

UDK: 71:913(497.11)
DOI: 10.5937/LSPUPNXI26239N
Pregledni naučni rad

RANGIRANJE CENTARA JEDINICA LOKALNIH SAMOUPRAVA RAŠKE I MORAVIČKE OBLASTI NA OSNOVU GRAVITACIONOG MODELA INDEKSA DOSTUPNOSTI

Ivan Novković¹, Marko Joksimović²

Apstrakt: Saobraćajna dostupnost centara jedinica lokalnih samouprava (JLS) ima značajan uticaj na svakodnevnu mobilnost stanovništva, pristup javnim uslugama i ukupni kvalitet života. Cilj ovog rada je analiza i rangiranje centara JLS Raške i Moravičke oblasti na osnovu gravitacionog modela indeksa dostupnosti. Analiza dostupnosti zasnovana je na odnosu između veličine populacije naselja kao pokazatelja potencijalne potražnje i vremena putovanja između centara naselja i centara JLS kao mere prostorne udaljenosti. U istraživanju su primenjena dva pristupa gravitacionom modelu: neeksponecijalni (power) model i eksponecijalni model dostupnosti. Rezultati istraživanja ukazuju na izražene prostorne razlike u dostupnosti između posmatranih centara JLS. Najviše vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u većim urbanim centrima regiona (Kraljevo, Novi Pazar i Čačak), dok su najniže vrednosti karakteristične za opštine sa manjim brojem stanovnika i perifernijim geografskim položajem. Dobijeni rezultati mogu imati značajnu primenu u regionalnom i prostornom planiranju, posebno u identifikaciji prostornih nejednakosti u dostupnosti i definisanju prioriteta razvoja saobraćajne infrastrukture.

Ključne reči: saobraćajna dostupnost, gravitacioni model, regionalno planiranje, prostorna analiza

RANKING OF LOCAL SELF-GOVERNMENT UNIT CENTERS IN THE RAŠKI AND MORAVIČKI DISTRICTS BASED ON A GRAVITY MODEL OF ACCESSIBILITY INDEX

Abstract: Transport accessibility of local self-government unit (LSGU) centers has a significant impact on the daily mobility of the population, access to public services, and overall quality of life. The aim of this paper is to analyze and rank the centers of LSGU in the Raški and Moravički districts using a gravity-based accessibility index model. The accessibility analysis is based on the relationship between the population size of settlements as an indicator of potential demand and travel time between settlement centers and LSGU centers as a measure of spatial distance. Two approaches to the gravity model were applied in the research: a non-exponential (power) model and an exponential accessibility model.

¹ Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, ivan.novkovic@gef.bg.ac.rs, <https://orcid.org/0000-0002-1706-0451>

² Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd, marko.joksimovic@gef.bg.ac.rs, <https://orcid.org/0000-0003-0892-6943>

The results indicate significant spatial differences in accessibility among the observed LSGU centers. The highest accessibility index values were determined in the larger urban centers of the region (Kraljevo, Novi Pazar, and Čačak), while the lowest values were obtained in municipalities with smaller populations and more peripheral geographical positions. The obtained results may have important application in regional and spatial planning, particularly in identifying spatial inequalities in accessibility and defining priorities for transport infrastructure development.

Key words: transport accessibility, gravity model, regional planning, spatial analysis

UVOD

Centri jedinica lokalnih samouprava (u daljem tekstu JLS) predstavljaju ključne čvorove lokalne prostorne organizacije, jer su u njima koncentrisane administrativne, obrazovne, zdravstvene i druge javne funkcije koje koriste stanovnici okolnih naselja. Nivo njihove saobraćajne dostupnosti ima značajan uticaj na svakodnevnu mobilnost stanovništva, pristup javnim uslugama i ukupni kvalitet života u ruralnim i perifernim delovima opštine. Zbog toga analiza dostupnosti centara JLS predstavlja važan element u razumevanju funkcionalne povezanosti između centralnih naselja i njihove teritorijalne pozadine.

U ovom istraživanju dostupnost centara JLS analizirana je u odnosu na naselja koja im pripadaju, pri čemu se broj stanovnika naselja posmatra kao pokazatelj potencijalne potražnje za funkcijama centra JLS, dok vreme putovanja između naselja i centra JLS predstavlja meru prostorne udaljenosti. Analiza je zasnovana na gravitacionom modelu indeksa dostupnosti, koji omogućava sagledavanje odnosa između prostorne udaljenosti i veličine populacije u proceni potencijalne interakcije između naselja i centra JLS. Gravitacioni model potencijalne dostupnosti predstavlja jednu od najčešće primenjivanih metoda u analizama prostorne interakcije i transportne dostupnosti (Tóth & Kincses, 2015).

Rezultati analiza dostupnosti imaju značajnu primenu u regionalnom i prostornom planiranju, jer omogućavaju identifikaciju prostornih nejednakosti u pristupu javnim uslugama i funkcijama centralnih naselja. Razumevanje obrazaca dostupnosti može doprineti definisanju prioriteta u razvoju saobraćajne infrastrukture, unapređenju teritorijalne kohezije i efikasnijem planiranju mreže javnih usluga na lokalnom i regionalnom nivou (Vickerman, 1995; Rodrigue, Comtois & Slack, 2020).

Kao prostor istraživanja odabrane su JLS Raške (gradovi Kraljevo i Novi Pazar, opštine Vrnjačka Banja, Raška i Tutin) i Moravičke oblasti (Grad Čačak, opštine Gornji Milanovac, Lučani i Ivanjica). Ukupna površina istraživanog prostora iznosi 6.940 km², a na njegovoj teritoriji je prema popisu iz 2022. godine živelo 485.813 stanovnika. Veliki deo prostora istraživanja pripada brdsko-planinskim predelima, za koje analiza drumskog sistema ukazuje na slabu povezanost, neodržavane deonice i sezonsku nepristupačnost kao glavne prepreke napretku. Zbog toga su modernizacija saobraćajnica, unapređenje održavanja i primena savremenih tehnologija neophodni za poboljšanje dostupnosti i podsticanje ekonomskog razvoja (Milinčić, Petrović, Milinčić & Mihajlović, 2002).

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Analiza dostupnosti centara JLS u ovom radu zasnovana je na primeni gravitacionog modela potencijalne dostupnosti, u kojem dostupnost određene lokacije zavisi od veličine populacije potencijalnih korisnika i vremena putovanja između posmatranih lokacija. Dostupnost centara JLS procenjena je u odnosu na naselja odgovarajućih jedinica lokalnih samouprava, pri čemu broj stanovnika naselja predstavlja potencijalnu potražnju, dok vreme putovanja između centara naselja i centara JLS predstavlja osnovni indikator prostorne

udaljenosti. Radi sagledavanja uticaja različitih oblika funkcije opadanja dostupnosti sa porastom vremena putovanja, u istraživanju su primenjena dva pristupa gravitacionom modelu: neekspencijalni (power) model u kojem dostupnost opada prema stepenu vremena putovanja i ekspencijalni model dostupnosti, u kojem dostupnost opada ekspencijalno sa porastom vremena putovanja. Neekspencijalni gravitacioni model indeksa dostupnosti izračunat je prema modifikovanoj verziji formule Hansena (1959):

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^\gamma}{(t_{s,i} + t_0)^\alpha}$$

Gde je P_i – broj stanovnika naselja i ; γ – elastičnost u odnosu na stanovništvo, koja kontroliše uticaj veličine populacije naselja na indeks dostupnosti i u ovom slučaju iznosi 0,7 kako bi se smanjila dominacija naselja sa većim brojem stanovnika; $t_{s,i}$ – vreme putovanja u minutima od centra naselja do centra JLS; t_0 – minimalno efektivno vreme (u minutima) koje se dodaje kako bi se uračunao i lokalni udeo putovanja do centra naselja i da bi model bio stabilniji za manje udaljenosti i u ovom slučaju iznosi 10 minuta; α – eksponent funkcije opadanja, određuje koliko snažno vreme putovanja smanjuje doprinos stanovništva naselja indeksu dostupnosti i u ovom slučaju iznosi 1,5.

Ekspencijalni gravitacioni model indeksa dostupnosti izračunat je prema modifikovanoj verziji formule Wilsona (1970):

$$I = \sum_{i=1}^n P_i^\gamma e^{-\beta t_{s,i}}$$

Gde je P_i – broj stanovnika naselja i ; γ – elastičnost u odnosu na stanovništvo, koja i u ovom slučaju iznosi 0,7; $t_{s,i}$ – vreme putovanja u minutima od centra naselja do centra JLS; β – koeficijent ekspencijalnog opadanja dostupnosti, koji određuje brzinu smanjenja doprinosa udaljenih lokacija (Chen, 2015; Levinson & Krizek, 2008), odnosno stanovništva naselja sa porastom vremena putovanja. Računa se kao količnik prirodnog logaritma broja 2 i polu-vremena dostupnosti (T_{50}), prema formuli (Stępniaik & Rosik, 2018):

$$\beta = \frac{\ln(2)}{T_{50}}$$

Polu-vreme dostupnosti (T_{50}) je vreme putovanja posle kojeg uticaj nekog naselja na opadne na polovinu u odnosu na situaciju kada je to naselje „na samom pragu“ centra JLS, u ovom slučaju. Za potrebe ovog istraživanja polu-vreme dostupnosti je definisano na 30 minuta, pa tako koeficijent ekspencijalnog opadanja dostupnosti iznosi 0,0231.

Podaci o broju stanovnika naselja istraživanih jedinica lokalnih samouprava preuzeti su iz popisa stanovnika Republike Srbije iz 2022. godine (Republički zavod za statistiku, 2023). Za proračun vremenske distance centra naselja i njima odgovarajućeg centra JLS, najpre je u QGIS softveru izvršena digitalizacija centara naselja i centara JLS, a zatim je prema tako digitalizovanim elementima napravljena matrica distanci između centara i naselja svake JLS. Za kreiranje matrice distance primenjen je dodatak „Routing with OSRM“ (Strues-maps, 2025) za QGIS softver. Primena dodatka se zasniva na proračunu vremenske ili prostorne distance između dva zadata skupa objekata (u ovom slučaju centara naselja i centara JLS) na osnovu upita Application Programming Interface (API) servisu koji sadrži

Rangiranje centara jedinica lokalnih samouprava Raške i Moravičke oblasti na osnovu gravitacionog modela indeksa dostupnosti

podatke iz Open Street Map baze. Za potrebe ovakvog proračuna koristi se odgovarajuća mreža puteva, a zatraženi podaci o vremenskoj distance u minutima pri putovanju motornim vozilom ili prostornoj distanci u kilometrima se veoma lako i brzo dobijaju u tabelarnoj formi.

Radi uklanjanja razlika u vrednostima indeksa dostupnosti dobijenih primenom neekspnencijalnog i ekspnencijalnog modela i omogućavanja njihove međusobne uporedivosti, kao i rangiranja, primenjena je linearna (min-max) normalizacija podataka. Ova metoda podrazumeva transformaciju svake vrednosti promenljive oduzimanjem minimalne vrednosti posmatranog skupa i deljenjem razlikom između maksimalne i minimalne vrednosti (Malczewski, 1999; Triantaphyllou, 2000), prema formuli:

$$I_{0-1} = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

Gde je I_{0-1} – normalizovani indeks dostupnosti; I_i – indeks dostupnosti određenog centra JLS; $I_{\min}$ – minimalna vrednost indeksa dostupnosti centara jedinica lokalnih samouprava; $I_{\max}$ – maksimalna vrednost indeksa dostupnosti centara JLS. Na ovaj način dobijaju se normalizovane vrednosti indeksa dostupnosti, koje uvek imaju vrednosti u intervalu od 0 do 1, gde vrednost 0 ima centar JLS sa najmanjim, a vrednost 1 centar sa najvećim iznosom indeksa dostupnosti. Na osnovu normalizovanih vrednosti neekspnencijalnog i ekspnencijalnog modela indeksa dostupnosti izvršeno je rangiranje centara JLS prostora istraživanja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Dobijene vrednosti indeksa dostupnosti pokazuju jasne razlike između JLS Raške i Moravičke oblasti. Najveće vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u JLS koje imaju veći broj stanovnika, povoljan geografski položaj u odnosu na raspored stanovništva i saobraćajnu mrežu, dok su najniže vrednosti karakteristične za perifernije opštine sa manjim brojem stanovnika i slabijom prostornom povezanošću. U tabelama 1 i 2 prikazane su rangirane JLS obe istraživane oblasti na osnovu dobijenih vrednosti neekspnencijalnih (tabela 1) i ekspnencijalnih (tabela 2) indeksa dostupnosti. U tabelama su date i normalizovane vrednosti indeksa, čiji je redosled vrednosti isti kao i kod vrednosti indeksa pre normalizacije, ali na osnovu kojih se lakše može izvršiti poređenje rezultata dobijenih primenom oba modela.

Tabela 1. Rangirani centri JLS prema vrednostima neekspnencijalnog indeksa dostupnosti

Red. br.	JLS	Neekspnencijalni indeks dostupnosti	Normalizovani neekspnencijalni indeks dostupnosti
1	Novi Pazar	54,8473689	1,00000
2	Kraljevo	50,7243635	0,89852
3	Čačak	40,6118774	0,64964
4	Tutin	32,7187507	0,45537
5	Raška	25,1195213	0,26834
6	Ivanjica	24,7189522	0,25848
7	Vrnjačka Banja	22,0358984	0,19244
8	Gornji Milanovac	20,7210669	0,16008
9	Lučani	14,2167896	0,00000

Tabela 2. Rangirani centri JLS prema vrednostima ekspanencijskog indeksa dostupnosti

Red. br.	JLS	Ekspanencijski indeks dostupnosti	Normalizovani ekspanencijski indeks dostupnosti
1	Kraljevo	4225,3903825	1,00000
2	Novi Pazar	3521,5541867	0,76290
3	Čačak	3336,6757558	0,70063
4	Tutin	2363,5951886	0,37283
5	Gornji Milanovac	1726,1090543	0,15809
6	Raška	1675,4283328	0,14102
7	Ivanjica	1665,1895244	0,13757
8	Vrnjačka Banja	1370,4062865	0,03827
9	Lučani	1256,8100301	0,00000

Analiza rezultata pokazuje da postoje značajne razlike u dostupnosti između pojedinih centara JLS u posmatranim oblastima. Najviše vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u većim urbanim centrima regiona. Prema neekspanencijskom modelu, najveću vrednost indeksa dostupnosti ima Novi Pazar, a drugu ima Kraljevo, dok je prema ekspanencijskom modelu najveću vrednost indeksa dostupnosti ima Kraljevo, a Novi Pazar drugu po redu. Visoke vrednosti dostupnosti zabeležene su i u Čačku. Srednje vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u centrima opština Tutin, Gornji Milanovac, Raška i Ivanjica. Njihove vrednosti indeksa ukazuju na relativno slabiju dostupnost naselja u odnosu na centre JLS, što se može objasniti njihovim geografskim položajem, manjim brojem stanovnika i nešto slabijom saobraćajnom povezanošću sa glavnim regionalnim saobraćajnim pravcima. Najniže vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u opštinama sa manjim brojem stanovnika i perifernijim položajem u okviru regiona. U analiziranom skupu posebno se izdvaja opština Lučani, koja ima najnižu vrednost indeksa dostupnosti prema oba primenjena modela.

Upoređivanjem rezultata dobijenih primenom neekspanencijskog i ekspanencijskog modela može se uočiti da oba modela daju sličan opšti prostorni obrazac dostupnosti. Iako postoje određene razlike u normalizovanim vrednostima indeksa, rangiranje većine centara JLS ostaje relativno stabilno. Ovakav rezultat ukazuje da osnovni prostorni obrasci dostupnosti nisu značajno zavisni od izbora konkretne funkcije opadanja dostupnosti, već pre svega od rasporeda stanovništva i saobraćajne strukture regiona. Razlike između dva modela mogu se objasniti različitim načinom na koji funkcije opadanja tretiraju uticaj udaljenosti. U neekspanencijskom modelu opadanje dostupnosti sa porastom vremena putovanja je sporije, što omogućava da udaljenije lokacije zadrže relativno veći doprinos ukupnom indeksu. Nasuprot tome, ekspanencijski model brže smanjuje uticaj udaljenosti, zbog čega su razlike između centralnih i perifernih jedinica lokalne samouprave izraženije. Uprkos tome, osnovna prostorna struktura dostupnosti ostaje očuvana u oba modela.

Iako rezultati ovog istraživanja pružaju korisne uvide u prostorne obrasce dostupnosti u okviru Raške i Moravičke oblasti, potrebno je ukazati na određena metodološka ograničenja koja mogu uticati na interpretaciju dobijenih rezultata. Pre svega, analiza je zasnovana na gravitacionom modelu potencijalne dostupnosti koji predstavlja pojednostavljenu aproksimaciju prostornih interakcija. U modelu se pretpostavlja da potencijalna interakcija između lokacija zavisi prvenstveno od veličine populacije i vremena putovanja, dok drugi faktori koji mogu uticati na stvarne obrasce kretanja stanovništva, kao što su ekonomske karakteristike, kvalitet saobraćajne infrastrukture, dostupnost javnog prevoza ili individualne preferencije korisnika, nisu eksplicitno uključeni u analizu.

ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je dostupnost centara JLS Raške i Moravičke oblasti primenom gravitacionog modela indeksa dostupnosti. Analiza je zasnovana na odnosu između veličine populacije naselja kao pokazatelja potencijalne potražnje i vremena putovanja kao indikatora prostorne udaljenosti između posmatranih lokacija. U cilju sagledavanja uticaja različitih oblika funkcije opadanja dostupnosti, primenjena su dva pristupa gravitacionom modelu: neeksponencijalni (power) model i eksponencijalni model dostupnosti.

Rezultati istraživanja ukazuju na postojanje izraženih prostornih razlika u dostupnosti između pojedinih centara JLS u istraživanim oblastima. Najveće vrednosti indeksa dostupnosti zabeležene su u većim urbanim centrima kao što su Kraljevo, Novi Pazar i Čačak, koji zahvaljujući većem broju stanovnika i povoljnijem položaju u okviru saobraćajne mreže imaju značajniju ulogu u regionalnoj prostornoj strukturi. Nasuprot tome, opštine sa manjim brojem stanovnika i perifernijim geografskim položajem ostvaruju niže vrednosti indeksa dostupnosti, što ukazuje na određene prostorne nejednakosti u dostupnosti centralnih funkcija.

Rezultati istraživanja mogu imati značajnu primenu u regionalnom i prostornom planiranju, jer omogućavaju identifikaciju prostornih razlika u dostupnosti centralnih naselja i ukazuju na potencijalne pravce unapređenja teritorijalne povezanosti. Analize dostupnosti ovog tipa mogu doprineti definisanju prioriteta u razvoju saobraćajne infrastrukture, unapređenju pristupa javnim uslugama i smanjenju teritorijalnih dispariteta u okviru regiona. Primena kvantitativnih metoda prostorne analize, kao što je gravitacioni model dostupnosti, predstavlja koristan analitički alat za sagledavanje prostornih odnosa i podršku donošenju odluka u procesu regionalnog razvoja i prostornog planiranja.

LITERATURA

- Chen, Y. (2015). The Distance-Decay Function of Geographical Gravity Model: Power Law or Exponential Law? *Chaos, Solitons & Fractals*, 77, 174-189. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.05.022>
- Hansen, W. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- Levinson, D., Krizek, K. (2008). *Planning for Place and Plexus – Metropolitan Land Use and Transport*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Milinčić, M., Petrović D., Milinčić, U., Mihajlović, Lj. (2025). Uloga saobraćajne infrastrukture u održivom razvoju planinskih područja Srbije – na primeru Parka prirode Golija. *Put i saobraćaj*, 71(3), 25-33. <http://dx.doi.org/10.31075/PIS.71.03.04>
- Republički zavod za statistiku (2023). Uporedni pregled broja stanovnika 1948, 1953, 1961, 1971, 1981, 1991, 2002, 2011. i 2022. godine. Dostupno na: https://popis2022.stat.gov.rs/media/31418/4_uporedni-pregled-broja-stanovnika-1948-2022.xlsx (Pristupljeno: 17. januara 2026.)
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., Slack, B. (2020). *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Stępnia, M., Rosik, P. (2018). The Role of Transport and Population Components in Change in Accessibility: The Influence of the Distance Decay Parameter. *Networks and Spatial Economics*, 18, 291-312.
- Strues-maps (2025). Routing with OSRM (Open Source Routing Machine) plugin for QGIS. Dostupno na: https://github.com/strues-maps/qgis_osrm (Pristupljeno: 19. januara 2026.)

- Tóth, G., Kincses, Á. (2015). Accessibility Models Based on the Gravity Analogy: In Theory and Practice. *Regional Statistics*, 5(1), 137-158. <https://doi.org/10.15196/RS05108>
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. New York: Springer.
- Vickerman, R. (1995). Location, Accessibility and Regional Development: The Appraisal of Trans-European Networks. *Transport Policy*, 2(4), 225-234. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(95\)00013-G](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(95)00013-G)
- Wilson, A.G. (1970). *Entropy in Urban and Regional Modelling*. Boston: Pion Limited, Addison-Wesley Publishing.