

Fakultet za poslovne studije i pravo
Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo
Univerzitet „Union – Nikola Tesla”, Beograd, Republika Srbija

**ŠESTA NAUČNO-STRUČNA KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM
UČEŠĆEM: „ODRŽIVI RAZVOJ I ZAŠTITA VODA
(PRAVO, EKONOMIJA I MENADŽMENT)”
Zbornik radova, Vol. 1**

Urednici:

Prof. dr Milan Radosavljević
Prof. dr Dragana Barjaktarević
Prof. dr Cvetko Smilevski
Prof. dr Nedeljka Rosić

Beograd, Republika Srbija, 2022.

Šesta naučno-stručna konferencija sa međunarodnim učešćem
“Održivi razvoj i zaštita voda (pravo, ekonomija i menadžment)”
Zbornik radova, Vol. 1

Izdavač

Fakultet za poslovne studije i pravo
Univerzitet “Union – Nikola Tesla”, Beograd, Republika Srbija

Suizdavač

Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo
Univerzitet “Union – Nikola Tesla”, Beograd, Republika Srbija

Za izdavača

Prof. dr Milan Radosavljević
Dekan Fakulteta za poslovne studije i pravo

Glavni i odgovorni urednik

Emeritus prof. dr Života Radosavljević
Fakultet za poslovne studije i pravo

Urednici

Prof. dr Milan Radosavljević
Prof. dr Dragana Barjaktarević
Prof. dr Cvetko Smilevski
Prof. dr Nedeljka Rosić

Tehnički urednik: Daniela Kuzmanović, master

Tehnička obrada i dizajn korica: Mr Zoran Kuzmanović

Štampa: Štamparija Draslar List, Beograd

Tiraž 200

Redakcija

Fakultet za poslovne studije i pravo – Beograd
Jurija Gagarina 149A, Novi Beograd, Srbija
www.fpsp.edu.rs info@fpsp.edu.rs

ISBN 978-86-6102-090-2

Softverski je provereno i potvrđeno autorstvo publikacije

© 2022. Fakultet za poslovne studije i pravo i
Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo

POVEĆANJE EFIKASNOSTI PRERADE OTPADNIH VODA	209
<i>Miljan Miletić, Stefan Cvejić, Radoje Cvejić</i>	
ANALIZA STANJA VODA MARKOVAČKOG JEZERA	219
<i>Aleksandra Mitrović, Jelena Vučićević</i>	
MONITORING UTICAJA OTVORENOG KOPA MAJDANPEK NA ŽIVOTNU SREDINU KORIŠĆENJEM MAŠINSKOG UČENJA I GISA	233
<i>Ivan Potić, Boris Vakanjac, Stefan Petrović</i>	
EKONOMSKO PRAVNI ASPEKTI UPRAVLJANJA VODNIM RESURSIMA SA AKCENTOM NA SRBIJU	245
<i>Milan Radosavljević, Bojan Zdravković, Života Radosavljević</i>	
INDUSTRIJA, ZAGAĐENJE I ZAŠTITA VODA SA OSVRTOM NA PRAVNI ASPEKT	273
<i>Kristijan Šebešćan</i>	
PLANIRANJE PROJEKATA U VODOPRIVREDI	289
<i>Slobodan Šegrt</i>	
SAVREMENE EVROPSKE AKTIVNOSTI I PRISTUP SRBIJE U OBLASTI ZAŠTITE VODA	307
<i>Dragoljub Sekulović, Marko Simić, Mihajlo Bobar</i>	

UDC: 504.12(497.11)

007:556]:004(497.11)

MONITORING UTICAJA OTVORENOG KOPA MAJDANPEK NA ŽIVOTNU SREDINU KORIŠĆENJEM MAŠINSKOG UČENJA I GISA

Ivan Potić

Vojnogeografski institut „General Stevan Bošković“, Beograd, Republika Srbija,
e-mail: ipotic@gmail.com

Boris Vakanjac

Vojnogeografski institut „General Stevan Bošković“, Beograd, Republika Srbija,
e-mail: borivac@gmail.com

Stefan Petrović

Vojnogeografski institut „General Stevan Bošković“, Beograd, Republika Srbija,
e-mail: s.petrovic293@gmail.com

Apstrakt: Nakon višedecenijskog eksploatiranja rude iz otvorenog kopa u blizini grada Majdanpeka, životna sredina je dala svoj odgovor na stresove koji su izazvani ovim aktivnostima. Sve veća potreba za mineralima i profitom dovodi do širenja rudarenja ugrožavajući pri tome ne samo biome koji su u neposrednoj blizini kopova, već ima uticaj i na širi ekosistem, a posebno na površinske i podzemne vode. Iz tog razloga je potrebno vršiti redovni monitoring oblasti u kojima se ove aktivnosti dešavaju kako bismo mogli da kvantifikujemo, razumemo i smanjimo negativne efekte eksploatacije minerala iz zemljine kore. S obzirom na veliki broj faktora koji ometaju neposredan monitoring ovakvih područja, rešenje se ogleda u korišćenju proizvoda daljinske detekcije koji na relativno brz i precizan način daju podatke o udaljenim prostorima kojima se teško pristupa. Pomoću satelitskih snimaka srednje rezolucije (15 i 10m prostorne rezolucije) za različit vremenski period (1999. i 2022. godina) su izrađene karte osnovnog zemljišnog pokrivača. Za potrebe automatske klasifikacije satelitskih snimaka unapred je određeno pet klasa koje su klasifikovane korišćenjem algoritma mašinskog učenja. Nakon utvrđivanja osnovnog zemljišnog

pokrivača izrađena je karta proučavanog prostora koja prikazuje pet klasa: voda, šuma, pašnjaci, poljoprivredno zemljište i urbana sredina, a zatim je izvršeno određivanje položaja otvorenog dela kopa.

Ovom analizom je omogućeno praćenje širenja površinskog kopa i obeležavanje lokacije glavnog zagađivača životne sredine. Druga analiza se ogleda kroz korišćenje digitalnog modela terena (DMT) srednje rezolucije (30m prostorne rezolucije). Geografski informacioni sistem (GIS) omogućio je izvođenje analiza kojima se mogu utvrditi slivovi u okolini detektovanog otvorenog kopa koji je označen kao zagađivač. Nakon određivanja slivova, izvršeno je kreiranje rečne mreže korišćenjem DMT i obeležene su zone sa potencijalno zagađenim vodotocima na kojima bi se trebao vršiti redovni monitoring. Na ovaj način su prikupljeni podaci o životnoj sredini koji donosiocima odluka znatno olakšavaju postupak odlučivanja i određivanja granice ekonomske i ekološke održivosti za proučavani prostor.

Ključne reči: *Daljinska detekcija, SVM, Sentinel-2, Landsat 7, ASTER DEM*

MONITORING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MAJDANPEK OPEN MINE USING MACHINE LEARNING AND GIS

Abstract: *After several decades of open pit and underground mining near city of Majdanpek, the environment gave its response to the stresses caused by this human activity. The increasing need for minerals and profits leads to the expansion of mining, endangering not only the biomes that are in the immediate surrounding area of the mines, but also has an impact on the wider ecosystem, especially on surface and ground water. To quantify, comprehend, and mitigate the harmful impacts of the mineral's extraction from the Earth's crust, it is required to conduct continuous monitoring of the areas where these operations take place. Considering the large number of factors that obstruct the immediate monitoring of such areas, the solution is reflected in the use of remote detection products that provide relatively fast and precise data on remote areas that are difficult to access. Using medium-resolution satellite images (15 and 10 m spatial resolution) for different time periods (1999 and 2022), land cover maps are created. Prior to automatic classification of satellite images process, five classes were defined to be classified using a machine learning algorithm. After land cover classes determination, a map of the study area is created showing five classes: water, forest, pastures, agricultural areas, and urban environment.*

The position of the open part of the mine was determined which enables the possibility to monitor the expansion of the open mine pit and position of the pollutant. The second analysis considers the use of a medium-resolution (30m spatial resolution) digital terrain model (DTM). The Geographical Information System (GIS) made possible to perform analyzes that determine the watersheds around the detected open mine pit that is marked as a pollutant. After determining the watersheds, river network analysis is performed and zones with potentially polluted watercourses are marked. Thus, environmental data is collected, which makes the decision-making process much easier for decision-makers and determining the limits of economic and ecological sustainability for the area of interest.

Key words: *Remote Sensing, Support Vector Machines (SVM), Sentinel-2, Landsat 7, ASTER DEM*

UVOD

Zagađenje životne sredine je dugi niz godina planetarni problem koji nije zaobišao ni našu zemlju i posebno je prisutan u sadašnje vreme globalizacije kada želja za profitom preuzima primat u načinu življenja u svim društvima. Jedan od najvećih izvora profita su oduvek bila ležišta mineralnih sirovina, a posebno nalazišta plemenitih metala. Iako mala po površini, naša zemlja ima nekoliko bitnih nalazišta plemenitih metala koja privlače pažnju velikih kompanija. Iako je finansijski momenat veoma bitan za razvoj celokupnog društva (i same države u celini), neophodno je pronaći optimum između eksploatacije mineralnih sirovina i stvaranja profita sa jedne strane i održavanja zdrave životne sredine kako bi stanovništvo okolnih prostora moglo da ostane da živi u nezagađenom prostoru na kome su osnovali svoje naseobine kroz istoriju. Jedna od takvih lokacija je i predmet istraživanja ovog rada, otvoreni kop Majdanpek.

Podaci Republičkog zavoda za statistiku (RZS) pokazuju da od 69,6 miliona tona otpada koliko je domaća privreda tokom 2021. godine stvorila, najveći udeo u ovoj količini čini rudarski otpad, čak 85,5% (RZS, 2021).

Ovako velika kočina otpada koja se ne tretira, ili pogrešno tretira, ima veoma veliki negativni uticaj na životnu sredinu. Stresovi životne sredine koji nastaju od strane ovih uzročnika izazivaju veoma velike posledice koje mogu biti fatalne za sav živi svet u njihovoj okolini. Stoga je cilj ovog rada proučavanje slivova i potencijalna zagađenost okolnih vodotokova koji su pod direktnim uticajem jednog velikog zagađivača životne sredine kakav je otvoreni kop Majdanpek. Kako bi istraživanje bilo uspešno sprovedeno, korišćeni su postupci za analizu geoprostora bazirani na novim metodama koje se primenjuju u daljinskoj detekciji i GIS-u.

1. MATERIJALI I METODE

Oblast proučavanja obuhvata područje oko otvorenog kopa Majdanpek (Slika 1) u okviru koordinata $\phi 44.664$, $\lambda 21.556$ i $\phi 44.162$, $\lambda 22.241$ i obuhvata površinu od 3044 km².



Slika 1. Satelitski snimak oblasti proučavanja, jul 2000.

(Izvor: United States Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center, 2022)

Ležište bakra sa manjim količinama zlata i srebra Majdanpek je formirano u krajnje severnom delu timočkog magmatskog kompleksa. Ograničeno je senonskim rovom i dislokacijom, u kojoj je pravcem pružanja S - J razvijen andezit. Rudna tela ležišta Majdanpek su vezana za jednu razlomnu zonu u krednim vulkanitima (andezitima), prekambrijskim gnajsevima i jurskim krečnjacima. Rudonosna zona je do 5 km dugačka, a široka je nekoliko stotina metara (Vujić i ostali, 2005).

Struktura koja se pruža pravcem S – J dominira područjem ležišta Majdanpek. Ispresecana je mlađim i manjim rasedima koji se generalno pružaju pravcem I - Z. U okviru šire okoline ležišta Majdanpek razvijeni su se stariji nabori nastali u paleozojskim kristalastim formacijama nabiranjem folijacija i mlađe nabori u paleozojskim i mezozojskim formacijama nastali nabiranjem po folijacijama i slojevitosti, sa pravcem pružanja S - J. Najstarije rupturne strukture su dijagonalni rasedi i pukotine sa pravcem pružanja SSI - JJZ, a mlađi su rasedi i pukotine sa pravcem pružanja S - J. U strukture ovih sistema su se utiskivali magmati i proticali hidrotermalni rastvori. Rudna tela su

uslovljena sistemima longitudinalnih raseda u zapadnom delu strukture sistema Majdanpek.

Kada se govori o karakteristikama rudnih tela, dominantna su dva različita tipa orudnjenja:

1. Impregnaciono-žiličasto-metasomatski (porfirski) i
2. Masivno sulfidni (Vakanjac, 2000).

Za analizu interesnog područja su korišćeni besplatni podaci koji su prikupljeni pomoću satelitskih platformi Landsat 7 iz 2000. godine (United States Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center, 2022) prostorne rezolucije 15m (rezolucija kanala od 30m postupkom panšarpen povećana na 15m) i Sentinel 2 iz 2022. godine (Copernicus Sentinel data, 2022) prostorne rezolucije 10m. Svi korišćeni podaci sa optičkih satelitskih senzora su bez oblaka i pripremljeni za analize. Podaci o visinama terena (digitalni model terena – DMT) su dobijeni obradom satelitskih snimaka sa platforme ASTER, prostorne rezolucije 25m (NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems & U.S./Japan ASTER Science Team, 2001).

Obrada podataka, analiza i modelovanje je izvršeno u alatima QGIS (QGIS Development Team, 2022) i SAGA (Conrad i ostali, 2015).

1.1. Analiza zemljišnog pokrivača

Analiza zemljišnog pokrivača izvršena je za dve različite godine. Za početnu, referentnu godinu je odabrana 2000. godina, i za taj period je obezbeđen multispektralni satelitski snimak sa Landsat 7 platforme. Spektralni kanali koji su korišćeni sa Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) senzora u analizi prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Korišćeni Landsat 7 i Sentinel2 spektralni kanali

Naziv kanala	<u>Landsat 7</u> talasna dužina (µm)	Rezolucija (m)	<u>Sentinel 2</u> talasna dužina - centralna (µm)	Rezolucija (m)
Plavi	0.45 - 0.52	30	0.49	10
Zeleni	0.52 - 0.60	30	0.56	10
Crveni	0.63 - 0.69	30	0.66	10

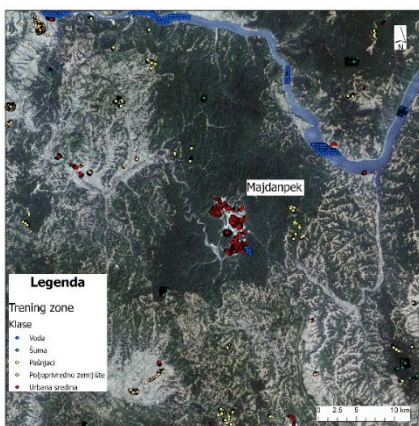
Bliski infracrveni	0.77 - 0.90	30	0.83	10
Panhromatski	0.52 - 0.90	15	/	/

(Izvor: United States Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center, 2022 i Copernicus Sentinel data, 2022)

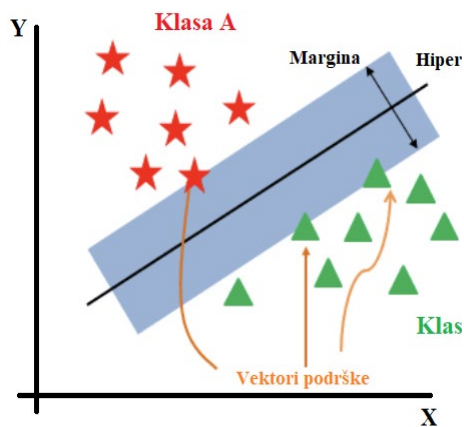
Za detektovanje promene u načinu korišćenja zemljišta, a posebno detektovanje nekadašnjeg i današnjeg prostiranja površinskog kopa Majdanpek, korišćeni su satelitski snimci prikupljeni sa satelitske platforme Sentinel 2 iz 2022. godine. Korišćeni kanali prikazani su u tabeli 1.

Multispektralna analiza satelitskih snimaka je izvršena pomoću algoritma SVM (Support vector machines) (Chang i Lin, 2011).

Kako bi analiza zemljišnog pokrivača bila uspešna, potrebno je pripremiti ulazne podatke u vidu satelitskih snimaka i trening zona koje nesumnjivo predstavljaju željenu klasu (slika 2).



Slika 2. Trening zone za klasifikaciju zemljišnog pokrivača 2022



Slika 3. Prikaz rada SVM algoritma u dvodimenzionalnom prostoru

SVM je jedan od najčešće korišćenih algoritama za nadgledanu klasifikaciju satelitskih snimaka datira iz '70ih godina prošlog veka, a postao je veoma popularan poslednjih deset godina (Kang i ostali, 2018). Bazira se na pronalaženju hiper-ravni u N-dimenzionalnom prostoru koja najbolje deli set podataka na klase, dok su vektori podrške (support vectors) podaci (tačke) koje su najbliže hiper-ravni i smatraju se kritičnim elementima proučavanog seta podataka. Cilj uspešne klasifikacije je pronalaženje optimalne hiper-ravni koja predstavlja granicu razdvajanja dve klase. To je moguće postići pomoću određivanja najveće moguće margine između susednih klasa, koja je predstavljena najmanjom udaljenošću između hiper-ravni i najbližih tačaka iz različitih klasa (Vapnik, 1999; Foody i Mathur, 2004; Chang i Lin, 2011) (Slika 3).

Ukoliko nije moguće pronaći jasnu liniju razgraničenja (hiper-liniju) u dvodimenzionalnom prostoru, podaci se prebacuju u N-dimenzionalni prostor i pokreće se proces pronalaženja hiper-ravni koji se naziva kerneling (Chang i Lin, 2011).

1.2. Analiza slivova i vodotokova

Određivanje slivova i vodotokova je izvršeno rasterskim analizama pomoću GDAL biblioteka (GDAL/OGR contributors, 2020) koje se ogledaju u sledećim koracima, analiziranjem DMT-a:

1. prvi korak je popunjavanje malih udubljenja i nepravilnosti u DMT-a,
2. zatim se kreira raster smeru toka od svake ćelije do njenog suseda metodom D8. Ova metoda modelira pravac toka od svakog posmatranog piksela do susednog piksela ima najstrmiji nagib,
3. sledeći korak je računanje akumulacije protoka. Rezultuje rasterom akumuliranog protoka u svakoj ćeliji, što se postiže sabiranjem težina svih ćelija koje se ulivaju u svaku ćeliju na nižem nagibu,
4. određivanje slivova je naredni korak putem lociranja linija grebena koje povezuju basene. Izlazni rezultat je raster koji prikazuje slivove analiziranog prostora,
5. poslednji korak je delineacija dobijenih rastera postupkom vektorizacije rastera.

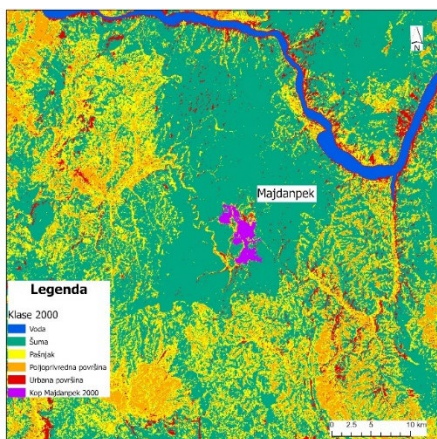
2. REZULTATI

Rezultati multispektralne analize pokazuju da je površina otvorenog kopa Majdanpek za period od 22 godine neznatno promjenjena, sa 14,99km² koliko je otvoreni kop zauzimao 2000. godine do 15,34km² koliko je kop zauzimao 2022. godine.

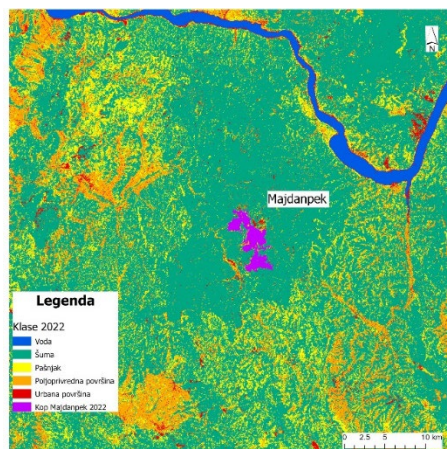
Ostale promene u zemljišnom pokrivaču proučavanog prostora su date u tabeli 2 i slikama 4 i 5.

Tabela 1. Rezultati klasifikacije satelitskih snimaka za 2000. i 2022. godinu

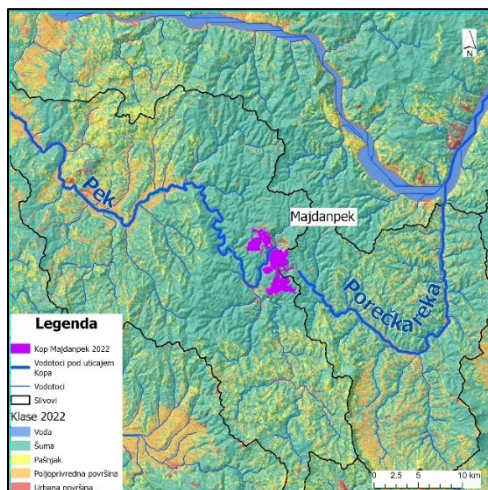
Klasa	% (2000)	P km ² (2000)	% (2022)	P km ² (2022)
1 Voda	2.35	71.46	2.38	72.68
2 Šuma	55.84	1699.2	67.31	2049.49
3 Pašnjaci	25.66	782.13	15.34	467.07
4. Poljoprivredna površina	10.83	330.2	12.22	372.08
5. Urbana površina	5.32	162.01	2.75	83.68
/ukupno	100.00	3045.00	100.00	3045.00



Slika 4. Zemljišni pokrivač za 2000. godinu



Slika 5. Zemljišni pokrivač za 2022. godinu



Slika 6. Slivovi i tokovi pod direktnim uticajem kopa Majdanpek

Celokupna analiza je pokazala da su dva velika toka, Peka i Porečka reka, pod direktnim uticajem rudarskog otpada iz kopa Majdanpek (slika 6).

ZAKLJUČAK

Iako se uopšteno smatra da je uticaj na vode i njihovo zagađenje od strane rudarskog otpada mali, ne sme se ovaj problem zanemariti. Takođe se ne sme prekinuti monitoring prostora na kojima je pojava rudarskih jalovišta evidentna.

Savremene tehnologije do određenog limita pojednostavljaju postupak monitoringa životne sredine i čovekovog uticaja na nju, te se one moraju iskoristiti a i unaprediti u maksimalnoj mogućoj meri. Terenski rad i neposredno uzorkovanje sa terena i dalje predstavljaju jedini potpuno precizni način dobijanja ispravnih podataka o stepenu zagađenja životne sredine. Iz tog razloga je neophodno izvršiti sinergiju savremenih tehnoloških postupaka u istraživanju geoprostora, kao što su metode daljinske detekcije i GIS-a koji su primenjeni u ovom radu sa terenskim uzorkovanjem. Metode daljinske detekcije poput mašinskog učenja u klasifikaciji satelitskih snimaka i

druge napredne metode GIS-a mogu u velikom obimu ubrzati procese proučavanja životne sredine i geoprostora, a samim tim i njegov monitoring kroz praćenje promena na datom prostoru. Neophodni uslov je korišćenje što kvalitetnijih ulaznih podataka koji se ne ogledaju samo u satelitskim snimcima visoke rezolucije i njihovih derivata. Potrebno je angažovati i druge platforme pogodne za prikupljanje podataka o geoprostoru poput aviona ili bespilotnih letelica, kao i različite senzore kao što je LiDAR senzora za prikupljanje podataka o visinama i kreiranju DMT ili optička kamera visoke rezolucije koja snima u najmanje četiri (plavi, zeleni, crveni i bliski infracrveni) kanala kako bi bilo moguće kreirati karte zemljišnog pokrivača i detektovati promene.

LITERATURA

1. Chang, C.-C. & Lin, C.-J. (2011): A library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol.2/3, p.1-27. [<https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>]
2. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
3. Copernicus Sentinel data, (2022). Preuzeto sa Copernicus SciHub [27.09.2022.], obrađeno od strane ESA. L2A_T34TEQ_A027761_20220630T093039
4. Foody, G. M. i Mathur, A. (2004). "Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification," *Remote Sensing of Environment*, vol. 93, pp. 107-117
5. GDAL/OGR contributors. (2020). GDAL/OGR Geospatial Data Abstraction software Library. Preuzeto sa <https://gdal.org>
6. Kang, J., Zhang, H., Yang, H. i Zhang, L. (2018). "Support Vector Machine Classification of Crop Lands Using Sentinel-2 Imagery," 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), pp. 1-6, doi: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2018.8476101.

7. NASA/METI/AIST/Japan Spacesystems and U.S./Japan ASTER Science Team (2001). ASTER DEM Product. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2022-09-29 from <https://doi.org/10.5067/ASTER/AST14DEM.003>
8. QGIS Development Team (2022). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
9. RZS (2021). Životna sredina - Otpad i opasne hemikalije. Stvoreni i tretirani otpad, 2021. <https://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/statisticalrelease/?p=8746>
10. United States Geological Survey, Earth Resources Observation and Science Center (2022). Landsat 7 ETM+ Level-2 [Data Set]. Reston, VA: USGS. doi: 10.5066/F7Q52MNK, LE07_L1TP_185029_20000705_20200918_02_T1, Earth Explorer, pristupljeno 27.09.2022. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
11. Vakanjac, B. (2000). Usporedna proučavanja tipomorfnih paragenetskih odnosa u pojedinim ležištima bakra Borske rudne zone. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet / RGF, doktorska disertacija
12. Vapnik, V.N. (1999). The Nature of Statistical Learning Theory, 2nd ed. Springer, New York, NY.
13. Vujić, S., Grujić M., Salatić D., Radivojević S., i Jelenković R. (2005). Rudnik bakra Majdanpek: razvoj stanje budućnost = copper mine majdanpek: development state future. Rudnik uglja; Akademija inženjerskih nauka Srbije i Crne Gore: Rudarsko-geološki fakultet.