

Mogućnost korelacije zatezne čvrstoće i dinamičkih svojstava belog venčackog mermera

Jelena Majstorović, Vladimir Čebašek, Veljko Rupar, Nebojša Gojković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Mogućnost korelacije zatezne čvrstoće i dinamičkih svojstava belog venčackog mermera | Jelena Majstorović, Vladimir Čebašek, Veljko Rupar, Nebojša Gojković | Inženjerski problemi u mekim stenama - Druga konferencija regionalnih geotehničkih društava, Specijalizovana konferencija ISRM-aa; Engineering problems in soft rocks | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007210>

Mogućnost korelacije zatezne čvrstoće i dinamičkih svojstava belog venčaćkog mermera

Jelena Majstorović^a, Vladimir Čebašek^a, Veljko Rupar^a, Nebojša Gojković^a

^a Rudarsko-geološki fakultet Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

ABSTRAKT

Zatezna čvrstoća se koristi pri dimenzionisanju komora (raspona između stubova), određivanju rezne sile na bagerima, izračunavanja efekata miniranja itd. Iskustvo je pokazalo da zatezna čvrstoća stena predstavlja 10-15% jednoosne čvrstoće na pritisak. Za preciznije određivanje ovog parametra pristupa se laboratorijskim ispitivanjima, direktnim ili indirektnim metodama. U ovom radu su prikazana ispitivanja zatezne čvrstoće indirektnom metodom na uzorcima belog mermera ležišta Venčac. Pre utrdivanja zatezne čvrstoće, na svakom probnom telu izvršeno je merenje brzine longitudinalnih elastičnih talasa. Na osnovu dobijenih rezultata određena je korelacija između zatezne čvrstoće stenskog materijala i brzine prostiranja longitudinalnih (podužnih) elastičnih talasa.

KLJUČNE REČI

Mermer; Zatezna čvrstoća; Brzina longitudinalnih elastičnih talasa; Indirektna metoda.

1. UVOD

Na Prvom simpozijumu o mehanici stena i podzemnim radovima, Jugoslovenskog društva za mehaniku stena i podzemne radove, koji je održan u Beogradu 1963. godine, B. Kujundžić je u svom uvodnom referatu definisao mehaniku stena sledećim rečima: „*Mehanika stena, najšire posmatrano, bavi se ispitivanjima i istraživanjima stenskih masa u cilju što boljeg poznavanja njihovih fizičkih, odnosno mehaničkih osobina, njihovog ponašanja prilikom dejstva različitih opterećenja i naponskih stanja, kao i postupaka za poboljšanje njihovog kvaliteta.*“ Zatim dodaje: „*Mehanika stena izučava otpornost stenskih masa na dejstvo pritiska, zatezanja i smicanja, razvija metode njihovog ispitivanja i tumači dobijene rezultate.*“ U samoj definiciji Mehanike stena istaknuto je da mehanika stena, između ostalog, izučava otpornost na dejstvo zatezanja, kao i da razvija metode za ispitivanje ovog svojstva. Određivanje zatezne čvrstoće može se izvesti direktnim ili indirektnim metodama.

U ovom radu su prikazana ispitivanja zatezne čvrstoće indirektnom metodom, koja je poznata i pod nazivom brazilski test koji je izveden na probnim telima izdvojenim iz istražne bušotine BV3, ležišta belog mermera „Venčac“ kod Arandelovca. Na svakom probnom telu utvrđena su i dinamička svojstva, brzine longitudinalnih i transversalnih elastičnih talasa. Mermer predstavlja pogodan stenski materijal za ovu vrstu ispitivanja, jer je masivne teksture, kompaktan i homogen, izgrađen od sitnih mineralnih zrna kalcita. Ispitivanja su vršena u cilju utrdivanja mogućnosti podzemne eksploatacije mermera.

2. ZATEZNA ČVRSTOĆA STENSKOG MATERIJALA

Čvrstoća je mehaničko svojstvo čvrstih tela, uključujući i stene, da se pod određenim uslovima suprotstavljaju dejstvu spoljne sile, koja teži da na njima izazove neku deformaciju. Telo prestaje biti čvrstim, kad se u njemu razore unutrašnje veze i dođe do loma ili plastične deformacije. Zavisno od prirode opterećenja i deformacije razlikuju se: pritisna čvrstoća, zatezna čvrstoća, savojna čvrstoća, smičuća čvrstoća.

Čvrstoća stenskog materijala zavisi od mineraloškog sastava, krupnoće, oblika i veličine zrna, veze između zrna, poroznosti, vlažnosti, prisustva prslina i pukotina. Krupnozrniji i porozniji stenski materijali imaju manju čvrstoću u odnosu na sitnozrnji. Čvrstoća takođe raste sa stepenom metamorfizma.

Laboratorijsko određivanje čvrstoće stenskog materijala obavlja se na probnim telima manjih dimenzija, koja mogu biti pravilnog ili nepravilnog oblika. Probna tela pravilnog oblika mogu biti pripremljena kao prizme ili cilindri, različitih odnosa t/a ili t/d , gde je t debljina (visina) probnog tela, dok su a i d dimenzije osnove probnog tela. Zatezna čvrstoća stenskog materijala predstavlja maksimalnu zateznu silu koju taj materijal može da izdrži. Određivanje zatezne čvrstoće može se izvesti direktnim ili indirektnim metodama. Međunarodno društvo za mehaniku stena (ISRM-International Society for Rock Mechanics) je 1978. godine dalo preporuke za utvrđivanje zatezne čvrstoće direktnom i indirektnom metodom.

2.1. Laboratorijsko određivanje zatezne čvrstoće direktnom metodom

Direktna metoda se izvodi na probnim telima čija je obrada veoma zahtevna, jer je stenski materijal po svojoj prirodi heterogen i anizotropan. Često je nemoguće obraditi dovoljan broj probnih tela za pouzdano određivanje ovog parametra. Sila zatezanja prenosi se na krajeve probnog tela cilindričnog oblika, pomoću metalnih kapica s kukama. Dimenzije kapica su strogo definisane - ne smeju biti manje, a ni veće od 2 mm u odnosu na prečnik probnog tela i moraju biti pričvršćene odgovarajućim lepkom. Probna tela imaju odnos prečnika i visine d/h od 2,5 do 3,0. Omotač probnog tela mora biti gladak, bez neravnina većih od 0,3mm. Osnove probnog tela moraju biti paralelne i bez neravnina većih od 0,02 mm. Osnove ne smeju odstupati od vertikale u odnosu na osu probnog tela više od 0,001 radijana, što je za probno telo prečnika oko 50 mm, približno 0,05 mm. Sila zatezanja se nanosi kontinuirano s konstantnim priraštajem između 0,5 i 1,0 MPa, tako da do loma dolazi u vremenskom intervalu do 5 min. Lom probnog tela treba da nastane u središnjem delu. Zatezna čvrstoća direktnom metodom se određuje deljenjem ostvarene zatezne sile prilikom loma s početnom površinom poprečnog preseka probnog tela.

$$\sigma_t^{UTS} = \frac{P}{A} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot D^2} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

gde je:

P – zatezna sila prilikom loma [N],

A – početna površina poprečnog preseka probnog tela [mm^2],

D – prečnik probnog tela [mm].

2.2. Određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom - Brazilskim testom

Z. Briševac et al. 2015. prikazali su u svom radu istorijski razvoj ove metode. Potrebno je naglasiti da su u tom radu predstavljeni rezultati ispitivanja istraživača koji su presudno uticali na potvrdu ove metode, kao i kriterijumi koji su bitni za tumačenje dobijenih rezultata. Fernando Carnerio je 1943. godine predložio indirektnu metodu za dobijanje zatezne čvrstoće betona. Skoro u isto vreme i japanski istraživač Akazawu predložio je sličnu metodu. Carnerio je za izračunavanje zatezne čvrstoće betona na probnim telima u obliku diskova, koji se izlažu opterećenju po izvodnicama omotača, predložio sledeću formulu:

$$\sigma_t^{BTS} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot t} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

gde je:

σ_t^{BTS} – zatezna čvrstoća određena brazilskim testom,

P – sila loma probnog tela [N],
 D – prečnik probnog tela [mm],
 t – debljina probnog tela [mm].

Za stenske materijale koji se mogu smatrati homogenim, izotropnim i linearno elastičnim istraživači Berrenbaum i Brodie (1959) godine prvi put su predložili ovu metodu. Ispitivanja su vršena kako na pravilnim probnim telima (oblika diska ili valjka), tako i na nepravilnim.

Otkako je počela primena ove metode na čvrstim stenskim materijalima, interesovanje istraživača se odvijalo u više pravaca i to kao:

- unapređivanje formule kojom se izračunavaju vrednosti,
- proučavanje nastanka pukotine i njen razvoj,
- uticaj dimenzije i oblika probnog tela, kao i
- uticaj nekih drugih parametara na rezultate ispitivanja (npr. temperature).

Colback (1966) je zapazio da manji broj ispitivanja stenskog materijala obuhvata određivanja zatezne čvrstoće direktnom metodom, zbog teškoća prilikom izrade probnih tela. Pri tome, zatezna čvrstoća je pokazivala velika odstupanja čak i kod iste vrste stenskog materijala. Preovladalo je mišljenje da brazilski test može dati veoma prihvatljive rezultate ukoliko se poveća broj probnih tela. Pri tome je potrebno detaljno pregledati probna tela posle svakog ispitivanja, kako bi se utvrdila ispravnost loma. Ispitivanja kojima je praćena pojava pukotine pomoću elektrootpornih mernih traka (Yanagidani 1978), potvrdila su da inicijalna pukotina ne potiče od tačke inicijalnog napreznja, već od zone zateznja. Ovi rezultati imali su odlučujuću ulogu za potvrdu brazilskog testa.

Međunarodno društvo za mehaniku stena (ISRM) 1978. godine usvojilo je brazilski test kao standardizovanu metodu za indirektno merenje zatezne čvrstoće. Izračunavanje zatezne čvrstoće σ_t^{BTS} se, prema ovom standardu, vrši prema formuli:

$$\sigma_t^{BTS} = 0.636 \cdot \frac{T}{D \cdot t} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

gde je:

P – sila loma probnog tela [N],
 D – prečnik probnog tela [mm],
 t – debljina probnog tela [mm].

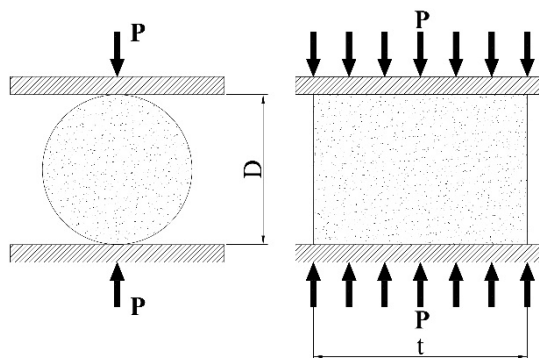
Od 1980. godine određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom postaje sve prisutnije u mehanici stena. Izučava se i uticaj odnosa dužine i prečnika probnog tela, kao i priraštaj sile opterećenja prilikom ispitivanja i zaključuje se da ovi parametri imaju značajan uticaj na rezultate ove metode. Andreev (1991) dolazi do zaključka da brazilski test daje dobre rezultate za materijale koji se krto lome, odnosno da se sa uspehom može primenjivati na čvrstim stenskim materijalima. Dalja istraživanja su ukazala na problem anizotropije, pa Chen i dr. (1998) predlažu da se metoda koristi isključivo za stenske materijale koje se mogu smatrati izotropnim i homogenim. Značajna istraživanja uticaja sile trenja na kontaktu duž izvodnica probnog tela pokazala su da taj kontakt ne utiče na raspodelu napreznja unutar samog probnog tela (Lavrov i Vervoot, 2002).

Veliku pažnju istraživača privuklo je ispitivanje razvoja pukotine. Informacione tehnologije omogućile su izrade modela pomoću kojih se simulirao proces nastanka pukotine. Ove simulacije potvrdile su pretpostavku da se pukotina na probnom telu pri izvođenju oglada širi u blizini jednog od izvora pritiska na probno telo.

Jugoslovensko društvo za mehaniku stena je 1988. godine usvojilo je da se od 1989. godine uvrsti u Jugoslovenske standarde sa obaveznom primenom po preporuci ISRM-a određivanje zatezne čvrstoće

indirektnom metodom sa oznakom JUS B.B7.127, 1988. U standardu je istaknuto da se rezultati ovih ispitivanja koriste u proračunu rudarskih i drugih radova koji se izvode u stenskom masivu, u izradi i primeni rudarske opreme, kao i kod naučnoistraživačkih radova.

Ovim standardom je definisan princip izvođenja ogleada, kojim se cilindrično probno telo opterećuje po izvodnicama omotača i konstatuje sila koja prouzrokuje lom probnog tela. Probna tela se dobijaju izdvajanjem iz jezgra bušotine ili bušenjem jezgra iz bloka stenskog materijala u laboratoriji. Odnos dužine (visine) i prečnika probnog tela t/d mora biti u granicama 0,5 do 1,0.



Slika 1. Određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom - brazilskim testom

Izvodnice bočnih strana po kojima se probno telo opterećuje moraju biti glatke, ravne i paralelne. Odstupanje od paralelnosti ne sme biti veće od 1 %. Čeone površine probnog tela moraju biti normalne na osu cilindra. Odstupanje od vertikalnosti tih površina u odnosu na osu cilindra ne sme biti veća od 1%. Brzina priraštaja sile je 0,2 kN/s. Prilikom ispitivanja meri se sila koja je dovela do loma P i rezultat se registruje. Izračunavanje zatezne čvrstoće brazilskim testom vrši se po obrazcu:

$$\sigma_t^{JUS} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot t} \text{ [MPa]} \quad (3)$$

gde je:

P – sila loma probnog tela [N],
 D – prečnik probnog tela [mm],
 t – debljina probnog tela [mm].

Tabela 1. Odnos zatezne čvrstoće određene direktnim postupkom i indirektno zatezne čvrstoće određene pomoću brazilskog testa

Vrsta stenskog materijala	σ_t^{UTS}	σ_t^{BTS}	$\sigma_t^{BTS} / \sigma_t^{UTS}$	Izvor
Trahit	13.7	7.7	0.56	Perras i Diederichs (2014)
Granit	6.3	10.3	1.63	Perras i Diederichs (2014)
Mermer Carrara	6.90	8.72	1.27	Jaeger (1967)
Gnajs	8.20	9.80	1.20	Perras i Diederichs (2014)
Kvarcit	16.3	13.0	0.80	Perras i Diederichs (2014)
Peščar	5.1	9.5	1.86	Perras i Diederichs (2014)
Peščar	2.96	7.80	2.64	Pandey i Singh (1986)
Oolitski krečnjak	6.073	6.345	1.044	Čolić (2016)

σ_t^{UTS} - zatezna čvrstoća određena direktnim postupkom

σ_t^{BTS} - zatezna čvrstoća određena indirektnim postupkom - brazilski test

Da bi se postigla zadovoljavajuća pouzdanost dobijenog rezultata, potrebno je ispitati minimalno 5 probnih tela. Rezultat za jedan uzorak se prikazuje kao srednja vrednost ispitivanih probnih tela.

Od kada se primenjuju direktna i indirektna metoda (brazilski test), pojedini istraživači su svoju pažnju usmerili na mogućnost utvrđivanja međusobnog odnosa postignutih rezultata. Rezultat nastojanja da se utvrdi odnos direktne i indirektno čvrstoće je prikazan u tabeli 1. Uvidom u podatke prikazane u ovoj tabeli može se uočiti da za neke stenske materijale taj odnos je blizak 1, ali za neke prelazi 2 ili je znatno manji od 1. Bez obzira na činjenicu koliko je komplikovana izrada probnih tela za ispitivanje zatezne čvrstoće direktnom metodom, važno je da se utvrdi ovaj odnos za što veći broj vrsta stenskog materijala. Takva baza podataka omogućila bi nam da proverimo i potvrdimo naše rezultate dobijene brazilskim testom.

3. LEŽIŠTE BELOG MERMERA „VENČAC“ KOD ARANĐELOVCA

Ležište belog mermera „Venčac“ nalazi se u severozapadnom delu Stragarskog razvicia, između planina Bukulje i Venčaca kod Aranđelovca, u Šumadijskom okrugu u Srbiji, gde su pod uticajem granitoidne intruzije, gornjokredni sedimenti kontaktno-metamorfisani, pri čemu stepen metamorfizma opada od Bukulje prema istoku. Bukuljski granitoid je utisnut u sedimente koji pripadaju gornjoj kredi. Pod uticajem ove granitoidne intruzije i postmagmatskih rastvora, izazvane su intezivne manifestacije kontaktne metamorfoze. Širina kontaktne zone iznosi i do 3 km. U ovoj zoni su izdvojene tri grupe kontaktno-metamorfni stena: a) korniti i skarnovi; b) metasomatski gnajsevi, leptinolit i muskovitsko-biotitski škriljci i c) mermeri, filiti, argilofiliti idr. Najveće mase mermera (M) otkrivene su na Venčacu, a pripadaju najeksternijoj kontaktno-metamorfnoj zoni u oreolu bukuljskog granitoida. Izdvojeni su kao posebna kartirana jedinica i pokazuju veći stepen metamorfizma od okoline. Mermeri se javljaju u izduženim telima promenljive širine (od nekoliko metara do više stotina metara). Pretežno su masivni ili bankoviti, a na kontaktu sa okolinom su gotovo redovno pločasti ili listasti, uškrljeni i obogaćeni liskunom. Mikroskopskim analizama je utvrđeno da su izgrađeni od sitnih i ujednačenih zrna bližnjelog kalcita, veličine 0,10x0,06 do 0,19x0,13 mm. Mermeri imaju granoblastičnu do granoblastično-trakastu teksturu, kompaktni su i homogeni. Mermeri sa ovog prostora su beli, svetlo sivi i vrlo retko rumeni.

Beli mermeri ležišta Venčac, su izgrađeni od sitnih i ujednačenih zrna kalcita. Upravo zbog toga predstavljaju pogodan stenski materijal za istraživanja uticaja veličine, dimenzija i oblika poprečnog preseka probnih tela na njihova fizička, mehanička i deformabilna svojstva. Veliki broj rezultata pružio je mogućnost razmatranja promene tehnologije eksploatacije, tj. istovremenog površinskog otkopavanja i podzemne eksploatacije blokova.

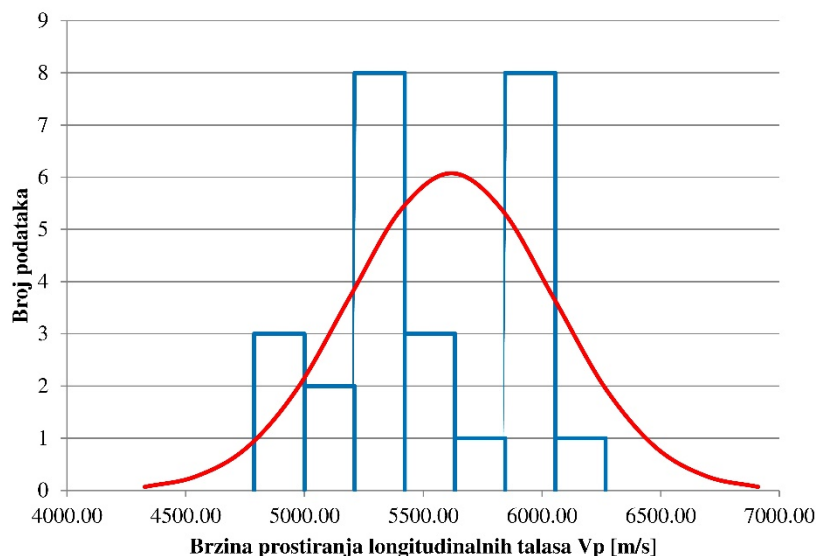
4. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA MERMERA

4.1. Rezultati ispitivanja brzine longitudinalnih elastičnih talasa

Brzina prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa utvrđena je na ukupno 31-om probnom telu belog venčačkog mermera, koja su izdvojena iz istražne bušotine BV3. Ispitivanja su izvršena u Laboratoriji za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu instrumentom Sonic viewer, model 5210, tačnosti čitanja 0.10 μ s. U tabeli 2 dati su rezultati statističke obrade utvrđenih parametara.

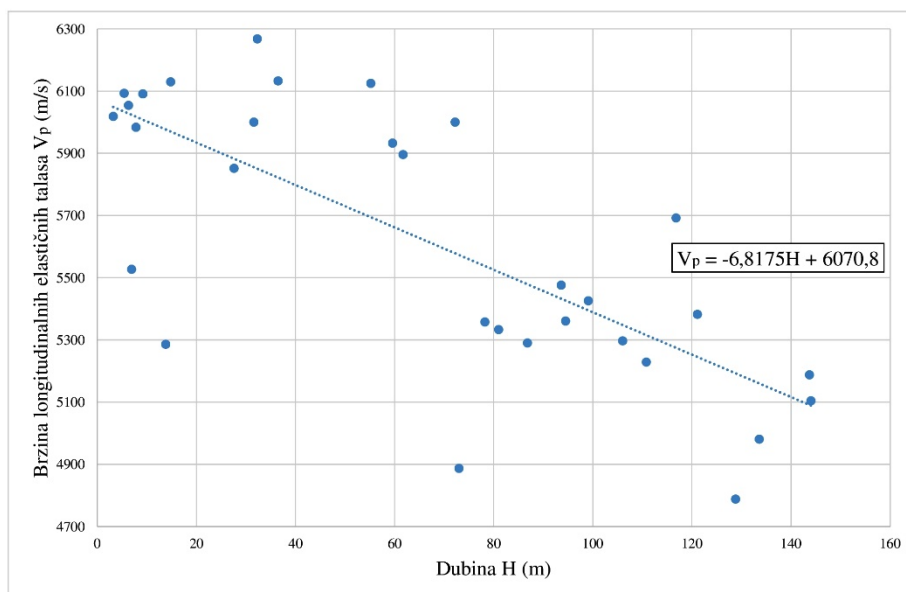
Tabela 2. Rezultati statističke obrade brzine prostiranja longitudinalnih talasa V_p

Parametar	Broj probnih tela	Srednja vrednost	Minimalna vrednost	Maximalna vrednost	Raspon	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije %
V_p (m/s)	31	5618,81	4788	6268	1480	430	7,66



Slika 2. Histogram i kriva normalne raspodele podataka za brzinu prostiranja longitudinalnih talasa V_p

Utvrđene vrednosti brzine prostiranja longitudinalnih talasa V_p u zavisnosti od dubine D prikazane su na slici 3.



Slika 3. Vrednosti brzine prostiranja longitudinalnih talasa V_p u zavisnosti od dubine D

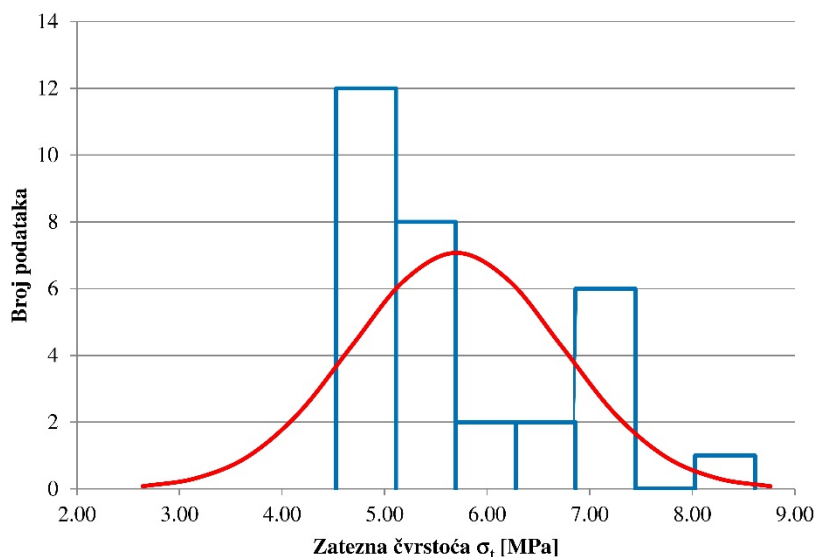
4.2. Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće indirektnom metodom – brazilskim testom

Ispitivanje ultrazvukom značajno je zbog činjenice da se vrši bez razaranja probnog tela, čime je omogućeno da se na ispitivanom probnom telu, na kome smo odredili brzinu prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa, odredi i neko drugo svojstvo, u ovom slučaju zatezna čvrstoća.

Ukupno je iz bušotine BV3 određena zatezna čvrstoća na 31-om probnom telu, indirektnom metodom – brazilskim testom. Dimenzije probnih tela zadovoljavale su uslov predviđen standardom $h/d \cong 1,0$. U tabeli 3. dati su rezultati statističke obrade utvrđenih parametara.

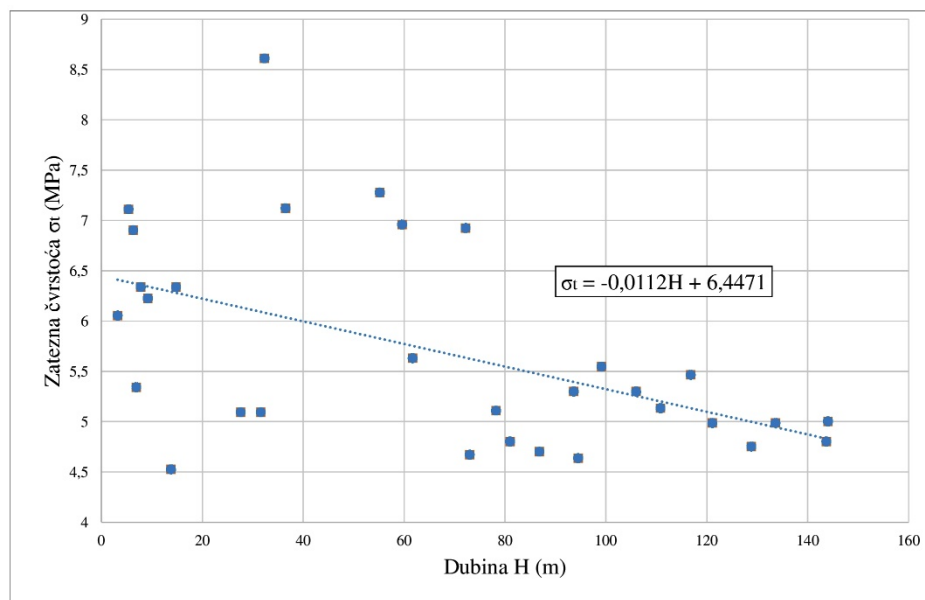
Tabela 3. Rezultati statističke obrade zatezne čvrstoće

Parametar	Broj probnih tela	Srednja vrednost	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost	Raspon	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije %
σ_t [MPa]	31	5,702	4,527	8,612	4,085	1,020	17,90



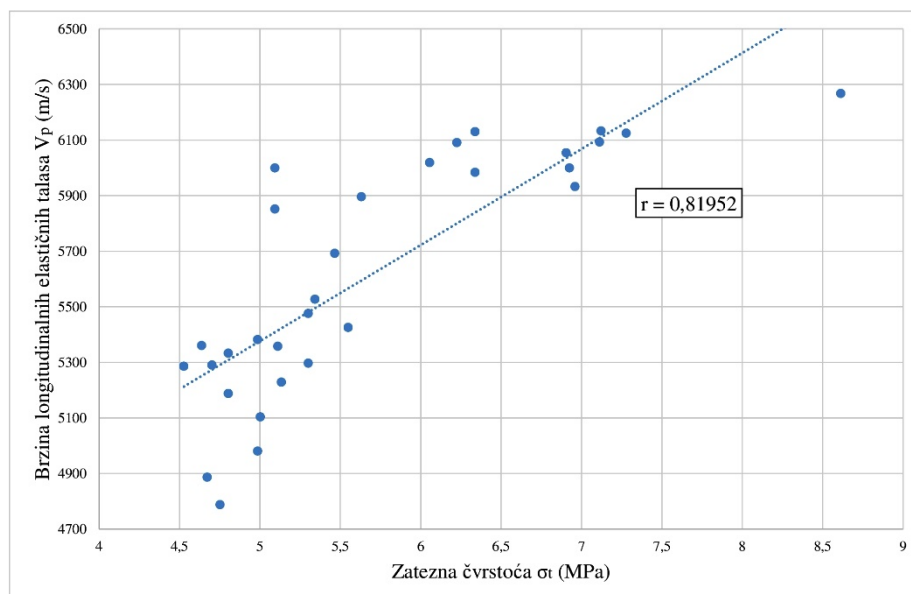
Slika 4. Histogram i kriva normalne raspodele podataka za zateznu čvrstoću σ_t

Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće indirektnom metodom – brazilskim testom u funkciji dubine su prikazani na slici 5.



Slika 5. Vrednosti zatezne čvrstoće određene indirektnom metodom – brazilskim testom u zavisnosti od dubine D

Korelacija utvrđenih vrednosti zatezne čvrstoće σ_t i brzine prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa V_p , koja iznosi $r = 0,81952$, prikazana je na slici 6.



Slika 6. Korelacija vrednosti zatezne čvrstoće σ_t i brzine prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa V_p

Analizom vrednosti brzine prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa V_p i zatezne čvrstoće σ_t u funkciji dubine D , koje su prikazane na slici 3 i 5, uočava se opadanje vrednosti ispitivanih parametara oko 70-og metra. To znači da i kvalitet stenskog masiva opada sa povećanjem dubine na delu ležišta na kome je izbušena ova istražna bušotina.

Vrednost korelacije $r = 0,81952$ ukazuje da postoji visoka direktna korelacija ($0,7 < r < 0,9$) između ispitivanih parametara, i da je potrebno nastaviti ispitivanja u ovom pravcu.

5. ZAKLJUČAK

Prednost ove metode je jednostavnost izrade probnog tela, kao i uslovi u kojima se ogled izvodi. U kombinaciji sa brzinama longitudinalnih elastičnih talasa, predhodno utvrđenih na svakom probnom telu, na velikom broju probnih tela, mogli bi dobiti veoma pouzdane dijagrame očekivanih vrednosti, ukoliko nam je jedan od ovih parametara poznat.

Prednosti ispitivanja zatezne čvrstoće brazilskom metodom su mnogostruke. Relativno je lako ispoštovati zadati standard, moguće je formiranje većeg broja probnih tela iz jednog uzorka koji zadovoljavaju zadate uslove, izvođenje opita je jednostavnije, koristi se i jednostavnija aparatura, u kombinaciji sa predhodno utvrđenim dinamičkim svojstvima moguće je uspostaviti veoma zadovoljavajuću korelaciju.

Moguće je koristiti ovaj parametar, pouzdano utvrđen na većem broju probnih tela sa rezultatima pritisne čvrstoće, na čije rezultate utiče znatno veći broj činioca, uspostavljajući korelacione odnose. Na taj način bi se postigla veća pouzdanost utvrđenih parametara koji učestvuju u proračunima kako rudarskih, tako i građevinskih objekata.

LITERATURA

Akazawa, T. 1943. New test method for evaluating internal stress due to compression of concrete: the splitting tension test. J Japan Soc Civil Eng, 29, 777–787.

- Andreev, G. E. (1991a): A review of the Brazilian test for rock tensile strength determination. Part I: calculation formula. *Min. Sci. Technol*, 13, 3, 445–456.
- Antonela Čolić, 2016. Usporedba rezultata ispitivanja direktne vlačne čvrstoće stijena s rezultatima ispitivanja indirektno vlačne čvrstoće brazilskim testom, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, pp 29.
- Berrenbaum, R. and Brodie. I. 1959. Measurement of the tensile strength of brittle materials. *Brit J Appl Phys*, 10, 281–286
- Briševac Zlatko, Kujundžić Trpimir, Čajić Sandi, 2015. Sadašnje spoznaje o ispitivanju vlačne čvrstoće stijena uporabom brazilskog testa, *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, UDC: 622.023.2; DOI: 10.17794/rgn.2015.2.2.
- Brković Tomislav, Radovanović Zlatko, Pavlović Zoran, 1980. Tumač za list Kragujevac L 34-138, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Carneiro, F. L. L. B. 1943. A new method to determine the tensile strength of concrete. In: Paper presented at the Proceedings of the 5 th meeting of the Brazilian Association for Technical Rules, Associaçãõ Brasileira de Normas Tecnicas—ABNT, 3d. Section
- Chen, C. S. and Pan, E. and Amadei, B. 1998. Determination of deformability and tensile strength of anisotropic rock using Brazilian tests. *Int J Rock Mech Min Sci*, 35, 1, 43–61.
- Colback, P. S. B. 1966. An analysis of brittle fracture initiation and propagation in the Brazilian test. In: Paper presented at the Proceedings of the First Congress International Society of Rock Mechanics, Lisbon, Portugal.
- ISRM suggested methods for determining tensile strength of rock materials, 1978., *international journal of rock mechanics and mining sciences*, no. 15, pp. 99-103.
- Jaeger J.C., 1967. Failure of rocks under tensile conditions. *Int. J Rock Mech Min.Sci.Geomech.Abstr.* 4(2), 219–227.
- Jugoslovenski standardi JUS B.B7.127 god, *Mehanika stena Ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava, Određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom*, 1989., p.p. 169-170.
- Kujundžić Branislav, 1963. *Mehanika stena u Jugoslaviji – Dosadašnji rezultati i perspektive budućeg razvoja*, Saopštenje sa I simpozijuma o mehanici stena i podzemnim radovima, Jugoslovensko društvo za mehaniku stena i podzemne radove, Beograd.
- Lavrov, A., Vervoort, A., Wevers, M. and Napier, J. A. L. 2002. Experimental and numerical study of the Kaiser effect in cyclic Brazilian tests with disk rotation. *Int J Rock Mech Min Sci*, 39, 3, 287–302.
- Majstorović J., Cvetković M., 2004. Neki rezultati ispitivanja stena kao radne sredine ultrazvukom, ECRBM'04 (Evropska konferencija o prirodnim građevinskim materijalima i uglju: Nove perspektive), Sarajevo.
- Pandey P. & Singh D. P. 1986. Deformation of a Rock in Different Tensile Tests. *Eng. Geol.*, 22 (3), 281–292.
- Perras M.A., Diederichs M.S. 2014. A Review of the Tensile Strength of Rock. *Concepts and Testing, Geotechnical and geological engineering.* 32(2), 525-546.
- Yanagidani T., Sano, O., Terada, M. and Ito, I. (1978): The observation of cracks propagating in diametrically-compressed rock discs. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 15, 5, 225–235.