

Geotehničke karakteristike molasa okoline Nevesinja sa akcentom na geotehničke klasifikacije

Dragan Marjanović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Geotehničke karakteristike molasa okoline Nevesinja sa akcentom na geotehničke klasifikacije | Dragan Marjanović | | 2022
||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006521>

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet



Završni rad

Master akademske studije

Geotehničke karakteristike molasa okoline Nevesinja sa akcentom na geotehničke klasifikacije

Kandidat:

Marjanović Dragan

G638/19

Mentor:

doc. Dr Zoran Berisavljević

Beograd, septembar, 2022.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GEOLOŠKE, INŽENJERSKOGEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PREDMETNOG PODRUČJA	2
2.1. Opšti podaci o predmetnom području	2
2.2. Geološke karakteristike terena	3
2.3. Inženjerskogeološke i hidrogeološke karakteristike terena	4
3. KLASIFIKACIJE STENSKIH MASA	9
3.1. Opšte o klasifikacionim sistemima	9
3.2. Tipovi klasifikacionih sistema	10
4. RQD SISTEM	11
5. OPŠTE O RMR KLASIFIKACIONOM SISTEMU	13
6. OPŠTE O GEOTEHNIČKOM KLASIFIKACIONOM SISTEMU GSI	16
7. PRIMENA GSI KLASIFIKACIJE NA FLIŠNE SEDIMENTE	23
8. PRIMENA GSI KLASIFIKACIJE NA MOLASNE SEDIMENTE	24
9. KVANTIFIKACIJA GSI KLASIFIKACIONOG SISTEMA	27
10. PRIMENA GSI KLASIFIKACIONOG SISTEMA NA MOLASNE SEDIMENTE OKOLINE NEVESINJA	33
11. ANALIZA REZULTATA	44
12. ZAKLJUČAK	46
13. LITERATURA	48

Komisija:

1. doc. dr Zoran Berisavljević, mentor

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

2. prof. dr Miloš Marjanović, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

3. doc. dr Dušan Berisavljević, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Datum odbrane:

Rezime

Na sednici Departmana za geotehniku na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu odobrena mi je tema master rada pod naslovom "Geotehničke karakteristike molasa okoline Nevesinja sa akcentom na geotehničke klasifikacije". Rad sadrži 51 strane teksta, 7 tabela i 28 slika.

Ovaj rad se bavi geotehničkim klasifikacijama primenljivim na slabe, kompleksne i specifične stenske mase. Tokom vremena su se razvili mnogobrojni klasifikacioni sistemi u domenu geotehlike koji se više ili manje uspešno koriste za karakterizaciju stenske mase pritom se bazirajući na njene strukturne, fizičko-mehaničke i litološke karakteristike. U tu svrhu tokom poslednjih decenija, u oblasti geotehničkog inženjerstva, od strane različitih autora razvijeni su i brojni namenski dijagrami bazirani na GSI klasifikacionom sistemu, a prilagođeni specifičnostima konkretnog tipa stenske mase i problemima koji se mogu javiti u istim. Jedan od takvih tipova jesu i molasni sedimenti, čija karakterizacija i klasifikacija predstavlja suštinsku problematiku ovog rada.

Ključne reči: *geotehničke klasifikacije, GSI klasifikacioni sistem, stenska masa, molasni sedimenti*

1. UVOD

U geotehnici, kao i u mnogim delatnostima je poslednjih decenija došlo do naglog i značajnog razvoja, a uglavnom kao posledica ekspanzije naprednih tehnologija i društva. Ipak, uprkos brojnim olakšavajućim i savremenim mogućnostima i opcijama koje se koriste u ovoj oblasti, inženjeri geotehnike se i dalje neretko nađu pred problemima koji se ne mogu rešiti ni primenom savremenih alata. Jedan od takvih problema jeste konkretno vezan za definisanje parametara i inženjerskogeološkog ponašanja stenske mase.

Karakterizacija stenske mase može se izvršiti na osnovu rezultata laboratorijskih opita, *in situ* opita ili primenom neke od adekvatnih geotehničkih klasifikacija (Marinos V. i dr., 2005).

Nije uvek zgodno izvesti adekvatan laboratorijski opit koji će pomoći u rešavanju inženjerskog problema prilikom rada u stenskim masama, a ponekad to nije ni moguće, što se ogleda u problematici razmere (Goodman, 1989). Kao alternativna opcija, razvijeni su brojni *in situ* opiti kako bi se ovaj problem minimalizovao. Ipak, ni ovi opiti često nisu izvodljivi, a i jedna od njihovih glavnih mana je visoka cena. Povratna analiza predstavlja najbolji način za procenu geotehničkih parametara, ali tek nakon početka izgradnje određenog objekta, i to vrednovanjem i merenjem parametara u toku izgradnje i korelacijama ovih merenja sa vrednostima ulaznih parametara koji se onda prilagođavaju. Međutim, za definisanje ulaznih parametara, a kada povratna analiza nije moguća, brojni inženjeri su se sve češće oslanjali na iskustvo i lično rasuđivanje kao „alate“ za rešavanje pitanja i problema koji se javljaju prilikom rada u stenskim masama. Kao rezultat toga, razvijene su brojne geotehničke klasifikacije stenske mase koje kvantifikuju ulazne parametre neophodne za projektovanje u stenskim masama (Marinos P. i dr., 2005, 2007, Marinos P. V., 2010, Renani R. H. i Cai M., 2004).

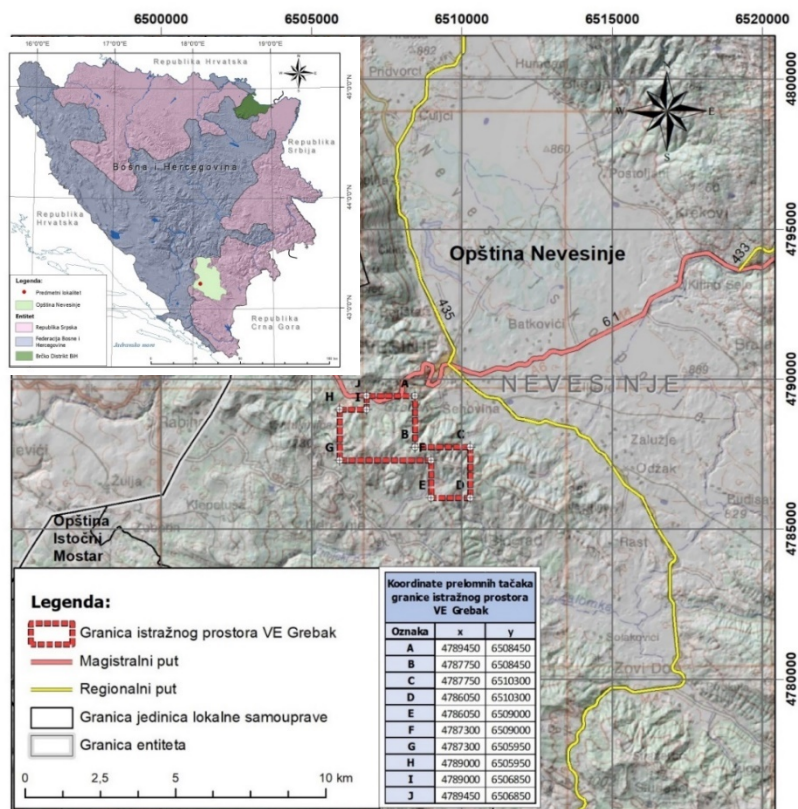
U ovom radu razmatraju se geotehničke klasifikacije i njihova primena na molasne sedimente okoline Nevesinja, a u cilju ocene kvaliteta stenske mase.

2. GEOLOŠKE, INŽENJERSKOGEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PREDMETNOG PODRUČJA

2.1. Opšti podaci o predmetnom području

Šire područje istraživanja pripada teritoriji opštine Nevesinje koja je smeštena u zapadnom delu Nevesinjskog polja na jugoistoku Republike Srpske, odnosno u istočnoj Hercegovini. Prostorni obuhvat, odnosno lokalitet Grebak na kome je planirana izgradnja vetroelektrane VE Grebak nalazi se cca 6 km zapadno od Nevesinja (u pravcu ka Mostaru) na nadmorskoj visini od oko 1100-1230 m n.v.

Primarno područje istraživanja se prostire od magistralnog puta Nevesinje – Mostar (prevoja Grebak) na zapadu ka lokalitetu Bukovica koje je pozicionirano istočnije (Ivanković B. i dr., 2021). Na slici 1 dat je geografski položaj predmetnog područja.

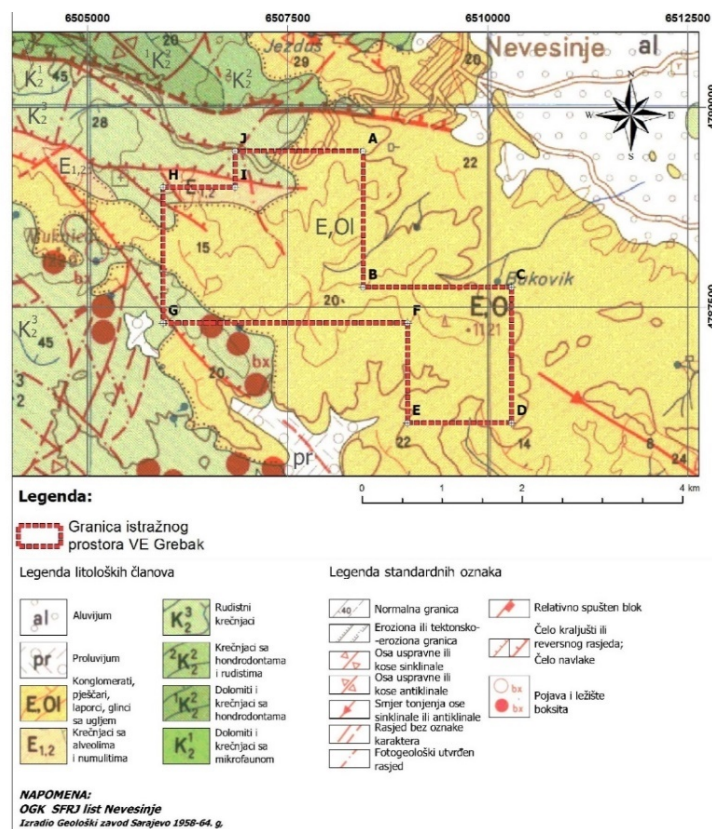


Slika 1. Geografski položaj predmetnog područja – topografska karta (modifikovana karta 1:200.000)

2.2. Geološke karakteristike terena

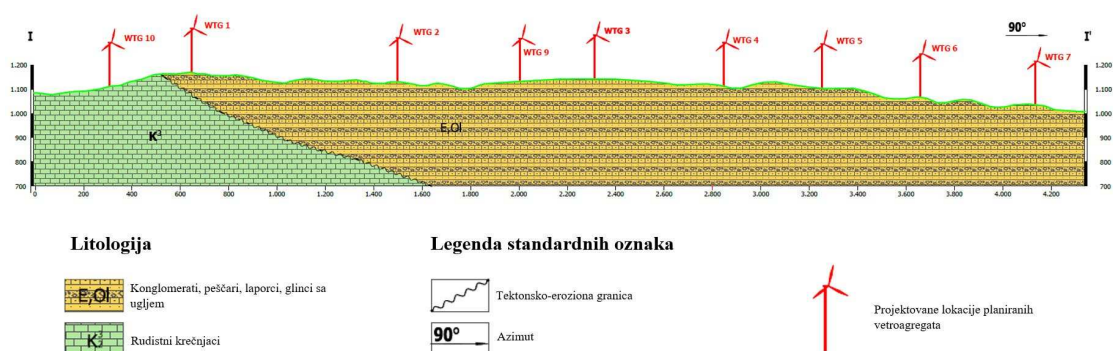
Prema podacima Osnovne geološke karte SFRJ (1:100.000), list Nevesinje K 34-32, kao i na osnovu izvršenog detaljnog geološkog, inženjerskogeološkog i hidrogeološkog kartiranja terena, te izvedenih istražnih radova, definisana je geološka, odnosno inženjerskogeološka građa istražnog područja.

Ono predstavlja južni deo Nevesinjskog polja koje je formirano u sedimentima promina serije. Sintezom i analizom rezultata prikupljenih iz fondovskih podataka i geoloških podloga, kao i kasnijom vizuelnom klasifikacijom nabušenog jezgra, te izvršenih ispitivanja i istraživanja na široj lokaciji, utvrđeno je da je teren većinskim delom izgrađen od sedimentata paleogena i to eocensko-oligocenske (E,OI) i eocenske starosti (E_{1,2}), dok su podređenije zastupljene kredne tvorevine senona (K₂³), (Ivanković B. i dr., 2021.). Na slici 2 data je modifikovana geološka karta šireg istražnog prostora.



Slika 2. Geološka karta šireg istražnog područja
(izvod iz Osnovne geološke karte SFRJ, 1:100.000, list Nevesinje, Mojićević M., Laušević M., 1958-1964)

Kako se sa priložene karte vidi, na istražnom području Grebak, na njegovom manjem severozapadnom i jugozapadnom delu zastupljeni su kredni turonsko – senonski krečnjaci sa rudistima koji su u tektonskom odnosu sa alveolinsko – numulitskim eocenskim krečnjacima. Preko jednih i drugih diskordantno dolaze eocensko - oligocenski konglomerati (slika 3) koji su zauzimaju skoro celi istražni prostor, ali zbog velike pokrivenosti terena za osmatranje su dostupni u erozijom ogoljenim izdanačkim zonama, nekada hektometarskih dimenzija, i u usecima puteva.



Slika 3. Geološki profil predmetnog područja 1:10.000
(Ivanković B. i dr., 2021, modifikovao D. Marjanović, 2022)

2.3. Inženjerskogeološke i hidrogeološke karakteristike terena

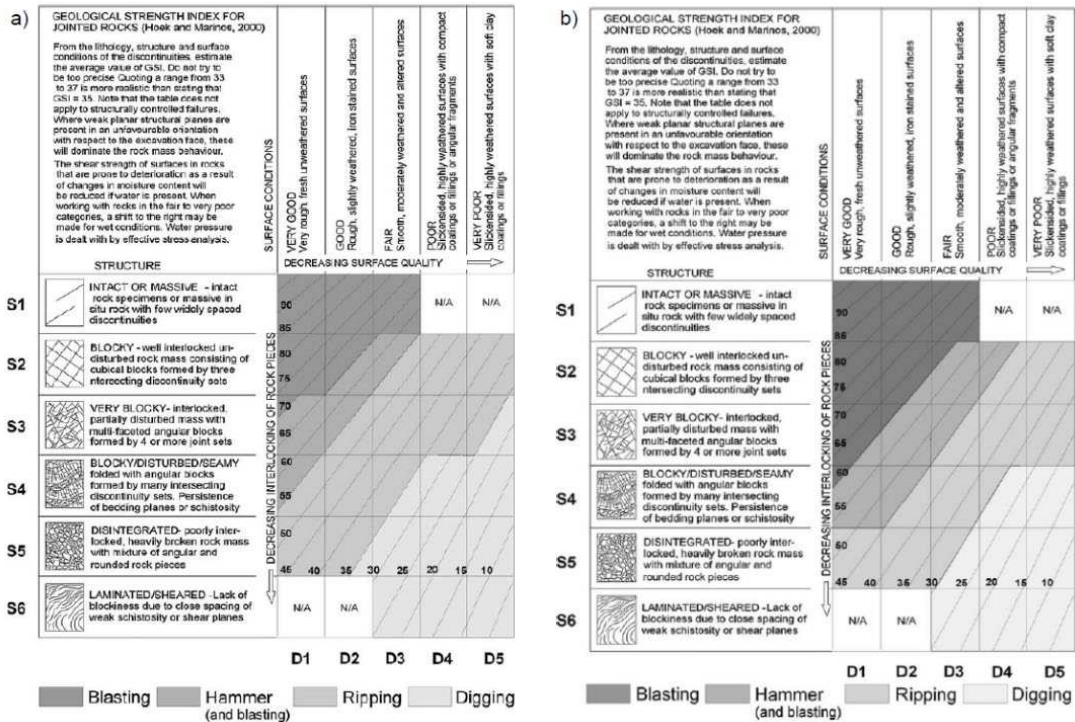
Inženjerskogeološka kategorizacija terena, odnosno stena koje ga izgrađuju, izvršena je na osnovu litološkog sastava, tektonske predispozicije i strukturno-teksturnih svojstava i stepena raspadnutosti stenskih masa.

Shodno navedenom, sa inženjerskogeološkog aspekta (ISRM, 1978), sve stene zastupljene na istražnom području mogu se podeliti u dve grupe i to:

- čvrste stene
- veoma čvrste stene

Ove grupe se suštinski razlikuju po svojim fizičko-mehaničkim svojstvima i mehaničkom ponašanju.

U čvrste stene svrstavaju se *eocenski alveolinsko-numulitski krečnjaci* koji izgrađuju severozapadni deo istražnog prostora. To su slojeviti ili bankoviti krečnjaci povoljnih inženjerskogeoloških karakteristika. Kosine zaseka i useka mogu biti skoro vertikalne, a u kompaktnim masama i u kontra nagibu. Izuzetak su tektonski oštećene i polomljene zone i intezivno ispucale stenske mase čije su pukotine ispunjene glinovitom komponentom. Takođe, zasecanja padina sa pojavama aktivnih ili umirenih sipara skoro uvek dovode do pojava nestabilnosti. Nosivost ovih terena je velika, sa znatnim ograničenjima u karstifikovanim sredinama gde može doći do kolapsa tla. Prema klasifikaciji GN 200 spadaju u V kategoriju, (Ivanković B. i dr., 2021). Treba napomenuti da je ova klasifikacija zastarela i da se često zamenjuje GSI sistemom za kategorizaciju iskopa pri čemu se uobziruje indeks tačkaste čvrstoće I_s (slika 4, ispod), ali se GN 200 i dalje široko primenjuje u našoj praksi (Berisavljević Z., 2019). S obzirom na činjenicu da I_s nije određivan na uzorcima stenske mase, precizno pozicioniranje na dole priloženim dijagramima nije bilo realno.



Slika 4. GSI dijagrami za kategorizaciju iskopa: a) za $I_{s50} < 3\text{MPa}$, b) za $I_{s50} > 3\text{MPa}$, gde je indeks tačkaste čvrstoće korigovan na prečnik dijametralnog uzorka $D=50\text{ mm}$ (Tsiambaos i Saroglou, 2010)

U ove stene se pored opisanih eocenskih krečnjaka, ubrajaju i *molasni sedimenti*, u okviru kojih dominiraju konglomerati. Ove stene prekrivaju gotovo 90 % definisanog istražnog područja.

Generalno uzevši, molasna serija se odlikuje litološkom raznovrsnošću sa lokalno ritmičnim smenjivanjem sekundarno zastupljenih članova. U vidu slojeva se javljaju peščari, najčešće karbonatni i glinoviti, a kao tanki slojevi i nepravilne interkalacije javljaju se glinci, što se direktno odražava na heterogenost i anizotropnost u pogledu inženjerskogeoloških svojstava. S obzirom na to, odlikuje je selektivna erozija kojoj je jako podložna.

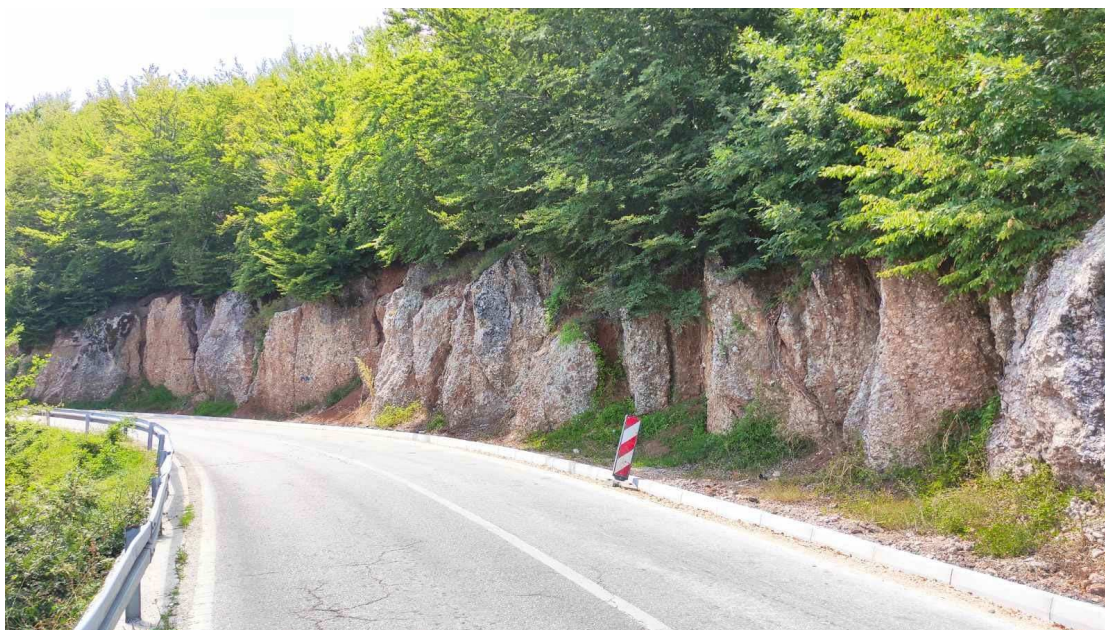
Kako su se molasne serije formirale nakon glavnih orogeneza, pogoršanje kvaliteta stenskih masa koje ih čine je ograničeno i minimalno. Zabeleženo je samo nekoliko slučajeva u praksi gde su molasne formacije pretrpele značajnije deformacije usled tektonskih aktivnosti, međutim čak i u takvim slučajevima narušavanje kvaliteta samog masiva kojeg ove stene izgrađuju je lokalnog tipa (Marinos V. i dr., 2010).

Finozrne stenske mase koje čine ove serije vrlo su trošne, te se u takvim okruženjima u njima, u površinskim i pripovršinskim zonama, formiraju pukotine paralelne pružanju slojeva. Te pukotine podsećaju na lamine, a kada se smenjuju sa peščarima, izgledom podsećaju na fliš. Ova pojava u izdancima može zavarati kada se ove stene posmatraju u ograničenom podzemnom okruženju gde se stenska masa pruža kontinuirano i masivno, bez ikakvih znakova i tragova slojevitosti ili škriljavosti. Kao rezultat toga, molasne stenske mase imaju značajno drugačiju strukturu kada se osmatraju kao izdanci ili su blizu površine u poređenju sa onima u dubljim zonama, gde su ravni između slojeva ne pojavljuju kao jasno definisane površi diskontinuiteta (Marinos V. i dr., 2010).

Za razliku od molasa, termin fliš se koristi za sedimente nastale ranije, u procesu formiranja planina, kao produkt erozionog izdizanja i razvijanja nabornih struktura, tokom kojih je konstatno deformisan. Tako se on formirao pre orogeneza, nabran sa ostalim slojevima ili čak potisnut već razvijenim planinskim masivom. Sa druge strane, u procesu nastanka planina, molase u

basenima iza tog već formiranog planinskog masiva, preko nabranih slojeva ostaju praktično neporemećene. Fliš, za razliku od molasa, ima ritmičnije i tanje smene slojeva peščara i pelita. Oni su pretrpeli snažne naponske deformacije što je dovelo do formiranja nabora različitih razmera, znatno smaknutih zona i oštećenih površina, a pre svega u vidu jasno razvijene slojevitosti (Marinos V. i dr., 2005).

Na istražnom prostoru, konglomerati ovog, molasnog kompleksa (slika 5), su dosta mehanički oštećeni i fizičko-hemijski raspadnuti. Debljina kore raspadanja im je velika, od 2 – 5 m, što je potvrđeno i namenskim geomehaničkim bušenjem, a nekada lokalno i više, što zavisi od dominantnog litološkog člana, njegovog prostornog položaja kao i mehaničke oštećenosti. Ona se odlikuje povoljnim inženjerskogeološkim karakteristikama gde se povoljnost ogleda, pre svega, u manje zahtevnim metodama iskopa, dok se kao loša osobina izdvaja anizotropija ovih materijala, pri čemu se pre svega misli na neujednačenu krupnoću odlomaka stene i prisustva glinovitog materijala.



Slika 5. *Otvoreni profili u nevesinjskim promina konglomeratima (molasama) uz magistralni put Nevesinje – Mostar (foto: D. Marjanović, 2022)*

Ipak, kompaktne zone ovih masa odlikuju se povoljnim inženjerskogeološkim svojstvima, pre svega dobrom nosivošću i stabilnošću u

prirodnim uslovima, čak i u strmim odsecima. Na osnovu navedenog, tereni izgrađeni od ovih stenskih masa se svrstavaju u uslovno povoljne terene.

Na osnovu date inženjerskogeološke analize, može se ustanoviti da su molasni konglomerati intenzivno karstifikovani tereni sa dosta dobro razvijenim oblicima karsta, koji predstavljaju indirektnu opasnost po stabilnost objekata usled podložnosti obrušavanju i prolamanju oslabljenih delova stenske mase. Otežani uslovi izvođenja različitih radova ogledaju se u sledećem: znatna razuđenost sa nizom mikroreljefnih oblika i neravnina usled izbrazdanosti površinskim karstnim oblicima, što uslovljava slabu prohodnost, neravnomernu pokrivenost terena zemljastom raspadinom koja je skoncentrisana uglavnom u dnu vrtača i uvala, periodična ovodnjenost površine terena u karstnim udubljenjima, pomenuta znatna nestabilnost stenske mase usled prolamanja i drugo.

Veoma čvrste stene zauzimaju krajnji severozapad i severoistok istražnog područja. U ove stene spadaju *rudistni krečnjaci*. Krečnjaci su pretežno masivni, debelouslojeni i bankoviti, a sa inženjerskogeološkog aspekta odlikuju se dobrom nosivošću u prirodnim uslovima, dok je na izrazito strmim padinama moguća pojava sipara ili odrona, pre svega zbog činjenice da je za ove stene karakteristična debela kora površinskog raspadanja. Glavni i važan ograničavajući faktor ovih masa jeste izražena karstifikacija koja predstavlja zaseban problem koji zahteva posebnu pažnju i analizu prilikom izgradnje objekata (naročito podzemnih) u ovim terenima.

Hidrogeološke karakteristike prisutnih stenskih masa odraz su hidrogeoloških svojstava celokupnog terena ili kompleksa stena, odnosno njegove hidrogeološke funkcije. Na hidrogeološku funkciju terena, sem zastupljene geološke građe, znatan uticaj ima tektonski i prostorni položaj stenskih kompleksa koje građe predmetno područje.

Osnovno hidrogeološko obeležje karstnih terena koje je usko povezano sa vodosnabdevanjem je velika poroznost stenske mase i bezvodnost terena u njegovim gornjim delovima, brza cirkulacija podzemnih voda, otvorenost izdani, kao i velika mogućnost zagađivanja istih i sa velikih udaljenosti.

Na osnovu izvršene hidrogeološke kategorizacije zastupljene stenske mase po hidrogeološkoj funkciji svrstane su u hidrogeološke kolektore (akvifere) pukotinsko-kavernozne poroznosti.

U stene pukotinsko-kavernozne poroznosti dobre vodopropusnosti ubrajamo **sedimente promina serije**, pre svega, **kao i numulitsko-alveolinske i rudistne krečnjake** koji imaju relativno visok stepen ispucalosti, naročito u gornjim horizontima. Formiranje značajnih akumulacija podzemnih voda u ovim karbonatnim stenama u zavisnosti je od stepena njihove ispucalosti.

U promina sedimentima odnosno konglomeratima molasa javljaju se sistemi pukotina, kanala i kaverni povezani u jedinstvenu celinu i oni predstavljaju privilegovane pravce kretanja podzemnih voda. Ove stenske mase odlikuju se dobrim filtracionim karakteristikama, a u njima se formira slobodni nivo podzemnih voda sa velikim oscilacijama u toku sezone, zavisno od atmosferskih taloga. Nivo podzemnih voda na predmetnom području nije konstantan. U direktnoj je zavisnosti od pomenutih atmosferskih taloga odnosno hidrološkog doba (Ivanković B. i dr., 2021).

3. KLASIFIKACIJE STENSKIH MASA

3.1. Opšte o klasifikacionim sistemima

Klasifikacija stenske mase je proces svrstavanja stenske mase u grupe ili klase na osnovu njihove sličnosti (Bieniawski, 1989) i davanje jedinstvenog opisa (ili broja) za te mase na osnovu njihovih svojstava/karakteristika. Pojam stenska masa se odnosi na stenski materijal ispresecan diskontinuitetima, uglavnom pukotinama, slojevima, dajkovima, rasedima. Dajkovi, npr. nisu toliko česti kao što je to slučaj sa rasedima i pukotinama, koje se moraju tretirati diskretno (Bieniawski, 1993). Klasifikacije stenske mase omogućavaju korisniku da prateći smernice svrsta objekat (stensku masu) u odgovarajuću klasu (Abbas S. M. i Konietzky H., 2017).

Klasifikacioni sistemi su osmišljeni tako da služe kao pomoćno sredstvo za inženjersko projektovanje, i nisu bili namenjeni da zamene terenska posmatranja, analitička razmatranja, merenja i inženjersko rasuđivanje (Bieniavski, 1993). Ovi sistemi čine osnovu za razumevanje karakterističnog ponašanja i sačinjeni su na osnovu iskustava stečenih u radu u različitim stenskim masama. U fazama izvođenja i početnim fazama projektovanja, sve značajne informacije koje se tiču parametara stenske mase, njenog naponskog stanja i hidrauličkih karakteristika su nepoznate (Abbas S. M. i Konietzky H., 2017). Stoga, klasifikacije stenskih masa pružaju pomoć upravo u proceni ponašanja same stenske mase, i ne samo da daje informacije o sastavu, čvrstoći, deformabilnim karakteristikama i karakteristikama bitnim za procenu izbora podgrade, već definiše i koje od ovih informacija su relevantne i neophodne (Bieniawski, 1993).

Danas se klasifikacioni sistemi koriste u kombinaciji sa numeričkim simulacijama, posebno u ranim fazama geotehničkog projektovanja, kada postoji veoma malo poznatih podataka. Na osnovu klasifikacije, moguće je definisati i uvrstiti parametre čvrstoće (npr. Bieniawski, 1993) i deformabilnosti (npr. Hoek i Diederichs, 2006) u numeričke simulacije za potrebe analize stabilnosti, deformacija itd.

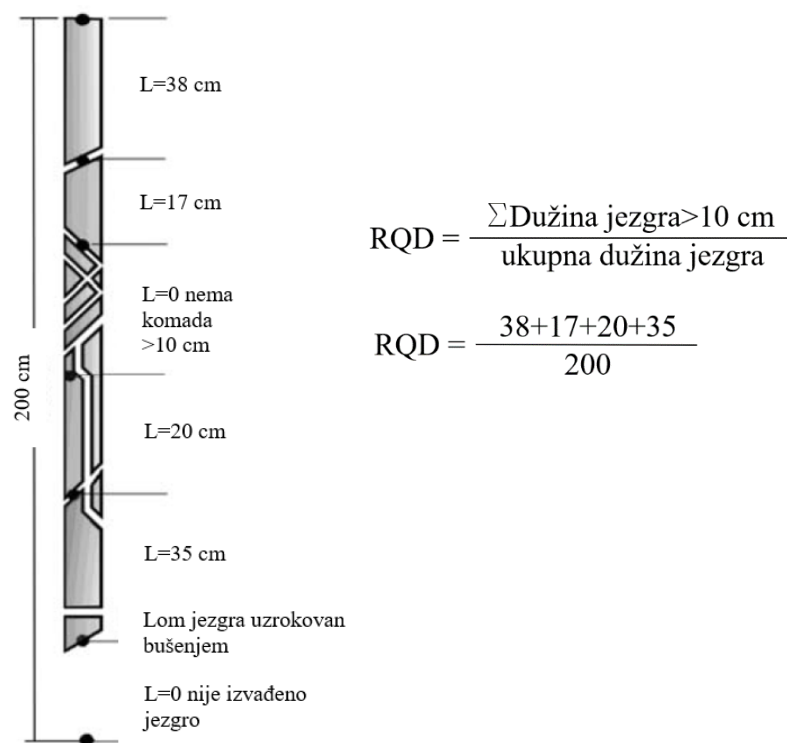
3.2. Tipovi klasifikacionih sistema

Postoji nekoliko načina na osnovu kojih se klasifikacioni sistemi mogu razvrstati, a najčešći je način karakterizacije (opisa) stenske mase. Tako se oni mogu podeliti u dve grupe – kvalitativne i kvantitativne nepoznate (Abbas S. M. i Konietzky H., 2017).

U praksi postoji mnoštvo klasifikacionih sistema, ali će u ovom radu biti detaljnije obrađene RQD, RMR i GSI, zbog specifičnosti stenske mase koja je predmet klasifikacije.

4. RQD SISTEM

U cilju kvantitativne procene kvaliteta stenske mase iz jezgra istražnih bušotina, Deere i dr. (1963) razvili su koncept *RQD*. *RQD* je definisan kao procentualno učešće jezgra (iz istražne bušotine), čije su dužine veće od 10 cm, u ukupnoj dužini jezgra za mereni interval. Pri tome treba obratiti pažnju da se računaju samo oni komadi jezgra koji su odvojeni prirodnim pukotinama, uz obavezu da se etalonirana dužina komada jezgra meri po osi (slika 6). Prečnik jezgra ne sme biti manji od 54, 7 mm, a bušenje je potrebno izvoditi duplom sržnom cevi.



Slika 6. *Određivanje RQD vrednosti duž jezgra istražne bušotine dužine 2 m (Hoek E., 2013)*

Gore prikazana jednačina se odnosi na stensku masu čije pukotine ne sadrže glinovitu ispunu. Neki autori su preporučili korišćenje i empirijske jednačine za procenu parametra *RQD* na osnovu prosečne linearne učestalosti pukotina (Priest i Hudson, 1976), jednačina 4.1, i zapreminske učestalosti

pukotina (Palmstrom, 2005), jednačina 4.2, u slučajevima kad definisanje *RQD*-a nije moguće izvesti direktno na jezgru istražnih bušotina (Berisavljević Z., 2019).

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (4.1)$$

gde je λ – linearna učestalost (broj pukotina/m¹).

$$RQD = 115 - 3,3\lambda_v \quad (RQD = 0, \text{ za } \lambda_v > 35; RQD = 100\%, \text{ za } \lambda_v < 4,5) \quad (4.2)$$

gde je λ_v - zapreminska učestalost (broj pukotina/m³).

Kako je korelacija između *RQD* i zapreminske učestalosti slaba, Palmstrom (2005) predlaže novu, izmenjenu jednačinu 4.2:

$$RQD = 105 - 2,5\lambda_v \quad (4.3)$$

Parametar *RQD* zavisi od velikog broja faktora. Proces bušenja značajno može uticati na veličinu ovog parametra (kvalitet bušenja, tip krune itd.). Ukoliko je *RQD* od 90-100% stenska masa je **vrlo dobrog kvaliteta**, od 75-90% stenska masa je **dobrog kvaliteta**, od 50-75% stenska masa je **povoljnog kvaliteta**, od 25-50% stenska masa je **lošeg kvaliteta**, a *RQD* od 0-25% označava stensku masu **vrlo lošeg kvaliteta**. Ovaj parametar treba primenjivati sa oprezom jer se u slučaju jezgra sa komadima od npr. 9 cm dužine, *RQD* indeksu pripisuje vrednost 0 (Berisavljević Z., 2019).

Kao i u slučaju ostalih parametara, kojima se meri ispucalost stenske mase u jednoj dimenziji (npr. referentna linija za merenje linearne učestalosti) i veličina *RQD* indeksa zavisi od orijentacije (Berisavljević Z., 2019).

Treba istaći da *RQD* ne odražava u potpunosti kvalitet stenske mase, jer uzima u obzir samo stepen ispucalosti stenske mase u jezgru, ne uobzirujući čvrstoću stene ili mehaničke i druge geometrijske karakteristike pukotina. Kako

RQD zavisi od odnosa orijentacije bušotine i dominantnog pravca pružanja pukotina, ne daje pouzdanu procenu stepena ispucalosti stenske mase. Drugim rečima, ne može se uzeti u obzir dužina vidljivih diskontinuiteta. Drugo, neosetljiv je kada je učestalost pukotina veća od 3/m ili kada je stenska masa umereno ispucala (Palmstrom i Broch, 2006).

RQD se koristi kao jedan od ulaznih parametara pri primeni RMR i Q klasifikacionih sistema. Cording i Deere (1972), Merritt (1972) i Deere (1988) povezali su *RQD* sa Tercagijevim faktorima u *Rock load* klasifikaciji i pri proceni izbora ankera u tunelima. Takođe, parametar *RQD* je jedan od ključnih činilaca finalnog kvantifikovanog GSI dijagrama za ispucale stenske mase, o čemu će više biti reči u nastavku ovog rada.

5. OPŠTE O RMR KLASIFIKACIONOM SISTEMU

Klasifikacija RMR ili geomehanička klasifikacija razvijena je od strane Z. T. Bieniawski tokom 1972 – 1973. u Južnoj Africi prilikom geotehničkog projektovanja u tamošnjim tunelima (Bieniawski, 1973b). Tokom godina ova klasifikacija je nekoliko puta revidovana i dopunjavana, a najnovija verzija nastala je 2014. godine.

Kod ovog, multiparametarskog sistema koristi se šest parametara za klasifikaciju stenske mase:

- jednoaksijalna čvrstoća na pritisak intaktne stene (σ_c): za stene srednje i velike čvrstoće, a može se koristiti i PLT (Point Load Index), (Bieniawski, 1989),
- *RQD*,
- rastojanje između pukotina (diskontinuiteta),
- stanje površina pukotina (diskontinuiteta),
- stanje podzemne vode,
- orijentacija pukotina (diskontinuiteta)

Svaki od ovih parametara nosi određeni broj bodova, čiji zbir daje RMR_{89} vrednost (tabela 1). Svi parametri se mogu meriti na terenu ili dobiti kartiranjem jezgra istražnih bušotina, pri čemu je potrebno poštovati ograničenja i predloge autora klasifikacije (Berisavljević Z., 2019).

Na osnovu tako izračunate RMR vrednosti stenska masa se svrstava u jednu od pet kategorija (koje se kreću od vrlo dobre do vrlo loše), kako je to prikazano u tabeli 2.

Klasifikacija se može koristiti i za definisanje podgradnih tipova u tunelogradnji. Takođe, postoji još nekoliko modifikovanih i prilagođenih tabela koje se koriste pri rešavanju različitih geotehničkih i drugih inženjerskih problema, koje u ovom radu neće biti prikazane.

Tabela 1. Bodovni sistem za RMR₈₉ klasifikaciju stenskih masa (Bieniawski, 1989)

Parametri klasifikacije i njihov rejting										
Parametar			Raspon vrednosti							
1	Čvrstoća intaktnih stena	tačkasti indeks čvrstoće Is (MPa)	>10	4 – 10	2 - 4	1 - 2	<1			
		čvrstoća na pritisak σ_c (MPa)	>250	100 – 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	<1	
	Bodovi	15	12	7	4	2	1	0		
2	Vrednost RQD (%)		90 – 100	75 – 90	50 - 75	25 - 50	<25			
	Bodovi		20	17	13	8	3			
3	Srednje rastojanje između pukotina		>2 m	0,6 – 2 m	0,2 - 0,6 m	60 - 200 mm	<60 mm			
	Bodovi		20	15	10	8	5			
4	Stanje pukotina	Prostiranje u dubinu	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m			
		Bodovi	6	4	2	1	0			
		Zev	Bez zeva	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
		Bodovi	6	5	4	1	0			
		Hrapavost	Veoma hrapava	Hrapava	Delimično hrapava	Glatka	Ispolirana			
		Bodovi	6	5	3	1	0			
		Ispuna	Bez ispune	Tvrd		Meka				
		Bodovi	6	4	2	2	0			
		Izmena	Neizmenj.	Delimično izmenjena	Srednje izmenjena	Veoma izmenjena	Raspadnuta			
Bodovi	6	5	3	1	0					
5	Stanje podzemne vode	dotok na 10 m dužine od tunela (l/min)	Bez dotoka	<10	10 - 25	25 - 125	>125			
		odnos između pritiska vode na pukotine i max. glavnog napona	0	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5			
		generalno stanje	potpuno suvo	curenje	vlažno	kapanje	tečenje			
	Bodovi		15	10	7	4	0			
Korekcija zbog orijentacije pukotina										
Orijentacija protezanja i pad pukotina		veoma povoljna	Povoljna	dobra	nepovoljna	veoma nepovoljna				
Bodovi	tuneli i rudnici	0	-2	-5	-10	-12				
	temelji	0	-2	-7	-15	-25				
	kosine	0	-5	-25	-50	-60				

Tabela 2. Klase stenskih masa određene ukupnim zbirom bodova (Bieniawski, 1989)

rejting	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	<21
klasa br.	I	II	III	IV	V
opis	veoma dobra stenska masa	dobra stenska masa	povoljna stenska masa	slaba stenska masa	veoma slaba stenska masa

6. OPŠTE O GEOTEHNIČKOM KLASIFIKACIONOM SISTEMU GSI

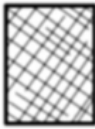


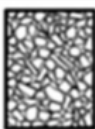
E. Hoek i E. T. Brown prepoznali su da njihov ustanovljeni kriterijum loma stene ne bi imao praktičnu vrednost ukoliko se ne bi mogao povezati sa geološkim posmatranjima koja bi se mogla izvršiti brzo i lako od strane inženjerskog geologa ili geologa na terenu. Stoga su razmišljali o razvoju novog sistema klasifikacije stenske mase koji bi ispratio evoluciju kriterijuma loma krajem 1970-ih, ali su ubrzo odustali od te ideje zbog već publikovanog i usvojenog RMR sistema. Značajno je bilo to što su RMR sistem (kao i Q sistem) razvijeni za procenu podzemnog iskopa i potporne konstrukcije, te da su uključivali parametre koji nisu potrebni za procenu svojstava same stenske mase. Podzemne vode i strukturni orijentacioni parametri u RMR klasifikaciji, kao i podzemne vode i parametri napona u Q sistemu eksplicitno se obrađuju u numeričkim analizama napona, a uvrštavanje ovih parametara u procenu svojstava stenske mase se smatralo neprikladnim. Stoga je preporučeno da se pri primeni RMR sistema koriste samo prva četiri parametra – čvrstoća intaktne stene, RQD, razmak između diskontinuiteta i njihovo stanje (Marinos P. i dr., 2007). U prvim upotrebama RMR klasifikacije, ovako opisan izmenjen pristup dobro je funkcionisao jer je većina problema koji su se rešavali bili vezani za stenske mase zadovoljavajućeg kvaliteta ($30 < \text{RMR} < 70$) u uslovima umerenog stresa (Marinos P. i dr., 2005). Međutim, ubrzo je postalo očigledno da će RMR sistem biti teško primeniti na stenske mase koje su veoma slabog odnosno lošeg kvaliteta (Marinos P. i dr., 2007).

Obe klasifikacije, i RMR i Q, uključuju i u velikoj meri zavise od RQD parametra kog je uveo Deere (1963). Kako je vrednost RQD-a kod veoma slabih stenskih masa u osnovi jednaka 0 ili ekstremno niska, postalo je neophodno razmotriti alternativni klasifikacioni sistem. Taj sistem ne bi obuhvatao RQD, već bi stavio veći akcenat na osnovna geološka zapažanja karakteristika stenske mase, njenu strukturu i geološku prošlost, odnosno uslove nastanka. Bio bi razvijen generalno za procenu svojstava stenske mase,

a ne samo kao klasifikacija koja bi se bavila problemima koji se javljaju u tunelogradnji tj. podzemnim radovima. Ova nova klasifikacija, koja se sada zove **GSI**, nastala je u Torontu, kao doprinos Dejvida Vuda (David Wood), (Hoek i dr., 1992). GSI i njegova upotreba za Hoek-Brown-ov kriterijum loma bila je dalje razvijana od strane Hoek (1994), Hoek i sar. (1995) i Hoek i Brown-a (1997), ali to je i dalje bio klasifikacioni sistem za čvrste stenske mase, otprilike ekvivalentan RMR-u (Marinos V. i dr., 2010).

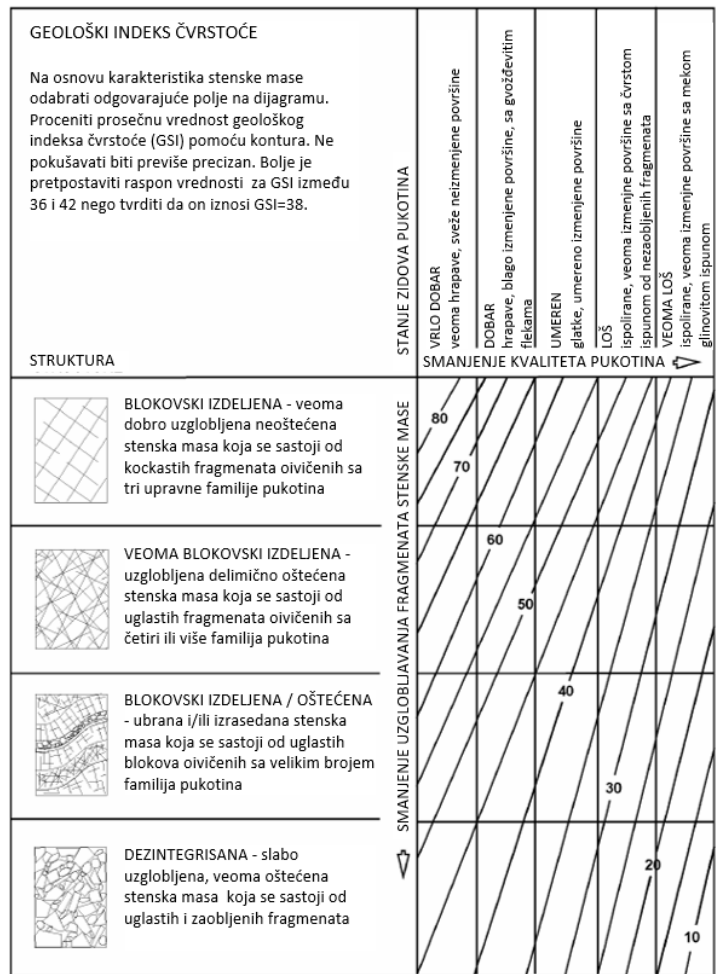
Glavna odlika GSI sistema je ta da se zasniva na proceni strukture, litologije i kvaliteta zidova pukotina stenske mase, a osnovni nedostatak taj što se njegova procena bazira na kvalitativnom inženjerskogeološkom opisu stenske mase, a ne na kvalitativno utvrđenim veličinama (Berisavljević Z., 2019).

Na samom početku, na osnovnom GSI dijagramu bile su izdvojene četiri strukturne kategorije koje zavise od blokovske izdeljenosti, međusobne uzglobljenosti stenske mase i stanja površina diskontinuiteta (slika 7). Ovaj dijagram sadržao je vrednosti GSI od 10 do 85. Kategorije „zdrobljene“, „blokovske/oštećene“, „veoma blokovske“ i u manjoj meri „blokovske“ strukture stenske mase generalno su usklađene sa osnovnim ciljem GSI sistema za upotrebu u Hoek-Brown-ovom kriterijumu loma za izotropne stenske mase. Takođe, jednostavnost i preglednost grafikona jasno prikazuje samu prirodu GSI klasifikacionog sistema (Renani H. R. i Cai M., 2022).

GEOLOŠKI INDEKS ČVRSTOĆE		STANJE ZIDOVA PUKOTINA					
		VEOMA DOBRO	DOBRO	UMERENO	LOŠE	VEOMA LOŠE	
STRUKTURA		➔					
	BLOKOVSKI IZDELJENA	SMANJENJE UZGLOVLJAVANJA FRAGMENTATA STENSKE MASE	85	75	62	48	34
	VEOMA BLOKOVSKI IZDELJENA		75	65	48	38	25
	BLOKOVSKI IZDELJENA/ OŠTEĆENA		60	50	40	30	20
	DEZINTEGRISANA		50	40	30	20	10

Slika 7. Originalni GSI dijagram za ispucale stenske mase (Hoek 1994b, Hoek et al. 1995)

Dijagram je kasnije modifikovan od strane Hoek i Brown (1997) koji su dodali konture, odnosno linije na postojeći dijagram (slika 8). Da bi ove dodate linije imale smisla, neophodne su numeričke ose koje bi služile za precizno pozicioniranje tačaka na samom dijagramu, zbog čega se smatralo se da je dodavanje ovih linija beskorisno (Renani H. R. i Cai M., 2022). Štaviše, one mogu korisnicima dati lažan utisak o tačnosti, dok i ovako postoji značajna nesigurnost u vezi sa postojećim GSI sistemom i same procene čvrstoće stenske mase (Hoek, 1998, Hoek i dr., 1998, Hoek i Brown, 2019).



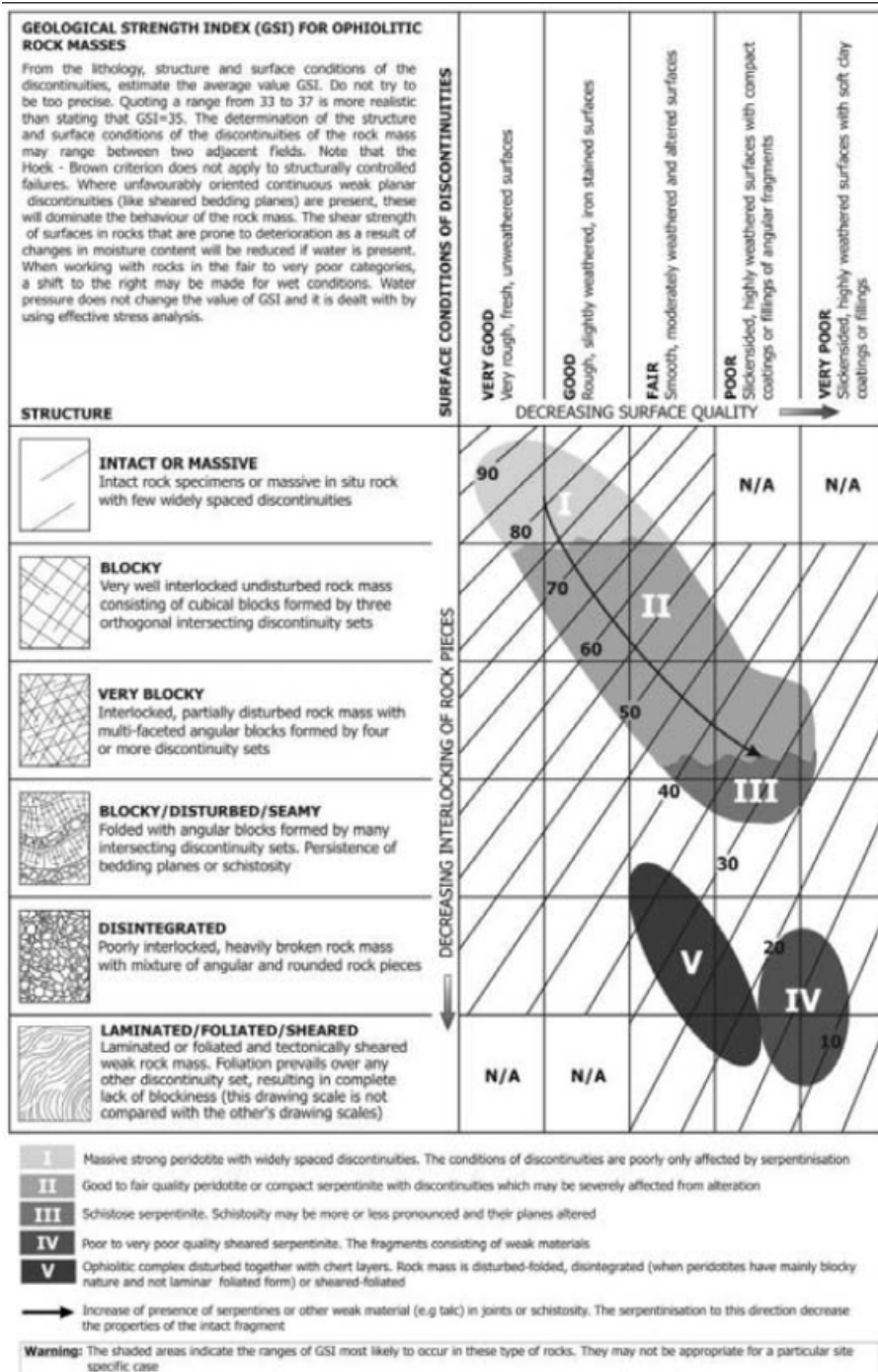
Slika 8. Osnovni GSI dijagram sa dodatim linijama (Hoek i Brown, 1997)

Od 1998., Evert Hoek i Paul Marinos su, suočavajući se sa ekstremno teškim i kompleksnim stenskim materijalima prilikom projektovanja tunela u Grčkoj, razvili GSI sistem u tom pravcu da uključuje i stenske mase jako lošeg kvaliteta (smaknute i laminirane stenske mase) smanjujući vrednost GSI (donji desni ugao) na 5. Godine 1999. isti autori su dodali i kategoriju intaktnih i masivnih stena (gornji levi ugao), tako povećavajući maksimum GSI vrednosti i na preko 95 (slika 9), (Marinos V. i dr., 2005, 2010, Renani H. R. i Cai M., 2022).

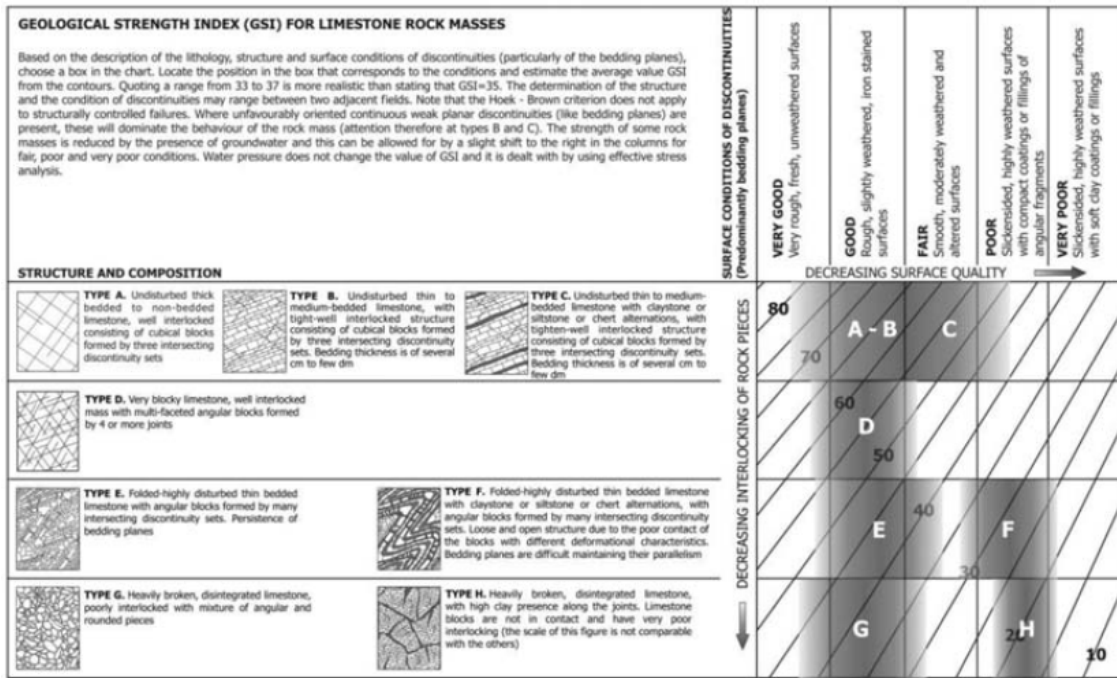
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

Slika 9. GSI dijagram sa šest kategorija za procenu GSI (Hoek i dr. 1998; Marinos i Hoek 2000, 2001).

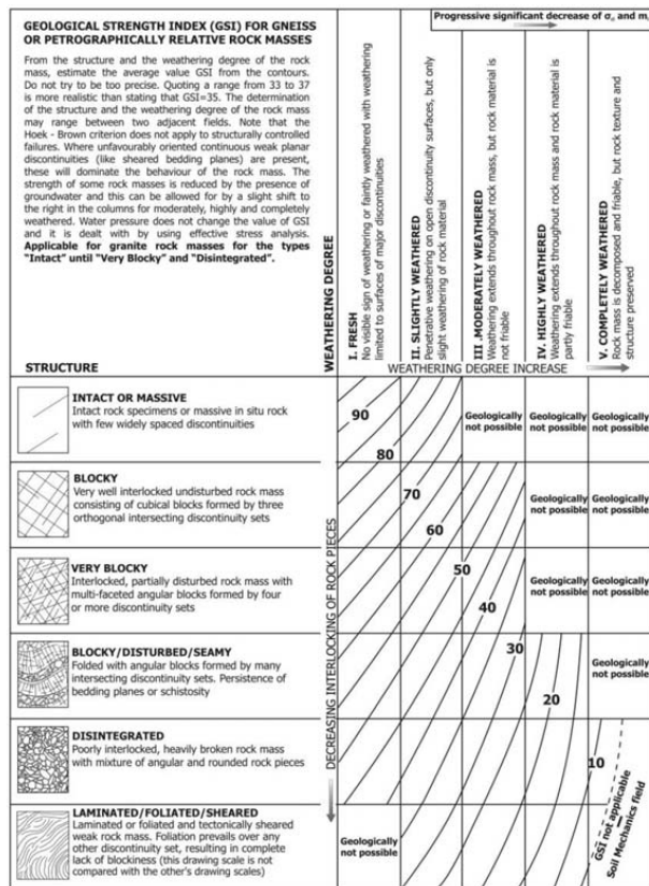
Pored ovog osnovnog dijagrama, tokom vremena od strane raznih autora razvijeni su brojni dijagrami za različite tipove stena kao što su GSI dijagram za ofiolitske stenske mase (slika 10) za krečnjačke stenske mase (slika 11) i GSI dijagram za tektonski poremećene i trošne stenske mase izgrađene od gnajseva i petrografski sličnih stena (slika 12) i drugi (Marinos V. i dr., 2005).



Slika 10. GSI dijagram za ofiolitske stenske mase
(Marinos V. i dr., 2005)



Slika 11. GSI dijagram za krečnjačke stenske mase različitog kvaliteta (V. Marinos, 2010)



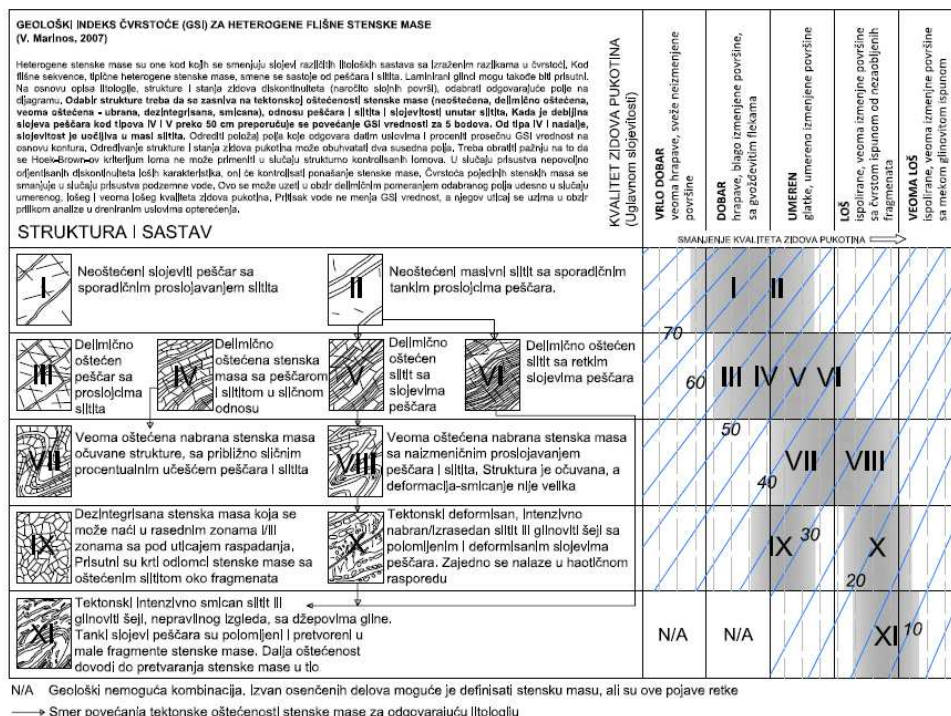
Slika 12. GSI dijagram za gnajseve i petrografski slične stene (V. Marinos, 2010)

Takođe, razvijeni su i GSI dijagrami za flišne i GSI dijagrami za molasne sedimente o kojima će zbog značaja za ovaj rad više reči biti u narednim poglavljima.

7. PRIMENA GSI KLASIFIKACIJE NA FLIŠNE SEDIMENTE

Flišne formacije generalno karakteriše izražena heterogenost, odnosno prisustvo raznolikih litoloških članova sa tektonski poremećenim strukturama male čvrstoće. Da bi se ispitale karakteristike flišne stenske mase, vršena su ispitivanja na 12 tunela prokopanih kroz ovakve mase u različitim geološkim uslovima na teritoriji Grčke (Marinos V. i dr., 2005, 2010).

Na osnovu sprovedenih istraživanja, predstavljen je novi GSI dijagram za heterogene stenske mase poput fliša, gde je predložen opseg GSI vrednosti za svaki tip flišne stenske mase. Dijagram iz 2001. (Marinos i Hoek, 2001) je tokom godina pretrpeo nekoliko izmena, a najnovija verzija prikazana je takođe u formi dijagrama na slici 13 (Marinos V. i dr., 2007, 2010, Berisavljević Z., 2019).



N/A Geološki nemoguća kombinacija. Izvan osenčenih delova moguće je definisati stensku masu, ali su ove pojave retke
→ Smer povećanja tektonske oštećenosti stenske mase za odgovarajuću litologiju

Slika 13. GSI dijagram za heterogene flišne sedimente (V. Marinos, 2007)

Napominje se da je prilikom projektovanja u flišu, gde su česte smene mekših (finoznih) i tvrđih (grubozrnih) partija potrebno usvojiti ponderisane vrednosti intaktnih parametara σ_{ci} i m_i (u zavisnosti od procentualnog učešća mekše i tvrđe partije), te u kombinaciji sa GSI vrednošću određenoj sa dijagrama datog na slici 7, odrediti parametre stenske mase na osnovu Hoek-Brown-ovog kriterijuma loma. Procedura dobijanja ponderisanih intaktnih parametara u prvom koraku podrazumeva određivanje intaktnih parametara za svaki litološki član posebno. Nakon toga se ovi parametri koriste kako bi se na osnovu preporuka datih na slici 14 odredile ponderisane vrednosti (Marinos V. i dr., 2007, 2010, Berisavljević Z., 2019).

Tip fliša*	Određivanje ponderisanih vrednosti parametara na osnovu procentualnog učešća za svaki tip fliša
I, III	Koristiti vrednosti slojeva peščara
II	Koristiti vrednosti za siltit ili šejl
IV	Tanki slojevi (<50 cm): Umanjiti vrednosti peščara za 10% i koristiti pune vrednosti za siltit Debeli slojevi (>50 cm): Koristiti podjednake vrednosti siltita i peščara
V	Umanjiti vrednosti peščara za 20% i koristiti pune vrednosti za siltit
VI	Koristiti vrednosti za siltit ili šejl
VII	Umanjiti vrednosti peščara za 20% i koristiti pune vrednosti za siltit
VIII	Umanjiti vrednosti peščara za 20% i koristiti pune vrednosti za siltit
IX	Koristiti podjednake vrednosti za siltit i peščar prema njihovom učešću
X	Umanjiti vrednosti peščara za 40% i koristiti pune vrednosti za siltit
XI	Koristiti vrednosti za siltit ili šejl

*Slika 14. Preporučene vrednosti intaktnih parametara
(Marinos i Hoek 2001. i Marinos, 2010.)*

8. PRIMENA GSI KLASIFIKACIJE NA MOLASNE SEDIMENTE

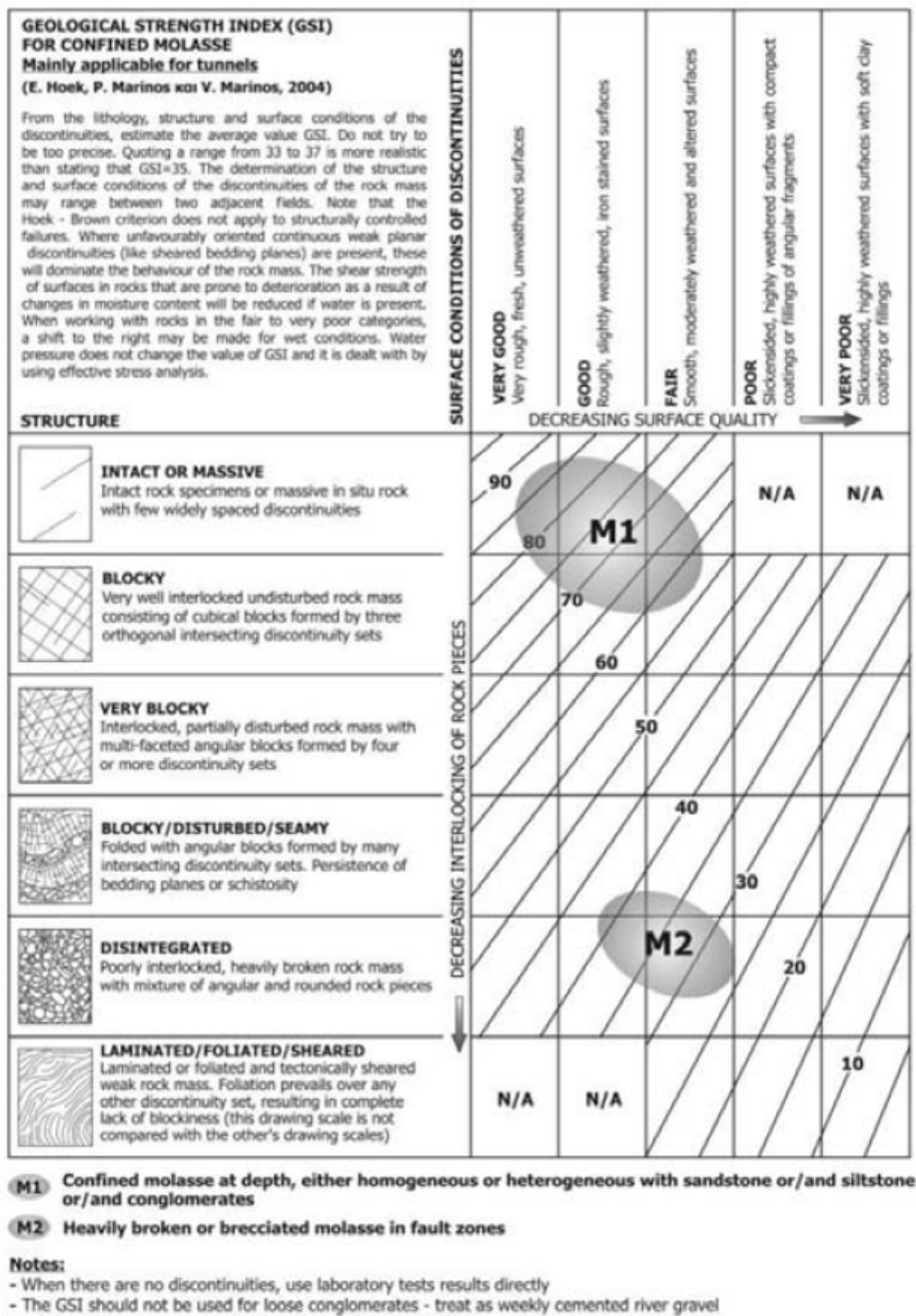
Kao što je to ranije navedeno molasni sedimenti se prilično razlikuju od fliša, iako se oba kompleksa stena sastoje od istih litoloških vrsta, s obzirom da se molase stvaraju nakon orogeneze i nisu pretrpele tektonske kompresije.

Predloženi GSI dijagram za molase može biti opšte primenljiv za sve formacije koje se sastoje od izmenjenih i heterogenih sedimentnih stena koje nisu pretrpele značajne tektonske kompresije i poremećaje, mada se ovaj

grafikon zasnovao na zapažanjima tokom iskopa 12 tunela duž autoputa Egnatija u molasičnoj formaciji (Grčka). GSI dijagram za molasne sedimente je objavljen 2004. godine (E. Hoek, i dr., 2004), a zasnovan je na zapažanjima zabeleženim prilikom iskopa pomenutih tunela. Tom prilikom razvijena su dva tipa dijagrama pri čemu se jedan primenjuje za tunnelske iskope, a drugi je prilagođen za površinske odnosno plitke iskope (Marinos V. i dr., 2005, 2010, Berisavljević Z., 2019).

U slučajevima, kada se stenska masa posmatra u tunelima, odnosno u podzemlju, preporučuje se korišćenje dijagrama prikazanog na slici 8, te stensku masu svrstavamo u zonu M1 sa vrednostima GSI od 50-60 ili više. Ako ne postoje diskontinuiteti, GSI vrednosti su vrlo visoke i stenska masa se može tretirati kao intaktna, te vrednovati i na osnovu laboratorijski dobijenih parametara.

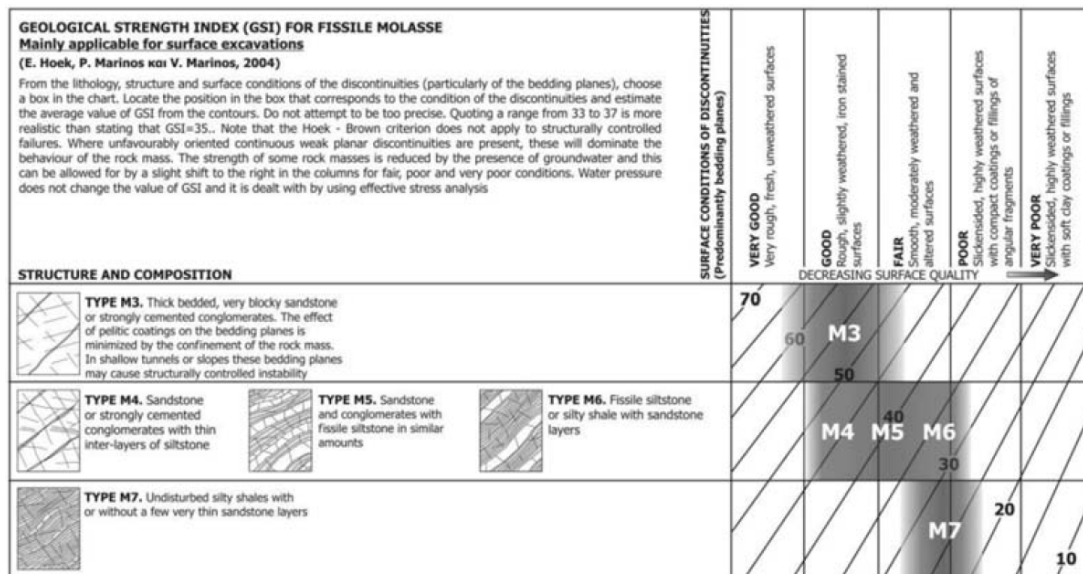
Sa druge strane, kada su pukotine orijentisane u dubinu, stenska masa može biti jako ispucala, ali neće biti izložena dejstvu atmosferilija, odnosno oksidaciji. Tada se takođe može koristiti dijagram dat na slici 15, ali vrednost GSI će biti od 25-40 kao što je i prikazano zasenčenom zonom M2 (Marinos V. i dr., 2010).



Slika 15. GSI dijagram za molasne sedimente (primenljiv za tunele)
(E. Hoek i dr., 2004)

Kada se molasne stenske mase osmatraju na površini, uočava se izražena heterogenost formacije i velike sličnosti sa nekim flišolikim kompleksima. U takvim slučajevima (kada se stenska masa posmatra na površini) se koristi dijagram GSI za heterogene stenske mase poput fliša uz izuzetak poremećenih i smaknutih tipova stena, a na takav način da se očitavanje sa dijagrama vrši blago ulevo od linija na dijagramu za fliš jer su molase uvek manje poremećene

u odnosu na pomenuti fliš (Marinos V. i dr., 2010). Ovako modifikovan dijagram prikazan je na slici 16.



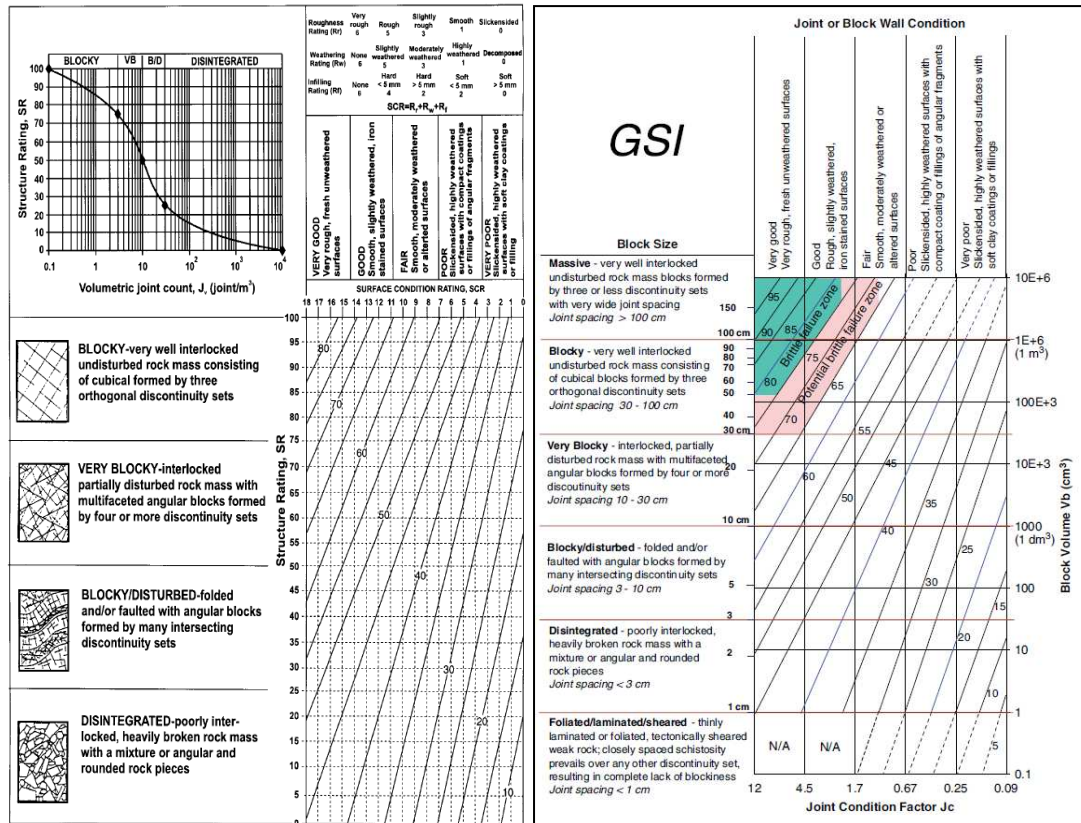
Slika 16. GSI dijagram za laminirane molasne sedimente (primenljiv za površinske iskope), (E. Hoek i dr., 2004)

9. KVANTIFIKACIJA GSI KLASIFIKACIONOG SISTEMA

Kvalitativna priroda GSI sistema sama po sebi naglašava subjektivnost i nepouzdanost u njegovoj primeni. Stoga su neki autori težili tome da razviju kvantitativne GSI dijagrame, koji će sadržati numeričke ose, za koje se smatralo da su jedan od glavnih nedostataka osnovnog GSI dijagrama (npr. Sonmez i Ulusay 1999, Cai i dr. 2004, Russo 2009, Rafiei Renani i dr. 2019a).

Sonmez i Ulusay (1999) uvode dva nova parametra koja se određuju na osnovu bodovanja iz RMR klasifikacije (slika 17a). Parametar *SR* definiše veličinu blokova i određuje se pomoću koeficijenta zapreminske ispucalosti λ_v (pukotina/m³). Kvalitet zidova pukotina definiše se pomoću parametra *SCR*, koji se određuje na osnovu broja bodova (za hrapavost, izmenu i ispunu) iz parametra za stanje pukotina iz RMR klasifikacije. Na preseku broja bodova za veličinu bloka i kvaliteta zidova pukotina, precizno se može odrediti veličina GSI posmatrane stenske mase.

Sličnu filozofiju su primenili Cai i dr. (2004), koji su umesto RMR klasifikacije koristili parametre kojima je definisan RMI sistem. Ovaj pristup podrazumeva primenu elementarne zapremine bloka (V_b) i faktora stanja pukotine (jC), (slika 16b).

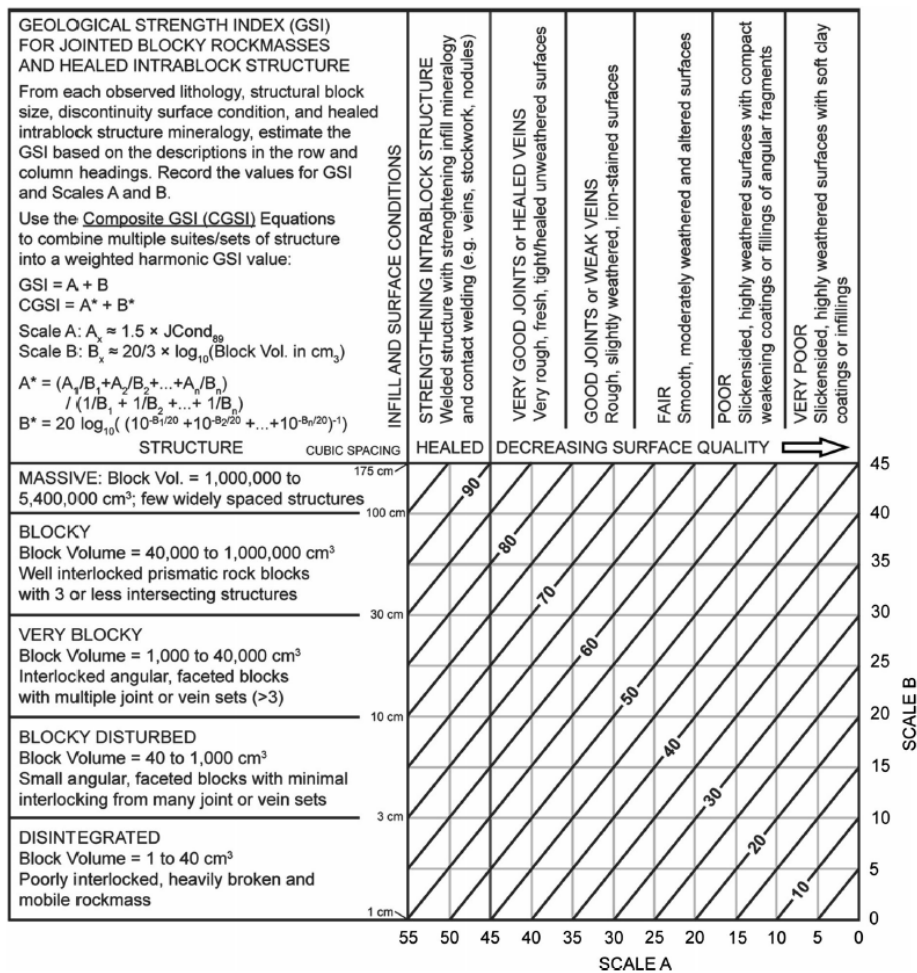


Slika 17. Modifikovani GSI dijagrami - a) Sonmez i Ulusay (1999), b) Cai i dr. (2004)

Russo (2009), komentarišući predložene kvantifikacije, navodi da se osnovni dijagram bazira na međusobnoj uzglobljenosti blokova i da promena parametra V_b , ne mora nužno menjati GSI vrednost. Ukoliko su blokovi stenske mase od npr. 1 cm^3 , 1 dm^3 i 1 m^3 ograničeni sa tri familije pukotina, koje su istih karakteristika i orijentacije u sva tri slučaja, veličina bloka ne menja GSI vrednost na dijagramu. Sa druge strane, veličina bloka određuje da li će do loma doći smicanjem po pukotinama ili kroz stensku masu. Rastojanje između pukotina je povezano i sa dimenzijama objekta koji se gradi.

Takođe, Day i dr. (2019) definisali su pojam kompozitni GSI indeks (CGSI) za karakterizaciju stenskih masa sa proizvoljno orijentisanim žilama.

Monoliti oivičeni pukotinama su definisani kao *interblokove*, dok su žile koje ih prožimaju definisane kao *intra blokove* strukture. Kod ovih stena se može pretpostaviti da imaju visoku GSI vrednost, ukoliko se intra blokove strukture ne razmatraju. Njihovim uzimanjem u obzir se klasična GSI vrednost drastično redukuje. CGSI je inicijalno zasnovan na generalnom GSI dijagramu (Hoek i Marinos, 2000), dok je najnovija verzija bazirana na kvantifikovanom GSI dijagramu (Hoek i dr., 2013). Taj dijagram je dopunjen u na taj način što je horizontalnoj osi koja definiše kvalitet zidova pukotina dodata jedna kolona za intra blokove strukturu, dok je za postojećih pet izmenjen opis kako bi se uključio uticaj intra blokove struktura (slika 18).



Slika 18. Kvantifikovani CGSI dijagram (Day i dr. 2019)

Veličina GSI indeksa se određuje sabiranjem GSI vrednosti kolone A i kolone B. Kolona A je definisana parametrom J_{cond89} , koji definiše stanje

pukotina prema pet parametara iz RMR klasifikacije (Bieniawski, 1989). Slično kao što je dodata kolona za kvalitet zidova pukotina kod GSI dijagrama, tako je i bodovni sistem RMR klasifikacije dopunjen kako bi se uračunao efekat intrablokvske strukture. Osa B je definisana parametrom V_b (koji definiše veličinu bloka), a na osnovu predloga Cai i dr. (2004), (Berisavljević Z., 2019).

Hoek i dr. (2013) razvili su kvantitativni GSI grafikon gde je parametar RQD korišćen za kvantifikaciju strukture stenske mase, a J_{cond89} je usvojen iz RMR sistema za kvantifikaciju stanja površina diskontinuiteta. Treba imati na umu da su linije na ovom, kvantifikovanom GSI grafikonu, paralelne i podjednako raspoređene, za razliku od onih u prethodnim kvalitativnim dijagramima (npr. slika 7). Hoek i dr. (2013) koristili su podatke kartiranja terena zabeležene prilikom istražnog bušenja i probijanja tunela, i na bazi tih podataka predložili sledeću jednačinu (9.1) za procenu GSI vrednosti stenske mase u tunelima od oko 10 m raspona i kosina koje su niže od 20 m:

$$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} \quad (9.1)$$

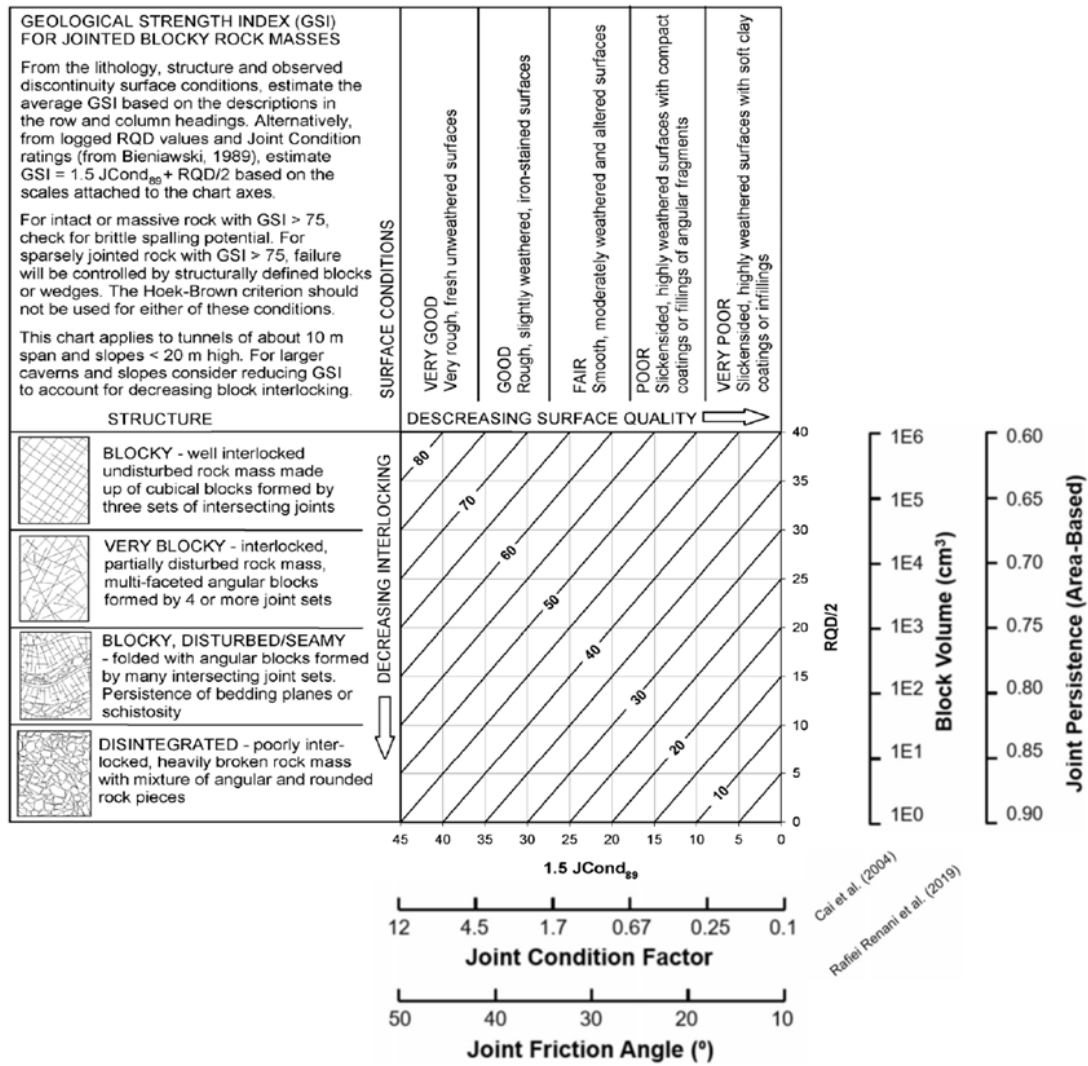
Hoek i dr. (2013) predlažu da se vrednost parametra J_{cond89} može definisati i kao $1.3J_{cond76}$ koristeći verziju RMR klasifikacionog sistema iz 1976. (Bieniawski, 1976) ili kao $(35J_r/J_a)/(1+J_r/J_a)$ koristeći Q klasifikacioni sistem (Barton i dr., 1974).

Još važnije, Hoek i dr. (2013) su zaključili da je *in situ* lom intaktne ili masivne stenske mase, kao i smaknute ili veoma alterisane i oštećene stenske mase izvan granica primene Hoek-Brown-ovog kriterijuma. Stoga su sa dijagrama prikazanog na slici 9 uklonjeni prvi i poslednji red, čime je sam dijagram poprimio oblik originalnog GSI dijagrama sa 4 kategorije stenske mase (Renani H. R. i Cai M., 2022).

Ovaj dijagram (slika 19) uključuje empirijske skale predložene od strane Cai i dr. (2004) za kvantifikaciju GSI u smislu zapremine bloka i faktora stanja pukotina određenog na osnovu opisa za zatalasanost pukotina, hrapavost i izmenjenost. Takođe, pored ove skale, prikazane su i skale razvijene od strane

Rafiei Renani i dr. (2019a) iz analitički postavljenog modela za ispucale stenske mase u pogledu dužine prostiranja pukotina i njihovog ugla smičuće otpornosti. Dužina prostiranja pukotina u ovom analitičkom modelu je definisana kao procenat ispucale površine u odnosu na ukupnu površinu stenske mase od strane Dershowitz i Einstein (1988) i Renani i dr. (2019a).

Ranije pomenute paralelne i međusobno jednako razmaknute linije na GSI dijagramu predložene od strane Hoek i dr. (2013) su s razlogom slične onim predloženim od strane Hoek (1999), Cai i dr. (2004) i R. Renani i dr. (2019a) za prosečan kvalitet stenskih masa u centralnom delu samog GSI dijagrama. Hoek i dr. (2013) su istakli da njihov kvantitativni GSI dijagram i dijagrami predloženi od strane Sonmeza i Ulusay (1999), Cai i dr. (2004) i Russo (2009) imaju dva značajna nedostatka. Prvo, oni uključuju empirijske procene stanja površina diskontinuiteta umesto fizičkih merenja njihove smičuće čvrstoće. Iz tog razloga su Renani i dr. (2019a) razvili kvantitativni GSI dijagram sa numeričkim skalama gde je ugao smičuće otpornosti diskontinuiteta moguće direktno usvojiti. Drugo, izražavanje GSI vrednosti putem parametra RQD ili drugih načina merenja ispucalosti kao što su razmaci između pukotina, njihova zapreminska učestalost i zapremina bloka, ne uzimaju u obzir veličinu bloka u razmeri iskopa. Ovo je dovelo do toga da Hoek i dr. (2013) zaključie da je njihov kvantitativni dijagram primenljiv za tunele sa rasponom od oko 10 m i za kosine niže od 20 m, kao i da niže GSI vrednosti treba razmatrati u većim razmerama (Renani H. R. i Cai M., 2022).



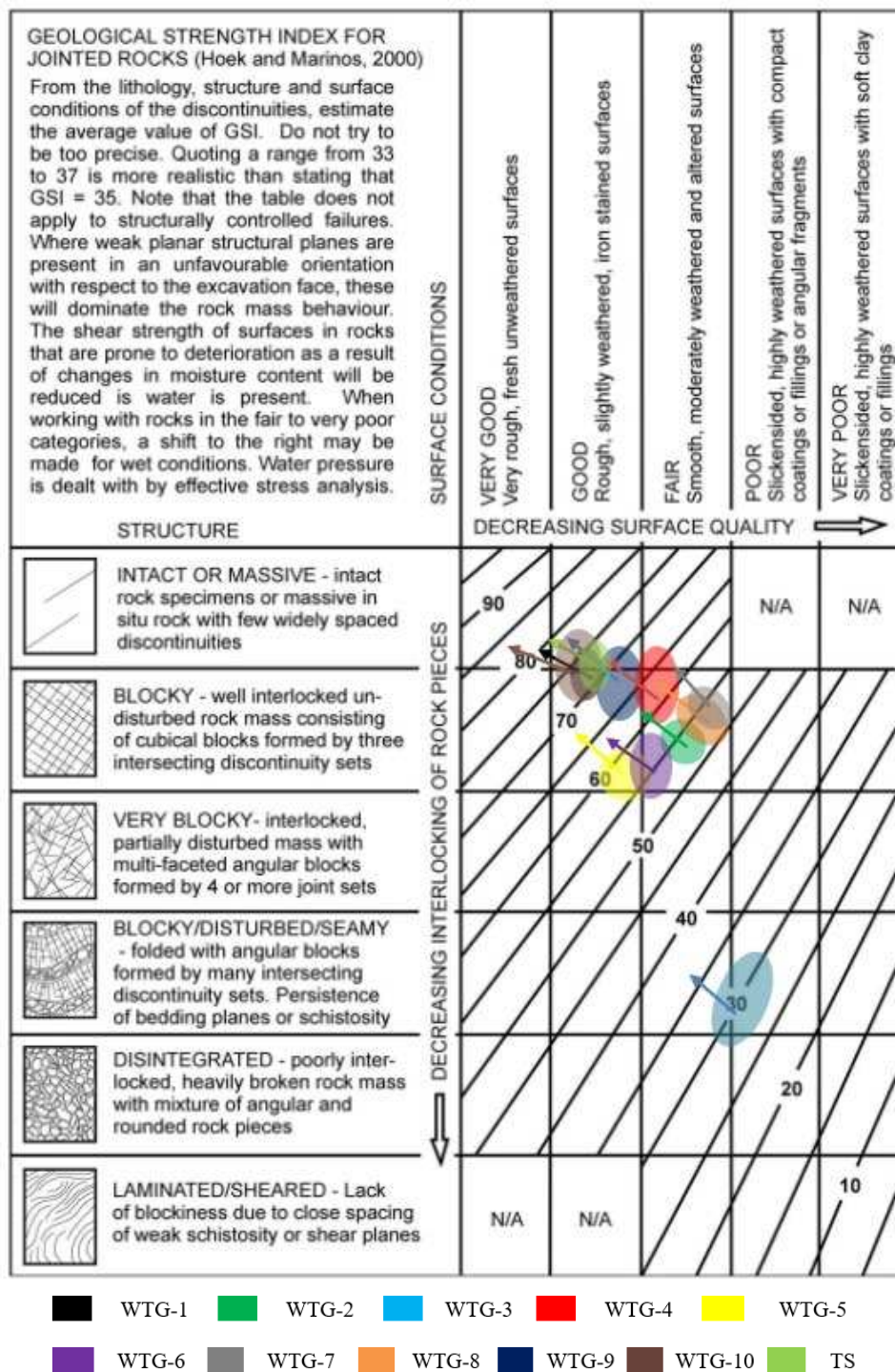
Slika 19. Kvantifikovani GSI dijagram za ispucale stenske mase, u zavisnosti od RQD i J_{cond89} , modifikovani dijagram Hoek-a i dr. (2013). Odgovarajuće numeričke skale predložene od strane Cai i dr. (2004) u pogledu zapremine bloka i faktora za ocenu stanja pukotina, i skale predložene od strane Renani i dr. (2019a) za kontinualnost pukotina i ugao smičuće otpornosti pukotina takođe su prikazane

10. PRIMENA GSI KLASIFIKACIONOG SISTEMA NA MOLASNE SEDIMENTE OKOLINE NEVESINJA

Na istražnom području (poglavlje 2) je planirana izgradnja vetroparka kog će činiti ukupno 10 vetroagregata (u daljem tekstu WTG) i 1 objekat trafostanice (u daljem tekstu TS).

U okviru terenskih geotehničkih istraživanja i ispitivanja na svakom od lokaliteta izvedene su po 2 istražne geomehaničke bušotine, izuzev na lokalitetu WTG-7 gde su izvedene 3 bušotine i lokaliteta trafostanice gde je izvedena 1. Na osnovu podataka zabeleženih prilikom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja, kao i podataka dobijenih istražnim bušenjem, izvršena je geotehnička klasifikacija stenske mase primenom GSI klasifikacije.

Prema iznad opisanom klasifikacionom sistemu GSI, u nastavku je dat opšti GSI dijagram na koji su nanesene konture različitih boja (po jedna boja za svaku lokaciju) koje prikazuju procenjeni kvalitet stenske mase na svakoj od lokacija planiranih vetroagregata i trafostanice (slika 20). Konture su definisane i prikazane na osnovu podataka prikupljenih iz jezgra bušotine izvedenih na datoj lokaciji. Svaka kontura predstavlja jednu od ispitivanih lokacija, odnosno stensku masu na datoj lokaciji i determiniše procenjeni interval vrednosti GSI.



Slika 20. GSI vrednosti stenske mase na lokacijama WTG i TS – opšti GSI dijagram
 Strelice date na dijagramu predstavljaju preporučeni pravac pomeranja zbog lokalne neuniformnosti IG karakteristika stene. Konture su postavljene na strani sigurnosti dok su pomeranja preporučena zbog jako retkih pukotina registrovanih u nabušenom jezgru na lokacijama WTG i TS što povećava GSI vrednost stenske mase

U tabeli 3 date su procenjene vrednosti GSI za stensku masu na svakoj od lokacija.

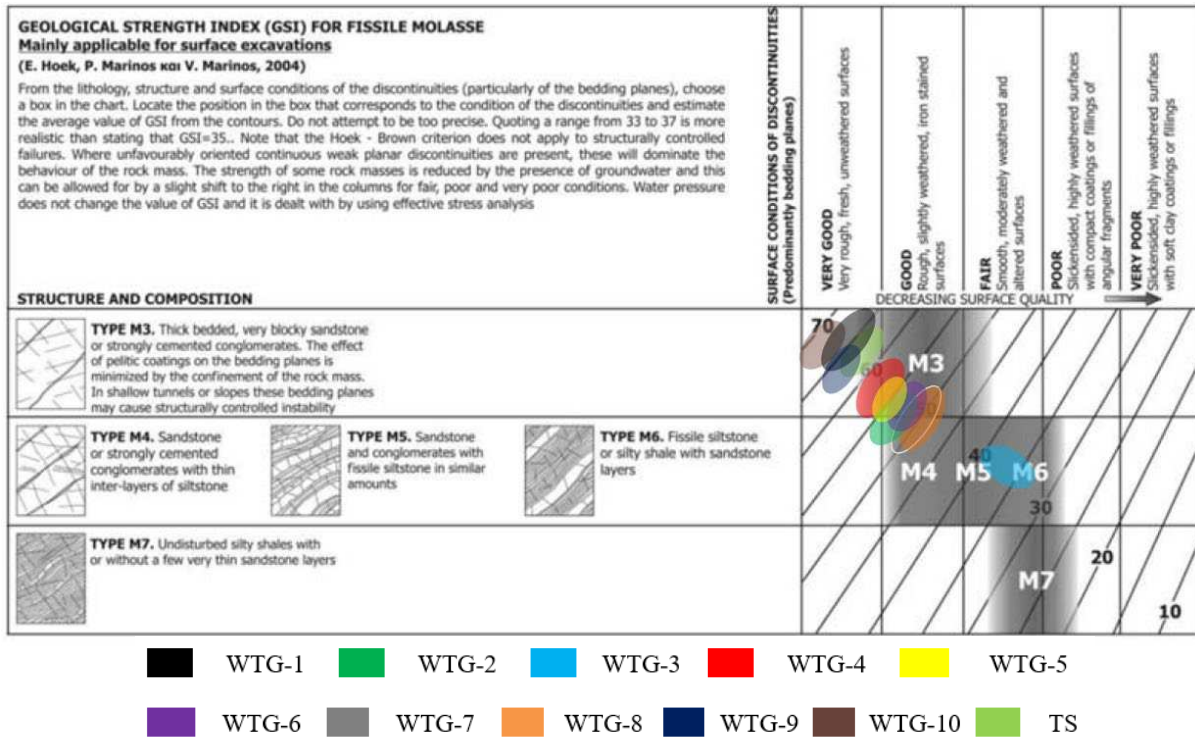
Tabela 3. Procenjene vrednosti GSI za stensku masu na lokacijama WTG i TS na osnovu opšteg GSI dijagrama

Oznaka lokacije WTG/TS	Procenjena GSI vrednost stenske mase
1	69 < GSI < 79
2	51 < GSI < 57
3	28 < GSI < 32
4	58 < GSI < 67
5	55 < GSI < 62
6	53 < GSI < 60
7	50 < GSI < 57
8	50 < GSI < 58
9	63 < GSI < 72
10	70 < GSI < 79
TS	69 < GSI < 76

Važno je napomenuti da zbog veoma retkih pukotina u stenskoj masi konture koje je predstavljaju imaju tendenciju pomeranja ulevo i na gore, odnosno procenjene vrednosti GSI se mogu smatrati i višim u odnosu na one date u tabeli 3.

Prilikom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja nabušenog jezgra konstatovane su njene inženjerskogeološke karakteristike. Naime, nabušeni molasni sedimenti opisuju se kao masivna, homogena i kompaktna stenska masa, skoro bez ikakve uslojenosti, ritmičnosti smenjivanja članova i pukotina, sa tek povremeno izraženom imbrikacijom.

Zbog navedenih inženjerskogeoloških odnosno geotehničkih specifičnosti stenske mase, gore prikazan opšti dijagram za procenu vrednosti GSI (slika 19) može se smatrati kao nedovoljno primenljiv, a zbog nešto većeg raspona GSI vrednosti i neprecizan za molasne konglomerate istražnog područja. Kako bi se preciznije i upotrebljivije procenile karakteristike stenske mase, na istu je primenjen modifikovani GSI dijagram prilagođen laminiranim molasnim sedimentima (za površinske iskope). Po istom principu kao i za opšti, i na ovom dijagramu izvršeno je pozicioniranje kontura koje predstavljaju stensku masu na lokacijama WTG i TS (slika 21).



Slika 21. GSI vrednosti stenske mase na lokacijama WTG i TS, GSI dijagram za laminirane molasne sedimente (primenljiv za površinske iskope)

U tabeli 4 date su procenjene vrednosti GSI za stensku masu na svakoj od lokacija na osnovu dijagrama sa slike 20.

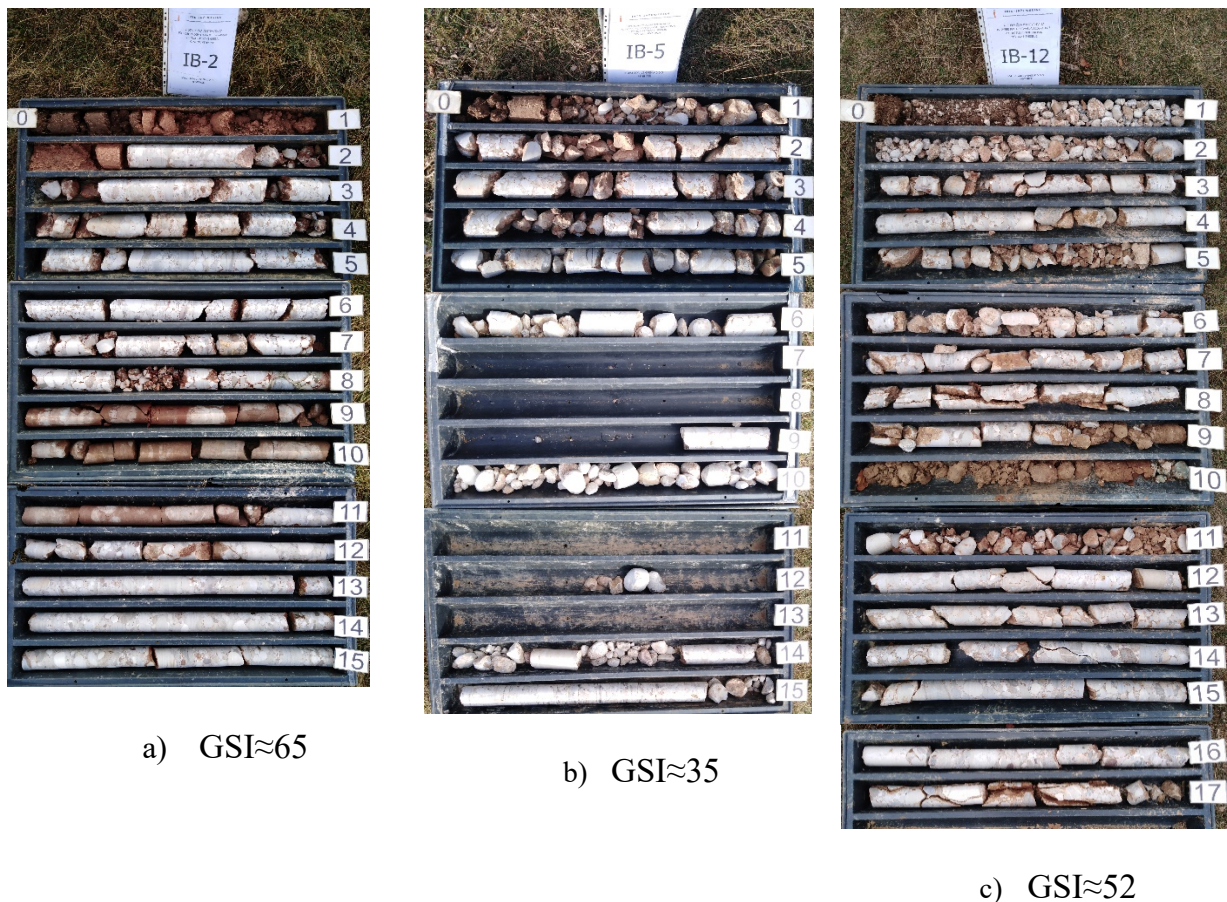
Tabela 4. Procenjene vrednosti GSI za stensku masu na lokacijama WTG i TS na osnovu GSI dijagrama za laminirane molasne sedimente

Oznaka lokacije WTG/TS	Procenjena GSI vrednost stenske mase
1	63 < GSI < 68
2	50 < GSI < 55
3	33 < GSI < 40
4	55 < GSI < 60
5	53 < GSI < 57
6	50 < GSI < 54
7	48 < GSI < 53
8	47 < GSI < 51
9	62 < GSI < 66
10	66 < GSI < 71
TS	61 < GSI < 66

Naglašava se da je dijagram prikazan na prethodnoj slici primenljiv za, pre svega, *laminirane* molasne sedimente, dok se konglomerati Nevesinja zbog svoje strukture ne mogu opisati kao takvi.

U nastavku, na slici 21 su prikazane neke od fotografija nabušenog jezgra istražnih bušotina izvedenih kroz molasne sedimente na predmetnom području. Svaka od datih fotografija prikazuje stensku masu sa karakterističnom GSI vrednošću, određenu na osnovu GSI kriterijuma za laminirane molasne sedimente. Konkretno, date su fotografije karakterističnih jezgra istražnih bušotina izvedenih na lokacijama WTG-1, WTG-6 i WTG-3.

Napominje se da su na lokalitetu WTG-3 zabeležena brojna propadanja pribora za bušenje, kao i ispiranje glinovite ispune pukotina u pojedinim intervalima bušenja što je rezultiralo jako niskim procentom jezgra, kao što se vidi sa slike 22 b.



Slika 22. Neke fotografije jezgra stenske mase sa karakterističnim GSI vrednostima a) Lokacija WTG-1 b) Lokacija WTG-3 c) Lokacija WTG-6 (foto: D. Marjanović, 2021)

Ranije je bilo reči o kvalitativnim karakteristikama ovih, iznad prikazanih, "opštih" dijagrama i njihovim nedostacima u smislu kvantifikacije određenih parametara stenske mase koja se analizira. Iz tog razloga u nastavku je detaljno analizirana stenska masa primenom kvantifikovanog dijagrama predloženog od strane Hoek i dr. (2013).

Prvi neophodan parametar za kvantifikaciju kvaliteta stenske mase jeste *RQD*. Vrednost *RQD* određena je u postupku kartiranja jezgra nabušenih bušotina na predmetnim lokacijama planiranih WTG i TS. Ovde se napominje da je *RQD* determinisan samo u intervalima jezgra kompaktne stenske mase (tabela 5), izuzimajući rastrošene površinske i pripovršinske slojeve predstavljene koherentnim glinovitim materijalima i stenskom drobinom (kora raspadanja). U tabeli 5 date su prosečne vrednosti *RQD* definisane na bazi pojedinačnih *RQD* vrednosti bušotina na svakoj od lokacija vetroagregata i trafostanice. Pored navedenih podataka, u istoj tabeli su date i vrednosti *RQD/2* koje predstavljaju desnu ordinatu kvantifikovanog GSI dijagrama.

Tabela 5. Prosečne *RQD* vrednosti za stensku masu na lokacijama WTG i TS na osnovu vrednosti *RQD* svake od bušotina na datoj lokaciji

Oznaka lokacije WTG/TS	Dužina nabušenog intervala kompaktne stenske mase (m)	Prosečna <i>RQD</i> vrednost nabušenog jezgra po lokacijama WTG i TS (%)	Vrednost <i>RQD/2</i> nabušenog jezgra po lokacijama WTG i TS (%)
1	31	61,63	30,82
2	23	37,00	18,50
3	18	21,50	10,75
4	27	61,85	30,93
5	32	60,00	30,00
6	30	48,64	24,32
7	34,5	27,00	13,50
8	17	50,60	25,30
9	18	54,74	27,37
10	20	70,31	35,16
TS	8	55,25	27,63

Drugi parametar od kog zavisi kvantitativna vrednost GSI stenske mase jeste J_{cond89} , koji definiše stanje pukotina prema pet parametara iz RMR klasifikacije (Bieniawski, 1989).

U nekoliko nabušenih profila bušotina registrovane su subvertikalne pukotine mm zeva sa glinovitom ispunom, dok su ostale rupture i diskontinuiteti proizvod mehaničke poremećenosti usled bušenja, a formirane su po zonama veziva između valutica koje izgrađuju stensku masu. Te retke pukotine su hrapave, neizmenjene, suve, malog zeva i mestimično zapunjene glinom odnosno crvenicom (terra rosa).

Redak profil u kom su registrovane pomenute subvertikalne pukotine jeste profil istražne bušotine IB-12 na lokaciji WTG-6. Kao reprezentativna pukotina za definisanje parametra J_{cond89} uzeta je subvertikalna pukotina koja se prostire u intervalu od 7,20 – 7,50 m (silka 23).



Slika 23. a) Nabušeno jezgro IB-12, b) reprezentativna subvertikalna pukotina
(foto: D. Marjanović, 2021 - 2022)

Nakon izbora reprezentativne pukotine izvršena je kvantifikacija njenih parametara, odnosno pet parametara koji definišu stanje pukotina prema RMR klasifikaciji (Bieniawski, 1989).

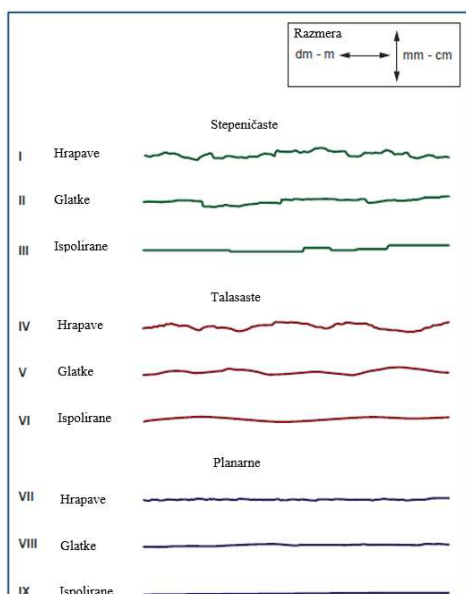
Kako je zastupljenost pukotina veoma mala u analiziranoj stenskoj masi, kontinualnost ove reprezentativne pukotine utvrđena je respektivno, s obzirom na dubinu na kojoj je registrovana. Stoga je kontinualnost procenjena na 10 – 20 m, uzimajući u vidu i pukotinu iste familije koja se uočava od 16,0 – 17,0 m (slika 23a).

Kako se sa priložene slike 22b može videti, pukotina je relativno neujednačeno otvorena, odnosno njen zev varira od 1 – 2,5 cm.

Na slici 24 reinterpretiran je profil zida reprezentativne pukotine, a na slici 25 komparativni profili hrapavosti (preporuke ISRM 1978, NGI 2015).



Slika 24. Hrapavost zida reprezentativne pukotine (dužina pukotine 30 cm)
(foto: D. Marjanović)



Slika 25. Primeri hrapavosti zidova pukotina, modifikovano prema ISRM 1978
(NGI, 2015)

Upoređivanjem profila pukotine i slike 24, reprezentativna pukotina sa slike 25 se determiniše kao *veoma hrapava*.

Ispuna pukotine je većim delom isprana u postupku bušenja, međutim jasno se uočavaju tragovi ispune u vidu crvenice (slika 25).



Slika 26. *Izmenjeni zidovi pukotine sa tragovima crvenice (foto: D. Marjanović)*

Na slici 26 vidi se površina zidova pukotine, gde se jasno uočava da je ista podređena uticaju alteracije, te se karakteriše kao *srednje izmenjena*.

Na osnovu definisanih karakteristika reprezentativne pukotine izvršeno je bodovanje parametara prema Bieniawski (1989), kako je dato u tabeli 6.

Tabela 6. Određivanje stanja pukotina prema RMR_{89} , prema Bieniawski (1989)

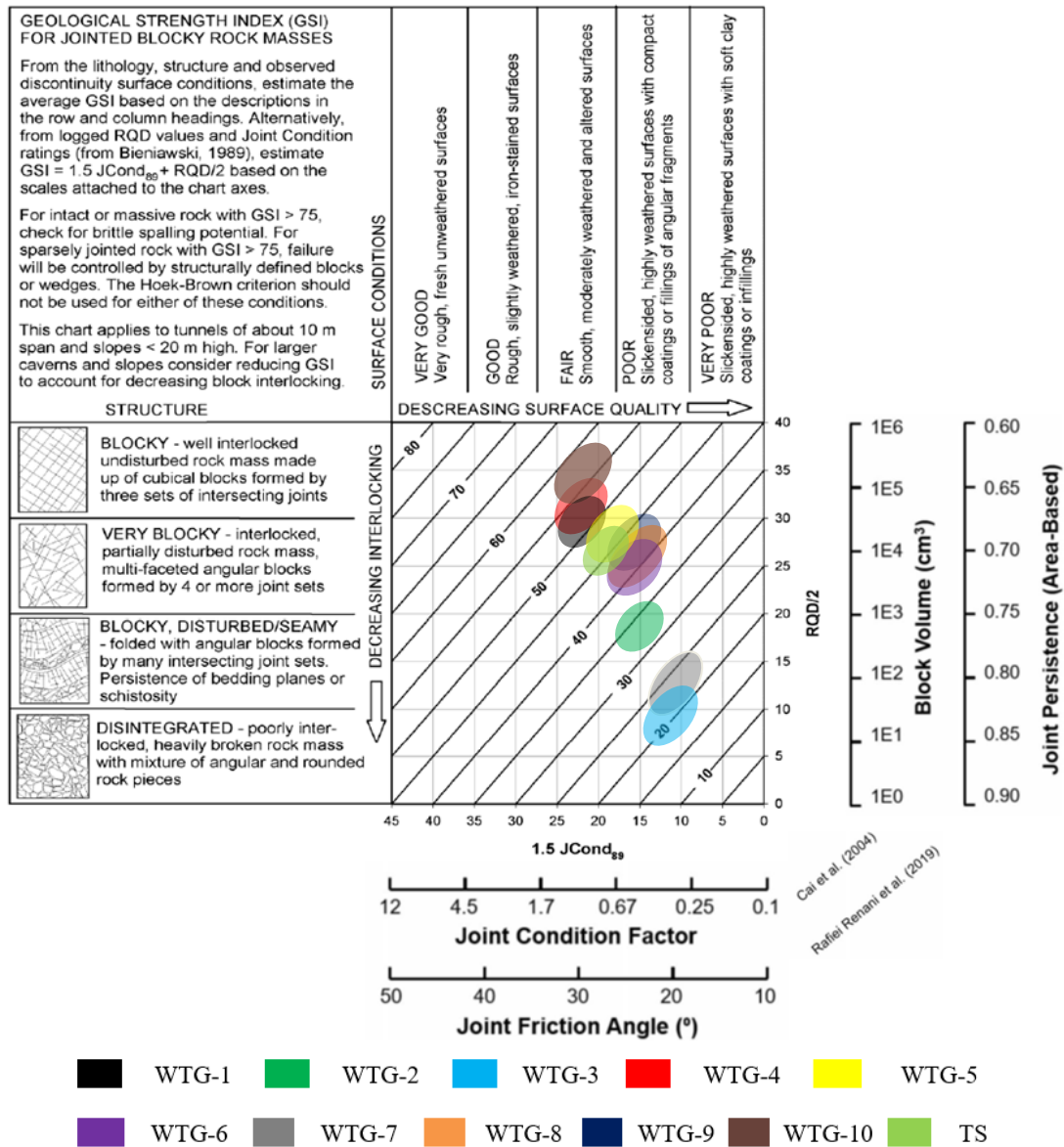
Parametar	Broj bodova				
	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m
Prostiranje u dubinu	6	4	2	1	0
Zev	Bez zeva	< 0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
Hrapavost	Veoma hrapava	Hrapava	Delimično hrapava	Glatka	Ispolirana
	6	5	3	1	0
Ispuna	Bez ispune	Tvrda		Meka	
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Izmena	Neizmenj.	Delimično izmenjena	Srednje izmenjena	Veoma izmenjena	Raspadnuta
	6	5	3	1	0

Sabiranjem bodovnih vrednosti definisanih parametara pukotine, dobijeno je da je:

$$J_{cond89} = 10$$

S obzirom da je vrednost ovog parametra umnogome zavisna od vrednosti prethodno definisanog parametra RQD, tako je, poštujući princip „veća vrednost RQD – veća vrednost parametra J_{cond89} “, vrednost J_{cond89} za svaku lokaciju WTG i TS na dijagramu pomerena ulevo ili udesno (procenjena vrednost).

Nakon definisanja oba parametra (RQD i J_{cond89}), dobijena je i prosečna kvantifikovana GSI vrednost za svaku lokaciju, kako je prikazano u nastavku na slici 27.



Slika 27. Kvantifikovana GSI vrednost molasa konglomerata okoline Nevesinja

Na osnovu podataka vidljivih na slici iznad, kvantitativne GSI vrednosti za svaku lokaciju WTG (1-10) i TS su određene i analitički u tabeli 7, pri čemu se napominje da su vrednosti ulaznog parametra J_{cond89} procenjene inženjerskogeološkim kartiranjem nabušenog jezgra i u odnosu na vrednost J_{cond89} reprezentativne pukotine ($J_{cond89} = 10$).

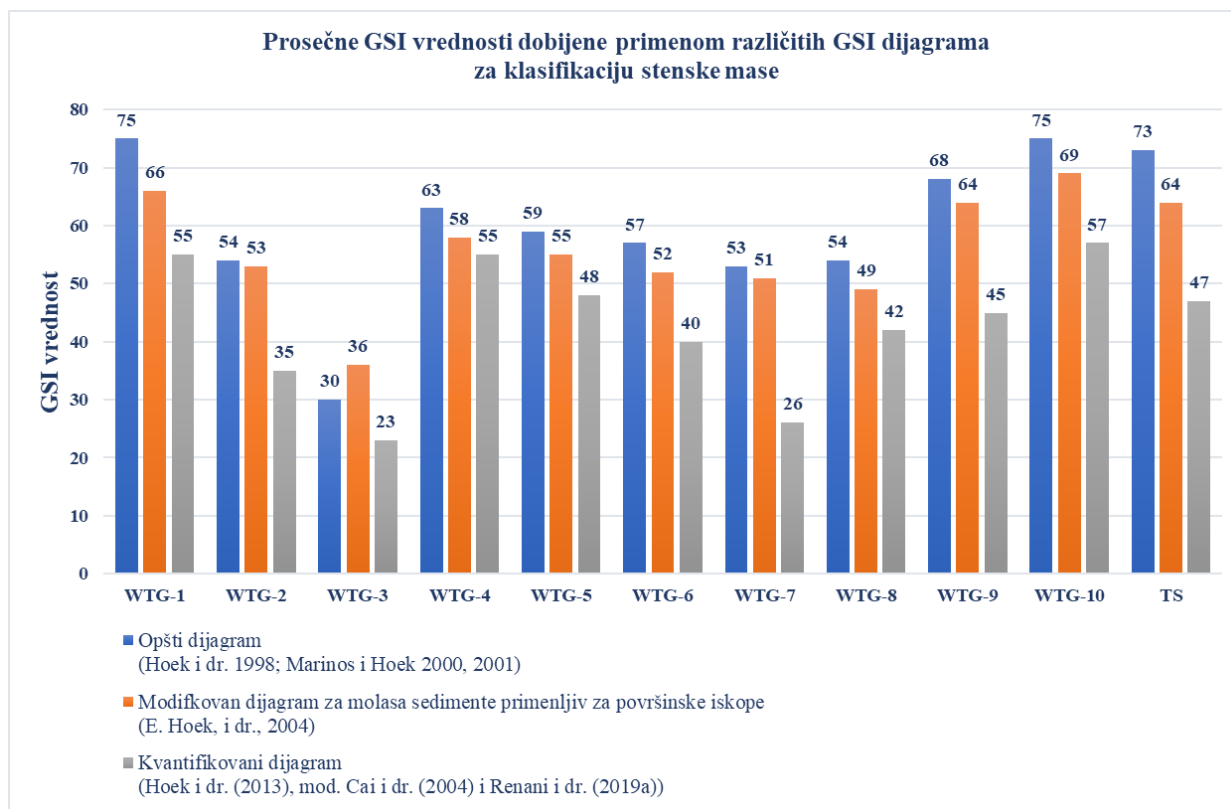
Tabela 7. *Analitički određene kvantitativne GSI vrednosti molasa konglomerata na lokacijama WTG i TS*

Lokacija	Kvantifikovana vrednost GSI
WTG-1	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 61,63 + 1.5 \times 15 = 30,82 + 23 \approx 54$
WTG-2	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 37,00 + 1.5 \times 10 = 18,50 + 16 \approx 35$
WTG-3	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 21,50 + 1.5 \times 8 = 10,75 + 12 \approx 23$
WTG-4	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 61,85 + 1.5 \times 15 = 30,93 + 23 \approx 54$
WTG-5	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 60,00 + 1.5 \times 12 = 30,00 + 18 \approx 48$
WTG-6	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 48,64 + 1.5 \times 10 = 24,32 + 15 \approx 40$
WTG-7	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 27,00 + 1.5 \times 8 = 13,50 + 12 \approx 26$
WTG-8	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 50,60 + 1.5 \times 11 = 25,30 + 17 \approx 42$
WTG-9	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 54,74 + 1.5 \times 11 = 27,37 + 17 \approx 45$
WTG-10	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 70,31 + 1.5 \times 15 = 35,16 + 22 \approx 57$
TS	$GSI = 0.5RQD + 1.5J_{cond89} = 0.5 \times 55,25 + 1.5 \times 13 = 27,63 + 19 \approx 47$

11. ANALIZA REZULTATA

Primenjujući prikazane dijagrame – opšti GSI dijagram, GSI dijagram za laminirane molasne sedimente, kao i kvantifikovani GSI dijagram, u svrhu klasifikacije stenske mase, dobijene su relativno približne GSI vrednosti za molasne konglomerate okoline Nevesinja na lokacijama WTG i TS.

Na osnovu rezultata dobijenih sprovedenim analizama, izvršena je komparacija prosečnih GSI vrednosti stenske mase, koje su date u vidu dijagrama na slici 28. Prosečne GSI vrednosti na priloženom dijagramu su prosečne GSI vrednosti iz tabela 3 i 4, kao i dobijene kvantifikovane vrednosti iz tabele 6.



Slika 28. Dijagram prosečnih GSI vrednosti dobijene primenom različitih GSI dijagrama za klasifikaciju stenske mase

Sa dijagrama datog na slici 28 uočljivo je da su GSI vrednosti dobijene primenom opšteg dijagrama (Hoek i dr., 1998; Marinos i Hoek 2000, 2001) najviše. Ovako visoke vrednosti su očekivane, imajući u obzir da je ovaj tip dijagrama opšti, odnosno da je empirijski primenljiv na ispucale stenske mase generalno.

Primenom modifikovanog dijagrama za (laminirane) molasne sedimente (E. Hoek i dr., 2004) dobijene su niže vrednosti GSI i samim tim se iznosi zaključak da se primenom ovog dijagrama vrednost GSI za molasne konglomerate Nevesinja može preciznije odrediti, odnosno proceniti, te da su na strani sigurnosti, poredeći rezultate sa onima dobijenim primenom opšteg dijagrama. Ipak, s obzirom da sedimenti promina serije Nevesinja nisu laminirani, vrednosti GSI dobijene ovim dijagramom takođe treba uzeti s rezervom.

S druge strane, primenom kvantifikovanog GSI dijagrama na stensku masu (modifikovani dijagram Hoek i dr., 2013) dobijena je njena kvantifikovana GSI vrednost za svaku od 11 lokacija (10 WTG i 1 TS), koja je znatno niža od vrednosti dobijenih primenom prethodno pomenutih dijagrama, ali isto tako na strani sigurnosti prilikom procene GSI vrednosti kao parametra za geostatičke proračune u ovim stenskim masama. S obzirom na detaljnost i multiparametarsku analizu koju ovaj dijagram iziskuje, kao i na ograničenu primenu prethodnih dijagrama, ove GSI vrednosti se mogu smatrati najreprezentativnijim i najpreciznijim.

Dobijeni rezultati jasno ukazuju na određene oscilacije vrednosti u zavisnosti od tipa GSI dijagrama koji se primenjuje za određenu stensku masu. Izbor „pravog“ dijagrama, dakle, umnogome može definisati samu GSI vrednost stene, pri čemu opet do izražaja dolazi subjektivnost korisnika.

Primenom gore navedenih dijagrama za analiziranu stensku masu (molasa konglomerate) dobijena je prosečna GSI vrednost stenske mase za svaku od predmetnih lokacija WTG i TS. Analizom rezultata stenska masa najnižeg kvaliteta je na lokacijama WTG-3 i WTG-7. Sa druge strane, najviše vrednosti dobijene su za lokacije WTG-1, WTG-4 i WTG-10.

Za preporuku je, prilikom rešavanja praktičnih geotehničkih problema u stenskim masama sličnih (kao i drugih) tipova, izvršiti analizu pomoću najmanje 2 dijagrama ili pak primenom još nekih geotehničkih klasifikacija, a sve u cilju dobijanja što realnije ocene kvaliteta analizirane stenske mase.

12. ZAKLJUČAK

Ovaj rad bavi se primenom geotehničkih klasifikacija na molasne sedimente okoline Nevesinja, odnosno primenom GSI klasifikacionog sistema kao najadekvatnijeg za ovakav tip stenske mase.

Predmetno područje je u geološkom smislu izgrađeno od čvrstih, krutih, molasa konglomerata sa proslojcima i interkalacijama peščara i glinaca eocen-oligocenske starosti. Kompleksnost ovih stenskih masa iziskivala je detaljna

istraživanja i obimne istražne radove za potrebe projektovanja objekta vetroparka na prevoju Grebak, (opština Nevesinje, BiH) u okviru kojih je izvedeno ukupno 22 istražne geomehaničke bušotine.

U cilju ocene kvaliteta stenske mase, a zbog pomenute specifičnosti iste, na bazi podataka prikupljenih inženjerskogeološkim kartiranjem istražnog prostora i podataka prikupljenih kartiranjem jezgra izvedenih istražnih bušotina, izvršena je geotehnička klasifikacija stenske mase primenom GSI klasifikacionog sistema.

Klasifikacija je vršena pomoću opšteg GSI dijagrama (Hoek i sar. 1998; Marinos i Hoek 2000, 2001), modifikovanog i prilagođenog GSI dijagrama za laminirane molasne sedimente koji je primenljiv za površinske iskope (E. Hoek i dr. 2004), kao i kvantifikovanog GSI dijagrama predloženog od strane Hoek i dr. (2013), a modifikovanog od strane Cai i dr. (2004) i Renani i dr. (2019a).

Primenom adekvatnih dijagrama izvršena je analiza, sinteza i komparacija rezultata dobijenih korišćenjem iznad navedenih dijagrama, a na bazi čega je data opšta ocena kvaliteta stenske mase.

13. LITERATURA

Abbas S. M., prof. dr habil. Heinz Konietzky, (2017) Rock Mass Classification Systems, Introduction to Geomechanics (pp. 43), Department of Rock Mechanics, TU Bergakademie Freiberg, Geotechnical Institute

Barton N., Lien R., Lunde J. (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech* 6: 189–236

Berisavljević Z., (2019) *Mehanika stena 2: Predavanje 4, 5, 6 – Klasifikacioni sistemi*, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

Bieniawski, Z. T., (1993) Classification of rock masses for engineering: The RMR system and future trends, *In: Hudson, J.A., ed., Comprehensive Rock Engineering, Volume 3: Oxford; New York, Pergamon Press, p. 553-573*

Bieniawski, Z. T., (1973) Engineering classification of jointed rock masses: *Transaction of the South African Institution of Civil Engineers, v. 15, p. 335-344*

Bieniawski, Z. T., (1989) *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering: New York, Wiley, XII, p. p. 251*

Bieniawski Z. T. (1976) Rock mass classification in rock engineering. *In: Bieniawski ZT (ed) Exploration for rock engineering. Balkema, Cape Town, pp 97–106*

Cai, M., Kaiser, P. K., Uno, H., Tasaka, Y., and Minami, M., (2004) Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses using the GSI system: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 41, p. 3-19*

Cording, E. J., and Deere, D. U., (1972) Rock tunnel supports and field measurements, in Lane, K.S., and Garfield, L.A., eds., *North American rapid excavation and tunneling conference, Volume 1: Chicago, New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineers, p. 601-622*

Day J. J., (2021) How to incorporate variability of rockmass structures into equivalent continuum numerical models using the Composite Geological Strength Index, Department of Geological Sciences and Geological Engineering, Queen's University Kingston, Ontario, Canada

Deere, D. U., Hendron, A.J., Patton, F.D., and Cording, E.J., (1967), Design of surface and near surface construction in rock, 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics: Failure and breakage of rock: New York, Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers

Deere, D. U. (1963) Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie (Rock Mechanics and Engineering Geology), 1 (1), 16-22.

Dershowitz W. S., Einstein H. H. (1988) Characterizing rock joint geometry with joint system models. Rock Mech Rock Eng 21:21–51

Goodman R. E., Introduction to Rock Mechanics, Second Edition (42 – 44), "John Wiley & Sons", Canada, 1989

Hoek E., Carter T. G., Diederichs M. S. (2013) Quantification of the Geological Strength Index Chart, The 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, San Francisco, CA, USA June 23-26

Hoek E., Diederichs M., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, v. 43, p. 203-215

Hoek E., Brown E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock.. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 34:1165–1186

Hoek E., Brown E. T. (2019) The Hoek–Brown failure criterion and GSI–2018 edition. J. Rock. Mech. Geotech. Eng. 11:445–463

Hoek E., Brown E. T. (1988) The Hoek–Brown failure criterion—a 1988 update. In: Curran JH (ed) Proc. 15th Canadian rock mechanics symposium. Toronto, pp 31–38

Hoek E., Kaiser P. K., Bawden W. F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam, Netherlands: Balkema

Hoek, E., Marinos, P., and Marinos, V., (2004) Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42(2), pp. 277-285

Hoek E., (1998) Reliability of Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 35:63–68

Hoek E., Marinos P. (2000) Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Tunn. Tunn. Int. 132:45–51

Hoek E., (1994). Strength of rock and rock masses. News J ISRM (2):4–16

Hoek E., (1999) Support for very weak rock associated with faults and shear zones. In: Proceedings of the international symposium on rock support and reinforcement practice in mining, Kalgoorlie, Australia, pp 14–19

Hoek E., Wood D., Shah S. (1992). A modified Hoek- Brown criterion for jointed rock masses. In: Hudson JA, ed. Proceedings of the Rock Mechanics Symposium (Eurock '92). London: British Geotechnical Society, pp. 209–214

Ivanković B., Rajak S., Marjanović D. i sar., (2021) Elaborat o izvedenim detaljnim inženjerskogeološkim i geotehničkim istraživanjima za potrebe projektovanja i izgradnje VE Grebak, opština Nevesinje, Ibis-inženjering d.o.o. Banja Luka

ISRM (International Society for Rock Mechanics), (1978) Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-368

Marinos P., Marinos V, Hoek E., (2007) The Geological Strength Index (GSI): A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses, Underground works under special conditions (13 – 21) "Taylor and Francis Group", Romana M., Perucho A., Ollala C.

Marinos P., Marinos V., (2005) The geological strength index: applications and limitations, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 64, 55-65

Marinos V., Marinos P., Hoek E., (2010) New proposed GSI classification charts for weak or complex rock masses, Bulletin of the Geological Society of Greece 43, 1248 - 1258

Mojićević M., Laušević M., (1958-1964): Osnovna geološka karta list Nevesinje K 34-32, Institut za geološka istraživanja Sarajevo, izdanje Saveznog geološkog zavoda, Beograd, 1969

Merritt, A. H., (1972), Geologic prediction for underground excavations, in Lane, K.S., and Garsfield, L.A., eds., North American rapid excavation and tunneling conference, Volume 1: Chicago, New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, p. 115-132.;

NGI, (2022) Using the Q-system, Rock mass classification and support design, Revised and new edition, Oslo, p. 20

Palmstrom, A., and Broch, E., (2006), Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system: Tunnels and Underground Space Technology, v. 21, p. 575-593

Palmstrom, A., (2005) Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD), Tunnelling and Underground Space Technology, 20 (4): 362-377

Priest S. D., Hudson J. A. (1976) Discontinuity Spacings in Rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 13 pp. 135 – 148, Pergamon Press

Renani H. R., Cai M., (2022) Forty-year review of the Hoek-Brown failure criterion for jointed rock masses, Rock Mechanics and Rock Engineering volume 55, 439 – 461

Renani R. H., Martin C. D., Cai M. (2019a) An analytical model for strength of jointed rock masses. Tunn. Undergr. Sp. Tech. 94:103-159

Russo G., (2009), A new rational method for calculating the GSI. Tunnel Underground Sp Tech 24:103–111

Sonmez, H., and Ulusay, R., (1999), Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and their applicability to the stability of slopes: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, v. 36, p. 743-760

Tsiambaos G. and Saroglou H., Excavability assesment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI), Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2010

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента _____ Драган Марјановић _____

Број индекса _____ Г638/19 _____

И з ј а в љ у ј е м

да је завршни рад под насловом

_____ Геотехничке карактеристике моласа околине Невесиња са акцентом на _____

_____ геотехничке класификације _____

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 16.09.2022. _____

Потпис студента

ИЗЈАВА
О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Драган (Вид) Марјановић

Број индекса Г638/19

Студијски програм геотехника

Наслов рада Геотехничке карактеристике моласа околине Невесиња са акцентом на
геотехничке класификације

Ментор доц. др Зоран Берисављевић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, 16.09.2022.

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Геотехничке карактеристике моласа околине Невесиња са акцентом на

геотехничке класификације

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције)*:

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду, 16.09.2022.

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
 2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
 4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
 5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
 6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

Библиотека Рударско-геолошког факултета

ПОТВРДА

О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Потврђује се да је студент _____,
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса _____/_____ предао/ла електронску верзију завршног рада на
основним/мастер академским студијама под насловом:

који је урађен под менторством _____
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РФФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се
користити у друге сврхе.

У Београду, _____

Библиотекар
