



KLASIFIKACIJA I KATEGORIZACIJA GEOLOŠKIH PARAMETARA NAKON PROVEDENOG ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA STJENSKE MASE NA HE JABLANICA

doc.dr.sc. **Đenari Čerimagić**, dipl.ing.geol.
Građevinski fakultet
Univerziteta u Sarajevu

Sažetak: Provedena ispitivanja i istraživanja geoloških i hidrogeoloških svojstava Jablaničkog gabra su u ovome trenutku i na ovome stupnju dosegnutih rezultata, nedvojbeno su pokazala kako su vrijednosti RMR-a, pa prema tome i GSI, povoljne. Jablanički gabbro pripada povoljnoj, moglo bi se reći, dobroj stjenskoj masi. Rezultati interpretirani iz najnovijih istraživanja i ispitivanja sedam bušotina, u bokovima brane, "opravdali" su očekivanja u pogledu kvalitete stjenske mase gabra. S obzirom na "plitke" bušotine u pogledu dubine izvođenja bušotina u prošloj godini, bušenih i registriranih razina podzemne vode u istraživanjima iz šezdesetih godina prošlog stoljeća, izvedeni radovi potvrđuju ispuicalost stjenske mase u prvih 5-10 metara izvedenih bušotina. U radu su naznačeni rezultati ispitivanja vodopropusnosti šezdesetih i korelirani s klasifikacijom Lugeona, te su uspoređivani s determinacijom ispuicalosti stjenske mase i vrijednostima bodova RMR-a u bušotinama izvedenim 2012.godine.

Ključne riječi: gabbro, kvaliteta ispuicalosti stjenske mase, monoaksijalna tlačna čvrstoća, geološki indeks čvrstoće.

CLASSIFICATION AND CATEGORIZATION OF GEOLOGICAL PARAMETERS AFTER EXPLORATION AND TESTING OF ROCK MASS AT HPP JABLANICA

Abstract: Conducted tests and explorations of geological and hydrogeological properties of the Jablanica gabbro have undoubtedly shown that values of RMR, and thereby GSI, are favorable at this time and at this stage of results reached. The Jablanica gabbro belongs to a favorable, it could be said, good rock mass. The results interpreted from the most recent explorations and tests of 7 boreholes in sides of the dam have "justified" expectations in terms of the quality of the gabbro rock mass. Considering the "shallow" boreholes in terms of depth of drilling in the last year, drilled and registered groundwater levels in explorations from 60-ies, the conducted works confirm fissuring of the rock mass in the first 5-10 m of executed boreholes. The paper lists results of permeability tests from 1960-ies, correlates them with the Lugeon classification, and compares them with the determination of rock mass fissuring and values of RMR points in boreholes made in 2012.

Key words: gabbro, rock mass fissuring quality, monoaxial compressive strength, geological strength index,



1. UVOD

Zbog složenosti, tehničkih ograničenja i visokih troškova mjerenja svojstava stjenske mase, u inženjerskoj praksi razvio se cijeli niz indeksnih veličina kojima se *kvantitativno* određuje kvaliteta stjenske mase. Osnovno načelo razvitka gotovo svih indeksa je izravno mjerenje jedne ili više veličina koje su uspoređene s izmjerenim svojstvima stjenske mase u riješenim inženjerskim zadaćama. Time se dobiva sustav koji prikazuje kvalitetu stjenske mase kvantitativno ocijenjenu na temelju tog indeksa [8;9;11;16;18]. Osnovni nedostatak i opasnost korištenja takvih veličina je što je to pokušaj da se kvaliteta stjenske mase iskaže jednim parametrom. Bez obzira na činjenicu da su takvi sustavi razvijeni na temelju iskustava stečenih mjerenjem, stjenska masa je složena prirodna tvorevina koja je na svakoj lokaciji jedinstvena. Uz napomenu da nisu jedine, u nastavku će se prikazati indeksne veličine koje su determinirane na brani Jablanica [8;9;11;16;18]:

- ✓ RQD (rock quality designation)- kvaliteta ispucalosti stjenske mase
- ✓ GSI (geological strength index)- geološki indeks čvrstoće

1.1. Kvaliteta ispucalosti stjenske mase (RQD)

RQD je uveo D. U. Deere 1964. godine [8;9;11;16;18]. Određuje se kao postotak jezgre izvađene prilikom sondažnog bušenja, koju čine dijelovi jezgre duži od 10 cm.

$$\text{RQD} = \frac{\text{ukupna dužina dijelova jezgre} \geq 10\text{cm}}{\text{ukupna promatrana dužina bušenja}} \cdot 100\%$$

Pri mjerenju dijelova jezgre dužih od 10cm potrebno je isključiti umjetno nastale lomove kao posljedica bušenja [8;9;11;16;18]. U tablici je prikazan odnos između RQD indeksa i kvaliteta stjenske mase koju je predložio Deere 1968. godine [8;9;11;16;18].

Tablica 1. Odnos između RQD i kvalitete stjenske mase

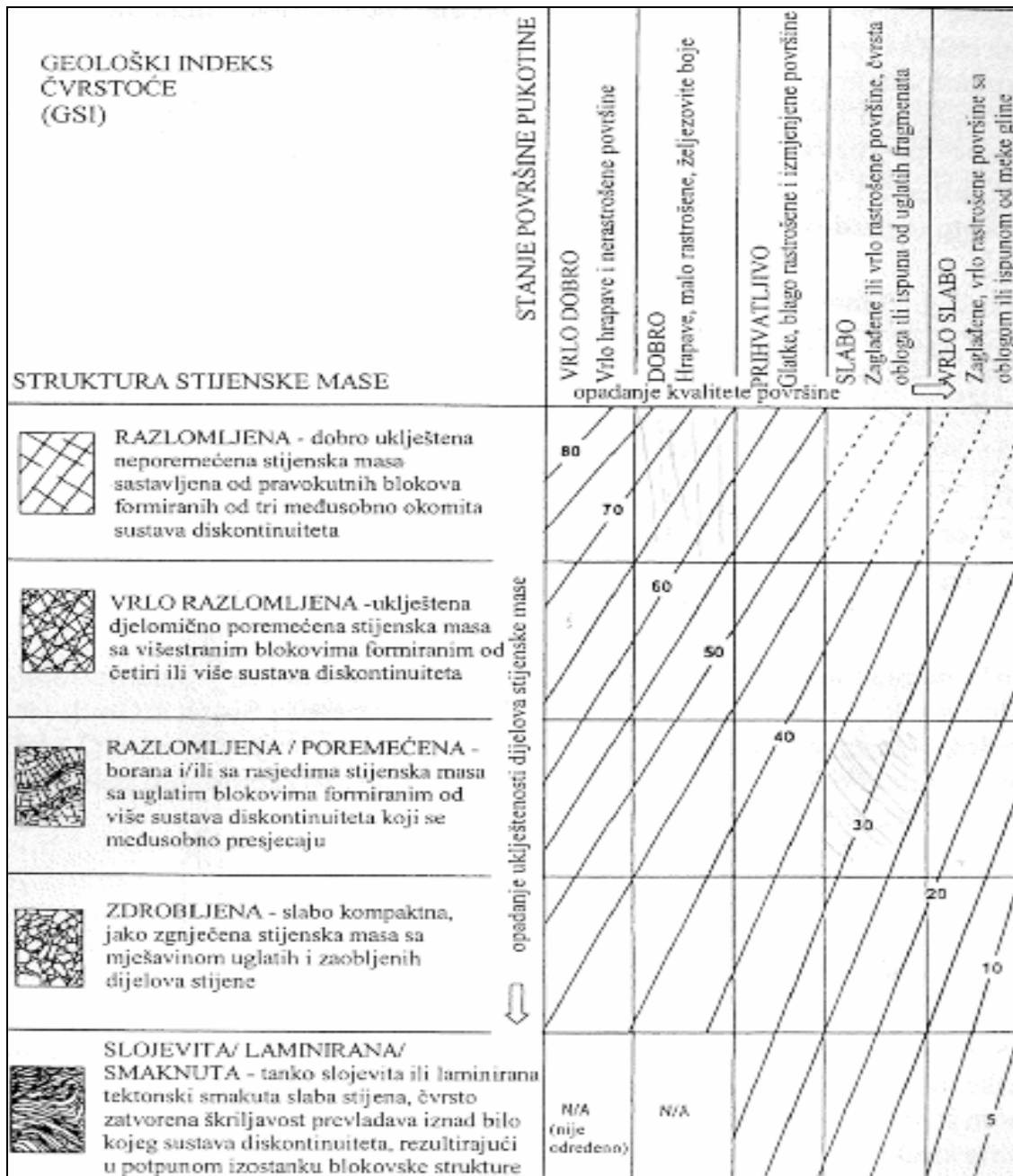
RQD (%)	Kvaliteta stjenske mase
<25	Vrlo loša
25-50	Loša
50-75	Prihvatljiva
75-90	Dobra
90-100	Izvrсна

Kad ne postoji sondažno bušenje iz kojeg se može dobiti jezgra potrebna za određivanje RQD indeksa, Palmstrom (1982., preuzeto iz Singh & Goel, 1999.) [8;9;11;16;18;] je predložio izraz za proračun na temelju volumetrijskog broja pukotina (J_v). Izraz vrijedi za stjenske mase sa zatvorenim pukotinskim sustavima (bez glinene ispune):

$$\text{RQD} = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

1.2. Geološki indeks čvrstoće (GSI)

GSI su uveli Hoek & Brown 1997. godine [8;9;11;16;18]. Uporabljiv je i za čvrste i za slabe stijenske mase. Ocjenjuje se stanje strukture stijenske mase i stanje diskontinuiteta. Na slici je prikazan dijagram za određivanje vrijednosti GSI indeksa i to dopunjena verzija (Hoek et al., 1998.) u odnosu na izvorni prijedlog Hoek & Browna [8;9;11;16;18].



Slika 1. Dijagram za procjenu geološkog indeksa čvrstoće (GSI) na temelju vizualne ocjene geoloških uvjeta (Hoek & Marinos, 1998.) [10]

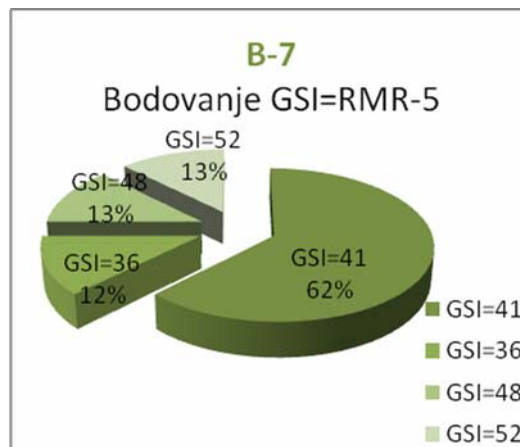
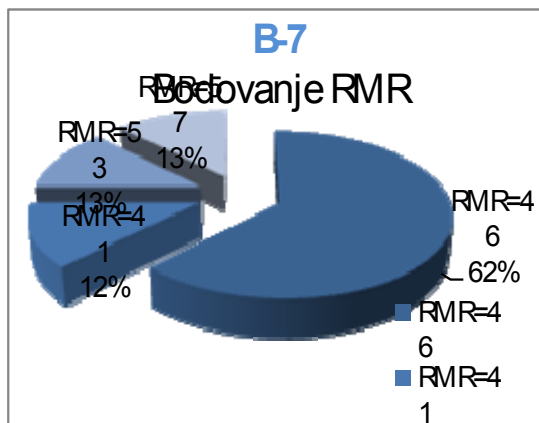


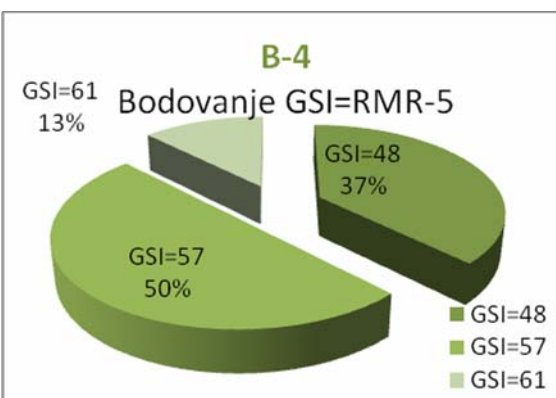
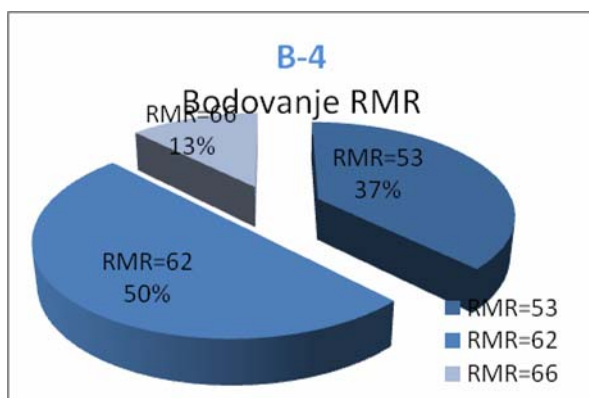
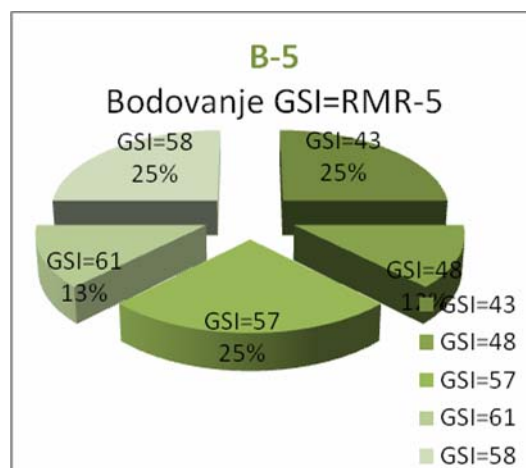
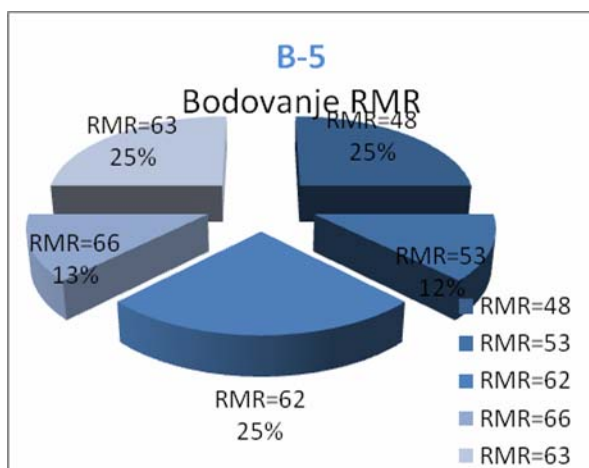
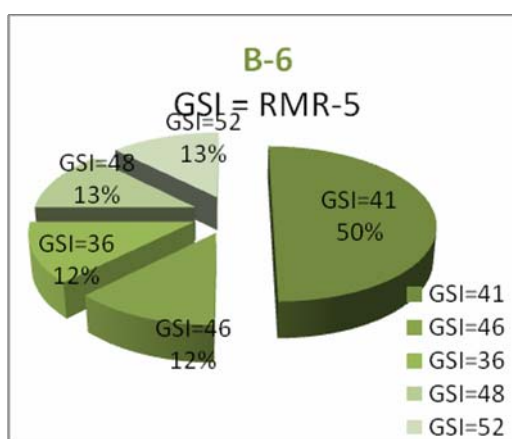
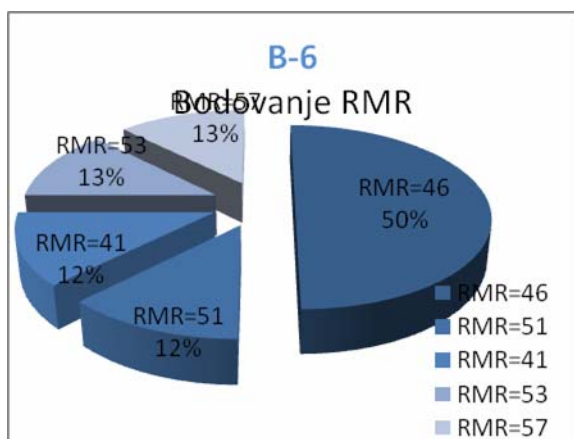
1.3. Klasifikacije stjenskih masa

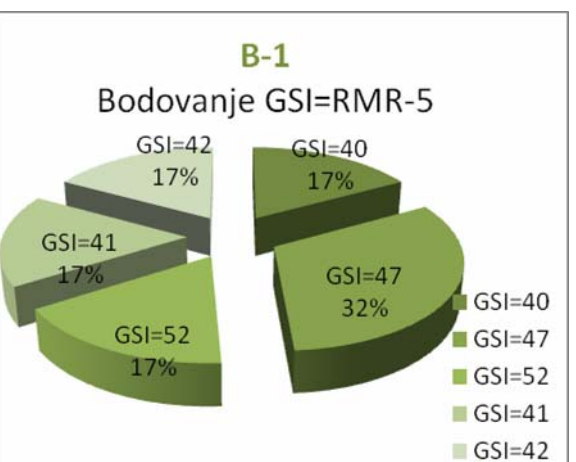
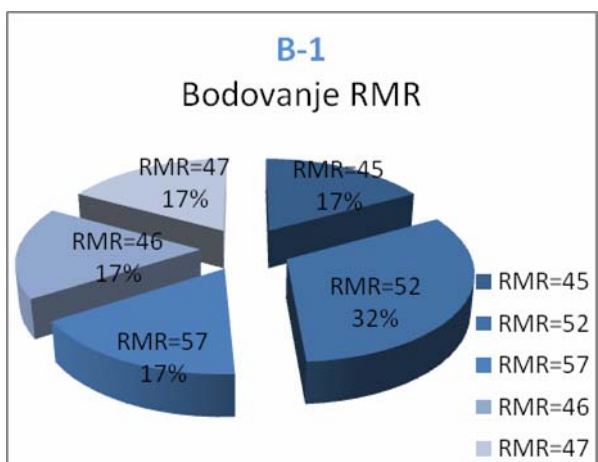
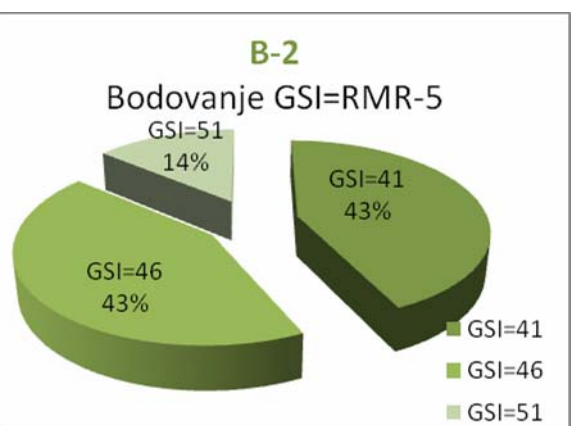
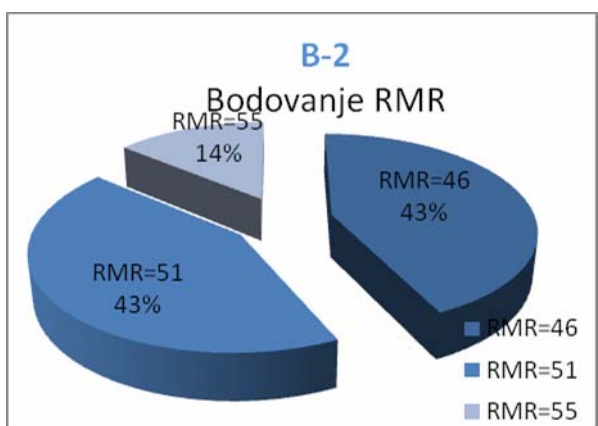
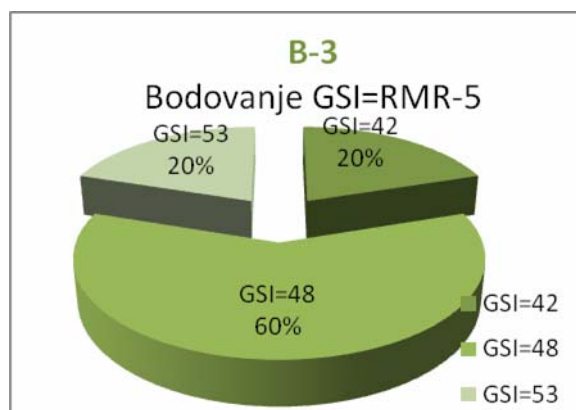
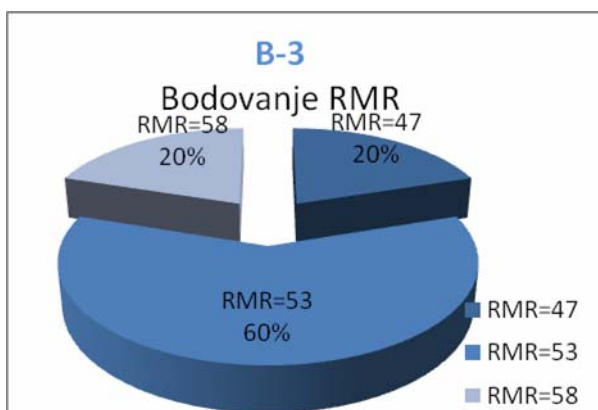
Sve klasifikacije uključuju nekoliko ključnih parametara stjenske mase i pridruživanje pojedinog parametra nekoj od unaprijed određenih klasa. Svakoj od klasa pridružena je odgovarajuća numerička vrijednost. Zbrajanjem pridruženih numeričkih vrijednosti za svaki od parametara stjenske mase dobije se konačna numerička vrijednost koja obilježava ponašanje tretirane stjenske mase [8;9;11;16;18]. RQD indeks razvio je Deere 1967. godine. Ubrzo je postalo jasno da klasifikacije bazirane na jednom parametru ne mogu dati odgovarajuću sliku o stanju stijenske mase. Tako je došlo do uvođenja klasifikacija s dva (bivariate) i više (multivariate) parametara. Deere i Miller su 1966. godine predložili klasifikacijski sustav koji je uzimao u obzir jednoosnu tlačnu čvrstoću i Youngov modul. Ova klasifikacija ima dva osnovna nedostatka: jednoosna tlačna čvrstoća i modul elastičnosti nisu parametri koji imaju dominantan utjecaj na ponašanje stjenske mase; modul elastičnosti se ne može odrediti jednostavnim postupcima na terenu [16]. Danas se najčešće koriste geomehanička klasifikacija RMR (Rock Mass Rating) Bieniawskog i Bartonova Q-klasifikacija [8;9;11;16;18].

2. GEOMEHANIČKA KLASIFIKACIJA RMR

Na predmetnom terenu u lijevom boku brane 2012. izbušeno je ukupno 120 metara jezgra na tri bušotine. Na desnoj obali izbušeno je 160 metara jezgra na četiri bušotine. Izvedena je klasifikacija RMR prema nuputcima [8;9;11;16;18]. Dakle, izvršila se klasifikacija-bodovanje RMR stjenske mase u bokovima brane, na bušotinama HE Jablanica izbušenim 2012. za potrebe izrade dokumentacije [1]. Na sljedećim dijagramima prikazani su rezultati bodovanja RMR i GSI na bušotinama izbušenim 2012. (od B1-B7) HE Jablanica [1]:









3. BARTONOVA Q KLASIFIKACIJA

Q klasifikacija koji su predložili Barton, Lien & Lunde (1974.) prilagođena je problemima podzemnih otvora (projektiranje pregrade). Određuje se na temelju šest parametara iz kojih se izračunava koeficijent Q prema izrazu [8;9;11;16;18]:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Prilikom klasificiranja stjenske mase prema RMR-u, na ispitivanju iz 2012. izvršena je samo korelacijska kontrola prema Q klasifikaciji na sljedeći način (prema obrascima [1]):

1. $RMR \approx 9 \cdot \ln Q + 44$ (Bieniawski, 1989.) $Q \gg e^{\frac{(RMR-44)}{9}}$
2. $RMR \approx 15 \cdot \log Q + 50$ (Barton, 1995.) $Q \gg 10^{\frac{(RMR-50)}{15}}$

Primjer provjere klasifikacije Q prema RMR-u:

Bušotina B-5

RMR = 48 od 0 do 10 m
RMR = 63 od 35 do 40 m

Po formuli (6.6.2) za $RMR > 44$ $Q \gg e^{\frac{48-44}{9}} = 1,56$

Po formuli (6.6.3) za $RMR > 50$ $Q \gg 10^{\frac{63-50}{15}} = 7,35$

Prema klasifikaciji Q

- Za $Q=1,56$ kategorija stjenske mase je slaba (poor), odnosno spada u III. kategoriju prema RMR. Vrijednosti odgovaraju klasifikaciji RMR-a iz [1]
- Za $Q=7,35$ kategorija stjenske mase je povoljna (fair), odnosno spada u II. kategoriju prema RMR. Vrijednosti odgovaraju klasifikaciji RMR-a iz [1]

Tablica 2. Kategorija stjenske mase prema Q klasifikaciji [8;9;11;16;18]

Q	Kategorija stjenske mase
0.001-0.01	Krajnje slaba
0.01-0.1	Iznimno slaba
0.1-1.0	Vrlo slaba
1.0-4.0	Slaba (Poor)
4.0-10.0	Povoljna (Fair)
10.0-40.0	Dobra
40.0-100.0	Vrlo dobra
100.0-400.0	Iznimno dobra
400.0-1000.0	Krajnje dobra



4. ISPITIVANJE VODOPROPUSNOSTI METODOM LUGEONA

U razdoblju 1962. i 1963. godine izvedena su ispitivanja i istraživanja vodopropusnosti na devet istražnih bušotina. Sedam bušotina su vertikalne, a dvije su kose pod kutom od 30°. U prilogu su prikazani rezultati opita vodopropusnosti i korelirani su preko *Lugeona*. Zbog složenosti kamenitog masiva ostaje i dalje najaktualnije ispitivanje na terenu i sveobuhvatnija interpretacija dobivenih rezultata. U ovu grupu spada određivanje relativno vodopropustljivijih zona pomoću geološke, hidrogeološke i tektonske metodike i analiza, uključujući i razmatranja oscilacija razina podzemnih voda kao i geofizička istraživanja (Milanović, 1979.). Lugeonova jedinica izražava se preko količine vode koju prima neobložena etaža bušotine u jednoj minuti, na jednom dužnom metru bušotine, pri stvarnom tlaku od 10 bara (l/min, m, 10 bara) [16]. Na istražnim bušotinama korišteni su intervali od 5,0 metara. Tako se vodopropusnost (VDP) u Lu-jedinicama dobije iz izraza:

$$VDP(Lu) = \frac{Q}{t \cdot l \cdot p_{10}} \text{ (l/min, m, 10 bara)}$$

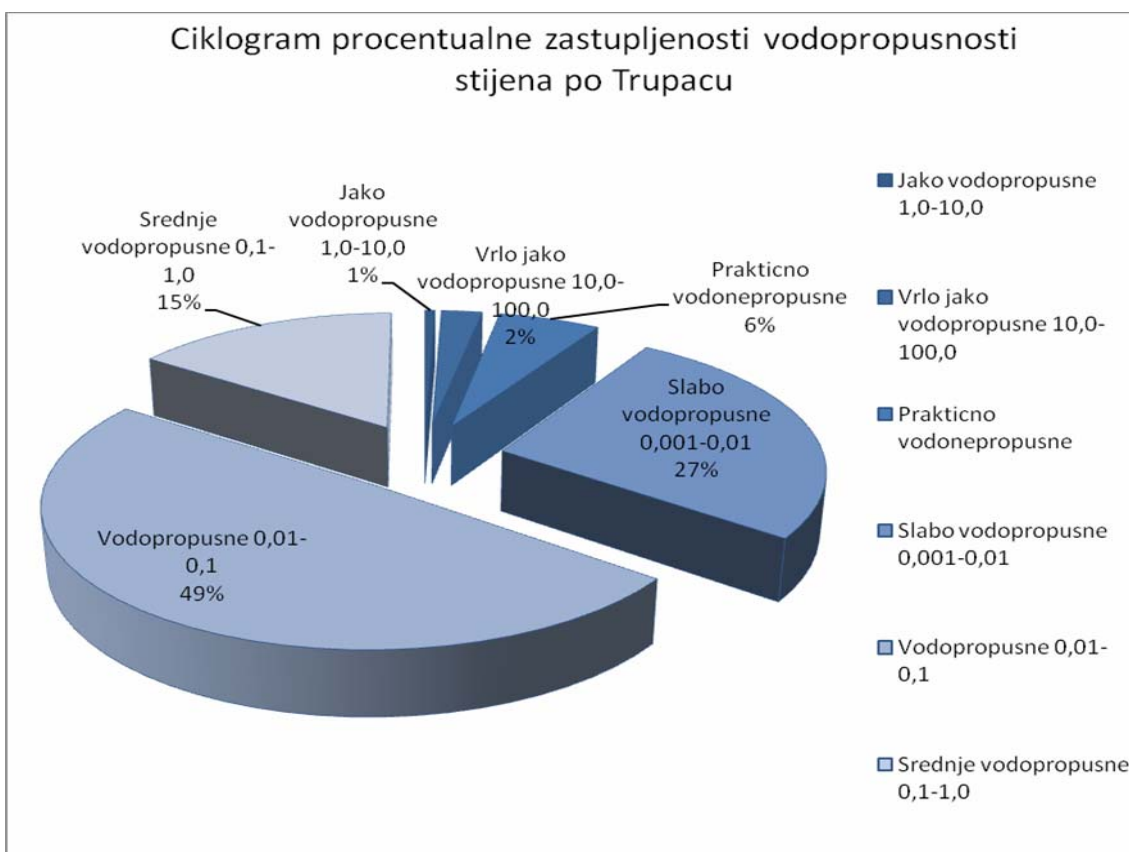
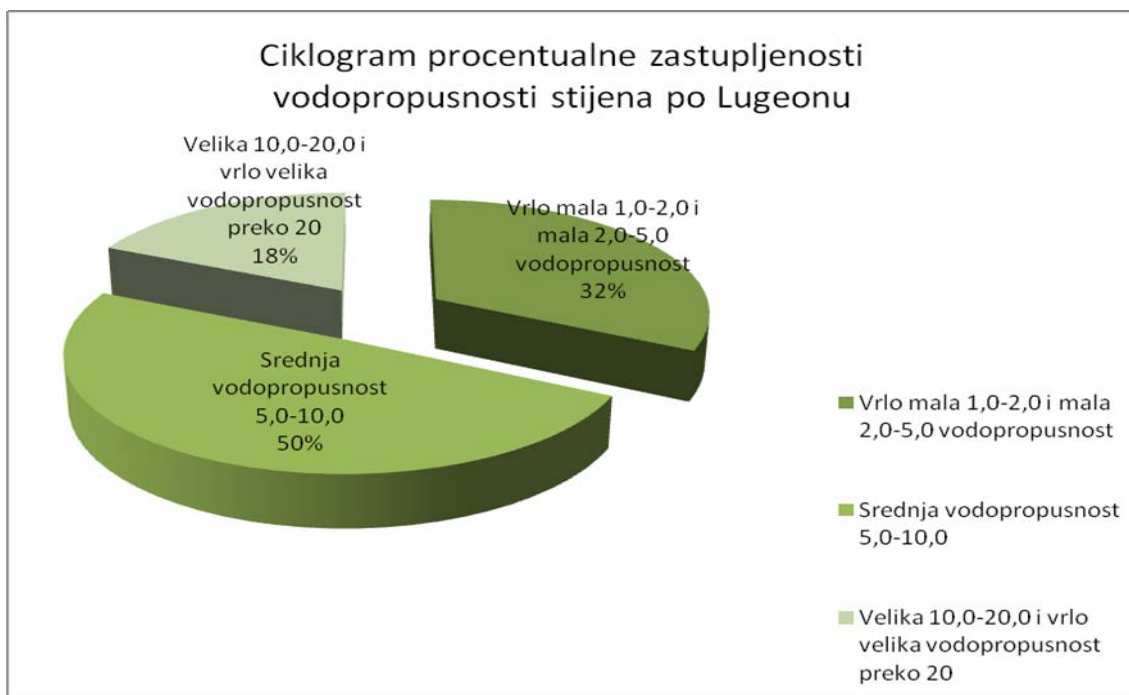
Tablica 3. Kategorizacija stjenskog masiva po stupnju VDP, Trupak [1;5;6;7]

Grupa	Specifična vodopropusnost	Kategorija
1	≤0,001	Vodopropusni masivi
2	0,001÷0,01	Slabo propusni
3	0,01÷0,1	Propusni
4	0,1÷1,0	Srednje vodopropusni
5	1,0÷10,0	Velika vodopropusnost
6	10,0÷100,0	Veoma velika vodopropusnost
7	100,0÷1000,0	Iznimno velika vodopropusnost

Postoji više pokušaja da se stjenski masivi klasificiraju po stupnju VDP, a kao najprihvatljiviji kriterij navodi se N. G. Trupaka (Milanović, 1979.), koji je 1956. godine sve masive podijelio prema specifičnoj VDP u sedam grupa (Kujundžić, 1974.), gdje je stjenski masiv razvrstan prema Lugeonovoj jedinici VDP [16].

Tablica 4. Ocjena vodopropusnosti stjenskog masiva po Lugeonu [16;2]

Grupa	Ocjena VDP	VDP(Lu)(l/min, m pri 10 bara)
1	Vrlo mala	1÷2
2	Mala	2÷5
3	Srednja	5÷10
4	Velika	10÷20
5	Vrlo velika	≥20





5. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Na temelju izvedenih istražnih radova u proteklom razdoblju (1963.) i na temelju ispitivanja i testiranja iz 2012. godine mogu se usvojiti određeni zaključci i preporuke. Ukupno je u posljednje vrijeme prilikom istraživanja izbušeno sedam bušotina s dubinom od 40 metara, odnosno ukupno je izbušeno 280 metara stjenske mase. U prethodnim istraživanjima i ispitivanjima, kao i najnovijim istražnim radovima, konstatirani su u geološkoj osnovi terena sedimenti donjeg trijasa predstavljeni s litološkim članom hipidiomorfno-zrnastim gabrom svijetlo zelene do sive boje.

Određena je klasifikacija ispucalosti stjenske mase (RQD) i na svakih pet metara intervala određena prosječna vrijednost za sve bušotine. Na temelju inženjersko-geološkog i geotehničkog kartiranja jezgre bušotina, izvedena je procjena parametara prema RMR klasifikaciji. Preko dijagrama za određivanje GSI, te preko obrasca da je $GSI = RMR - 5$, određene su vrijednosti GSI na intervalu od pet metara u svakoj bušotini s stjenskom masom.

Vrijednosti RMR-a, pa prema tome i GSI, su povoljne te Jablanički gabra pripada "povoljnij" stjenskoj masi. Određene su tri zone GSI formirane na vrijednostima od izračunatih RMR-a i podijeljene prema intervalima GSI zona 1 = 36-46, GSI zona 2 = 46-56 i GSI zona 3 >56.

Relevantni parametri za izvođenje modelskog proračuna stjenske mase brane Jablanica su :

RQD = 25-75 %

Monoaksijalna čvrstoća $\delta = 100-220 \text{ MN/m}^2$

RMR – II. i III. kategorija

GSI – 1 zona = 36-46
 2 zona = 46-56
 3 zona >56

- Modul deformabilnosti stjenske maske

•

GSI – 1 zona = 15 GPa
 2 zona = 25 GPa
 3 zona = 45 GPa



LITERATURA

1. Čerimagić, Đ., Elaborat o geološkim istaživanjima i ispitivanjima stijenske mase brane Jablanica, Građevinski fakultet Mostar, 2012./2013.
2. Čerimagić, Đ., Inženjerska geologija, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2009.
3. Energoinvest Sarajevo, Dopuna injekcione zavjese HE Jablanica, Glavni projekt, Geološke podloge, knjiga 1, 1962.
4. Energoinvest Sarajevo, Produbljenje injekcione zavjese HE Jablanica, Glavni projekt knjiga 1 i 2, 1963.
5. Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić u Mostaru, Preliminarna geomehanička ispitivanja uzoraka Jablaničkog gabra, Mostar, 2012.
6. Javno preduzeće Elektroprivreda BiH, d. d. Sarajevo, podružnica hidroelektrane na Neretvi, Plan aktivnosti s mjerama i rokovima za postupno smanjenje emisija, odnosno zagađenja i za usaglašavanje sa najboljom raspoloživom tehnikom HE Jablanica, 2007.
7. Javno preduzeće Elektroprivreda BiH, d. d. Sarajevo, Ispitivanja bokova i bučnice, provjera stabilnosti brane i uzroka nastanka pukotine u "C" galeriji brane HE Jablanica, BiH, Institut IGH d. d., Zagreb, 2012.
8. Jevremović, D., Inženjerska geologija, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, 2003.
9. Kovačević, J., Osnovne koncepcije nove austrijske tunelske metode, Beograd, 2005.
10. Milašinović, Z., Upojni bunari u vodosnabdijevanju, Građevinski fakultet u Sarajevu, 2004.
11. Mišćević, P., Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2004.
12. Nukić, N., HE Jablanica, elaborat o provedenim geološkim istražnim radovima na lokalitetu brane Jablanica, Elektroprivreda BiH, 2009.
13. Osnovna geološka karta OGK list Prozor, M 1:100.000, s tumačem lista Prozora.
14. PMF, Geofizički odsjek, Seizmološka istraživanja u sklopu geofizičkih istraživanja blokova i bučnice, provjera stabilnosti brane i uzroka nastanka pukotine u "C" galeriji brane HE Jablanica, BiH, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
15. Savić, Lj., Uvod u hidrotehničke građevine, Građevinski fakultet Beograd, 2003.
16. Selimović, M., Drugi dio istraživanja stijenskih masa, Građevinski fakultet Mostar, 2004.
17. Stojić, P., Hidroenergetika, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 1995.
18. Vrkljan, I., Inženjerska mehanika stijena, Građevinsko-arhitektonski fakultet