

## **NEDOSTACI I PREDNOST SAOBRAĆAJNE MREŽE U BEOGRADSKOM REGIONU**

**Aleksandar Valjarević<sup>1</sup>, Miško Milanović<sup>1</sup>**

**Apstrakt:** Geografski informacioni sistem (GIS) i numerička analiza mogu dati zadovoljavajuće rezultate u analizi svojstva saobraćaja. Beograd predstavlja prostor najveće populacije u Republici Srbiji. Ovaj region je podeljeno u 17 opština, neke od njih nisu podjednako povezane saobraćajnom mrežom. U ovom radu smo analizirali svojstva saobraćajne mreže, sistem javnog prevoza i disperziju stanovništva u regionu Beograda. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku, trenutni broj stanovnika u gradu iznosi oko 1,6 miliona, stopa stanovništva raste za 0,46% godišnje. Ova situacija predstavlja veliki problem za javni prevoz, pogotovo zato što Beogradski region nema izgrađen metro sistem. Ostali nedostaci saobraćaja predstavljaju se kroz vrlo slabu povezanost između drumskog i železničkog saobraćaja i mali broj noćnih linija. Pomoću naprednog GIS-a i numeričke analize moramo odgovoriti na mnoga pitanja? Koja je budućnost saobraćajnog sistema u regionu i na koji način se mora promeniti.

**Ključne reči:** region Beograda, sistem saobraćajne mreže, GIS, numerička analiza.

## **THE DISADVANTAGES AND ADVANTAGE OF THE TRAFFIC NETWORK IN THE REGION OF BELGRADE**

**Abstract:** Geographical Information System (GIS) and numerical analysis may give satisfactory results in the analysis of traffic properties. Belgrade presents a large area of the population in the Republic of Serbia. This region is divided into 17 municipalities, but some of them are not equally connected with traffic networks. In this paper, we analyzed the properties of the traffic networks, the public transport system and dispersion of population in the region of Belgrade. According to data available from the Statistical Office of the Republic of Serbia, the current, total number of citizens in the city is about 1.6 million and the population rate increases by 0.46% per year. This situation presents a big problem for public transport, especially because the region of Belgrade doesn't have built metro system. Other disadvantages present very low connectivity between road and railway traffic and small number of night lines. With advanced GIS and numerical analysis, we must answer to many questions? Which is the future of the traffic system in the region and in which way must be changed.

**Key words:** region of Belgrade, traffic network system, GIS, numerical analysis.

### **UVOD**

Beograd je glavni grad Republike Srbije. Region Beograda je podeljen na 17 opština. Neke od opština pripadaju ruralnom obliku, opštine u centralnom nukleusu su urbane. Opštine

---

<sup>1</sup> University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, 11000 Belgrade, Serbia, e-mail: avaljarevic@gef.bg.ac.rs

## ***Nedostaci i prednost saobraćajne mreže u Beogradskom regionu***

---

centralne zone su: Stari Grad, Voždovac, Savski Venac, Zvezdara, Novi Beograd, Palilula, Vračar, Čukarica, Zemun, Rakovica. Opštine koje pripadaju spoljnom pojasu su: Barajevo, Grocka, Lazarevac, Mladenovac, Obrenovac, Sopot, Surčin. Glavni problemi o kojima se raspravlja u ovom radu su nedovoljna saobraćajna povezanost između opština. Površina regiona Beograda iznosi 3327 km<sup>2</sup>. Na osnovu plana infrastrukture razvoja regiona u kojem se posmatra i razvoj budućeg metroa, razvoj saobraćaja biće u konstantnoj promeni. U poslednjih dvadesetak godina region Beograda je u konstantnom porastu po broju stanovnika. Beograd po najnovijoj proceni ima 1,6 miliona stanovnika, populacija svake godine raste za 0.51% (Simić, 1974; Statistical Office of the Republic of Serbia, 2015). U jednom suprotnom procesu, porast nove saobraćajne strukture je u konstantnom padu. Naročito se to odnosi na železničku i tramvajsku mrežu. Po dostupnim statističkim podacima region Beograda ima 10% tramvajske i 27% železničke mreže, izražene u kilometrima. Ostala infrastruktura pripada drumskoj. Geografski Informacioni Sistem (GIS) i numerička analiza mogu dati zadovoljavajuće rezultate. GIS može biti uzet u različitim oblastima geoprostorne analize sa posebnim osvrtom na putnu infrastrukturu (McLafferty, 2003; Bartie i dr., 2006). U ostalim istraživanjima saobraćaja koriste se GIS da istražuje zagađenost, sa posebnim osvrtom na zvučnu zagađenost (Laohasirivong i dr., 2018). GIS platforma koja se može implementirati u ovom istraživanju, odnosila se na dostupnost glavnih saobraćajnih čvorova u gradovima u Južno-Afričkoj Republici (De Jong i Ritsema 1999). GIS je pogodan u proučavanju saobraćaja jer koristi interaktivne informacije kao što su: karte, tabele, grafovi. Sve ovo može biti korisno za proučavanje određenog geoprostora (Najafabadi, 2009). Ostale prednosti GIS-a su mogućnost planiranja najkraćeg puta u prostoru grada. Problemi gustine saobraćaja, najkraćeg puta, preopterećenost saobraćajne mreže, mogu se rešavati korišćenjem topologije, statističke i numeričke analize. Uz pomoć svih nabrojanih analiza, moguće je rešavati unutar geoprostora kvantitativne i kvalitativne odlike saobraćaja i saobraćajnih komunikacija (You i dr., 1996). Ostale prednosti GIS i numeričke analize su njihova mogućnost da se prilagode ispitivanju geometrije saobraćaja u nameni izračunavanja gustine saobraćaja (Gualtieri i Tartaglia, 1998). Realan problem najkraćeg puta može se rešavati uz pomoć stohastičkih jednačina kao i uz pomoć logičkih mreža unutar prostora. U radu su u Samari (Rusija), primenjene nabrojane metode da bi se rešio realni problem saobraćaja u gradu. U radu je razmatrana uloga semofora kao i svih raskrnica u realnom vremenu (Agafanov i Myasnikovab, 2016). Ulice unutar grada se mogu predstaviti kao aksiolna ravan koja ima oznaku korelacije koeficijenta ( $R^2$ ), ovaj koeficijent ako je veći od 0,8 može ukazati na preopterećenost saobraćaja. Grupa autora je proučavala ulice Hon Konga koje se smatraju jednim od najzakrčenijih. U radu je kao reperna paralelna analiza uzeta GIS i geografska analiza (Jiang i Liu, 2009). GIS osim što ima funkciju analize prostora, on ima i mogućnost analize zagađivača prostora. U radu koji proučava Kineske gradove u narastanju, proučavan je predikcioni model koji pokazuje kako će se ponašati buka u rasponu od 0.8 dBA to 2.1 dBA. Model je razrađen uz pomoć bufer GIS analize (Li i dr., 2002). GIS može sa lakoćom da rešava i saobraćajne nezgode u prostoru kao i da pokušava da sve te probleme predstavi u realnom vremenu. Google mape imaju u sebi mogućnost da ažuriraju određene nezgode u prostoru u približno realnom vremenu. Uz pomoć GIS analizatora koji proučava sve čvorove u prostoru radi se analiza prostora i saobraćajnica u gradu (Huang i Pan, 2007). Isključujući GIS analizu koja uključuje analizu geoprostora, postoji izvedena GIS analiza koja se odnosi na gravitacijski adaptirani model. Model prostorne analize koji uključuje, prostorne odnose između saobraćajnica je značajan za narastajući grad. Dostupnost transportne mreže je značajan faktor da se sa boljim urbanističkim planom sačuva energetska efikasnost (Handy, 1997). Saobraćaj i relacije unutar prostora u kojem je saobraćaj mogu se meriti i dostupnošću pešaka do stanice. Nisu svi stanovnici jednog grada u mogućnosti da priušte saobraćajne resurse (od vrata do vrata), već su upućeni na resurse javnog gradskog prevoza. Dostupnost saobraćajnim sredstvima pokazuje mobilnost samog saobraćaja uopšte (De Jong i dr. 1991). Adaptirani gravitacijski model može se primeniti kroz algoritme u većini GIS softvera. Gravitacijski model u proučavanju saobraćaja primenjuje se već više od 100 godina. Njutnov zakon gravitacije koji je adaptiran, modifikovan kroz istoriju više puta menjan, može se danas veoma uspešno koristiti u analizi saobraćaja. Ovaj algoritam koji se primenjuje kroz softver otvo-

renog koda dao je zadovoljavajuće rezultate (Niedercorn i Bechdolt, 1969; Rodrigue i Comtois, 2013). GIS analiza se uspešno može prikazati kroz razne vidove vizuelizacije. Tako se dobija digitalna predstava odnosa u prostoru koja može poboljšati razumevanje odnosa saobraćaja unutar jednog regiona kao i njegovo bolje mapiranje, odnosno digitalizacija koja se sprovodi GIS-om (Valjarević i dr., 2018).

## METODOLOGIJA RADA

U radu su korišćene savremene metode i alati. Od sledećih metoda treba izdvojiti, kartografski metod, metod numerički analize, metod bafer analize, modifikovan gravitacijski algoritam, kriging GIS analizu. Alati koji su korišćeni pripadaju alatima numeričke GIS analize. Od GIS softvera, svakako treba izdvojiti softvere koji su korišćeni u analizi saobraćajne mreže regiona Beograda, to su: QGIS Kvantum Geografski Informacioni sistem, SAGA-Sistem za automatsku geonaučnu analizu, Grass-GIS-Grass Geografski Informacioni Sistem. Podaci o prostornom raspodelu ulica preuzeti su sa oficijalnog sajta Geodetskog zavoda Republike Srbije (<http://en.rgz.gov.rs/>). Ostale kartografske podloge koje su se koristile u radu, predstavljaju topografske karte (TK), u razmerama 1:25,000 i 1:50,000. Ove karte koje pokrivaju sa podlogama celu teritorija regiona Beograda date su u analognoj formi, pa se pristupilo procesu vektorizacije i digitalizacije. Proces vektorizacije sproveden je uz pomoć metoda georeferenciranja, gde su sve topografske karte georeferencirane i prebačane u projekciju WGS 84, Poprečna Merkatorova. Posebna pažnja pri digitalizaciji analognih (rasterskih karata), se odnosila na digitalizaciju svih stambenih objekata kao i digitalizaciju svih saobraćajnih komunikacija (Valjarević i dr., 2018). Softver koji je uradio najveći deo posla QGIS 3.2 ima u sebi implementiran dodatak AequilibraE koji služi za analizu svih elemenata saobraćajne mreže. Ovaj dodatak pripada specijalnim i naprednim GIS algoritmima. Već je bilo reči da je u radu korišćena modifikovana formula gravitacijskog zakona. Formula koja je uzeta a kasnije implementirana u QGIS glasi:

$$F_{AB} = \frac{\gamma \times m_A \times m_B}{d_{AB}} \quad (1)$$

Interakcija između dva grada ili između dva dela grada, predstavljena je gravitacijskom silom (F). Ova sila je aktivna između dve tačke koje su označene slovima A i B. Ova slova predstavljaju gustinu naseljenosti sa svojim masama, odnosno veličinu populacije, označavaju se slovima  $m_A$  i  $m_B$ . Modifikovana gravitaciona konstanta koja predstavlja međusobno privlačenje dva naselja označava se slovom  $\gamma$ . Ako je konstanta negativna onda nema privlačenja dva naselja (delova) naselja, ako je pozitivna onda ima privlačenja (Ports i dr., 2006). Dalje raščlanjivanje formule može ići u sledećem pravcu:

$$I_{AB} = k \frac{P_A P_B}{d^2} \quad (2)$$

$I_{AB}$  -predstavlja formu prostornog privlačenja. P -predstavlja poulaciju dva naselja (delova naselja) koja se privlače. K-predstavlja specifičan koeficijent koji se ustanovljava uz pomoć numeričkog algoritma u GIS-u. Konačna jednačina koja nam pokazuje gravitacijski uticaj dve tačke unutar prostora ima sledeći oblik:

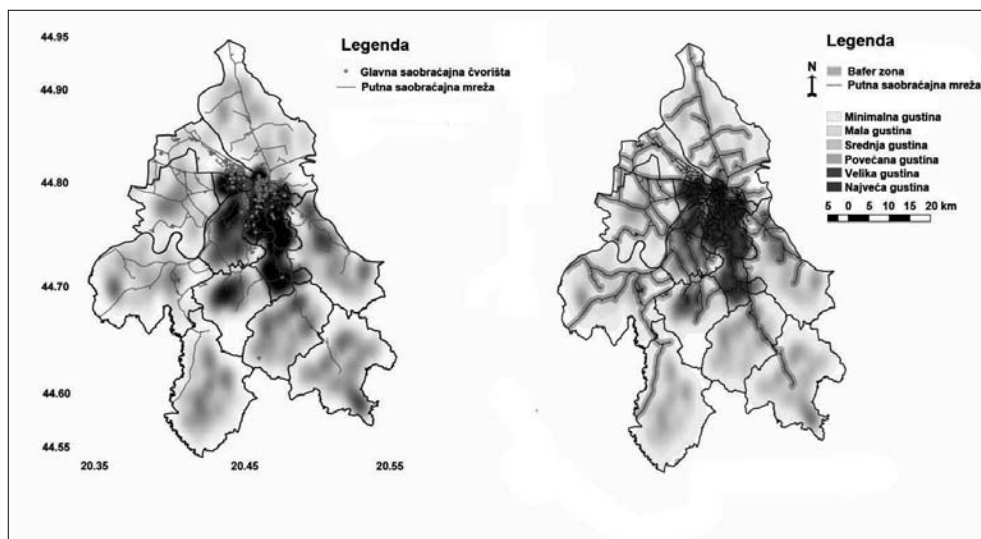
$$I_{AB} = \sum_{i,j} k \frac{V_i W_j}{C_{ij}^b} \quad (3)$$

## Nedostaci i prednost saobraćajne mreže u Beogradskom regionu

$V_i$ -predstavlja meru prostornog kapaciteta,  $W_i$ -predstavlja udaljenost same mreže unutar naselja (destinaciju),  $C_{ij}$ -je specijalna interakcija kao i generalizovana jačina same interakcije,  $b$ -predstavlja konstantu koja zavisi od merenih podataka, na taj način ona predstavlja empirijsku formulu. Na kraju sve predstavljene formule su implementirane u Geopajton kodu.

## REZULTATI

Posle detaljnih analiza koje je izvršio GIS, dobili su se rezultati koji pokazuju međusobnu saobraćajnu povezanost u regionu Beograda. Centralni delovi regiona imaju najbolju povezanost i ona se kreće od 80%-100%. Severoistočni deo regiona, sa opštinom Palilula izgradnjom Pupinovog mosta dobio je bolju saobraćajnu povezanost koja se kreće od 40%-80%. Južni i jugoistočni delovi regiona, naročito sa opštinama Sopot, Grocka imaju manju saobraćajnu povezanost koja se kreće od 20%-40%. Najmanju povezanost sa centralnim zonama ima opština Barajevo. Detaljna GIS mutikriterijumska i numerička analiza prikazuju najvažnije saobraćajne čvorove regiona u odnosu na putnu saobraćajnu mrežu (Slika 1).

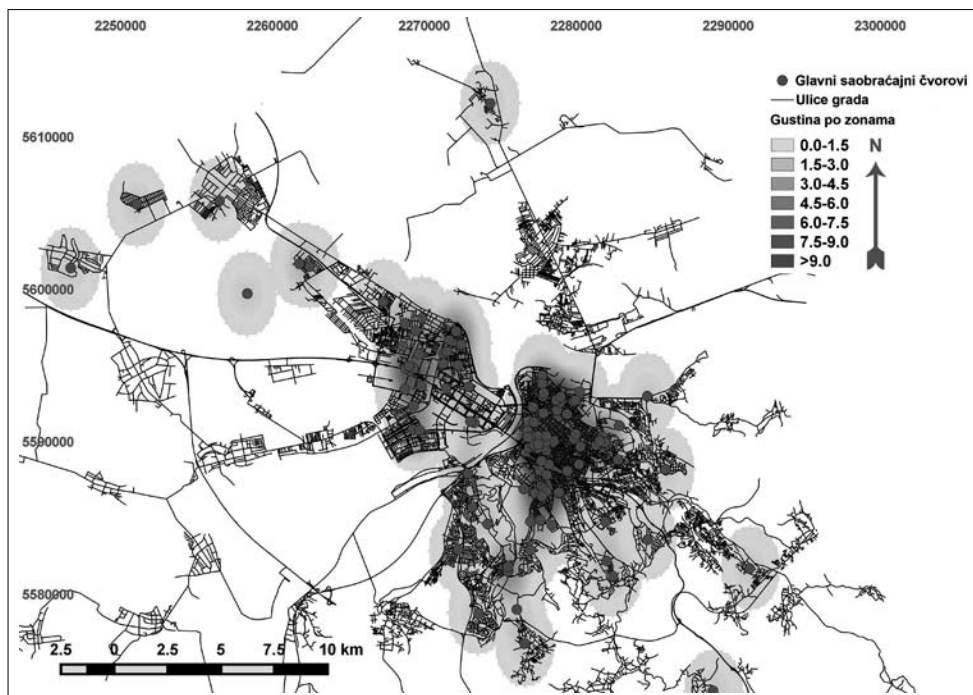


Slika 1. Položaj glavnih saobraćajnih čvorišta, zajedno sa rasporedom glavnih saobraćajnica unutar Beogradskog regiona (Izvor: Valjarević i dr., 2018)

Sa Slike 1, vidi se saobraćajna mreža regiona Beograda. GIS mutikriterijumska analiza zajedno sa kriging metodom dala je zadovoljavajuće rezultate. Sa slike posle detaljne GIS analize, primećuje se velika gustina saobraćajnica unutar centralnih gradskih opština. Ovaj gusti raspored saobraćajnica prati veliku, najveću gustinu naseljenosti unutar regiona. Kada se posmatraju vidovi saobraćaja u regionu, očigledno je da je dominantan autobuski vid saobraćaja. Tramvajski vid transporta ostvaruje svega 25% prevoz putnika i ograničen je samo na 8 opština, ima slabu propusnu moć, vezuje se za već postojeću putnu mrežu. Kada govorimo o trolebuskoj mreži, situacija je još teža, ova mreža ima svega 8% putnika. Železnički saobraćaj koji se svodi na regionalni ili gradski voz, ima veliki potencijal ali je procenat njegove zastupljenosti 17%. Najviše je zastupljen autobuski vid saobraćaja koji pokriva 50% kapaciteta. Rezultati su pokazali da je železnički vid saobraćaja veoma slabo ili slabo povezan sa ostalim vidovima saobraćaja. Noćne linije svih vidova gradskog i prigradskog

## Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja, Beograd, 2020.

prevoza u odnosu na dnevne linije imaju pad od 80% u odnosu na broj uobičajenih dnevnih linija. Gradnja metroa bi makar na dnevnom nivou poboljšala mobilnost saobraćaja u gradskim opštinama. Najmanji broj metro linija koje bi poboljšale generalno saobraćaj su dve. Ove dve potencijalne linije bi trebalo da pokriju sve četiri strane sveta.



Slika 2. Raspored glavnih drumskih saobraćajnica u centralnim zonama opština.

Sa slike 2, da se zaključiti da su opštine Stari Grad, Novi Beograd, Savski Venac jedne od najopterećenijih, kako po gustini naseljenosti, tako i po gustini saobraćajne mreže.

## DISKUSIJA

U ovom istraživanju proučavana je geoprostorna disperzija glavnih saobraćajnih čvorišta, da bi se dala detaljna analiza saobraćajne mreže regiona Beograda. Autobuske linije kao i autobuska stajališta nisu u potpunosti povezana sa saobraćajnom infrastrukturom. Sa slike 2, posle primene modifikovanog gravitacijskog algoritma, zaključeno je da najveće gravitacijsko opterećene ima zona između opština Savski Venac i Novi Beograd. Tako su Brankov i stari Savski most najpreopterećenije saobraćajnice, pokazala je to gravitacijska i numerička GIS analiza. Buduća istraživanja mogu da pokažu da li je opravdanost za izgradnju metroa, potpuno naučno i ekonomski isplativa. U svrhu sveukupne analize saobraćaja koji raste svake godine u regionu Beograda svaka analiza je dobrodošla. Za tu svrhu bilo bi neophodno uraditi detaljnu GIS analizu, kao i uzeti u obzir sve postojeće podloge, katastarske parcele, planove.

## **ZAKLJUČAK**

Saobraćajna povezanost jednog prostora pokazuje njegov značaj, razvoj i budućnost. Beogradski region koji brzo raste po broju stanovnika traži i novi saobraćajnu povezanost, infrastrukturu. Već je očigledno da više od 25% stanovnika Srbije živi u ovom regionu. Saobraćaj kao jedan od preduslova daljeg razvoja mora se detaljnije i konstantno proučavati. GIS i numeričke analize u ovom radu su pokazale koji su delovi regiona slabije povezani međusobno, kao i koje opštine imaju dobro, srednju i slabu povezanost. Numerička analiza prilagođenog gravitacijskog zakona pokazala je raspored i gustinu stanovništva u odnosu na vidove gradskog saobraćaja. Glavni saobraćajni čvorovi (stajališta), pokazuju kako su opštine međusobno povezane. Raspored i analiza saobraćaja u ovom istraživanju pokazala je kako je saobraćaj raspoređen, koji je procenat dostupnosti korisnicima i kakva je zastupljenost saobraćajne mreže.

Lista skraćenica

GIS-Geografski Informacioni Sistem, QGIS- Kvantum Geografski Informacioni sistem; SAGA- Sistem za automatsku geonaučnu analizu; Grass-GIS-Grass Geografski Informacioni Sistem. TK-Topografske karte.

## **LITERATURA**

- Agafanov, A., Myasnikov, V. (2016). Method for the reliable shortest path search in time-dependent stochastic networks and its application to GIS-based traffic control. *Computer Optics*, 40, 275-283.
- Bartie, P., Witten, K., Pearce, J. (2006). Neighbourhoods and health: a GIS approach to measuring community resource accessibility. *Epidemiology Community Health*, 60, 373-82.
- De Jong, T., Ritsema, J.R., Toppen, F. (1991). GIS as a tool for locating service centers. In: *Proceedings of the 2nd European GIS Conference*, Utrecht: EGIS, 509-517.
- De Jong, T., Ritsema, J.R. (1999). Accessibility analysis and spatial competition effects in the context of GIS supported service location planning. *Computer and Environmental Urban System*, 23, 75-89. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00016-2).
- Gualtieri, G., Tartaglia, M. (1998). Predicting urban traffic air pollution: A GIS framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3, 329-336. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(98\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(98)00011-X).
- Huang, B., Pan, X. (2007). GIS coupled with traffic simulation and optimization for incident response. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 116-132. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.06.001>.
- Handy, S.L. (1997). Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environ Planning* 29, 1175-1194. <https://doi.org/10.1068/a291175>.
- Jiang, B., Liu, C. (2009). Street based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 23, 1119-1137. <https://doi.org/10.1080/13658810701690448>.
- Laohasiriwong, W., Puttanapong, N., Singsalasang, A. (2018). Prevalence of hypertension in Thailand: Hotspot clustering detected by spatial analysis. *Geospatial Health*, 13, 20-27. doi:10.4081/gh.2018.608.

***Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja, Beograd, 2020.***

---

Li, B., Tao, S., Dawson, R.W., Cao, J., Lam, K. (2002). A GIS based road traffic noise prediction model. *Applied Acoustics*, 63, 679-691. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(01\)00066-4](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(01)00066-4).

Martin, C., Curtis, B., Fraser, C., Sharp, B. (2002). The use of a GIS based malaria information system for malaria research and control in South Africa. *Health & Place*, 8, 227-36. [https://doi.org/10.1016/S1353-8292\(02\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S1353-8292(02)00008-4).

Najafabadi, AT. (2009). Application of GIS in Health Sciences. *Medical Journal*, 10, 221-30.

Niedercorn, J.H., Bechdolt, B.V. (1969). An economic derivation of the "Gravity Law" of spatial interaction. *Journal Region Science*, 9, 273-82.

Ports S, Crucitti P, Latora V, 2006. The network analysis of urban streets: A dual approach. *Physics A: Statistical Mechanics and its Applications*, 369, 853-866.

Simić, A. (1974). Urbanization and cultural process in Yugoslavia. *Anthropological quarterly*, 2, 211-27.

You, J., Nedović-Budić, Z., John Kim, T. (1996). A GIS-based traffic analysis zone design: technique. *Transportation Planning and Technology*, 21, 45-68.

Valjarević, A., Valjarević, D., Stanojević-Ristić, Z., Djekić, T., Živić, N. (2018). A geographical information systems-based approach to health facilities and urban traffic system in Belgrade, Serbia. *Geospatial Health*, 13, <https://doi.org/10.4081/gh.2018.729>.

Valjarević, A., Djekić, T., Stevanović, V., Ivanović, R., & Jandziković, B. (2018). GIS Numerical and remote sensing analyses of forest changes in the Toplica region for the period of 1953-2013. *Applied Geography*, 92, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.016>.