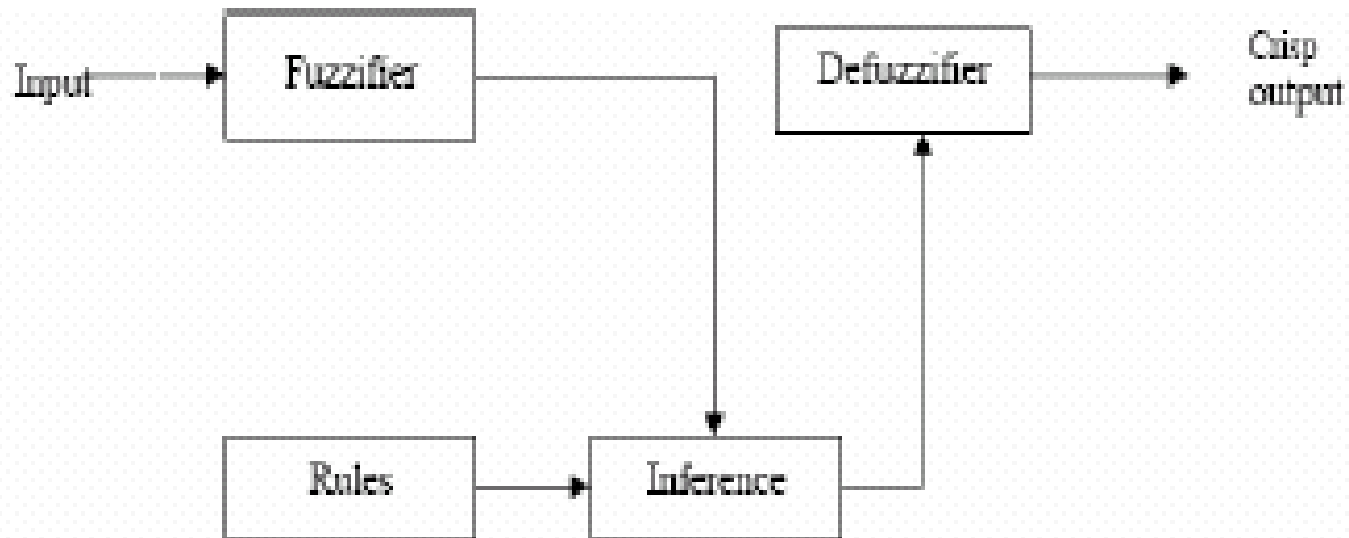
Fuzzy logički sistemi

- Originalna ideja donošenja odluka na bazi nepreciznih, lingvističkih, kvalitativnih podataka, potiče od Zadeha (1973). Ulazne i izlazne promenljive su lingvističke promenljive, dok je izlazni rezultat dat u kontinualnoj formi. Modeli zasnovani na fazi logici sastoje se od *IF (AKO) – THEN (TADA)* pravila:

FUZZY PRAVILO: AKO x jednako **A**, TADA y jednako **B**,

- Fuzzy logički sistemi nastali su kao posledica pokušaja da se modelira čovekovo razmišljanje, iskustvo i intuicija u procesu donošenja odluka.
- Mandel (1995), FLS predstavlja nelinearno preslikavanje vektora ulaznih podataka u vektor izlazne promenljive.

Osnovni elementi fuzzy logičkog sistema



Predloženi fuzzy model

Fuzzy logički sistem koji je prezentovan u ovom radu predstavlja modifikovani model koji su preložili Hamad i Kikuchi (2002), a sastoji se od:

- definisanja i proračuna ulaznih promenljivih,
- klasifikovanja vrednosti u odgovarajuće grupe,
- definisanje različitih stanja zagušenja i
- određivanje izlazne promenljive - *Indeksa zagušenja*

Predloženi fuzzy model

Ulazne promenljive :

- Odnos brzina putovanja na posmatranoj deonici:

$$\text{Odnos brzina putovanja} = \frac{(\text{Slobodna brzina} - \text{Eksploataciona brzina})}{\text{Slobodna brzina}}$$

- Odnos vremenskih gubitaka i ukupnog vremena putovanja na posmatranoj deonici:

$$\text{Učešće vremenskih gubitaka} = \frac{\text{Vremenski gubici na deonici}}{\text{Ukupno vreme putovanja}}$$

Predloženi fuzzy model

Izlazna promeljiva je definisana preko ***Indeksa zagušenja***, a njena vrednost je rezultat zaključivanja fuzzy logičkog sistema.

Ona zapravo označava jačinu zagušenja na posmatranoj deonici. Vrednosti izlazne promenljive se nalaze u intervalu $[0, 1]$. Ove vrednosti u sebi nose informaciju o stepenu zagušenosti saobraćajnog toka u posmatranoj situaciji.

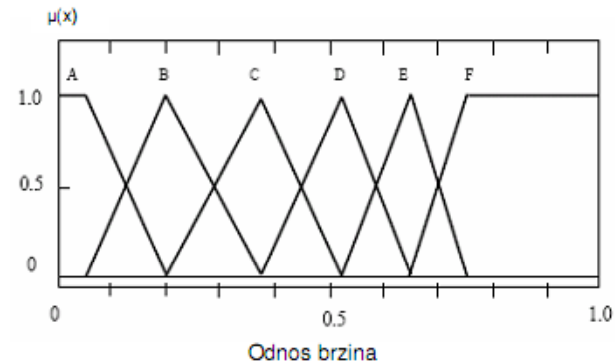
Klasifikacija vrednosti promenljivih

Svaku od vrednosti ulaznih promenljivih (dobijenu snimanjem podataka sa terena), potrebno je „*fuzzyfikovati*“.

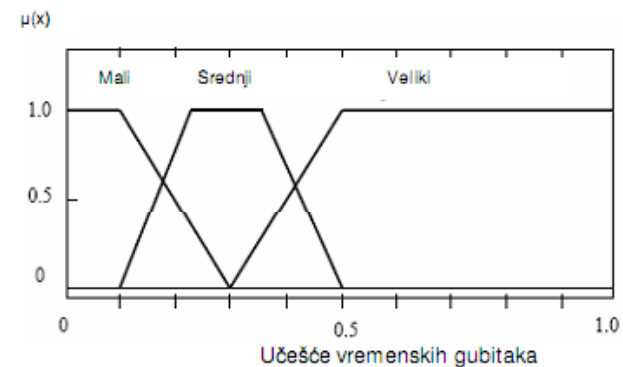
U ovom procesu se jedinstvene numeričke vrednosti dobijene istraživački radom pretvaraju u opisne promenljive, predstavljene fuzzy skupovima koji nemaju precizno definisane granice.

Klasifikacija vrednosti promenljivih

1. Vrednosti **prve ulazne promenljive** su u ovom primeru definisane kroz šest fuzzy skupova od A (najbolji) do F (najlošiji), a u korelaciji sa vrednostima *nivoa usluge (NU)* definisanim za gradske i prigradske saobraćajnice prema metodologiji HCM-a, (Highway Capacity Manual, 2000).



2. **Druga ulazna promenljiva** definisana je kroz tri fuzzy skupa koji označavaju: MALO, SREDNJE I VELIKO, procentualno učešće vremenskih gubitaka u ukupnom vremenu putovanja.



Klasifikacija vrednosti promenljivih

Izlazna promenljiva promenljiva koja označava jačinu zagušenja ili stepen zagušenja definisana stepen je kroz četiri fuzzy skupa: MALI, SREDNJI, VELIKI I VRLO VELIKI, stepen zagušenja.

Granice ovih fuzzy skupova su prilično rastegljive, a trebalo bi da oslikavaju realnu situaciju na mreži.



Aproksimativno rezonovanje

Baza fuzzy pravila za proračun *Indeksa zagušenja* generisana je na osnovu UNFUZZY softverskog programa (Duarte, 1998) i već pomenutog modela (Hamad, Kikuchi, 2002). Generisano je 18 fuzzy pravila prikazanih u Tabeli:

		Odnos brzina					
		A	B	C	D	E	F
Učešće zastoja	Mali	Mali	Mali	Srednji	Srednji	Veliki	Veliki
	Srednji	Mali	Srednji	Srednji	Veliki	Veliki	Vrlo veliki
	Veliki	Srednji	Srednji	Veliki	Veliki	Vrlo veliki	Vrlo veliki

Izlazna fuzzy promenljiva, koja je predstavljena *Indeksom zagušenja* dobijena je *max-min kompozicijom* (Pappis, Mamdani, 1977). Izračunavanje tačne vrednosti izlazne promenljive je dobijeno primenom *centra gravitacije* kao defazifikatora.

Primena FLS u merenju zagušenja - Primer dela mreže grada Beograda

Prezentovan je proces utvrđivanja *Indeksa zagušenja* predloženim fuzzy modelom, a na bazi realnih podataka sa mreže grada Beograda, kao i njihova analiza i dobijeni rezultati.

Ispitivanje fuzzy modela vršeno je prema podacima sa terena na dva snimljena poteza:

- POTEZ 1: Braće Jerković – Trg republike
- POTEZ 2: Karaburma – Novi Beograd

POTEZ 1

Braće Jerković – Trg republike



POTEZ 2

Karaburma – Novi Beograd



Primena FLS u merenju zagušenja - Primer dela mreže grada Beograda

- Ulazne promenljive koje figurišu u fuzzy modelu dobijene su proračunima na osnovu podataka iz projekta „Istraživanje karakteristika saobraćaja na osnovnoj mreži grada Beograda“(Grupa autora, 1984-2006) iz 2006. godine.
- Vrednosti proračunatih ulaznih promenljivih su klasifikovane u odgovarajuće fuzzy skupove prema već predstavljenom modelu.
- Fuzzy logičko zaključivanje obavljeno je unosom pojedinačnih parova vrednosti ulaznih promenljivih u softverski paklet UNFUZZY “(Duarte, 1998) u kome se, prema već promovisanim pravilima i definisanom načinu zaključivanja (max - min) i defazifikacije (centar gravitacije), vrši proračun vrednosti izlazne promenljive,tj. *Indeksa zagušenja*.

Rezultati – POTEZ 1

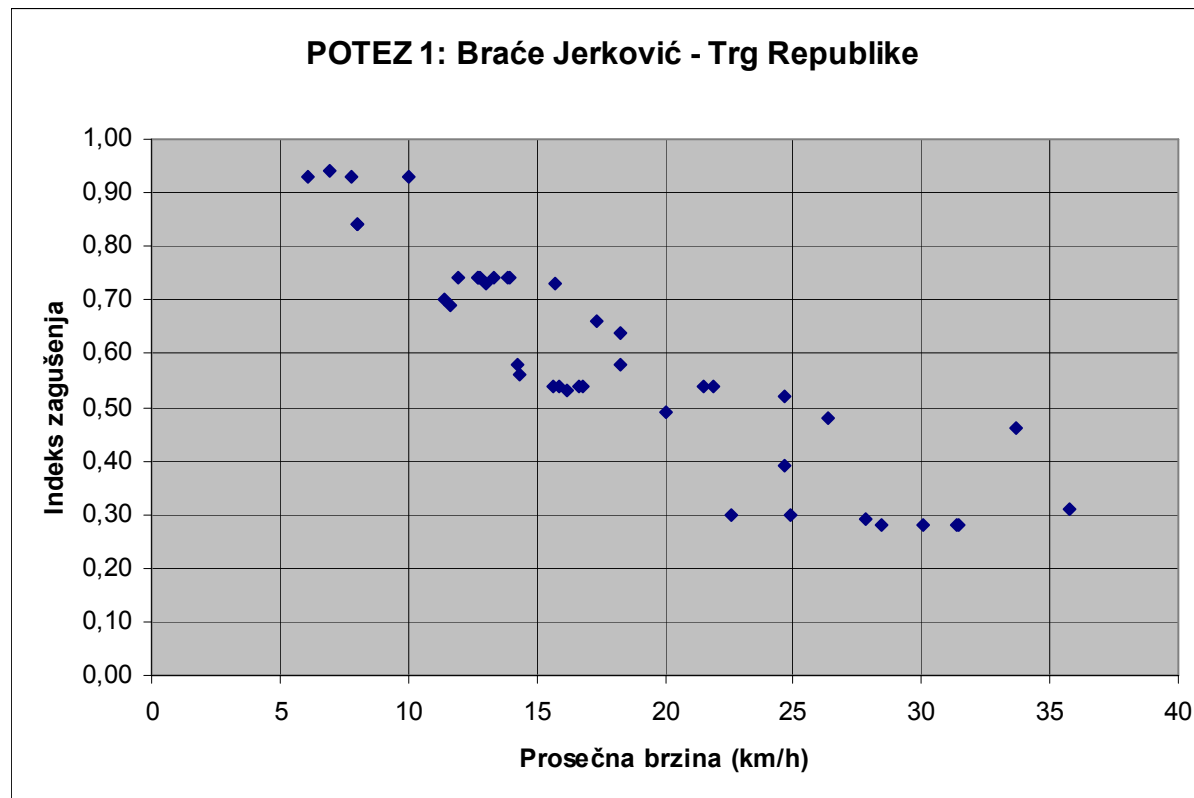
PREPODNEVNI VRŠNI PERIOD								
R.br. deonice	Dužina deonice (m)	Slobodna brzina (km/h)	Ukupno vreme putovanja (s)	Eksploataciona brzina (km/h)	Vremenski gubici (s)	Odnos brzina	Učešće gubitaka	Indeks zagušenja
1	720	50	61,00	42,49	5,00	0,15	0,08	0,08
2	1995	50	280,00	25,65	118,00	0,49	0,42	0,51
3	365	50	29,00	45,31	0,00	0,09	0,00	0,08
4	1115	50	140,00	28,67	37,00	0,43	0,26	0,44
5	375	50	43,00	31,40	0,00	0,37	0,00	0,28
6	395	50	106,00	13,42	60,00	0,73	0,57	0,79
7	250	50	60,00	15,00	18,00	0,70	0,30	0,50
8	520	50	109,00	17,17	50,00	0,66	0,46	0,74
9	630	50	58,00	39,10	0,00	0,22	0,00	0,16
10	690	50	110,00	22,58	39,00	0,55	0,35	0,53
11	695	50	80,00	31,28	10,00	0,37	0,13	0,28
12	615	50	50,00	44,28	0,00	0,11	0,00	0,08
13	725	50	77,00	33,90	0,00	0,32	0,00	0,27
14	765	50	119,00	23,14	30,00	0,54	0,25	0,54
15	765	50	68,00	40,50	0,00	0,19	0,00	0,08
16	820	50	124,00	23,81	14,00	0,52	0,11	0,33
17	765	50	152,50	18,06	41,00	0,64	0,27	0,54
18	725	50	104,00	25,10	30,00	0,50	0,29	0,54
19	615	50	82,50	26,84	16,00	0,46	0,19	0,50
20	695	50	87,50	28,59	5,50	0,43	0,06	0,29
21	690	50	121,50	20,44	51,00	0,59	0,42	0,61
22	1170	50	522,00	8,07	339,50	0,84	0,65	0,94
23	525	50	128,50	14,71	34,00	0,71	0,26	0,58
24	395	50	34,50	41,22	0,00	0,18	0,00	0,08
25	375	50	82,50	16,36	30,00	0,67	0,36	0,61
26	1115	50	86,50	46,40	7,00	0,07	0,08	0,08
27	350	50	35,50	35,49	5,00	0,29	0,14	0,27
28	1985	50	141,00	50,68	0,00	0,00	0,00	0,08
29	700	50	116,00	21,72	40,00	0,57	0,34	0,55
POPODNEVNI VRŠNI PERIOD								
1	720	50	83,50	31,04	11,00	0,38	0,13	0,28
2	1995	50	501,50	14,32	223,00	0,71	0,44	0,73
3	365	50	117,00	11,23	62,00	0,78	0,53	0,75
4	1115	50	331,00	12,13	0,00	0,76	0,00	0,69
5	375	50	214,50	6,29	11,00	0,87	0,05	0,69
6	395	50	152,50	9,32	0,00	0,81	0,00	0,69
7	250	50	69,00	13,04	34,00	0,74	0,49	0,74
8	520	50	102,50	18,26	24,00	0,63	0,23	0,54

Rezultati – POTEZ 2

PREPODNEVNI VRŠNI PERIOD								
R.br. deonice	Dužina deonice (m)	Slobodna brzina (km/h)	Ukupno vreme putovanja (s)	Eksploataciona brzina (km/h)	Vremenski gubici (s)	Odnos brzina	Učešće gubitaka	Indeks zagušenja
1	720	50	61,00	42,49	5,00	0,15	0,08	0,08
2	1995	50	280,00	25,65	118,00	0,49	0,42	0,51
3	365	50	29,00	45,31	0,00	0,09	0,00	0,08
4	1115	50	140,00	28,67	37,00	0,43	0,26	0,44
5	375	50	43,00	31,40	0,00	0,37	0,00	0,28
6	395	50	106,00	13,42	60,00	0,73	0,57	0,79
7	250	50	60,00	15,00	18,00	0,70	0,30	0,50
8	520	50	109,00	17,17	50,00	0,66	0,46	0,74
9	630	50	58,00	39,10	0,00	0,22	0,00	0,16
10	690	50	110,00	22,58	39,00	0,55	0,35	0,53
11	695	50	80,00	31,28	10,00	0,37	0,13	0,28
12	615	50	50,00	44,28	0,00	0,11	0,00	0,08
13	725	50	77,00	33,90	0,00	0,32	0,00	0,27
14	765	50	119,00	23,14	30,00	0,54	0,25	0,54
15	765	50	68,00	40,50	0,00	0,19	0,00	0,08
16	820	50	124,00	23,81	14,00	0,52	0,11	0,33
17	765	50	152,50	18,06	41,00	0,64	0,27	0,54
18	725	50	104,00	25,10	30,00	0,50	0,29	0,54
19	615	50	82,50	26,84	16,00	0,46	0,19	0,50
20	695	50	87,50	28,59	5,50	0,43	0,06	0,29
21	690	50	121,50	20,44	51,00	0,59	0,42	0,61
22	1170	50	522,00	8,07	339,50	0,84	0,65	0,94
23	525	50	128,50	14,71	34,00	0,71	0,26	0,58
24	395	50	34,50	41,22	0,00	0,18	0,00	0,08
25	375	50	82,50	16,36	30,00	0,67	0,36	0,61
26	1115	50	86,50	46,40	7,00	0,07	0,08	0,08
27	350	50	35,50	35,49	5,00	0,29	0,14	0,27
28	1985	50	141,00	50,68	0,00	0,00	0,00	0,08
29	700	50	116,00	21,72	40,00	0,57	0,34	0,55

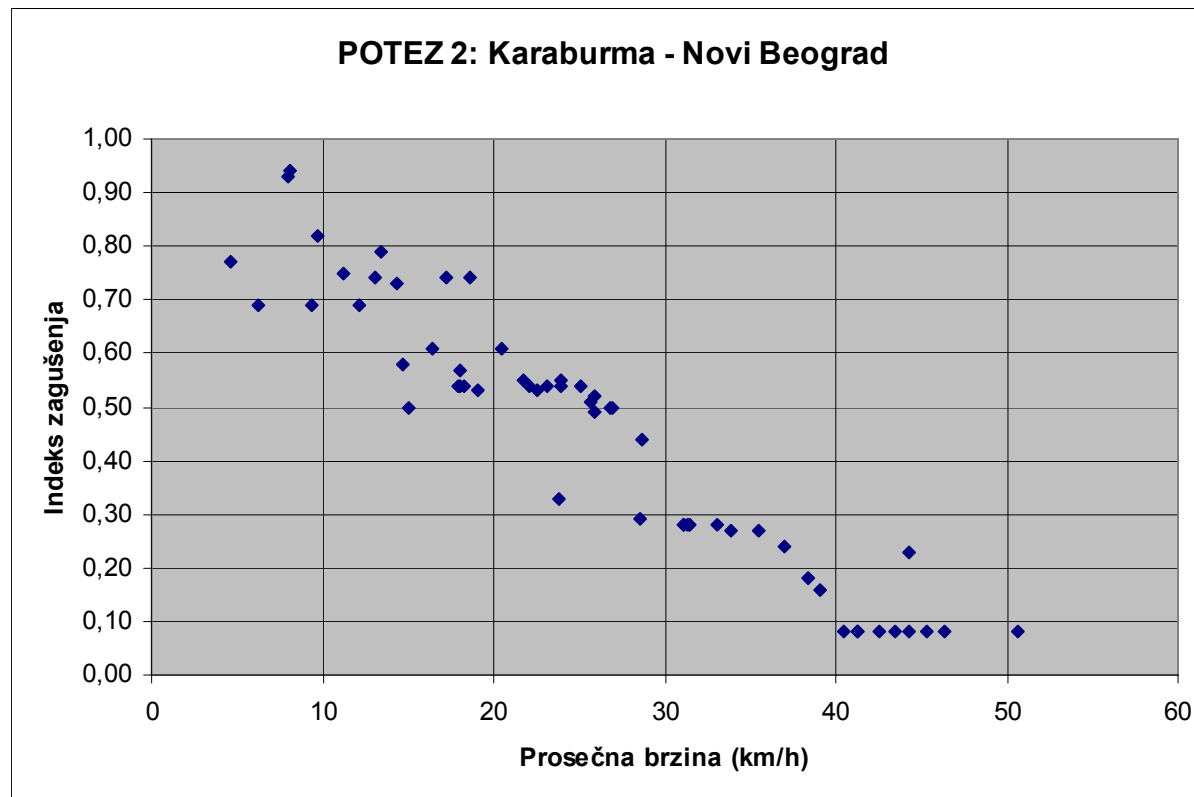
Rezultati – POTEZ 1

Odnos prosečne deonične brzine i *Indeksa zagušenja*



Rezultati – POTEZ 2

Odnos prosečne deonične brzine i *Indeksa zagušenja*



Zaključci

- Prikazan je model fuzzy logičkog zaključivanja sa dve ulazne fuzzy promenljive, koje reprezentuju izmeritelje saobraćajnog zagušenja, a kao rezultat procesa aproksimativnog rezonovanja dobija se jedna vrednost, novi izmeritelj, koji u sebi sadrži karakteristike oba ulazna inputa.
- Osim teorijske postavke modela izvršena je i provera modela na osnovu podataka iz istraživanja sa mreže grada Beograda, uz korišćenje softverskog paketa UNFUZZY (Duarte, 1998). Dobijeni rezultati su optimistički.
- Naredne aktivnosti bi trebalo usmeriti:
 - ka proširenju prostora istraživanja samog modela,
 - u pravcu uvođenja većeg broja ulaznih promenljivih, čime bi se opis saobraćajne situacije što više približio realnim uslovima.
- U tom slučaju *Indeks zagušenja* (ili neka druga mera) bi mogao postati jedan i jedinstven izmeritelj koja sadrži osobine svih potrebnih i praktično dostupnih mera saobraćajnog zagušenja.

HVALA NA PAŽNJI