

## **PRIMENA GIS-A I KARTOGRAFSKOG METODA U IDENTIFIKACIJI UGROŽENIH PODRUČJA – PRIMER PIO AVALA I KOSMAJ**

**Nikola Smolović<sup>1</sup>**

**Apstrakt:** Erozivni procesi predstavljaju jednu od najvećih pretnji održivom korišćenju prostora, posebno u osetljivim prirodnim celinama kao što su predeli izuzetnih odlika. Rad prikazuje primenu GIS tehnologije i kartografskog metoda u analizi ugroženosti od erozije na primeru prostora PIO Avala i Kosmaj. Primenom višekriterijumske analize (AHP) integrisani su podaci o nagibu terena, geološkoj podlozi, padavinama, načinu korišćenja topografske površine i koeficijentu erozije. Identifikovane su tri zone visoke erodibilnosti: zapadne i južne padine Avale, područje Parcanskog visa i južne padine Kosmaja. U radu su razmatrane prostorno-planerske implikacije identifikovanih rizika i predložene mere zaštite. Rezultati istraživanja imaju praktičnu vrednost u donošenju prostornih planova i očuvanju prirodnih resursa.

**Ključne reči:** erozija, GIS, kartografski metod, AHP analiza, prostorno planiranje

## **APPLICATION OF GIS AND CARTOGRAPHIC METHOD IN IDENTIFICATION OF EROSION-PRONE AREAS – CASE STUDY OF PROTECTED LANDSCAPE AREAS AVALA AND KOSMAJ**

**Abstract:** Erosion processes pose a significant threat to sustainable spatial development, especially in sensitive protected areas. This paper presents the application of GIS technologies and cartographic methods in assessing erosion risk in the protected areas (landscape of outstanding features) of Avala and Kosmaj. Through multi-criteria analysis (AHP), factors such as slope, lithology, precipitation, land use and erosion coefficient were integrated. Three erosion-prone zones were identified: western and southern slopes of Avala, Parcanski Vis area, and the southern slopes of Kosmaj. The study discusses the planning implications and suggests protective measures. The findings have practical value for spatial planning and environmental conservation.

**Key words:** erosion, GIS, cartographic method, AHP analysis, spatial planning

### **UVOD**

Prostorno planiranje predstavlja jedan od ključnih instrumenata održivog razvoja, sa zadatkom da uskladi društveno-ekonomske potrebe i prirodne kapacitete prostora. Identifikacija i analiza erozivnih procesa deo su preventivnog planiranja, posebno u brdsko-planinskim predelima sa izraženom antropogenom transformacijom prostora. Erozija, kao

---

<sup>1</sup> Student MAS, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, Beograd; E-mail: smolovic.cirko@gmail.com

prirodni i ubrzani geomorfološki proces, sve češće ima izražene posledice usled klimatskih promena, smanjenja vegetacije i neadekvatnog korišćenja zemljišta. U ovom kontekstu, savremeni alati kao što su geografski informacioni sistemi (GIS) i kartografski metod omogućavaju kvantitativnu i prostornu evaluaciju ugroženosti. Istraživanjem su obuhvaćeni predeli izuzetnih odlika Avala i Kosmaj, sa ciljem da se GIS analizom i višekriterijumskim pristupom izdvoje najugroženije zone, vizualizuju procesi i predlože konkretne prostorno-planerske mere za očuvanje prostora. Poseban akcenat stavljen je na integraciju rezultata u proces donošenja prostornih planova područja posebne namene.

## **METODOLOGIJA**

1. *GIS*: Rad se oslanja na integraciju višeslojnih prostornih podataka. Korišćeni su: digitalni model terena (DMT), geološke karte, topografske karte, CORINE podaci o korišćenju topografske površine, klimatološki podaci o padavinama (2019–2023), kao i hidrografska mreža. Softveri korišćeni u obradi su QGIS 3.26.1. i ArcGIS Pro.

2. *Višekriterijumska analiza (AHP)*: Kriterijumi uključeni u analizu su: nagib terena, geološki sastav, padavine, način korišćenja zemljišta (LU/LC) i koeficijent erozije (Z). Za standardizaciju podataka korišćene su metode reklasifikacije, dok su težinski koeficijenti određeni pomoću AHP metode, uz konzistentnu matricu procene i normalizaciju rezultata.

3. *Kartografski metod*: Kartografski metod korišćen je za vizualizaciju svih prostorno-analičkih rezultata. Izrađene su tematske karte nagiba terena, geološke podloge, načina korišćenja topografske površine, padavina, koeficijenta erozije za potrebe analize i konačna karta erodibilnosti.

4. *Terenska istraživanja*: Terenska istraživanja realizovana su u sve tri detektovane zone kako bi se validirali podaci iz GIS modela. Fotografisana su erozivna žarišta, identifikovani aktivni procesi i izvršeno kartiranje erozivnih procesa i oblika.

Istraživanje obuhvata prostor predela izuzetnih odlika Avala i Kosmaj, ukupne površine 451,37 km<sup>2</sup>. Teritorija se prostire kroz četiri opštine (Voždovac, Barajevo, Sopot i Mladenovac) i obuhvata 24 katastarske opštine. U oba područja ustanovljeni su režimi zaštite (I, II i III stepen), a prisutan je intenzivan pritisak vikend-naselja i infrastrukturnih projekata.

## **EROZIVNI FAKTORI**

Faktori erozije analizirani u ovom istraživanju obuhvataju fizičko-geografske i antropogene determinante koje doprinose intenzitetu i prostornoj distribuciji erozivnih procesa.

1. *Nagib terena*: Jedan od osnovnih faktora svih geomorfoloških procesa jeste inicijalni reljef. Kao kriterijum izabran je nagib terena. Ukoliko je nagib padine veći, intenzitet erozije će biti veći, i obrnuto. Na nagnutim površinama odvija se površinska, linijska i fluvijalna erozija, a na ravnim akumulacija nanosa. Smanjenjem nagiba padine brzina oticanja vode se smanjuje, i obrnuto.

Najveću površinu zauzimaju tereni sa nagibom od 5° do 10° i oni sa nagibom ispod 5°. Jako nagnuti tereni zauzimaju veoma malu površinu (ispod 1%), što ukazuje da je istraživani prostor relativno ravan. Najnagnutiji tereni su planine Avala i Kosmaj, kao i doline Guberevačke reke, Topčiderske reke, Prutena i Bubanjski potoka.

2. *Geološki sastav*: Geološki sastav terena je jako važan modifikator erozivnih procesa. Na istraživanom prostoru su od visoko erodibilnih stena prisutna aluvijalna zemljišta oko rečnih tokova (Topčiderska reka, Rajla, Lug, Savušnica), proluvijalno - deluvijalna zemljišta (zapadne padine Kosmaja) i laporovite gline (zapadne obale Bele reke, sliv Topčiderske reke). Od srednje erodibilnih stena prisutni su laporci, glinci i alevroliti (severne padine Kosmaja), fliš (Guberevačke šume, južne padine Kosmaja) i pesčari. Stene najotpornije na eroziju su serpentiniti. Oni se rasprostiru oko Bubanjskog potoka, na istočnim i jugoistočnim padinama Avale i u manjoj meri u ataru Velike Ivanče. Pored njih, prisutni su i krečnjaci u dolini Topčiderske reke i u Kumodražu. Prisustvo lako erodibilnih stena poput fliša, lesnih nanosa i laporaca uslovljava povećanu ranjivost. Na Kosmaju i Avali ovi materijali se javljaju u kombinaciji sa slabo razvijenim zemljištem.

3. *Način korišćenja topografske površine*: Način korišćenja topografske površine ima značajan uticaj na erozivne procese, jer različite aktivnosti na zemljištu utiču na njihov intenzitet, rasprostiranje i dejstvo na podlogu. Poljoprivredne površine povećavaju rizik od erozije usled gubitka vegetacijskog pokrivača i česte obrade tla, što dovodi do povećanog površinskog oticanja. Sa druge strane, šumske površine, zahvaljujući korenovom sistemu, usporavaju protok vode i stabilizuju zemljište, čime smanjuju eroziju. Urbanizacija, međutim, značajno doprinosi eroziji kroz kreiranje nepropusnih površina kao što su asfalt i beton, koji ubrzavaju površinsko oticanje i smanjuju infiltraciju vode.

Na istraživanom prostoru najveći udeo imaju poljoprivredne površine (29,8%), zatim prirodna vegetacija koja se koristi za poljoprivrednu proizvodnju (22,6%), širokolisne šume (21,6%), oranice (11,1%) i urbano tkivo (8,9%). Ovakva struktura pogoduje razvoju i intenziviranju erozivnih procesa.

4. *Padavine*: Padavine su jedan od ključnih faktora u procesima erozije, jer njihov intenzitet, trajanje i raspodela direktno utiču na količinu površinskog oticanja i mehaničko delovanje vode na tlo. U područjima kao što su Avala i Kosmaj, erozivni procesi su posebno izraženi na obradivim površinama i građevinskim zonama gde nepostojanje odgovarajućih drenažnih sistema doprinosi intenzivnom površinskom oticanju i povećanom transportu materijala u vodotokove.

Na istraživanom prostoru nalazi se jedna meteorološka stanica u opštini Sopot (214 m). Za potrebe analize klime ovog prostora korišćeni su podaci sa još pet meteoroloških stanica u neposrednoj blizini – Surčin, Smederevska Palanka, Bukulja, Košutnjak i Beograd (opservatorija). Iako srednje vrednosti padavina ne odstupaju značajno od proseka za Šumadiju, sezonske oscilacije stvaraju uslove za bujične tokove.

5. *Koeficijent erozije (Z)*: Koeficijent erozije sliva, zasnovan na Gavrilovićevom obrascu, predstavlja važan alat u proceni područja ugroženih erozijom. Ovaj koeficijent integriše različite fizičke i klimatske faktore kao što su nagib terena, tip zemljišta i pokrivač što omogućava tačnu i kvantitativnu procenu potencijala erozije u određenom slivu.

$$Z = Y * X * (\varphi + \sqrt{I}), \text{ gde je:}$$

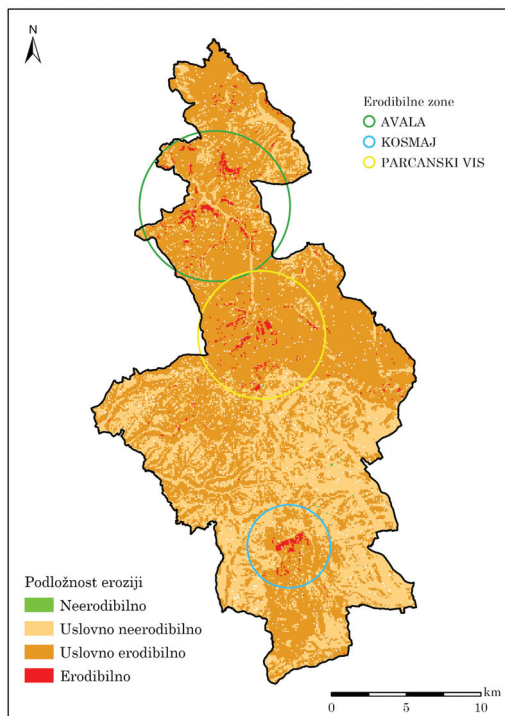
Y – koeficijent otpora zemljišta na eroziju; X – koeficijent zaštićenosti zemljišta od erozije;  $\varphi$  – vid erozije; I – srednji pad sliva, koji se dobija po obrascu:  $I = (H \times L) / F$ , gde je: H – ekvidistanca dve izohipse, L – dužina svih izohipsi, F – površina sliva (km<sup>2</sup>).

Za potrebe određivanja koeficijenta erozije izdvojeno je šest subslivova.

Tabela 1 - Koeficijent erozije subslivova (Z)

| Subsliv          | Površina (km <sup>2</sup> ) | Udeo (%) | Z    |
|------------------|-----------------------------|----------|------|
| Topčiderska reka | 97,09                       | 21,51    | 0,35 |
| Ralja            | 62,22                       | 13,78    | 0,35 |
| Bolečica         | 36,85                       | 8,16     | 0,28 |
| Lug              | 100,19                      | 22,20    | 0,17 |
| Beljanica        | 89,44                       | 19,82    | 0,25 |
| Turija           | 26,21                       | 5,81     | 0,17 |
| Milatovica       | 39,37                       | 8,72     | 0,27 |

## REZULTATI



Karta 1 - Erodibilnost terena

Na osnovu višekriterijumske analize i kombinovanjem pet ključnih faktora izvršena je GIS klasifikacija prostora prema stepenu erodibilnosti. Dobijene su tri najerodibilnije zone: Avala, Parcanski vis i Kosmaj.

**ZONA AVALA:** Obuhvata zapadne i južne padine Avale, koje se odlikuju značajnim nagibima, izraženom antropogenom transformacijom pejzaža i specifičnim litološkim sastavom. Najizraženiji procesi su površinska i linijska erozija, sa mestimičnim razvojem klizišta i odrona, naročito u slivovima Bele i Topčiderske reke. Prisustvo brojnih staza i urbanih zona dovodi do smanjenja vegetacionog pokrivača, dok neadekvatna drenaža pogoduje formiranju vododerina. Iako su rečni tokovi na ovom prostoru relativno malih dimenzija i nemaju veliku transportnu moć, značajno utiču na formiranje geomorfoloških oblika. U dolini Prečice, pritoke Topčiderske reke, primećeni su procesi odronjavanja i kliženja zemljišta (Sl. 2) koji su aktivniji nakon većih padavina. Ova zona zahteva hitnu sanaciju i prostorno regulisanje kako bi se sačuvala prirodne i turističke vrednosti Avale.

**ZONA PARCANSKI VIS:** Parcanski vis, identifikovan kao druga erozivna zona, predstavlja prostor sa izrazito nepovoljnim morfološkim karakteristikama koje pogoduju razvoju erozivnih procesa. Posebno je izražena erozija na strmim padinama, gde se usled visokog nagiba i nedovoljne vegetacione zaštite javljaju različiti oblici površinskog i dubinskog spiranja zemljišta. Najprisutniji oblik erozije u ovoj zoni je linijska erozija, koja se najjasnije uočava na otvorenim površinama, gde je usled intenzivnog površinskog oticanja vode došlo do odnošenja humusnog sloja.



Sl. 1 - Utvrđeno korito reke

Sl. 2 - Klizanje tla

Na pojedinim mestima, posebno na delovima sa labavijom podlogom i rastresitim sedimentima, dolazi do formiranja jaruga, što ukazuje na napredovanje erozivnih procesa u dubinu. Ove jaruge su neretko povezane sa privremenim vodotocima koji dodatno produbljuju i šire kanalisane erozivne oblike.

U nižim delovima terena uočeni su znaci nagomilavanja materijala, što svedoči o procesu gravitacionog transporta rastresitih sedimenata sa viših delova padina. Pored toga, na strmijim delovima terena primećeni su manji odroni zemljišta, što ukazuje na nestabilnost podloge i postupno klizanje materijala niz padine.

**ZONA KOSMAJ:** Južne i jugozapadne padine Kosmaja predstavljaju prostor sa izraženim

erozivnim procesima, pre svega usled geomorfoloških karakteristika, tipa zemljišta, klime i načina korišćenja zemljišta. Ovaj deo Kosmaja obuhvata blago zatalasane terene do strmih padina, gde su geološki sastav i klimatski uslovi značajno uticali na intenzitet erozije. Južne i jugozapadne padine Kosmaja izgrađene su od lesnih nanosa, laporaca, peščara i flišnih sedimenata, što ih čini veoma podložnim površinskoj i dubinskoj eroziji. Lesna zemljišta su posebno osetljiva jer lako gube čvrstinu u kontaktu sa vodom, što doprinosi jaružanju. Prisutno je površinsko i linijsko oticanje što za posledicu ima spiranje humusnog sloja zemljišta. Kako se radi o šumskim formacijama, linijska erozija (jaružanje) je dominantan proces jer se radi o velikim nagibima terena. Neke površine su usled deforestacije i spiranja zemljišta gotovo potpuno ogoljene. Kosmajski potoci imaju bujični karakter što znači da posle većih padavina intenziviraju svoje erozivno dejstvo i često se izlivaju. Zbog toga su neki tokovi kanalisani (Sl. 1).

## **PROSTORNO-PLANERSKE IMPLIKACIJE**

Istraživani prostor obuhvata različite morfološke i erozivne zone. Ovaj prostor je podložan značajnim erozivnim procesima, posebno u delovima sa strmim nagibima, nepovoljnom litološkom podlogom i nekontrolisanom urbanizacijom. Urbani razvoj, naročito ekspanzija vikend naselja, utiče na prostornu organizaciju, menja prirodnu dinamiku erozije i stvara nove rizike. S obzirom da ovaj prostor postaje sve atraktivniji i privlači sve više ljudi i investitora, trebalo bi posebnu pažnju posvetiti očuvanju prirodne sredine, pogotovo imajući u vidu da je ceo istraživani prostor proglašen predelom izuzetnih odlika.

S obzirom na trendove u razvoju ovog područja, moguće je razmotriti tri scenarija budućeg prostornog razvoja u kontekstu erozivnih procesa: 1. zadržavanje postojećeg stanja, 2. sanacija i održivo upravljanje i 3. pogoršanje stanja.

Tabela 2 - Aspekti prostora po scenarijima

| Aspekti prostora    | Scenario 1 | Scenario 2 | Scenario 3 |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Poljoprivreda       | ↘          | ↗          | ↘↘         |
| Turizam             | ↘          | ↗↗         | ↘↘         |
| Infrastruktura      | ↘          | ↗          | ↘↘         |
| Stabilnost terena   | ↘          | ↗          | ↘↘         |
| Kvalitet ž. sredine | ↘          | ↗↗         | ↘↘         |
| Vrednost zemljišta  | ↘          | ↗↗         | ↘↘         |
| Privreda            | ↘          | ↗          | ↘↘         |

## ZAKLJUČAK

Prostorno planiranje predstavlja jedan od najvažnijih instrumenata u očuvanju i unapređenju prostora, posebno u kontekstu zaštite prirodnih resursa i sprečavanja degradacije zemljišta. U ovom radu analizirana je uloga prostornog plana u zaštiti od erozije i očuvanju prirodnih područja, na primeru područja Avale i Kosmaja. Takođe, odrađena je metodološka analiza ove problematike kao primer kako ovoj temi može da se pristupi u budućim radovima. Ovo područje predstavlja značajan prirodni i kulturni resurs, ali je istovremeno izloženo rizicima kao što su nekontrolisana urbanizacija, devastacija zemljišta i nedovoljno sprovođenje mera zaštite. Iako PPPN predela izuzetnih odlika Avale – Kosmaj sadrži mere zaštite, analiza je pokazala da su one uglavnom deklarativnog karaktera, bez jasnih mehanizama implementacije i praćenja. Nedostatak preciznih analiza, poput kartiranja najugroženijih zona, ograničava efikasnost predloženih mera i ostavlja prostor za dalju degradaciju. U Srbiji je ovaj problem sistemski – prostorno planiranje često ne uključuje sveobuhvatnu analizu rizika i ne sprovodi odgovarajuće mere zaštite u praksi, što dovodi do ozbiljnih posledica po životnu sredinu.

U budućnosti, neophodno je revidirati postojeće prostorno-planske dokumente i osnažiti njihovu primenu kroz jasne mehanizme monitoringa i kontrole. Institucije nadležne za prostorno planiranje moraju raditi na unapređenju metodologija analize prostora, korišćenju savremenih tehnologija poput GIS-a za predviđanje ugroženosti, kao i uključivanju šire javnosti i stručne zajednice u procese donošenja odluka.

Ako se nastavi trend neplanskog širenja gradnje i nekontrolisane eksploatacije prirodnih resursa, područje Avale i Kosmaja može izgubiti svoje najvrednije karakteristike. Ovo je upozorenje da se prostorno planiranje mora tretirati kao strateški alat za dugoročnu zaštitu životne sredine, a ne samo kao administrativna procedura. Samo kroz odgovorno upravljanje i efikasnu implementaciju mera zaštite možemo osigurati očuvanje ovih prostora za buduće generacije.

## LITERATURA

Đorđević, P., Jovanović, V., & Cvetković, V. (2000). *Primenjena geologija*. Univerzitetska štampa.

Geološki zavod SFRJ. (n.d.). *Osnovna geološka karta SFRJ – listovi Beograd, Smederevo, Pančevo i Obrenovac (1:100.000)*. Geološki zavod.

Lazarević, R. (2000). *Geomorfologija*. Banja Luka: Prirodno-matematički fakultet.

Marković, J. (1966). Geografske oblasti SFRJ. Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika SR Srbije.

Marković, J., & Pavlović, M. (1995). Geografske oblasti Jugoslavije. Beograd: Savremena administracija.

Republički hidrometeorološki zavod Srbije. (2020-2024). Klimatološki godišnjak za 2019.,2020.,2021.,2022. i 2023. godinu. Preuzeto sa <https://www.hidmet.gov.rs>

Vojnogeografski institut. (1972). Topografska karta 1:25000, listovi: 429-4-4, 430-3-1, 430-3-3, 479-2-2, 480-1-1, 480-1-2, 430-3-4, 429-4-2, 429-2-4, 430-1-3.