

UDK: 624.131:622.7(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2301001T

NAUČNI RAD

Oblast: Geologija i Rudarstvo

Primljen: 27.02.2023.

Prerađen: 14.04.2023.

Prihvaćen: 24.04.2023.

**IZRADA GEOTEHNIČKOG I HIDROGEOLOŠKOG MODELA  
SEKTORA BR. 6 FLOTACIJSKOG JALoviŠTA  
„VALJA FUNDATA“ U MAJDANPEKU**

**DEVELOPMENT OF A GEOTECHNICAL AND HYDROGEOLOGICAL  
MODEL ON THE SECTOR 6 OF THE "VALJA FU DATA" FLOTATION  
TAILING DUMP IN MAJDANPEK**

Dušan Tašić<sup>1a</sup>, Ivan Jovanović<sup>1b</sup>,  
Katarina Milivojević<sup>1c</sup>, Dragan Ignjatović<sup>1d</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

**Orcid:**

<sup>1a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8005-9640>; <sup>1b</sup> <https://orcid.org/0009-0000-5174-3734>;

<sup>1c</sup> <https://orcid.org/0009-0000-1306-4044>; <sup>1d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2333-6853>

**Izvod**

*Geotehnička i hidrogeološka istraživanja sprovedena su na lokaciji sektora br. 6 flotacijskog jalovišta „Valja Fundata“ u Majdanpeku. Cilj istraživanja je bio da se definišu geotehnička i hidrogeološka građa ovog dela jalovišta, kao osnova za određivanje optimalnih uslova nadvišenja i sanacije terena predviđenog za proširenje odlagališta. Primenom multidisciplinarnih geoloških metoda istraživanja, izrađeni su odgovarajući geotehnički i hidrogeološki modeli terena, koji će poslužiti kao polazna osnova za dalje građevinsko i rudarsko projektovanje.*

***Ključne reči:** geotehničko istraživanje, hidrogeološko istraživanje, geološki model, flotacijsko jalovište*

**Abstract**

*Geotechnical and hydrogeological investigations were carried out at the location on the sector 6 of the "Valja Fundata" flotation tailing dump in Majdanpek. The goal of investigations was to define the geotechnical and hydrogeological structure of this part of the tailings dump, as a basis for determining the optimal conditions for overhanging and rehabilitation of the terrain, planned for the landfill expansion. The appropriate geotechnical and hydrogeological terrain models, which will be used as a starting point for further construction and mining design, were developed applying the multidisciplinary geological investigation models.*

***Keywords:** geotechnical investigation, hydrogeological investigation, geological model, flotation tailings pond*

## 1. UVOD

Flotacijsko jalovište „Valja Fundata“ predstavlja glavno jalovište na kome flotacija Rudnika bakara u Majdanpeku (RBM) odlaže svoju jalovinu i ima dvostruku namenu: prva je odlaganje celokupne jalovine iz flotacije RBM-a, a druga je za snabdevanje flotacije tehnološkom vodom.

Kako bi se omogućilo dalje nadvišenje flotacijskog jalovišta i njegova eksploatacija u bezbednim i stabilnim uslovima do projektovane kote od K+545 mnv, s obzirom da su koeficijenti stabilnosti, u ovom delu jalovišta (sektor br. 6), ispod zakonom propisanog minimuma, usled širokog fronta proceđivanja kroz spoljašnju kosinu nasipa, neophodna je njegova brza sanacija. U tu svrhu izveden je određen obim terenskih istražnih radova i laboratorijskih ispitivanja, prema preporukama za ovu vrstu objekata [1] realizovanih u periodu decembar 2022. - januar 2023. godine. Konstruisano je devet inženjerskogeoloških profila, formiran 3D inženjerskogeološki i hidrogeološki model istražnog prostora, kao i pružen uvid u opšte inženjerskogeološke, odnosno hidrogeološke uslove i pojave koje mogu uticati na funkcionisanje i proširenje jalovišta.

## 2. PRIKAZ IZVRŠENIH GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA

Prema metodološkim postupcima izvedeni su sledeći terenski i kabinetski radovi (geotehnički, hidrogeološki, geofizički i laboratorijski):

- Prikupljanje i proučavanje raspoložive dokumentacije o dosadašnjim istraživanjima na istražnom području (sinteza i analiza celokupne raspoložive geotehničke i hidrogeološke dokumentacije).
- Inženjerskogeološko kartiranje terena sa izradom inženjerskogeološke karte (u obimu od 0,83 km<sup>2</sup>). Inženjerskogeološko kartiranje vršeno je u cilju što boljeg sagledavanja stvarnog - realnog stanja na predmetnom terenu. Naročita pažnja posvećena je stanju spoljne kosine nasipa, zonama terena sa prisutnim deformacijama, savremenim egzogenim procesima, hidrogeološkim pojavama i stabilnosti terena. Kartiranje je obavljeno metodom praćenja granica i metodom praćenja izdanaka (slika 1).
- Geodetsko lociranje i izvođenje istražnih bušotina. Postignuta dubina za 18 istražnih bušotina je iznosila od 25 do 40 m, odnosno ukupno 470 m bušenja.
- Izvođenje opita VDP-a u bušotinama.
- Inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje jezgra istražnih bušotina sa uzimanjem uzoraka za laboratorijska geomehanička ispitivanja (slika 1).

- Geofizička istraživanja kombinovanom metodom - primenom refrakcione seizmike i specifične električne otpornosti.
- Laboratorijska geomehanička ispitivanja uzetih uzoraka tla i stena.
- Kabinetski radovi (kompilacija, analiza i sinteza raspoloživih podataka) i izrada Elaborata o geotehničkim i hidrogeološkim istraživanjima, u okviru kojeg je izvršeno modelovanje terena.



Sl. 1. Jezgro za inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje

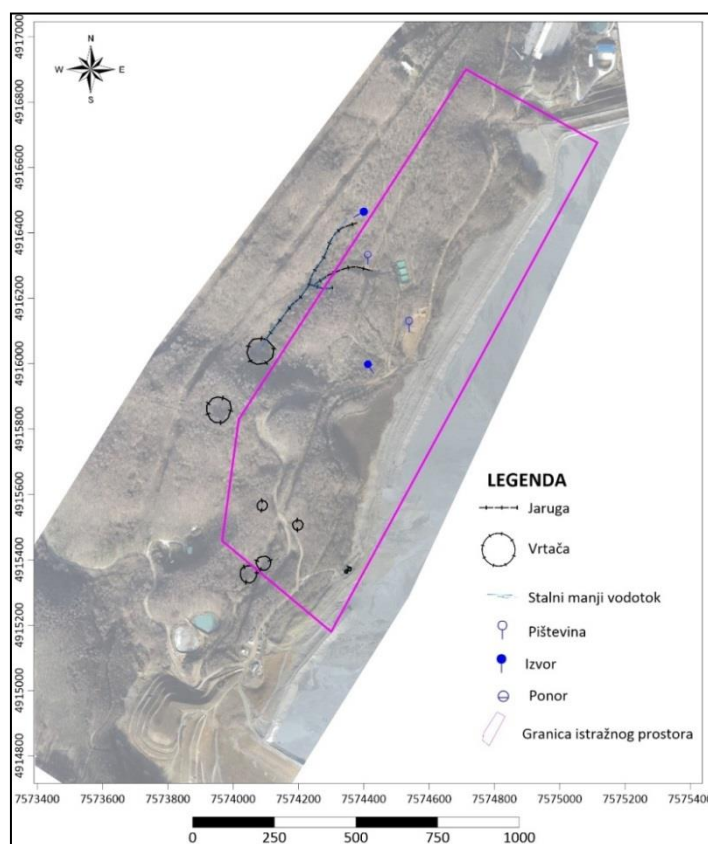
### 3. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Kontura samog istražnog prostora obuhvata severozapadni i zapadni stenoviti obod flotaciskog jalovišta sa najvećim visinama od oko 600 mm, pa sve do 527 mm, koliko iznosi trenutni nivo odlagane jalovine.

Na samom istražnom prostoru i njegovoj neposrednoj okolini mogu se uočiti morfološke pojave i oblici (najviše karakteristični za karstne terene - u delu izgrađenom od jurskih krečnjaka): jaruge, vrtače, škarpe i ponori. Ono što je bitno napomenuti da su na lokaciji istraživanja većinom registrovane geomorfološke pojave vezane za procese intenzivne karstifikacije. Registrovano je 7 većih vrtača, jedan ponor, kao i jedna jaruga u ukupnoj dužini oko 500 m u

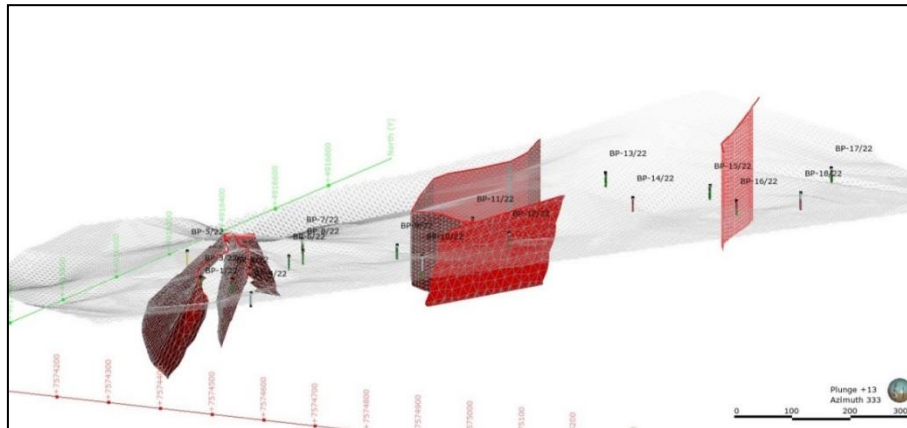
kojoj se javlja povremeni vodeni tok. Položaj registrovanih karstnih pojava i oblika kao i jaruga sa povremenim vodenim tokom je prikazan na slici 2.

U geološkoj građi terena obuhvaćenog jalovištem i njegove šire okoline učestvuju: kristalasti škriljci, stene facije „zelenih škriljaca“, kvarcne žice, gnajs-graniti, serpentiniti, dijabazi, konglomerati i peščari (lijasa i dogera), krečnjaci (titon-valendina), senonski fliš i vulkaniti gornje krede, kvartarni sedimenti i „antropogeni slojevi“ predstavljeni različitim jalovinskim materijalima.



**Sl. 2.** Prostorni položaj karstnih pojava i oblika registrovanih kartiranjem terena

Na mikrolokaciji, a na osnovu rezultata ranijih i sadašnjih istraživanja, uočene su i izdvojene tektonske formacije. Prostorni položaj tektonskih struktura je generalnog pravca SZ-JI. Radi se o mlađim tektonskim strukturama u odnosu na regionalnu tektoniku koja je pružanja S-J. Sintezom položaja u planu i rezultatima istražnog bušenja i naročito geofizičkih istraživanja prostorni položaj tektonskih struktura u 3D formatu prikazan je na slici 3.



Sl. 3. Položaj utvrđenih tektonskih struktura na mikrolokaciji

### 3.1. Inženjerskogeološka svojstva izdvojenih sredina

Na osnovu poznatih podataka o geološkoj građi istražnog prostora, njegove neposredne podloge i okoline, flotacijskog jalovišta, kartiranja novoizvedenih istražnih bušotina i terena, rezultata geofizičkih istraživanja, dobijen je litološko-geotehnički sastav i sklop terena (do dubine od oko 30 m ispod prirodne površine terena).

Konstrukcija terena je heterogenog litološkog i inženjerskogeološkog sastava. Stensku podlogu istražnog prostora sačinjavaju čvrste stenske mase različitih geomehaničkih svojstava u okviru istih litoloških članova (gornjojurski krečnjaci, proterozojski gnajsevi i mikašisti, gornjokredni peščari i hidrotermalno izmenjene vulkanske stene - andeziti paleogene starosti). Preko njih leže kvartarne tvorevine u vidu tanjih ili debljih naslaga deluvijalnih sedimenata. Od „antropogenih slojeva“ zastupljeni su: flotacijska jalovina u vidu cikloniranog peska i flotacijskog mulja, kao i različiti nasuti materijali manje debljine.

Prve četiri inženjerskogeološke sredine se svrstavaju u tlo. Vrednosti fizičko-mehaničkih svojstava se za njih zasnivaju na laboratorijskim ispitivanjima uzoraka, inženjerskogeološkom iskustvu i poznavanju ovog dela terena [2]. Ostalih sedam sredina (razvrstanih u odgovarajuće komplekse) pripadaju čvrstim stenskim masama. Sve istražne bušotine bile su završene u njima. Sve ove stene su uglavnom površinski ispucale i degradirane, a geomehanička svojstva se poboljšavaju sa porastom dubine. Ispitane su, po kriterijumima i zakonima mehanike stena, kategorisane po Bijenavskom ( $RMR_{89}$  [3] i GSI klasifikacija [4]).

Na predmetnom prostoru izdvojene su sledeće inženjerskogeološke sredine i kompleksi:

- Flotacijska jalovina, prašinast materijal - mulj- sredina 1.
- Flotacijska jalovina, ciklonirani pesak - sredina 2.
- Nasip - heterogenog sastava - sredina 3.
- Kompleks deluvijalnih sedimenata - glinovito peskovita drobina - sredina 4.
- Andeziti (Pgaqpx), izmenjene vulkanske stene - sredina 5.
- Kompleks peščara - sredina 6.
- Peščari - intezivno izmenjena, izlomljena do dezintegrirana stena - sredina 6.1.
- Peščari - izlomljena stena - sredina 6.2.
- Kompleks krečnjaka - sredina 7.
- Krečnjaci - intezivno do delimično izlomljena i ispucala stena - sredina 7.1.
- Krečnjaci - kompaktna do slabo ispucala stena - sredina 7.2.
- Kompleks gnajseva i mikašista - sredina 8.
- Gnajsevi i mikašisti - intezivno ispucala, raspadnuta do degradirana stena - sredina 8.1.
- Gnajsevi i mikašisti - izlomljena do delimično kompaktna stena- sredina 8.

Za sve ove sredine prikazan je opis inženjerskogeoloških odlika i data preporuka za vrednosti ulaznih parametara za geostatičke proračune.

### 3.2. Hidrogeološka svojstva terena

S obzirom da je predmet geološke analize matična stena, u kontaktu sa flotacijskim jezerom, odnosno, prostor u kome se planira nadvišenje, hidrogeološka determinacija stena i tla je vršena po starosti, litološkom sastavu i ispucalosti. Determinacija je izvršena na sledeći način:

- Gnajs - kompaktna do slabo izlomljena gnajs proterozojske starosti, sive boje, uškrljen, slabo limonitisan. S obzirom da je na svim uzorcima registrovana ispucalost, mestimično zapunjena glinom, u okviru ovog kompleksa formira se slabopropusna pukotinska izdan.
- Gnajs ispucali - kompleks stena istog litološkog sastava kao i prethodni, s tim što je ovaj kompleks potpuno izlomljen i zdrobljen sa veličinama fragmenata od 1-5 cm. U okviru ovog kompleksa registrovan je prodor flotacijskog peska što indirektno ukazuje da se u ovom kompleksu odvija intezivno strujanje podzemnih voda.

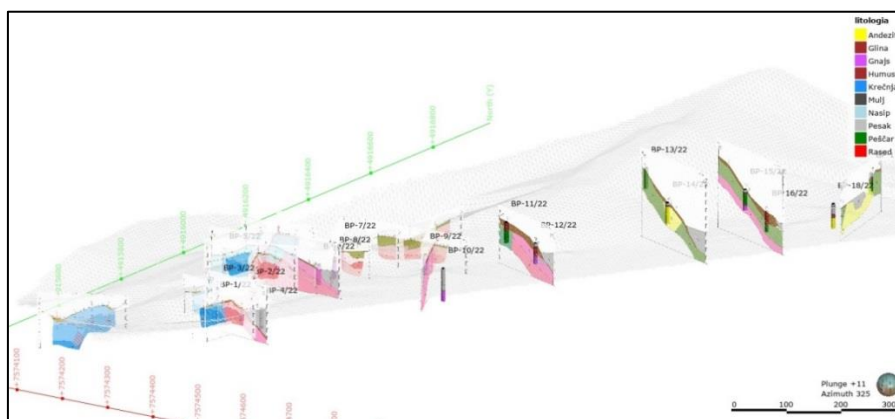
- Krečnjak - kompleks bankovitih krečnjaka srednjejurske starosti. Stena kompaktna do slaboizlomljena. Na jezgru je konstatovana kaveroznost što ukazuje da se u okviru ovog kompleksa odvijaju karstni procesi.
- Krečnjak ispucao - kompleks raspadnute krečnjačke stene sa veoma intenzivnim procesima karstifikacije. Rasprostranjenje ovog kompleksa je u granicama kompaktnog krečnjaka, a na površini terena jasno uočljive karstne geomorfološke pojave i oblici.
- Pešar - kompleks stena kredne starosti. Karakteriše ga smenjivanje kompaktnih i izlomljenih zona.
- Pešar ispucao - istog litološkog sastava i rasprostranjenja kao prethodni kompleks. Karakteriše ga intenzivna zdrobljenost i degradacija do stepena da se može okarakterisati kao krupnozrni pesak inetrgranularne poroznosti. U okviru ovog kompleksa formira se posebna izdan.
- Andezit - izmenjena vulkanska stena. Izlomljena vulkanska stena zapunjena je glinovitim materijalom, u pojedinim intervalima registrovana je kao kompaktna čvrsta stena. Sa aspekta hidrogeologije ovaj kompleks je usvojen kao uslovno bezvodni deo terena.
- Deluvijum (glina) - kompleks kvartarne starosti, gde litološki preovlađuje glina. U okviru ovog kompleksa mogu se registrovati komadi matične stene. Genetski posmatrano ovaj kompleks je nastao raspadanjem matične stene i deluvijalnim procesima taloženja gde debljina, u pojedinim delovima terena, ide i preko 15 m. Glina je svetlo smeđe do smeđe boje, često sa sadržajem prašine i peska. Obzirom na litološki sastav ovaj kompleks je usvojen kao uslovno bezvodan deo terena.
- Mulj (flotacijski mulj) - sedimentni kompleks antropogenog porekla. U okviru ovog kompleksa podzemna voda je ili kapilarno vezana ili sa veoma slabim oticajem.
- Pesak (flotacijski pesak) - sedimentni kompleks antropogenog porekla, heterogenog sastava. Karakterišu ga dobre filtracione karakteristike.
- Nasip, humus - kompleks malog rasprostranjenja litološki predstavljen glinama, prašinom i drobljenim stenskim materijalom.

Ovako prikazana determinacija slojeva se pokazala veoma dobra sa aspekta hidrogeologije, jer se u okviru determinisanog sloja može dati jedinstvena ocena o stepenu vodopropusnosti, tipa poroznosti i načina strujanja podzemnih voda. U svakom slučaju ona ukazuje na veoma složenu hidrogeološku građu terena, gde je većina pripovršinskih stenskih kompleksa veoma ispucala i dobro vodopropusna ili potpuno karstifikovana sa izuzetno velikim oticajem u matičnu stenu.

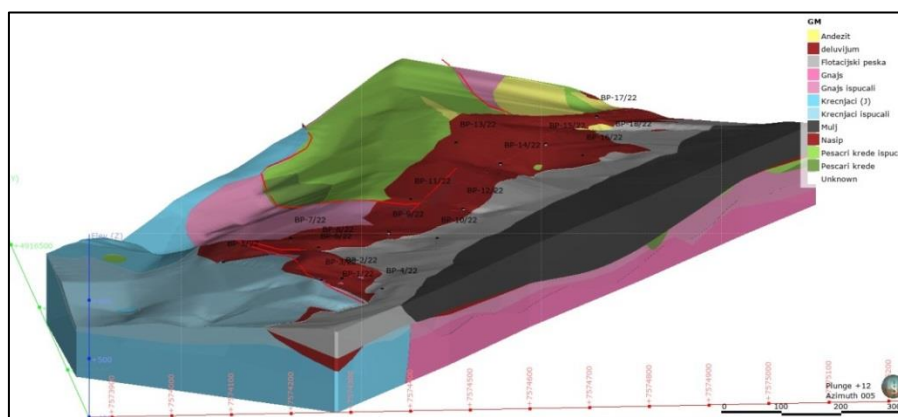
#### 4. FORMIRANJE GEOTEHNIČKOG I HIDROGEOLOŠKOG MODELA TERENA

Na osnovu rezultata dobijenih kartiranjem jezgra, inženjerskogeološkog kartiranja terena, kao i geofizičkih istraživanja (inkorporiranje geoloških podataka u model prikazano je na slici 4), formirani su 3D inženjerskogeološki i hidrogeološki modeli terena od interesa, koji prikazuju građu sektora br. 6 u sadašnjem stanju i mogu da posluže kao osnova za dalje simulacije nadvišenja, odnosno proširenja jalovišta na ovom prostoru (slike 5 i 6, respektivno).

Svim izdvojenim jedinicama i kompleksima u prikazanim modelima dodeljene su kvantitativne vrednosti geotehničkih, odnosno hidrogeoloških parametara.

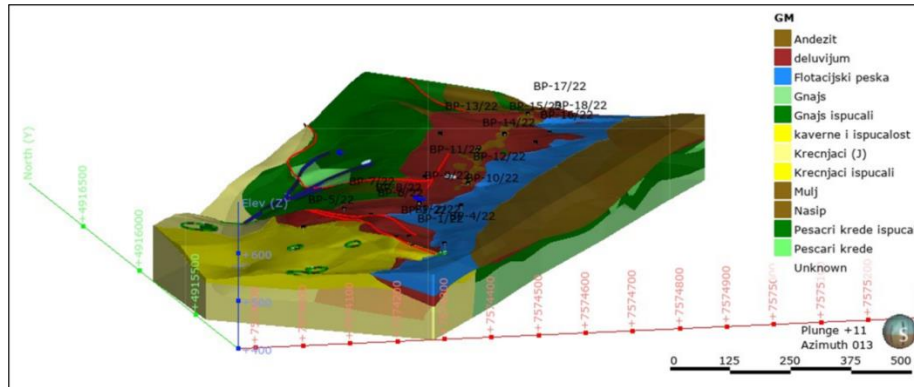


Sl. 4. Formiranje geološkog modela terena na osnovu rezultata sprovedenih istraživanja



Sl. 5. 3D prikaz inženjerskogeološkog modela terena





Sl. 6. 3D prikaz hidrogeološkog modela sa svim tipovima izdani

## ZAKLJUČAK

Dobijenim rezultatima sprovedenih geoloških istraživanja jalovišta na području sektora br. 6 flotacijskog jalovišta „Valja Fundata“ u Majdanpeku, je u potrebnoj meri definisana inženjerskogeološka i hidrogeološka građa terena, koja će poslužiti kao podloga za izradu TRP-a proširenja jalovišta i njegovu eventualnu sanaciju.

Geotehnički i hidrogeološki modeli pokazali su da će se budućim proširenjem flotacijskog jalovišta u sektoru br. 6 angažovati teren složene građe i uslovno povoljnih geotehničkih i hidrogeoloških svojstava za predmetnu rudarsku aktivnost.

Nakon izvršenog projektovanja proširenja jalovišta, potrebno je geotehničke modele terena dopuniti novoizvedenim stanjem i na njima izvršiti proveru geotehničkih i hidrogeoloških uslova nadgradnje za koje će se projektanti odlučiti. Ove proračune bi trebalo uraditi softverskim paketima namenjenim za geotehničke analize (baziranim na metodama konačnih elemenata i granične ravnoteže, na primer RS2, Slide2, i sl.), kao i hidrogeološke proračune i analize.

## ZAHVALNICA

*Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2023. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-47/2023-01/200052.*

**LITERATURA**

- [1] N. Gojković, R. Obradović, V. Čebašek, Stabilnost kosina odlagališta tehnogenih materijala, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2008.
- [2] B. G. Look, Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, Taylor & Francis Group, London, UK, 2007.
- [3] P. Milanović, S. Torbica, Klasifikacije stenskog masiva i njihova primena, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1997.
- [4] M. Ljubojev, R. Popović, Osnovi geomehanike, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2006.