

**KARAKTERISTIKE RUPTURA STENSKOG MASIVA I NJIHOV  
UTICAJ NA STABILNOST TUNELA (POLJE II) U BORU**

**CARAKTERISICS CLIVAGE IN ASPECT IN MASSIF ROCK AND  
EFFECT GLIVAGE ON COMPLICATED PROBLEMS OUTSIDE FILED  
II IN BOR**

Sladjana Krstić, dip. inž. geologije  
Dr Milenko Ljubojev, dip. inž. rudarstva  
Vesna Ljubojev, dip. inž. geologije  
Dr Mile Bugarin, dip. inž. geologije  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, R. Srbija

**REZIME**

*U radu će biti ukratko prikazane karakteristike ruptura stenskog masiva dobijene iz bušotina i njihov uticaj na stabilnost tunela ispod flotacijskog jalovišta Polje II u Boru.*

*Ovaj rad je proistekao iz Projekta broj 17004 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.*

**Ključne riječi:** karakteristike ruptura, bušotina, stenski masiv, projekat.

**SUMMARY**

*In this paper is presented carakterisics clivage in aspect massif rock research in drillhole and efekt clivage on complicated problems outside Filed II in Bor. Details presents in the paper realize at collaboration the Ministry of Science and Technological Development on project N° 17004 R. Serbia.*

**Key words:** characteristics clivage, drillholes, massif rock, project.

**1. UVOD**

U procesu određivanja stepena (intenziteta) ispucalosti stenskih masa vrši se sistematsko merenje elemenata pada svih pukotinskih sistema u sva tri pravca zamišljenog koordinatnog sistema, a zatim određuje njihova srednje aritmetička vrednost.

Kod stena u kojima je složen sistem ruptura sa pukotinama različitog azimuta pružanja i padnog ugla, zapreminska ispucalost se određuje posebno za sva tri pravca.

Naredna faza u radu je vršenje popravki koje uzimaju u obzir uglove između pravca pružanja pukotina i pravca pružanja strana izdanaka po formuli:

$$D_i = D_3 / \sin \alpha \quad \dots (1)$$

gde je:  $D_i$  – stvarna ispucalost

$D_3$  – broj izmerenih pukotina na jednom metru površine

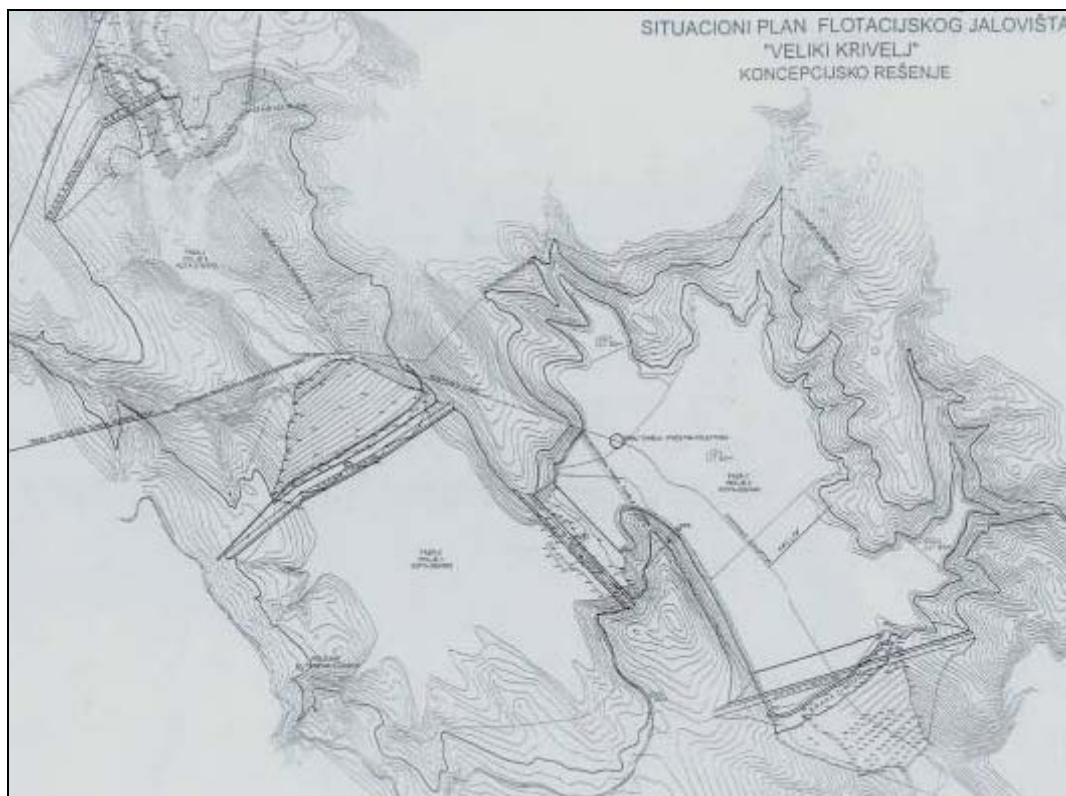
$\sin \alpha$  – ugao između pružanja i zidova izdanaka ili rudarskog rada.

Podaci dobijeni na ovaj način uspešno reprezentuju ukupnu zapreminsku ispuhalost stenskog masiva i uspešno se koriste, odnosno imaju široku primenu u geološkoj praksi (na primer u određivanju ukupne debljine otvorenih pukotina u centimetrima u određenom interval i njihovo procentualno izražavanje na dužni metar [1]).

U ovom radu govori se o rezultatima terenskih istražnih radova bušenja za istraživanje stena trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke. Dobijeni podaci terenskih istražnih radova i rezultati laboratorijskih geotehničkih ispitivanja uzoraka stenskih masa utvrdili su geološku gradju i sklop terena, stanje ispuhalosti, podzemne vode i fizičko-mehanička svojstva stenskih masa. Krajnji cilj istraživanja i ispitivanja je prognoza geotehničkih uslova izgradnje nove trase tunela za izdvojene kvazihomogene zone i kategorije stenskih masa uz primenu savremenih klasifikacija u tunelogradnji.

Obzirom na obim podataka ovaj rad će se odnositi samo na ispitivanje stepena ispuhalosti stenske mase.

Akumulacioni prostor jalovišta dobijen je pregradjivanjem doline branama 1A, 2A i 3A izgradjenim od ciklonskog peska (slika 1). Jalovište se sastoji od polja 1 (staro jalovište) i polja 2 (novo jalovište) koje je aktivno od 1990. god. u koje se odlaže celokupna jalovina iz Kriveljske flotacije. Kako su brane dostigle svoju projektovanu kotu K+350, u polju 2 je omogućeno odlaganje jalovine do polovine 2008.god.



*Slika 1. Situacioni plan flotacijskog jalovišta "Veliki Krivelj"*

Iz tih razloga je neophodno izvršiti nadvišenje brana do kote K+385. Izgradnjom novog tunela na desnoj dolinskoj strani Kriveljske reke bili bi ostvareni uslovi za nadvišenje u polju 2, čime bi se značajno povećala zapremina akumulacionog prostora.

Za potrebe definisanja kvaliteta stenske mase duž novoprojektovane trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke, obavljena su terenska istraživanja u periodu septembar 2007. - januar 2008 godine.

Flotacijsko jalovište (slika 1) u dolini Kriveljske reke ograničeno je branom 3 nizvodno prema Oštrelju i budućom branom 4 prema površinskom kopu "Veliki Krivelj". Devijacija toka Kriveljske reke za sada je izvršena u zonama polja 1 i polja 2. Devijacija u zoni polja 1 izvršena je armirano betonskim tunelom svetlog otvora 3,0 m, koji počinje ispred zaštitno inicijalne brane 1, a završava se u akumulacionom prostoru polja 2. Tunel ide kroz levu padinu doline Kriveljske reke, a u polje 2 izlazi na otvoreno na koti K+261 u dužini od oko 100 m. Devijacija Kriveljske reke u zoni polja 2 izvršena je kolektorom koji se nastavlja na tunel i istog je svetlog otvora. Kolektor se pruža po dnu doline Kriveljske reke i nakon 2 075 m izlazi van zone jalovišta oko 150 m nizvodno od zaštitne brane 3, na K+247. Vremenom dolazi do deformacija obloge kolektora i izvršena je njegova sanacija na dužini od 621 m i delimična sanacija na dužini 22 m. Sanirani deo se nalazi ispod brane 3. Sanacija je izvršena ugradnjom armirano-betonskog prstena debljine 40 cm, tako da je svetli otvor na saniranom delu smanjen na 2,20 m.

Nadvišenje polja 2 iznad kote K + 350, ograničavaju dva vrlo jaka razloga od kojih je jedan da se u tehničkom smislu ovo polje ne može nadvisiti do momenta kada će postojeći kolektor ispod polja 2 biti van funkcije izgradnjom novog tunela.

Ukupna dužina nove trase tunela iznosi 2400 m. Projektovana trasa novog tunela polazi sa padine Tilva Satuli, zatim u dužini od oko 200 m prolazi ispod samog flotacijskog jalovišta polja 2 (slika 2).



*Slika 2. Deo polja 2 ispod kojeg će proći nova trasa tunela*

Na koti K + 350 trasa nastavlja preko padine Satuli, a na dužini od 1820 m trasa menja azimut pružanja i od kote K + 335 skreće ka istoku do izlaznog portala koji je nizvodno od brane 3A.

## 2. VRSTE I OBIM IZVEDENIH TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

Duž nove trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke izvedena su terenska istraživanja u cilju dobijanja kontinualnog jezgra zastupljenih litoloških članova po dubini, analize ispucalosti stenskog masiva i dobijanja reprezentativnih uzoraka stena radi određivanja fizičko-mehaničkih i deformacionih parametara u laboratoriji.

Prema metodološkim postupcima izvedeni su sledeći istražni radovi:

- istražno bušenje;
- detaljno inženjerskogeološko kartiranje jezgra istražnih bušotina i uzimanje uzoraka tla za laboratorijska ispitivanja;
- određivanje ispucalosti stenske mase (RQD).

### 2.1. Detaljno inženjersko-geološko kartiranje jezgra bušotina

Pri kartiranju jezgra istražnih bušotina posebna pažnja posvećena je utvrđivanju litološke vrste stenskih masa, raspadnutosti, vlažnosti, strukturnih i teksturnih karakteristika i svih fizičkih svojstva koja su se mogla makroskopski uočiti.

Detaljno su registrovani svi mehanički diskontinuiteti sa posebnim osvrtom na površine slojevitosti i pukotine sa tragovima kretanja stenskih masa. Takođe je vršen detaljan opis zidova pukotina, pukotinske ispune i merenje padnih uglova (slika 3).



*Slika 3. Jezgra posle završenog kartiranja na bušotini B - 1k*

### 2.2. Određjivanje ispucalosti stenske mase RQD (Rock Quality Designation)

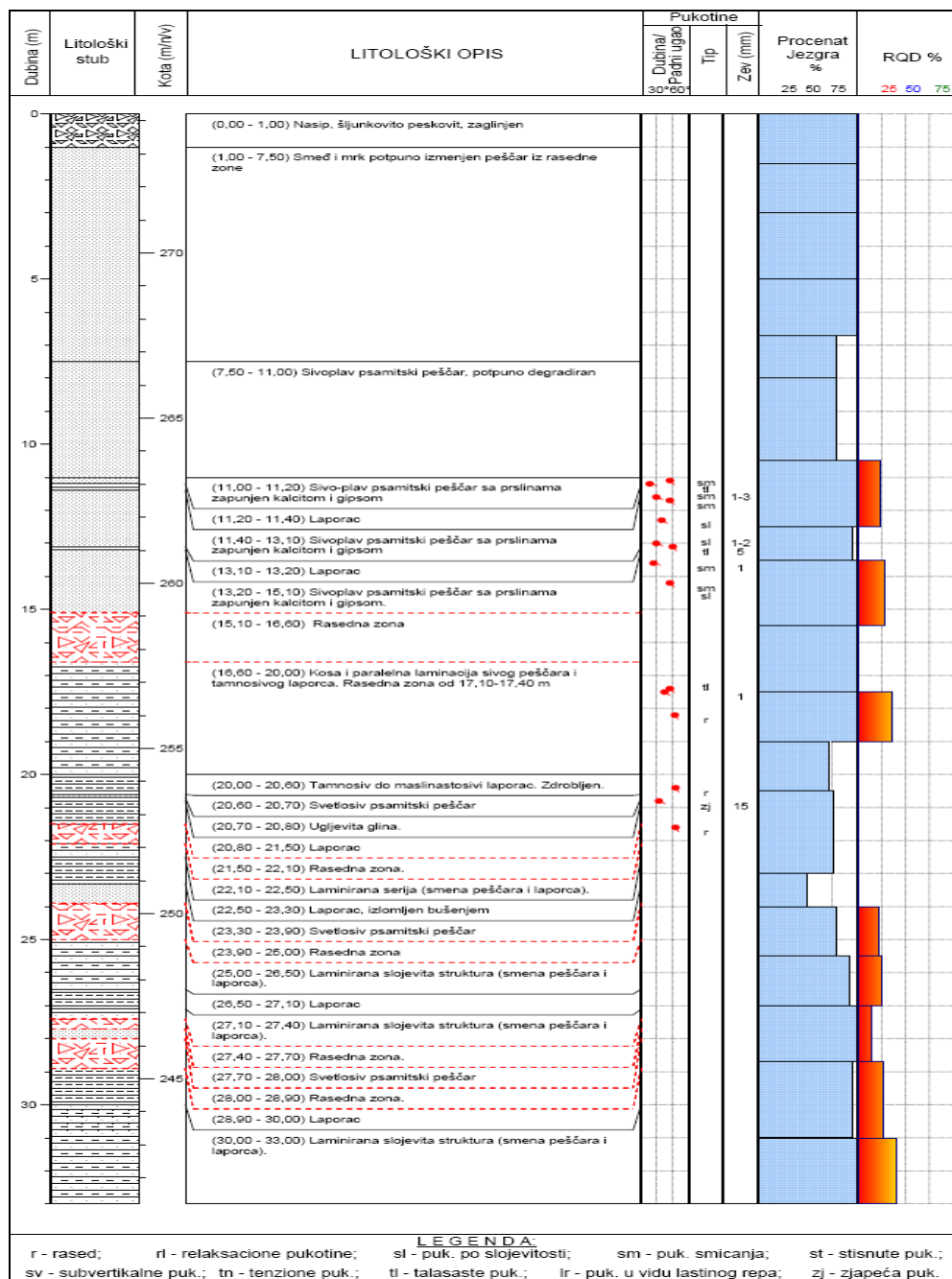
Kao pokazatelj ispucalosti stenske mase koristi se RQD (Rock Quality Designation). RQD je samo linearni pokazatelj celovitosti stenske mase i određen je pravcem bušenja. On sam nije dovoljan pokazatelj celovitosti stenske mase, tj. ne uzima u obzir orijentaciju pukotina, širinu i materijal ispune, hrapavost zidova pukotina, naponska stanja i podzemne vode.

Pokazatelj kvaliteta stenske mase dobija se iz odnosa ukupne dužine komada jezgra dužih od 10 cm i dužine intervala bušenja.

Na osnovu ovog parametra izvršena je odgovarajuća klasifikacija stenskih masa po Deer-u (1967) koja se bazira na ispucalosti stenske mase ocenjenoj prema izdellenosti jezgra dobijenog istražnim bušenjem (tabela 1).

Prilikom terenskog kartiranja detaljno je premeravano jezgro (svi komadi koji su duži od 10 cm u jednom intervalu bušenja) i računat procenat RQD-a. Dobijene vrednosti prikazane su grafički na geološkim profilima istražnih bušotina. (karakterističan primer - slika 4). Gradacije boja od crvene ka zelenoj vizuelno ukazuju na kategoriju stenske mase. Prema klasifikaciji po Deer-u

intenzivna crvena boja na stubu govori o stenskoj masi vrlo slabog kvaliteta, dok tamnije nijanse zelene boje na dobru, odnosno odličnu kategoriju.



Slika 4. Stub kartirane bušotine B – 5k

*Tabela 1. Kalsifikacija po Deer-u (1967):*

RQD (%)	Kategorija stenske mase
0 - 25	Vrlo slaba
25 - 50	Slaba
50 - 75	Zadovoljavajuća
75 - 90	Dobra
90 - 100	Odlična

### 3. REZULTATI MERENJA ISPUCALOSTI STENSKE MASE

U morfološkom pogledu ispitivan teren karakterišu velike visinske razlike i pripada brdsko-planinskom delu, koji se odlikuje razvijenim reljefom. Nagibi padina su promenljivi, na kojima se formiraju manje zaravni, dok su njihovi vrhovi bregova blago zaobljeni. Na ovako formiranje padina uticalo je dejstvo egzogenih sila koje utiču na opšte fizičko-mehaničke karakteristike stenskih masa.

Deo istražnog prostora potpuno je izmenio svoju morfologiju formiranjem flotacijskog jalovišta "Veliki Krivelj" u nekadašnjoj dolini Kriveljske reke.

Za potrebe definisanja geotehničkih uslova izvodjenja nove trase tunela izvedeno je ukupno 5 istražnih bušotina. Prilikom inženjerskogeološkog kartiranja jezgra istražnih bušotina posebna pažnja posvećena je sagledavju stepena i karaktera ispucalosti stenskih masa, a kao pokazatelj ispucalosti stenske mase izračunan je RQD (%) za svaki izbušen interval. To je podatak koji će uz korelaciju sa rezultatima laboratorijskih Geomehaničkih ispitivanja dati jasniju sliku o fizičko-mehaničkim svojstvima sredina u kojoj će se raditi iskop tunela. Na osnovu ovog parametra izvršena je odgovarajuća klasifikacija stenskih masa po Deer-u (1967) koja se bazira na ispucalosti stenske mase ocenjenoj prema izdeljenosti jezgra dobijenog istražnim bušenjem.

Prikaz geološke gradnje i stepena izdeljenosti stenske mase u zoni neposredne izgradnje tunela dat je za svaku bušotinu posebno.

Kartiranjem bušotine B - 5k konstatovano je da trasa tunela prolazi kroz rasednu zonu.

Dobijene vrednosti RQD-a u zoni tunela su u delu iskopa manje od 25 %, a u stenskoj masi iznad iskopa 0 % što prema klasifikaciji Deer-a ovu stensku masu svrstava u kategoriju vrlo slabe, o čemu je posebno potrebno voditi računa prilikom izgradnje projektovanog objekta.

### 3. LITERATURA

- [1] K. Hrković, R. Jelenković i dr., (1994) strukturno-petrofizičko-metalogenetska ispitivanja rudnih polja i ležišta: principi i primena. Posebno izdanje No 6, RGF, Katedra ekonomske geologije, Beograd;
- [2] Savić D., (2008). Tehnički izveštaj o rezultatima izvedenih terenskih geoloških istraživanja stena trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke, Beograd.