



Kosmajski rudnici kao primer rudarskog nasleđa: Primena GIS-a u karakterizaciji prostora

Ana Paravinja^{a*}, Pavel Benka^b, Boško Blagojević^b, Nina Nikolić^a

^aUniverzitet u Beogradu, Institut za multidisciplinarna istraživanja, Odsek za biljne, zemljišne i nano sisteme, Beograd, Srbija

^bUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: ana.paravinja@imsi.bg.ac.rs

SAŽETAK

Očuvanje kvaliteta životne sredine predstavlja jedan od ključnih izazova savremenog društva, naročito u oblastima koje su bile pod intenzivnim uticajem rudarskih aktivnosti. Rudarenje i metalurške prakse kroz istoriju ostavile su dubok trag u prostoru, izazivajući degradaciju zemljišta, gubitak vegetacije i trajnu kontaminaciju teškim metalima. Istraživanje područja nekadašnjih rudarskih kompleksa omogućava uvid u dugoročne ekološke posledice i procenu rizika po ekosisteme i ljudsko zdravlje. Predmet ovog rada je preliminarno proučavanje antičkog rudarskog lokaliteta na prostoru Kosmaja, u okviru beogradske opštine Sopot, koji je u rimskom periodu bio jedno od značajnih ležišta srebronosnog olova. Tokom viševekovne eksploatacije i prerade rude, na lokalitetu su formirani obimni depoziti metalurške šljake, čiji sastav i potencijal do sada nisu bili predmet istraživanja. Kombinacijom terenskih obilazaka, dostupnih podloga i prostorne analize izvršeno je preliminarno mapiranje i identifikacija karakterističnih elemenata prostora. Dobijeni rezultati pružaju početni uvid u stanje zemljišta i vegetacije i predstavljaju osnovu za buduća multidisciplinarna istraživanja. Ovim radom ukazuje se na potrebu sistematske karakterizacije rudarskog nasleđa Kosmaja, radi razumevanja interakcije između antropogene degradacije i prirodnih procesa obnove. Istraživanje doprinosi inicijalnom naučnom vrednovanju lokaliteta koji poseduje arheološki, ekološki i potencijalno ekonomski značaj.

KLJUČNE REČI

Kosmaj, rimski rudnici, depoziti šljake, olovo, erozija

Uvod

Očuvanje kvaliteta životne sredine danas predstavlja jedan od najznačajnijih globalnih izazova, s obzirom na to da su prirodni resursi sve intenzivnije izloženi antropogenom pritisku. Među brojnim izvorima zagađenja, rudarske aktivnosti i ekstrakcija metala, izdvajaju se kao jedan od najintenzivnijih oblika negativnog uticaja na životnu sredinu. Ovi procesi dovode do gubitka zemljišta i vegetacionog pokrivača, stvaranja velikih količina opasnog otpada i dugotrajne kontaminacije teškim metalima. Kroz istoriju, stara ljudska društva intenzivno su eksploatisala mineralne resurse širom sveta, čak i na prostorima koji se danas smatraju zaštićenim. Posledice takvih rudarskih aktivnosti i danas su vidljive u prirodi čak i nakon što se vegetacija zagađenog ekosistema tokom dugog vremenskog perioda prirodno obnovi do te mere da tragovi rudarenja postanu gotovo neprepoznatljivi i zaboravljeni, povišen sadržaj metala poput olova i dalje može predstavljati ozbiljan rizik za životnu sredinu. Istraživanje ovakvih lokaliteta omogućava bolje razumevanje dugoročne sudbine metala u životnoj sredini i potencijalnih rizika po ekosisteme i ljudsko zdravlje (Camizuli et al., 2018). Rudarska industrija na globalnom nivou godišnje generiše oko 700 miliona tona metalogenog otpada, pri čemu je do sada trajno degradirala najmanje jedan procenat kopnene površine Zemlje (Cooke, 1999).

Početak rudarstva, geoloških i metalurških aktivnosti na prostoru Srbije seže do praistorije što potvrđuju brojna arheološka nalazišta. Jedan od rudarskih centara od najvećeg značaja za vreme vladavine Rimljana bio je na Kosmaju (Vujić, 2014). Rimski rudnici koji su obuhvatali atare sela Stojnik, Guberevac, Parcani i Babe predstavljali su najznačajnije izvore olova i srebra u oblasti *Metalla Tricornensia*, jednoj od četiri rudarske teritorije Gornje Mezije. Kosmajska rudarska oblast ubraja se među područja sa najdužom tradicijom arheoloških istraživanja u Srbiji, gde su otkriveni najstariji arheološki tragovi rudarsko-topioničarskih aktivnosti, kao i najobimniji depoziti antičke šljake (Crnobrnja, 2017).

Za potrebe predloženog istraživanja izabran je lokalitet koji pripada antičkom kompleksu rudnika metala (tzv. Kosmajski rudnici) na teritoriji beogradske opštine Sopot. Geoarheološka istraživanja pokazala su da je na ovom prostoru eksploatisano srebronosno olovo, dobijano iz galenita (PbS) i ceruzita (PbCO₃), koji su vađeni sa dubina i do 120 metara. Šljaka nastala u procesu topljenja i

prerade metala vekovima je deponovana u okviru samog lokaliteta (Milovanović, 2017). Biopristupačne koncentracije metala iz deponovane šljake, koje bi mogle imati direktno dejstvo na živi svet, nisu do sada publikovane.

Istraživanje predstavljeno u ovom radu odnosi se na jedan lokalitet koji je do sada, osim nekih arheoloških istraživanja, bio sasvim zapostavljen, iako poseduje izuzetan potencijal za multidisciplinarna proučavanja. Uprkos istorijskoj i ekološkoj značajnosti, ovaj lokalitet nije bio predmet sistematskog istraživanja, niti postoje detaljni podaci o njegovim ekološkim, pedološkim i biološkim karakteristikama. Zbog toga je ovo ujedno i prvi pokušaj karakterizacije ovog područja putem sistematizacije postojećih prostornih podataka i njihove interpretacije u GIS okruženju, sa ciljem da se utvrde osnovne prirodne i/ili društveno-ekološke osobine lokaliteta, identifikuju zone od značaja i postave osnove za buduća istraživanja. Predloženo istraživanje ima zadatak da pruži prvi sistematski uvid u stanje zemljišta i vegetacije na području Kosmajskih rudnika kao specifičnom primeru rudarskog nasleđa, a rezultati ovog rada predstavljaju početni, ali važan korak u sistematskoj karakterizaciji jednog jedinstvenog prostora od istovremeno arheološkog, ekološkog i potencijalno ekonomskog značaja.

Material i metod rada

Prema dostupnim podacima, skoro isključivo iz arheoloških istraživanja, površina predela koja je bila u različitoj meri izmenjena rudarskim aktivnostima rimske epohe je zapravo veoma velika, po nekim procenama i preko 60 km² (dr Adam Crnobrnja, personalna komunikacija). Za potrebe ovog istraživanja prvo je bilo potrebno odabrati reprezentativnu lokaciju manje površine na kojoj će se dalje sprovoditi detaljnija istraživanja. Usled nedostatka dostupnih sistematizovanih podataka o ovom širem predelu, selekcija lokaliteta se prvenstveno oslanjala na detaljno rekognosciranje terena tokom većeg broja obilazaka. Kriterijumi za odabir jednog model lokaliteta za ovo istraživanje su uključivali: postojanje naslaga rudničkog otpada bez vegetacije (goleti); postojanje različitih stadijuma spontane vegetacije – od pionirske zeljaste, preko žbunaste, sve do šumskih sastojina; heterogenost reljefa a posebno nagiba; kao i postojanje poljoprivrednih površina u neposrednom okruženju, na koje bi ovaj otpad eventualno mogao uticati. Nakon selekcije istraživačkog lokaliteta korišćeni su 1 sekundarni podaci različitih dostupnih podloga: topografske karte, satelitski snimci i arhivski izvori. Kombinovanjem ovih izvora sa podacima dobijenim direktnim obilaskom terena, omogućeno je da se izvrši osnovna analiza i predloži prva sistematizacija karakteristika lokaliteta.

Za analizu osnovnih fizičko–geografskih parametara istraživanog lokaliteta korišćene su topografska karta i digitalni model terena (DMT). Topografska karta je izrađena na osnovu fotografije preuzete sa platforme *Google Earth* (<https://earth.google.com/web/>), pri čemu su koordinate karakterističnih tačaka izdvojene i digitalizovane. Na taj način je dobijena topografska karta koja je korišćena kao osnovna podloga za dalje analize prostora. Digitalni model terena *SRTM 1 Arc-Second Global* preuzet je sa zvaničnog portala *United States Geological Survey – USGS Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), koji je poslužio kao osnova za dalje analize i obradu podataka.

Takođe, za potrebe ovog rada korišćene su Osnovna geološka karta Srbije (<https://geoliss.mre.gov.rs/>) u razmeri 1:100.000, kao i Pedološka karta Jugoslavije u razmeri 1:1.000.000, izdanje Jugoslovenskog društva za proučavanje zemljišta iz 1959. godine. Karta načina korišćenja zemljišta izrađena je kombinacijom podataka dobijenih interpretacijom topografske karte i rezultata terenskih obilazaka sa neposrednim evidentiranjem zatečenog stanja. Sve prethodno navedene karte i baze podataka analizirane su u GIS okruženju, primenom softvera *ArcMap 10.3.1*.

Procena stanja erozivnih procesa na istraživanom lokalitetu urađena je uz pomoć Metode potencijala erozije prema prof. Gavriloviću. Ova metoda ne proučava fizičke mehanizme erozionih procesa, što je čini posebno pogodnom za primenu u oblastima sa ograničenom količinom podataka gde nedostaju prethodna istraživanja erozije (Dragičević et al., 2016). Erozijski fenomen je prostorni fenomen i prikazuje se kartama na osnovu klasifikacije koja je zasnovana na analitički izračunatom koeficijentu erozije (Z). Ovaj koeficijent zavisi od osobina zemljišta, vegetacionog pokrivača, reljefa i vidljive pojave erozivnih procesa (Polovina et al., 2024). Koeficijent erozije dobija se iz sledeće jednačine (Gavrilović, 1972):

$$Z = Y \cdot X \cdot a \cdot (\varphi + \sqrt{I_{st}})$$

Gde je: Z – koeficijent erozije područja; Y – recipročna vrednost koeficijenta otpora zemljišta na eroziju; $X \cdot a$ – koeficijent uređenja sliva; φ – brojni ekvivalent vidljivih i jasno izraženih procesa erozije na slivu; I_{sr} – srednji nagib područja za koje se računa koeficijent erozije.

Kategorizacija erozionih procesa vrši se prema dobijenim vrednostima koeficijenta erozije (Tabela 1), koji se određuje analitičkim putem ili procenom prilikom terenskog obilaska cilnog područja (Kostadinov, 2008). Koeficijent otpornosti zemljišta na eroziju (Y) predstavlja recipročnu vrednost koeficijenta otpora zemljišta na eroziju i uslovljen je geološkim, pedološkim i klimatskim karakteristikama istraživanog područja. Vrednosti ovog koeficijenta kreću se od 0,25 za gole i kompaktne stene do 2,0 za fine sedimente i rastresita zemljišta bez sposobnosti da se odupru eroziji (Kostadinov, 2008).

Koeficijent uređenja sliva ($X \cdot a$) odražava stepen zaštićenosti zemljišta od uticaja atmosferskih faktora i erozije prirodnim putem uz pomoć vegetacije (H) i primenom tehničkih i bioloških antierozionih mera (a). Vrednosti proizvoda ova dva koeficijenta kreću se u rasponu od 0,01 što ukazuje na dobro zaštićeno zemljište, do 1,0 što karakteriše potpuno golu i nezaštićenu površinu. Koeficijent φ predstavlja numerički izraz vidljivih erozionih procesa na slivu (vrednost 0,10 za područje bez vidljivih tragova erozije do 1,0 za područje potpuno obuhvaćeno dubinskom erozijom), dok srednji nagib terena (I_{sr}) odražava uticaj topografskih karakteristika područja (Kostadinov, 2008). Prema originalnoj metodi, vrednosti koeficijenta erozije nekog područja kreću se od 0,1 (područja bez vidljivih znakova erozije) do 1,0 (područja zahvaćena jakom erozijom) (Gavrilović, 1972).

Tabela 1

Kategorije erozije na osnovu vrednosti koeficijenta erozije

Table 1

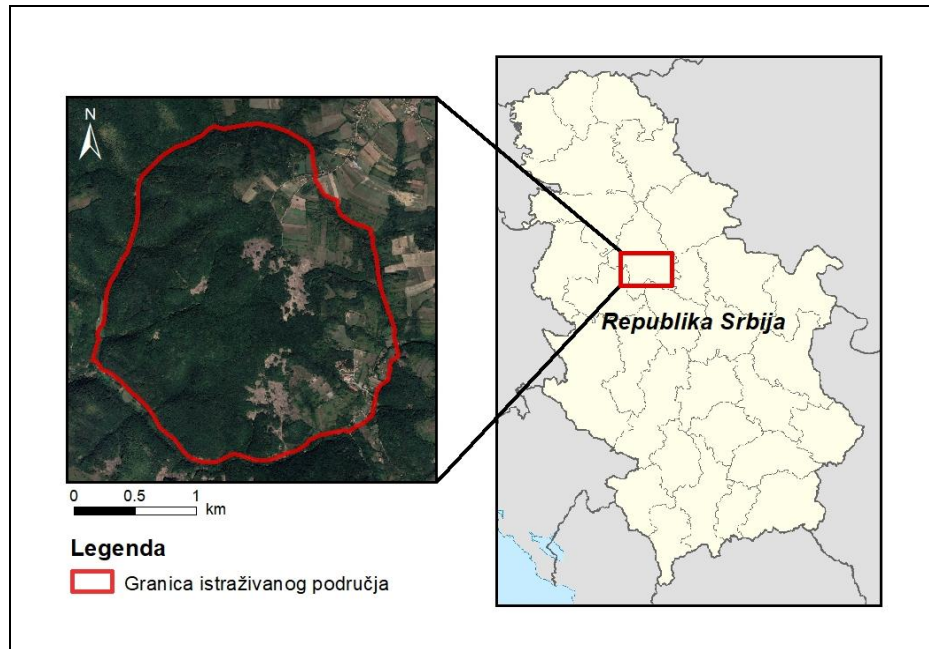
Categories of erosion based on the values of the erosion coefficient

Kategorija razornosti (erozivnosti)	Jačina erozionih procesa	Tip vladajuće erozije	Koeficijent erozije	Srednja vrednost koeficijenta erozije
I	Ekscesivna erozija	Dubinska	> 1,51	1,25
		Mešovita	1,21–1,50	
		Površinska	1,01–1,20	
II	Jaka erozija	Dubinska	0,91–1,00	0,85
		Mešovita	0,81–0,90	
		Površinska	0,71–0,80	
III	Osrednja erozija	Dubinska	0,61–0,70	0,55
		Mešovita	0,51–0,60	
		Površinska	0,41–0,50	
IV	Slaba erozija	Dubinska	0,31–0,40	0,30
		Mešovita	0,25–0,30	
		Površinska	0,20–0,24	
V	Vrlo slaba erozija	Tragovi erozije	0,01–0,19 i manje	0,01

Izvor: Gavrilović, 1972

Rezultati i diskusija

Lokalitet izabran za ovo istraživanje nalazi se na području opštine Sopot, u centralnoj Srbiji (Slika 1). Nalazi se na uzvišenju između sela Guberevac, Parcani, Babe i Stojnik. Nalazi se južno od Parcanskog visa, ograničeno je poljoprivrednim zemljištem sela Parcani na severu, rečicom Pruten na jugu, potokom Zmijinjak na istoku, i potokom Celevac na zapadu. Površina ovog uzvišenja iznosi približno 4,94 km², a najviša kota je 378 m. n. v.



Slika 1. Geografski položaj istraživanog lokaliteta
Figure 1. Geographical position of the studied area

Ovo područje se nalazi u sklopu Guberevačkih šuma i danas se prvenstveno koristi za šumarsku proizvodnju. Pored toga, prisutne su manje poljoprivredne površine, ali i različiti sukcesioni stadijumi, od travno–žbunastih formacija do stabilnijih šumskih zajednica (Slika 2). Upečatljivo je i postojanje golih naslaga antičke šljake (0,21 km² ukupne površine istraživanog područja) na kojima se i posle 15 vekova nije uspostavila nikakva vegetacija, što ukazuje na krajnje nepovoljne uslove za obnovu ekosistema, a prvenstveno uspostavljanje vegetacionog pokrivača.



Slika 2. Gradijent vegetacije (sukcesija od golih naslaga jalovine do šumskih sastojina)
Figure 2. Vegetation gradient (succession from bare tailings to forest stands)

Prilikom određivanja koeficijenta erozije važno je proučiti nadmorsku visinu terena te je utvrđeno da je raspon nadmorskih visina oko 154 m (od 224 do 378 m. n. v.). Srednja nadmorska visina iznosi 316,6 m. n. v. Pored nadmorske visine, potrebno je odrediti i nagib terena. Uz pomoć GIS softvera i analiza nagiba terena (Slika 3), određeno je da većinsku površinu istraživanog područja čine zemljište strmog i umerenog nagiba, a sporadično se javljaju i tereni sa usponima preko 30% (Tabela 2).

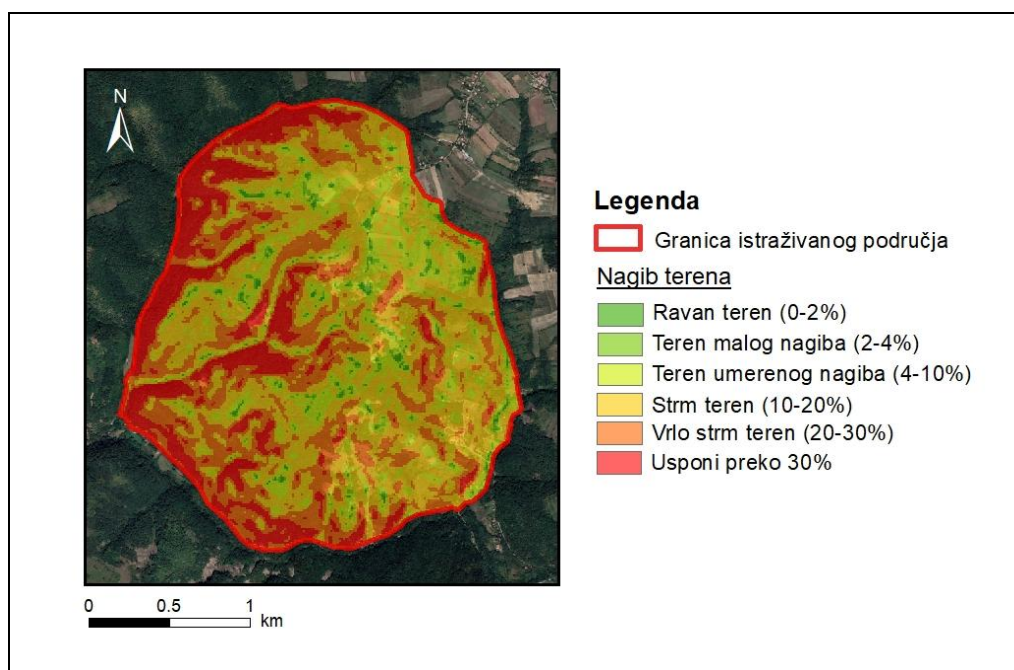
Tabela 2

Procentualna zastupljenost prisutnih klasa nagiba terena na istraživanom lokalitetu

Table 2

Percentage representation of the present slope classes at the studied area

Klasa nagiba terena	Vrednost nagiba terena	Površina
	%	%
Ravno zemljište	0–2	2,2
Zemljište malog nagiba	2–4	5,8
Zemljište umerenog nagiba	4–10	42
Strmo zemljište	10–20	43
Vrlo strmo zemljište	20–30	7,2
Usoni preko 30%	>30	0,22



Slika 3. Prostorni raspored nagiba terena istraživanog lokaliteta

Figure 3. Spatial distribution of slope gradients at the studied site

Na teritoriji istraživanog područja zastupljen je samo jedan tip prirodnog zemljišta, a to je gajnjača. Gajnjače su zemljišta visoke ekološko–proizvodne vrednosti. Njihova velika dubina, relativno povoljan mehanički sastav i druge fizičke osobine, utiču na intenzivan razvoj vegetacije. A ograničavajući faktor mogu biti klimatske karakteristike, relativno visoka godišnja temperatura i male padavine (Antić et al., 1980). Međutim, na najvećoj površini istraživanog lokaliteta prirodna zemljišta više ne postoje; zamenjena su naslagama otpada od ekstrakcije i topljenja rude tzv. tehnosolima za koje u literaturi ne postoji precizno definisana vrednost koeficijenta otpornosti zemljišta.

Na istraživanom lokalitetu u najvećoj meri su zastupljene šume, koje u ukupnom zbiru čine 86,5% lokaliteta. Najmanju prostornu zastupljenost imaju naseljena mesta i prateća infrastruktura (Slika 4). U Tabeli 3 prikazana je procentualna zastupljenost određenih načina korišćenja zemljišta.

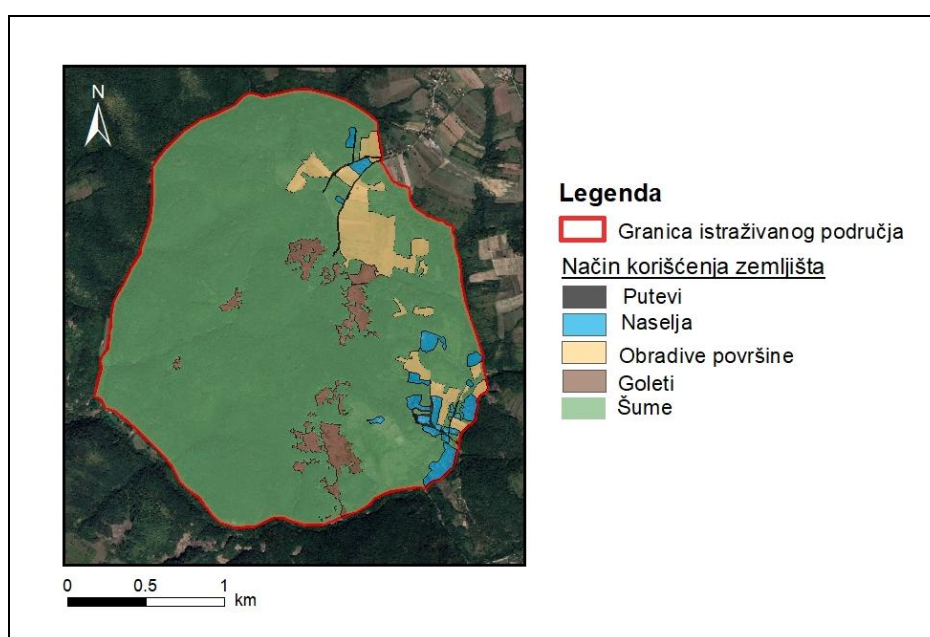
Tabela 3

Procentualna zastupljenost različitih načina korišćenja zemljišta na istraživanom lokalitetu

Table 3

Percentage representation of different land use types at the studied area

Način korišćenja	Površina	
	km ²	%
Goleti	0,21	4,3
Obradive površine	0,32	6,4
Šume	4,28	86,5
Naselja	0,12	2,4
Putevi	0,02	0,33
Ukupno	4,9	100



Slika 4. Prostorni raspored načina korišćenja zemljišta istraživanog lokaliteta
Figure 4. Spatial distribution of land use at the studied area

Prilikom rekognosciranja terena, utvrđeno je da je reljef disektiran, sa različitim nagibima i ekspozicijama, i vidljivim prisustvom erozije. Za procenu intenziteta erozije na istraživanom području izračunat je koeficijent erozije (Z). Koeficijent otpornosti zemljišta (Y) određen je na osnovu tipa zemljišta tj. geološke podloge. Prema geološkoj karti ovo područje pripada grupi fliševa (peščari, alevroliti, glinci, laporci), prema pedološkoj karti pripada gajnjačama, a terenskim obilaskom je utvrđeno da je podloga nastala deponovanjem otpada od rudarenja. Ove naslage predstavljaju veoma nepovoljnu sredinu za razvoj biljaka, jer sadrže visoke koncentracije olova, siromašne su hranljivim materijama i odlikuju se malom dubinom koja ograničava ukorenjivanje biljaka. Stoga je najpbližnije bilo koristiti vrednost koeficijenta $Y=1,2$ za kategoriju raspadnutih krečnjaka i laporaca prema originalnoj metodi. Koeficijent uređenja sliva varira u zavisnosti od načina korišćenja zemljišta (od goleti do šuma), te je za svaku kategoriju određen posebno. Koeficijent ϕ izabran je na osnovu zapaženih erozionih procesa prilikom obilaska terena. Srednji nagib terena dobijen je uz pomoć digitalnog modela terena u GIS okruženju, tako što su prilikom proračuna korišćene vrednosti svake klase nagiba terena kako bi se dobila što preciznija vrednost koeficijenta erozije.

Dobijena srednja vrednost koeficijenta erozije za istraživano područje iznosi $Z_{sr}=0,54$ što ukazuje na to da je istraživano područje pod uticajem erozije srednjeg intenziteta (Tabela 4).

Tabela 4

Zastupljenost kategorija erozije na istraživanom lokalitetu

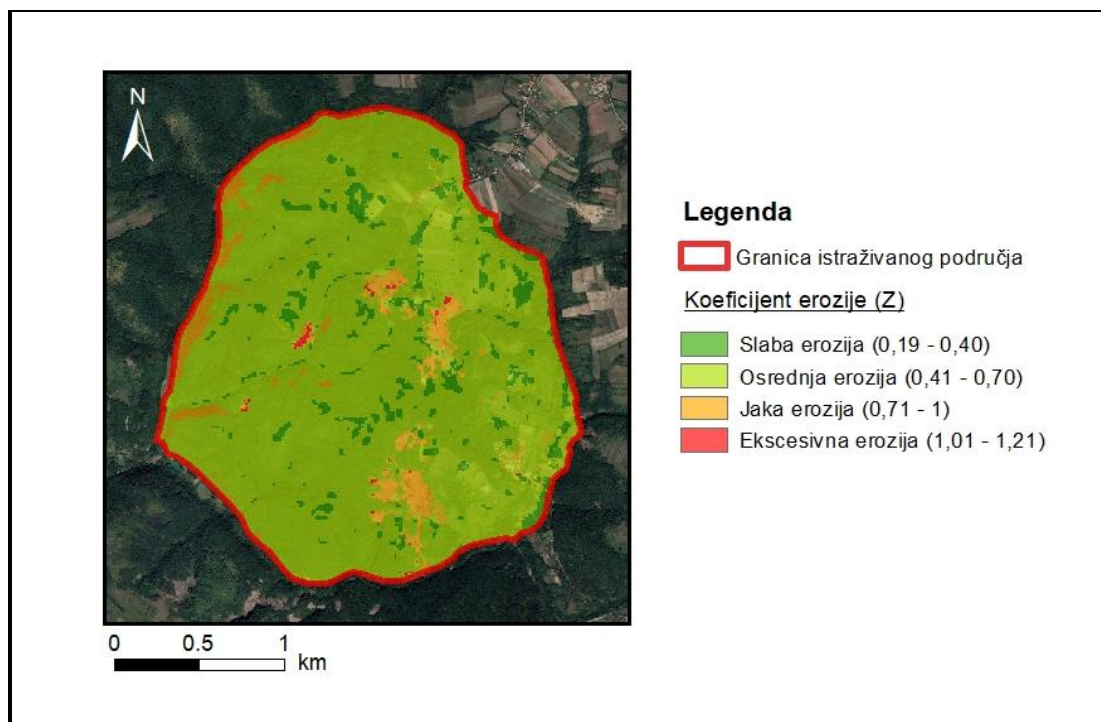
Table 4

Representation of erosion categories in the studied area

Kategorije razornosti	Jačina erozivnih procesa	Zastupljenost	
		km ²	%
I	Ekscesivna erozija	0,01	0,30
II	Jaka erozija	0,30	6,11
III	Osrednja erozija	4,26	86,5
IV	Slaba erozija	0,35	7,08
Ukupno		4,9	100

Srednja vrednost koeficijenta erozije je $Z_{sr}=0,54$

Površine pod intenzivnim erozionim procesima ($Z > 0,70$), koje odgovaraju jakim i ekcesivnim oblicima erozije, javljaju se pre svega na goletima bez vegetacionog pokrivača, gde su jasno vidljivi procesi brazdaste i jaružaste erozije sa dubokim usecima i velikim nagibima terena. Pored toga, javljaju se i na rubnim delovima područja na mestima gde je nagib terena izraženiji. Na najvećem delu teritorije, koju čine šumske i poljoprivredne površine, prisutni su procesi erozije srednjeg intenziteta, kao i mozaične površine pod slabom erozijom (Slika 5).

**Slika 5.** Prostorni prikaz vrednosti koeficijenta erozije na istraživanom lokalitetu**Figure 5.** Spatial distribution of the erosion coefficient values at the studied area

Zaključci

Istraživanje degradiranih područja, posebno onih koja su u prošlosti bila predmet intenzivnih rudarskih aktivnosti, predstavlja korak u razumevanju procesa prirodne obnove i mogućnosti korišćenja takvih lokaliteta u budućnosti. Lokalitet Kosmajskih rudnika, na kom su još u rimskom periodu vršene ekstrakcija i topljenje rude olova, predstavlja karakterističan primer takvog prostora. Posledice dugotrajnog antropogenog delovanja prisutne su i danas u velikim količinama deponovanog rudarskog otpada, koji i dalje ima uticaja na osobine zemljišta i uslove za razvoj vegetacije, čineći ovaj lokalitet pogodnim modelom za ispitivanje odnosa između degradacije nastale ljudskim delovanjem i prirodnih procesa sukcesije.

Na osnovu kombinacije terenskih opažanja i raspoloživih podloga, urađeno je preliminarno mapiranje i identifikacija karakterističnih prostornih elemenata. Istraživani lokalitet nalazi se u okviru Guberevačkih šuma i danas se pretežno koristi za šumarsku proizvodnju, uz prisustvo manjih poljoprivrednih površina i različitih sukcesionih stadijuma vegetacije, dok su posebno izražene gole naslage antičke šljake. Prostorna analiza reljefa i erozionih procesa ukazuje na disektiran teren sa srednjim intenzitetom erozije ($Z_{sr}=0,54$), pri čemu se najintenzivniji oblici erozije javljaju na neobraslim goletima i strmijim rubnim delovima područja, dok su šumske i poljoprivredne površine uglavnom zahvaćene erozijom srednjeg do slabog intenziteta.

Rezultati predstavljeni u ovom radu mogu se smatrati početnim, ali značajnim doprinosom boljem razumevanju ovog poručja, s obzirom na očigledan nedostatak prethodnih naučnih podataka. Prvo rekognosciranje terena omogućilo je geografsku i prostornu orijentaciju u odnosu na ključne površine (depozite antičke šljake i postojeću vegetaciju). Sagledano u celini, ovaj rad predstavlja polazište za detaljnija i metodološki sveobuhvatnija istraživanja koja će omogućiti da lokalitet Kosmajskih rudnika bude u potpunosti naučno valorizovan.

Literatura

- Antić, M., Jović, N., Avdalović, V. (1980). Pedologija. Naučna knjiga, Beograd, 602 p.
- Camizuli, E., Scheifler, R., Garnier, S. et al. (2018). Trace metals from historical mining sites and past metallurgical activity remain bioavailable to wildlife today. *Scientific Reports* 8: 3436.
- Cooke, J.A. (1999). Mining. In: Walker, L.R. (Ed.) *Ecosystems of disturbed ground*. *Ecosystems of the World* 16. Elsevier, Amsterdam, pp. 365–384.
- Crnobrnja, A. (2017). Revizno arheološko rekognosciranje uže zone rimskih kosmajskih rudnika. *Zbornik narodnog muzeja – Arheologija* 23: 237–265.
- Dragičević, N., Karleuša, B., Ožanić, N. (2016). A review of the Gavrilović Method (Erosion Potential Method) application. *Građevinar* 68: 715–725.
- Gavrilović, S. (1972). Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Izgradnja, Beograd.
- Kostadinov, S. (2008). Bujični tokovi i erozija. Univerzitetski udžbenik. Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 505 p.
- Milovanović, B. (2017). Rudarsko-metalurški kompleksi i predmeti od olova u rimskim provincijama na tlu Srbije. Posebna izdanja 65. Arheološki institut, Beograd.
- Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., Milčanović, V. (2024). Application of remote sensing for identifying soil erosion processes on a regional scale: An innovative approach to enhance the erosion potential model. *Remote Sensing* 16(13): 2390.
- Vujić, S. (2014). Istorija srpskog rudarstva. In: *Srpsko rudarstvo i geologija u drugoj polovini XX veka*, Koreni. Akademija inženjerskih nauka Srbije, Matica srpska i Rudarski institut, Beograd, pp. 1–38.

Kosmaj mines as an example of mining heritage: Application of GIS in spatial characterization

Ana Paravinja^{a*}, Pavel Benka^b, Boško Blagojević^b, Nina Nikolić^a

^aUniversity of Belgrade, Institute for Multidisciplinary Research, Department of Plant-Soil and Nano Systems, Belgrade, Serbia

^bUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: ana.paravinja@imsi.bg.ac.rs

ABSTRACT

Preserving environmental quality is one of the key challenges of modern society, particularly in areas that have been severely altered by intensive mining activities. Mining and metallurgical practices throughout history have left a profound impact on the landscape, causing soil degradation, loss of vegetation, and long-term contamination with heavy metals. The investigation of historic post-mining complexes provides valuable insight into long-term ecological consequences and the evaluation of risks to ecosystems and human health. This paper presents a preliminary study of an ancient mining site in the Kosmaj area, within the municipality of Sopot (near Belgrade) which was one of the major deposits of silver-bearing lead during the Roman period. Over centuries of ore extraction and smelting, extensive deposits of metallurgical slag accumulated at the site, whose composition and potential ecological impact have not yet been examined. By combining field observations, available geological data, and spatial analysis, a preliminary mapping and identification of characteristic spatial elements were conducted. The obtained results provide an initial understanding of the current condition of soils and vegetation and serve as a basis for future multidisciplinary research. This study emphasizes the need for systematic characterization of the Kosmaj mining heritage to better understand the interaction between anthropogenic degradation and natural recovery processes. The research contributes to the initial scientific evaluation of a locality of archaeological, ecological, and potentially economic significance.

KEY WORDS

Kosmaj, Roman mines, slag deposits, lead, erosion

Rad primljen: 26.11.2025.

Ispravljen: 24.12.2025.

Prihvaćen 26.12.2025.

Objavljen: 31.12.2025.