



Neka ograničenja sustava kategorizacije stijenskih masa

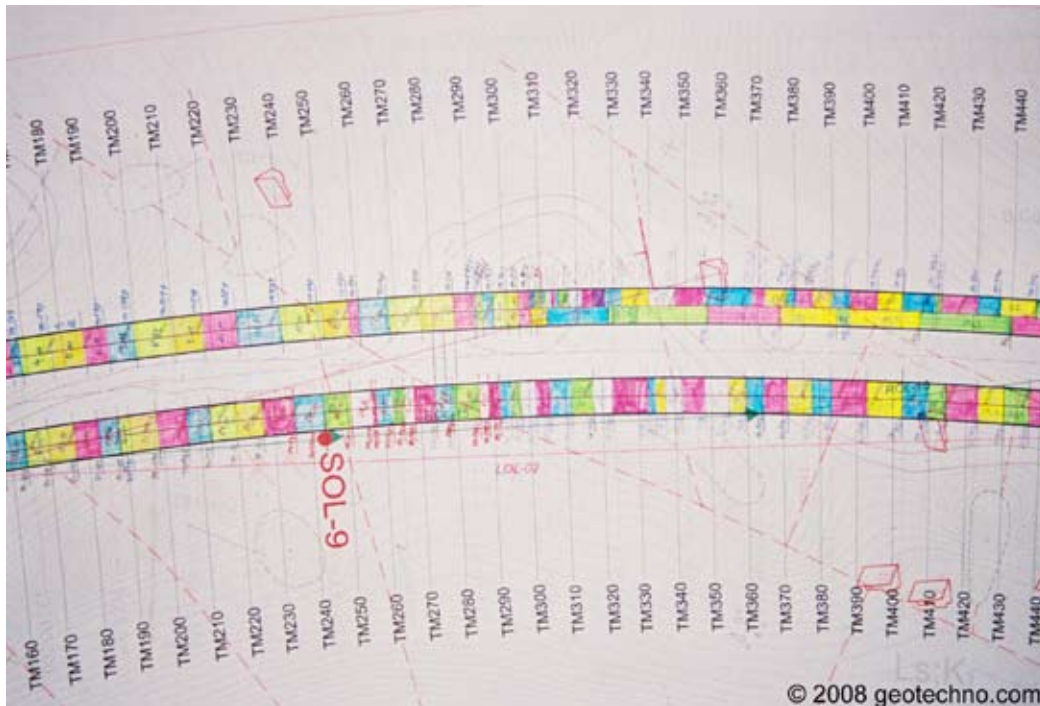
Vječitu dilemu inženjera, bilo da se radi o rudaru, geotehničaru ili građevinaru, angažiranom na izvedbi podzemnog iskopa, moguće je sažeti u dvije slike. Slika 1 prikazuje inženjera koji se boji primijeniti dosadašnje spoznaje i alate za procjenu stabilnosti podzemnog iskopa, a slika 2 inženjera koji zanemaruje dosadašnja iskustva i oslanja se samo na svoju procjenu (i božju pomoć). U radu se daje opis alata za procjenu stabilnosti podzemnog iskopa koji mogu biti od pomoći ako se koriste s razumijevanjem, ili prouzročiti štetu s mogućim težim posljedicama u suprotnom slučaju. Rad je podijeljen na tri dijela. Prvi dio (u ovom broju Minerala) uvodi nas u razmatranu problematiku. U drugom dijelu dani su sažeti opisi pojedinih sustava kategorizacije s njihovim prednostima i manama, a treći dio donosi primjere iz prakse s područja s ujednačenim geotehničkim svojstvima i regulatornim uvjetima, te naravno zaključak i popis literature za samostalno istraživanje

Branimir Janković, dipl. ing. rud., Doc. dr. sc. Snježana Mihalić, dipl. ing. geol., Prof. dr. sc. Lidija Frgić, dipl. ing. građ.



1. Uvod

Početak primjene kategorizacije stijenskih masa u svrhu svrstavanja određenog segmenta podzemnog iskopa u neku od kategorija (slika 3), te na tom osnovu izbora preporučene podgrade, vezan je uz objavljivanje radova geomehaničkog sustava kategorizacije (RMR – Rock Mass Rating) predloženog od Bieniawskog 1973. godine i Q sustava Bartona, Liena i Lundeaa 1974. (Bieniawski, 1973; Barton et al., 1974). Oba rada dočekana su s velikim entuzijazmom od velikog dijela međunarodne zajednice stručnjaka iz područja mehanike stijena, naročito onih uključenih u projektiranje tunelske podgrade tunela izvedenih u stijenskoj masi. Činilo se da je predložen sustavan, ako ne zaista i znanstveni postu-



■ Neposredna kategorizacija stijenske mase na tunelu "Grič" (zahvaljujući tvrtkama Viadukt i Strabag)

pak za projektiranje primarne podgrade ili armiranja stijenske mase.

Predloženi kategorizacijski sustavi tijekom posljednjih tridesetak godina zaživjeli su kao projektantske alatke pri projektiranju svakovrskih podzemnih objekata. RMR je bio modificiran prema MRMR – Mining Rock Mass Rating (Laubscher, 1990) za podzemnu eksploataciju. Hoek i dr. su 1995. (Hoek et al., 1995) predstavili "pojednostavljenu" verziju RMR sustava, nazvanu GSI (geološki indeks čvrstoće), za korištenje pri proračunu čvrstoće stijenske mase prema Hoek-Brownovom kriteriju loma. Q sustav je predložen kao sredstvo za procjenu cijelog niza karakteristika stijenskih masa, uključujući TBM (tunnel boring machine) produktivnost (Barton, 1999).

Ovi kategorizacijski sustavi jednostavni su u primjeni i vremenom su toliko često upotrebljavani da se izgubio uvid u neka od njihovih ograničenja, a što je još značajnije, u osnove mehanike stijena i/ili stijenskog inženjerstva koje bi trebale biti temelj za konstrukciju tunnelske podgrade.

Nasreću, pojavljuju se novi radovi koji preispituju valjanost konstruiranja podgrade ili armira-

nja stijena upotrebom samo kategorizacijskih sustava. Novi rad Palmstroma i Brocha iz 2006. godine daje kritički osvrt u kojem autori smatraju upitnim valjanost mnogih koeficijenata korištenih u određivanju Q vrijednosti. Oni ističu, suprotno tvrdnjama Bartona da:

- kvocijent RQD/Jn ne odražava pravu mjeru relativne veličine bloka
- kvocijent JW/SRF nije stvarna mjera "aktivnog naprezanja" u stijenskoj masi koju treba podgraditi

Također, oni ističu da Q sustav podbacuje u valjanom odražavanju orijentacije pukotina, pukotinskih sustava, otvora pukotina i čvrstoće stijena na konstrukciju podgrade.

U osnovi Palmstrom i Broch smatraju da su kategorizacijski sustavi (Q i RMR) dobar podsjetnik za vrijeme prikupljanja inženjersko-geoloških podataka i mogu biti od koristi pri planiranju projektnih varijanti pojedinih dionica iskopa za tunele u čvrstoj i raspucanoj stijenskoj masi koja nije podvrgnuta graničnom naprezanju. Oni ne podržavaju upotrebu ovih sustava za završnu izvedbu podgrade u projektima stabilizacije podzemnih iskopa (Palmstrom, Broch, 2006).

U radu se daje širi pregled kroz

razmatranja predmetne problematike u literaturi i nekoliko primjera iz prakse s područja na kojem su definirana geotehnička svojstva naslaga, sve u cilju konačnog donošenja ocjene o nedostacima kategorizacijskih sustava u današnjoj inženjerskoj praksi.

2. Sustavi kategorizacije i metode iskopa današnjice – kako ispunjavaju zahtjeve?

Evo što je prije dvadesetak godina izjavio sam autor prvog šire prihvaćenog sustava kategorizacije stijenske mase nakon Terzaghija:

"Nakon preko desetljeća opsežne upotrebe, sustavi kategorizacije stijena mogu doista biti korisna pomoć pri planiranju tunnelskih iskopa. Međutim, postoji nekoliko zamki pri korištenju kategorizacijskih sustava i potencijalni korisnici moraju biti svjesni te činjenice." (Bieniawski, 1988).

Kategorizacija (klasifikacija) stijena nastavlja biti predmet rasprave, osobito u Norveškoj koja je "domovina" nekih, u inženjerskoj praksi usvojenih sustava kategorizacije, točnije, empirijskih projektnih metoda, a što je vidljivo iz velikog broja novih prijedloga objavljenih u literaturi. Kako je ista-

knuto u mnogim nedavnim publikacijama i vladinim priručnicima, (npr. USACE – United States Army Corps of Engineers, 1997), kategorizacijski sustavi današnjice nisu savršeni i njihovo korištenje može katkad dovesti do izbora neadekvatne podgrade ili armiranja stijene za stabilizaciju podzemnog iskopa.

Sustavi kategorizacije stijena, ili, za neke točnije, sustavi kategorizacije u stijenskom inženjerstvu, razvijali su se tokom godina da bi se omogućio opis stijene ili tla i formalizirao empirijski pristup planiranju tunnelskih iskopa. Različiti kategorizacijski sustavi fokusiraju se na različite inženjersko-geološke koeficijente (parametre).

Razvijeno je dosta sustava koji su korišteni za različite svrhe. Isti kategorizacijski sustav može biti korišten i za opis i za karakterizaciju stijena, kao i za procjenu različitih mjera za stabilizaciju iskopa pomoću empirijski utvrđenih preporuka. Također, korišteni su za davanje indikatora za sustave kategorizacije u stijenskom inženjerstvu. Ipak, važno je razlikovati njihova područja primjene, ili kao dio procesa karakterizacije, ili kao empirijsku metodu projektiranja (Russo et al., 1998).

Mnogi kategorizacijski sustavi su dopunjavani kako su inženjeri pokušali primijeniti vlastita iskustva o ponašanju stijena prema širem rasponu inženjerskih problema. Posljednjih godina, kategorizacijski sustavi često su bili korišteni u sprezi s analitičkim i numeričkim alatima. Stoga je došlo do povećanja obujma posla oko povezivanja kategorizacijskih pokazatelja sa svojstvima materijala, kao, na primjer, modula elastičnosti, čvrstoće stijena, koeficijentima m i s za Hoek-Brownov kriterij loma, itd.. Vrijednosti su zatim upotrijebljene kao ulazni koeficijenti za numeričke modele. Dakle, važnost sustava kategorizacije stijena u proteklom vremenu je porasla (Milne et al., 1998).

Kako su primijetili Riedmüller i Schubert 1999. god. (Riedmüller, Schubert, 1999), te prema zaključ-

cima u USACE (1997), glavni propusti kategorizacijskih sustava korištenih u projektiranju stabilizacije podzemnih iskopa su:

- Kategorizacijski (klasifikacijski) koeficijenti nisu dobro definirani ili dovoljni da bi se na temelju njih odabrali adekvatni projektni koeficijenti i podgrada ili armiranje stijene;
- Složena svojstva stijenske mase ne mogu biti zadovoljavajuće opisana jednim brojem;
- Ista ocjena može biti postignuta kod različitih kombinacija kategorizacijskih koeficijenata, iako ponašanje stijenske mase može biti različito;
- Korisnik je vođen direktno od geološke karakterizacije stijena prema preporučenoj podgradi bez uzimanja u obzir potencijalne modele urušavanja. Neophodno je razmotriti raspoložive podatke o stijenskoj masi radi utvrđivanja postojanja modela urušavanja koji nisu predviđeni empirijskim sustavima. Nekoliko

potencijalnih modela urušavanja nije uračunato u neke ili sve empirijske metode, pa mora biti razmatrano neovisno;

- Shvaćanje geoloških struktura i značajki od važnosti za podzemne objekte nije ozbiljno ocijenjeno;
- Uglavnom, upotreba kvalificiranih kadrova iskusnih u prikupljanju i interpretaciji podataka nije izričito zahtijevana.

Najčešće korišteni kategorizacijski sustavi danas u svijetu su RMR sustav kojeg je predstavio Bieniawski (Bieniawski, 1973) i Q sustav uveden 1974. (Barton et al., 1974). Sustav kategorizacije novijeg datuma je RMI sustav, za čiji je razvoj zaslužan Palmstrom (Palmstrom, 1995). Ovi kategorizacijski sustavi daju kvantitativnu procjenu kvalitete stijenske mase povezanu s empirijskim projektnim odrednicama za procjenu adekvatnih mjera stabilizacije iskopa.

Kvantitativni sustavi kategorizacije stijena (kao na primjer RMR, Q,

ili RMI sustav) najkorisniji su tijekom rane faza projektiranja. Ove metode pružaju sredstva za usporedbu različitih kvantitativno opisanih mjera za osiguranje podzemnih iskopa kad su dostupni samo ograničeni podaci o svojstvima stijena. One također omogućuju komunikaciju i utvrđivanje građevinskih cjenovnih koeficijenata u svrhu uspoređivanja ili radi izrade troškovnika (Hoek, 2002).

Dijagrami ili tablice za određivanje podgrade koje koriste različiti kategorizacijski sustavi temelje se na prošlim iskustvima iz brojnih zahvata u podzemlju. S obzirom da se temelji na statistici, dijagram za određivanje podgrade ne može nikada zamijeniti ili točno predstaviti geološke i geomehaničke uvjete na radilištu. Glavni razlog za ovo je, na primjer, da sve postojeće prostorne značajke diskontinuiteta ne mogu biti uključene u dijagram za određivanje podgrade. Međutim, primjena ovih kategorizacijskih sustava tijekom iskopa može biti

vrlo korisna kao jedan način dokumentiranja stvarnih uvjeta na koje se naišlo napredujući s iskopom (Stille, Palmstrom, 2003).

U nastavku su dani sažeti opisi ovih sustava, zajedno s ocjenom njihovih vrijednosti za karakterizaciju stijena ili za empirijski način određivanja podgrade, ili kao indikatora u pravom kategorizacijskom sustavu u stijenskom inženjerstvu. Sustavi i njihova uporaba opisana je u brojnim radovima i izvještajima i od toga je zahvaćen jedan dio za kojeg smatramo da je reprezentativan, jer obuhvaća radove autora čija imena su ne samo povezana s višedesetljetnom praksom u podzemnim projektima, nego su neki od njih i autori pojedinih kategorizacijskih sustava.

(Endnotes)

- 1 U stranoj literaturi izraz "rock engineering" ne izjednačuje se s nijednim izrazom koji pobliže opisuje ovu užu specijalnost u hrvatskoj praksi (npr. geotehnika ili geološko inženjerstvo) 