

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 29	str. 29-37	Zagreb, 2014.
----------------------------------	---------	------------	---------------

UDK 539.411
UDC 539.411

Originalni znanstveni rad
Original scientific paper

Language/Jezik: Hrvatski/Croatian

UTJECAJ SATURIRANOSTI NA JEDNOOSNU TLAČNU ČVRSTOĆU VAPNENCA IZ ISTRAŽNOG PROSTORA CRNOGLAV KOD NEUMA

THE INFLUENCE OF SATURATION ON THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF LIMESTONE IN EXPLORATION AREA CRNOGLAV NEAR NEUM

ZLATKO BRIŠEVAC¹⁾, TRPIMIR KUJUNDŽIĆ¹⁾, BORNA JUTRIŠA²⁾

¹⁾Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, p.p. 390, 10000 Zagreb.

²⁾Mladena Vodičke 2, 10 000 Zagreb

Ključne riječi: Saturiranost, vapnenac, jednoosna tlačna čvrstoća, modul elastičnosti, indeks čvrstoće, Schmidtova tvrdoća

Key words: Saturation, limestone, uniaxial compressive strength, modulus of elasticity, point load strength index, Schmidt hardness

Sažetak

Istražni prostor Crnoglav kod Neuma u Bosni i Hercegovini geološki je građen od sedimentnih stijena vapnenca. Intaktnom materijalu s tog područja u ovom radu istražen je utjecaj zasićenja vodom na fizikalno-mehanička svojstva: gustoću, jednoosnu tlačnu čvrstoću, modul deformabilnosti, indeks čvrstoće. Ispitivanja su obavljena prema preporuci Međunarodnog društva za mehaniku stijena i Hrvatskoj normi. Rezultati su pokazali različit utjecaj saturiranosti na vrijednosti pojedinih ispitivanja. U radu su izloženi omjeri koji omogućavaju proračunavanja fizikalno-mehaničkih značajki u saturiranom stanju na osnovu njihovih poznatih vrijednosti u suhom stanju.

Abstract

Exploration area Crnoglav, near Neum, Bosnia and Herzegovina, is composed of limestone sedimentary rock. Research of influence of saturation with water was made on intact material from this area on physical and mechanical properties of the rock: uniaxial compressive strength, module of deformation, point load strength index and Schmidt rebound hardness. Tests were conducted on recommendation of International Society for Rock Mechanics (ISRM Suggested methods) and Croatian Standards. Results showed different influence of saturation on values of respective test. Ratios that help with calculations of physical and mechanical properties of rock in their saturated state based on their known values in dry state are presented in this paper.

1. Uvod

Mnoga ispitivanja koja su provedena, a vezana su uz ovu tematiku, pokazala su da se fizikalno-mehaničke značajke mijenjaju ovisno o sadržaju tekućine u uzorku stijenskog materijala. Značajan broj istraživanja posvećen je utvrđivanju utjecaja zasićenosti vodom na čvrstoću i deformabilnost stijenskog materijala. Jednoosna tlačna čvrstoća smanjuje se kada su stijenski materijali zasićeni tekućinom, u usporedbi sa čvrstoćom u suhom stanju. To je u određenoj mjeri posljedica pornih tlakova koji se javljaju kad su pore ispunjene tekućinom. Prema Zhangu (2005) općenito se jednoosna tlačna čvrstoća u saturiranom stanju smanjuje od 50% do 80% prema čvrstoći u suhom stanju za različite vrste stijena. Dakle, različite vrste stijena različito reagiraju na saturiranost.

To pokazuju i ostala istraživanja na pojedinačnim materijalima. Colback i Wild (1965) su na temelju proučavanja Šejla i kvarcitičnog pješčenjaka utvrdili da je omjer saturirane čvrstoće (UCS_{sat}) prema jedno-

osnoj tlačnoj čvrstoći u suhom stanju (UCS_d) jednak 0,50. Dyke i Dobereiner (1991) utvrdili su omjer UCS_{sat}/UCS_d za pješčenjak permske starosti 0,76, dok je omjer za Bunter (šareni) pješčenjak bio 0,75. Lashkaripour i Ghafoori (2002) su istraživali četiri stijenska materijala s obzirom na saturiranost i zaključili kako je omjer UCS_{sat}/UCS_d za Šejl 0,52; za oolitski vapnenac 0,97; za materijal načinjen od pješčenjaka i pjeskovitih vapnenaca 0,62, dok je materijal od oolitskog vapnenca i kalcitnog pješčenjaka imao odnos UCS_{sat}/UCS_d od 0,81. Vásárhelyi (2003) je proučavajući uzorke pješčenjaka u suhom i saturiranom stanju utvrdio linearnu jednadžbu (1) kojom se za ovu vrstu stijena može izračunati saturirana jednoosna čvrstoća na temelju čvrstoće u suhom stanju.

$$UCS_{sat} = 0,759 UCS_d \quad (1)$$

gdje je:

UCS_{sat} – jednosna tlačna čvrstoća u saturiranom stanju

UCS_d – jednosna tlačna čvrstoća u suhom stanju

Za miocenski vapnenac koji se eksploatira na području Budimpešte Vasarhelyi (2005) je utvrdio ovisnost saturirane jednoosne čvrstoće o čvrstoći u suhom stanju izrazom (2):

$$UCS_{sat} = 0,659 UCS_d \quad (2)$$

gdje je: UCS_{sat} – jednosna tlačna čvrstoća u saturiranom stanju
 UCS_d – jednosna tlačna čvrstoća u suhom stanju

Isti autor proučavao je i modul deformabilnosti za koji je utvrdio jednadžbu (3) koja pokazuje smanjenje modula u saturiranom stanju.

$$E_{sat} = 0,657 E_d \quad (3)$$

gdje je:

E_{sat} – modul elastičnosti u saturiranom stanju
 E_d – modul elastičnosti u suhom stanju

Valja napomenuti kako je proučavani miocenski vapnenac meka stijena s visokom poroznosti koja se kreće od 14 do 52%.

Yilmaz (2010) je utvrdio jednadžbe koje pokazuju utjecaj saturacije uzoraka na jednoosnu čvrstoću (4) i modul deformabilnosti (5) za gips s područja Sivas u Turskoj.

$$UCS_{sat} = 0,3492 UCS_d \quad (4)$$

gdje je:

UCS_{sat} – jednosna tlačna čvrstoća u saturiranom stanju
 UCS_d – jednosna tlačna čvrstoća u suhom stanju

$$E_{sat} = 0,5363 E_d \quad (5)$$

gdje je:

E_{sat} – modul elastičnosti u saturiranom stanju
 E_d – modul elastičnosti u suhom stanju

Općenito je iz literature razvidno kako na mogućnost zasićenja vodom utječe mineraloški sastav, veličina zrna, poroznost i struktura stijenskog materijala (Yilmaz, 2010)

2. Metodologija i obavljena ispitivanja

Geološku građu istražnog prostora Crnoglav kod Neuma čine sedimenti vapnenca gornje krede (K_2^3) i vapnenci paleogena (paleocen-eocen) (Pc,E). Petrografske analize pokazuju da su naslage gornje krede predstavljene alohemo mikritskim i alohemo sparitskim vrstama, a naslage paleogena su, prema sadržaju, pretežno alohemo mikritske vrste vapnenaca u kojima su uklopljene ljuštore planktonskih foraminifera i rijetko peleta, dok se rjeđe javljaju sparitske vrste (Salihović, 2011).

Za potrebe istraživanja u ovom radu uzeti su uzorci nepravilnog oblika iz kojih su laboratorijskom obradom dobiveni uzorci (slika 1) potrebnih karakteristika koje zahtijevaju važeće preporuke ISRM-a i Hrvatska norma HRN EN 1926:2008. Uzorci su makroskopski determinirani kao vapnenci tipa grejnston. Prema Tišljaru (1994) vapnenac grejnston (engl. *grainstone*) je bez karbonatnog mulja sastavljen samo od zrna koja imaju međusobnu potporu, a u intergranularnim porama izlučen je karbonatni cement. Od nepravilnosti na uzorku uočene su prsline i žilice širine manje od milimetra s kalcitnom ispunom.



Slika 1: Uzorci ispitivanog materijala

Figure 1: Samples of the test material

Metoda ispitivanja sadržaja vode, poroznosti i gustoće koja je provedena u ovom radu definirana je preporukom ISRM-a (1979a) i primjenjuje se kod stijenskog materijala koji je koherentan i strojno obradiv kako bi se mogli načiniti uzorci pravilne geometrije koji pri sušenju ili potapanju ne bubre i ne raspadaju se. Metoda određuje efektivnu poroznost, tj. određuje poroznost otvorenih pora, a ispitivanje je provedeno na deset uzoraka u obliku pravilnih diskova.

Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće obavljeno je kroz dva postupka. Prvi je Hrvatska norma HRN EN 1926:2008, koja usvaja europski standard ispitivanja tlačne čvrstoće prirodnog kamena. Za ovo ispitivanje korišteni su uzorci u obliku valjka čija visina i promjer imaju odnos 1:1, odnosno 50 ± 5 mm. Četiri uzorka sušena su na temperaturi 70°C do konačne suhe mase, a isti broj uzoraka podvrgnut je saturaciji u periodu od 7 dana kako bi se izmjerila jednoosna tlačna čvrstoća u potpuno vodom zasićenom stanju. Drugi način ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće, kada se osim nje ispituje i Youngov modul elastičnosti, proveden je prema preporuci ISRM-a (1979b). Uzorci za ovo ispitivanje bili su isto valjkastog oblika, ali s odnosom promjera i visine od 1: 2,5 do 3. Dio uzorka bio je sušen na temperaturi 105°C do konačne mase u suhom stanju, a dio uzoraka saturiran je sedam dana kako bi se postigla potpuna saturiranost vodom. Četiri uzorka ispitana su

u suhom stanju, a isto toliko u saturiranom stanju. Osno ispitivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki (I_{s50}) provedeno je prema preporuci ISRM-a (1985) na uzorcima valjkastog oblika. Deset uzoraka je ispitano u suhom stanju, a deset u saturiranom. Tvrdća stijenskog materijala utvrđena je pomoću odskoka čelične kuglice, odnosno mehaničkog Schmidtovog čekića (Schmidt Rebound Hardness - SRH) L tipa. Ovu je tvrdću u literaturi uobičajeno nazivati Schmidt hardness ili Schmidtova tvrdća. Metodu za ovo ispitivanje potvrdilo je Međunarodno društvo za mehaniku stijena 1978. godine i ona se može koristiti za vrlo meke i za vrlo čvrste stijene (ISRM, 1978b).

Tablica 1: Rezultati ispitivanja sadržaja vode, poroznosti i gustoće

Table 1: The test results of water content, porosity and density

Oznaka	n	w	S_r	ρ_d	ρ_{sat}	ρ
	%	%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
14-003-017	2,5	0,12	12,34	2610,925	2635,924	2614,009
14-003-018	2,2	0,11	13,56	2629,348	2651,329	2632,328
14-003-019	2,41	0,14	15,63	2615,715	2639,801	2619,478
14-003-020	1,07	0,07	16,35	2657,706	2668,438	2659,46
14-003-021	1,97	0,1	13,6	2616,139	2635,84	2618,818
14-003-022	1,96	0,11	15,34	2685,899	2705,469	2688,901
14-003-023	1,39	0,11	21,05	2650,297	2664,235	2653,231
14-003-024	1,01	0,04	11,25	2643,751	2653,89	2644,892
14-003-025	1,86	0,08	11,64	2639,544	2658,155	2641,711
14-003-026	1,3	0,08	16,54	2651,394	2664,378	2653,542
x_{min}	1,01	0,04	11,25	2639,544	2653,89	2641,711
x_{max}	1,86	0,11	21,05	2651,394	2664,378	2653,542
x_{sred}	1,39	0,078	15,12	2646,247	2660,165	2648,344
s'	0,353	0,029	4,628	5,599	5,09	5,967
Cv	25,4	37,18	30,61	0,21	0,19	0,23

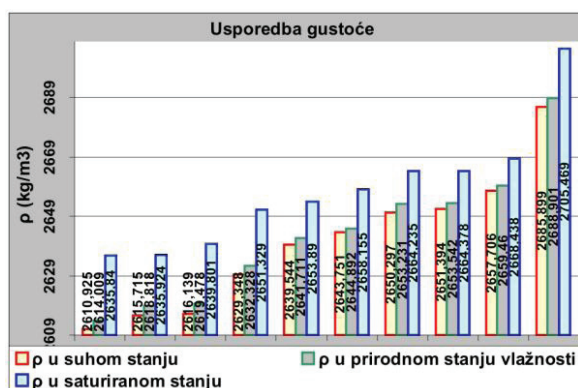
n - poroznost; w - sadržaj vode; S_r - stupanj saturiranosti; ρ_d - gustoća u suhom stanju; ρ_{sat} - gustoća u saturiranom stanju; ρ - gustoća u prirodnom stanju vlažnosti; x_{min} - najmanja vrijednost; x_{max} - najveća vrijednost; x_{sred} - srednja vrijed; s' - standardna devijacija; Cv - koeficijent varijacije (%)

Poroznost materijala kreće se u rasponu od 1,01 do 1,86 %. Zbog male razlike u koeficijentu varijacije između gustoće u suhom, saturiranom i kod prirodnog stanja vlažnosti, bilo je korisno načiniti dijagram (slika 2) relativne usporedbe tih gustoća.

3. Rezultati ispitivanja

Nakon provedenih ispitivanja načinjena je osnovna statistička obrada rezultata ispitivanja fizikalno-mehaničkih značajki. Određena je najveća i najmanja vrijednost, srednja vrijednost te standardna devijacija kao mjera (prosječnog) odstupanja od prosjeka. Kako bi se utvrdila relativna mjera raspršenosti radi usporedbe vrijednosti različitih ispitivanja, izračunat je koeficijent varijacije. Rezultati ispitivanja sadržaja vode, poroznosti i gustoće koji su obavljani u ovom radu prikazani su u tablici 1.

Srednja vrijednost gustoće u suhom stanju iznosi 2 646,247 kg/m³ i približno je jednaka srednjoj vrijednosti gustoće u stanju prirodne vlažnosti 2 648,344 kg/m³, a od njih je znatnije veća gustoća u saturiranom stanju, čija srednja vrijednost iznosi 2 660,165 kg/m³.

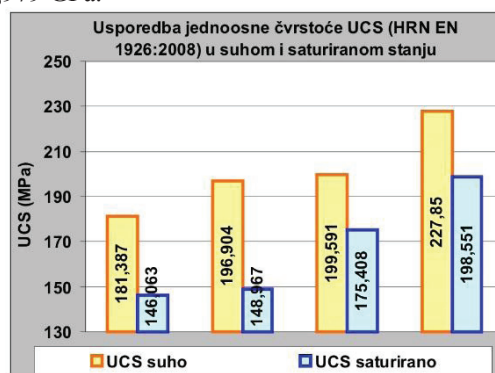


Slika 2: Usporedba gustoće u suhom, saturiranom i kod prirodnog stanja vlažnosti.

Figure 2: Comparison of the dry, saturated and density with natural moisture levels

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće prema HRN EN 1926:2008 prikazani su u tablici 2. Srednja vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće kod ovog ispitivanja za suho stanje iznosi 201,433 MPa, dok za saturirano iznosi 167,247 MPa. Veličina koeficijenta varijacije ukazuje na iskoristivost relativne usporedbe rezultata za pojedinačna ispitivanja koja je prikazana dijagramom na slici 3. U tablici 3 i

slici 4 prikazani su rezultati ispitivanja provedenih prema preporuci ISRM-a (1979b) za određivanje jednoosne tlačne čvrstoće i modula deformabilnosti. Srednja vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u suhom stanju iznosi 164,763 MPa, a u saturiranom stanju 153,869 MPa. Modul elastičnosti pokazao je minimalno smanjenje te u saturiranom stanju iznosi 68,655 GPa dok mu vrijednost u suhom stanju iznosi 68,979 GPa.



Slika 3: Usporedba rezultata ispitivanja prema HRN EN 1926:2008

Figure 3: Comparison of test results according to HRN EN 1926:2008

Tablica 2: Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće prema HRN EN 1926:2008

Table 2: The test results of uniaxial compressive strength according to HRN EN 1926:2008

	Oznaka	UCS		Oznaka	UCS
		MPa			MPa
Suhi uzorci	14-003-009	199,591	Saturirani uzorci	14-003-013	146,063
	14-003-010	181,387		14-003-014	148,967
	14-003-011	196,904		14-003-015	175,408
	14-003-012	227,85		14-003-016	198,551
	x_{\min}	181,387		x_{\min}	146,063
	x_{\max}	227,85		x_{\max}	198,551
	x_{sred}	201,433		x_{sred}	167,247
	s'	19,353		s'	24,695
	C_v	9,61		C_v	14,77

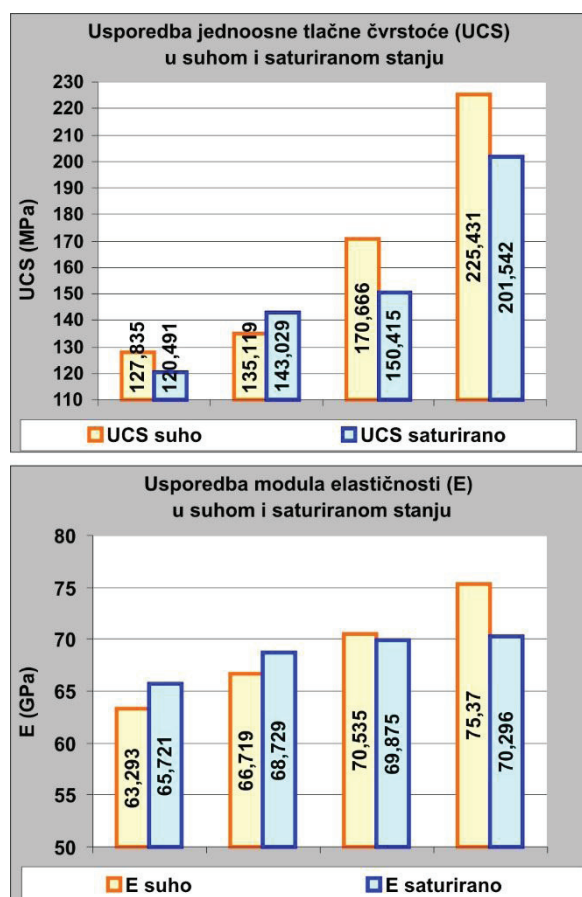
UCS - jednoosna tlačna čvrstoća; x_{\min} - najmanja vrijed; x_{\max} - najveća vrijednost; x_{sred} - srednja vrijednost; s' - standardna devijacija; C_v - koeficijent varijacije (%)

Tablica 3. Rezultati ispitivanja prema preporuci ISRM (1979b)

Table 3: Results of tests as recommended by ISRM (1979b)

	Oznaka	UCS	E		Oznaka	UCS	E
		MPa	GPa			MPa	GPa
Suhi uzorci	14-003-001	225,431	75,37	Saturirani uzorci	14-003-005	201,54 2	65,72 1
	14-003-002	170,666	70,53 5		14-003-006	150,41 5	69,87 5
	14-003-003	127,835	66,71 9		14-003-007	143,02 9	68,72 9
	14-003-004	135,119	63,29 3		14-003-008	120,49 1	70,29 6
	x_{min}	127,835	63,29 3		x_{min}	120,49 1	65,72 1
	x_{max}	225,431	75,37		x_{max}	201,54 2	70,29 6
	x_{sred}	164,763	68,97 9		x_{sred}	153,86 9	68,65 5
	s'	44,564	5,187		s'	34,236	2,065
	Cv	27,05	7,52		Cv	22,25	3,01

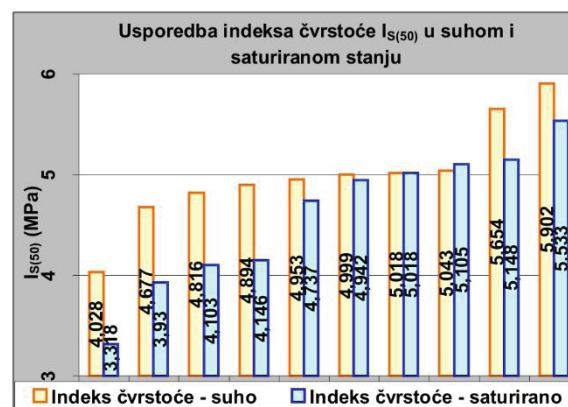
UCS - jednoosna tlačna čvrstoća; E – modul elastičnosti; x_{min} - najmanja vrijednost; x_{max} - najveća vrijednost; x_{sred} - srednja vrijednost; s' - standardna devijacija; Cv – koeficijent varijacije (%)



Slika 4: Usporedba rezultata ispitivanja prema preporuci ISRM (1979a)

Figure 4: Comparison of test results as recommended by ISRM (1979a)

U tablici 4 prikazani su rezultati ispitivanja indeksa čvrstoće prema preporuci ISRM-a (1985), a na slici 5 nalazi se dijagram s usporedbom rezultata u suhom i zasićenom stanju.



Slika 5: Usporedba indeksa čvrstoće u suhom i zasićenom stanju

Figure 5: Comparison of the point load strength index in dry and saturated condition

Tablica 5 prikazuje rezultate ispitivanja Schmitdove čvrstoće prema preporuci ISRM-a (1978), a slika 6 usporedbu tvrdoće u suhom i saturiranom stanju.

Tablica 4: Rezultati ispitivanja indeksa čvrstoće prema preporuci ISRM (1985)*Table 4: The test results of point load strength index as recommended by ISRM (1985)*

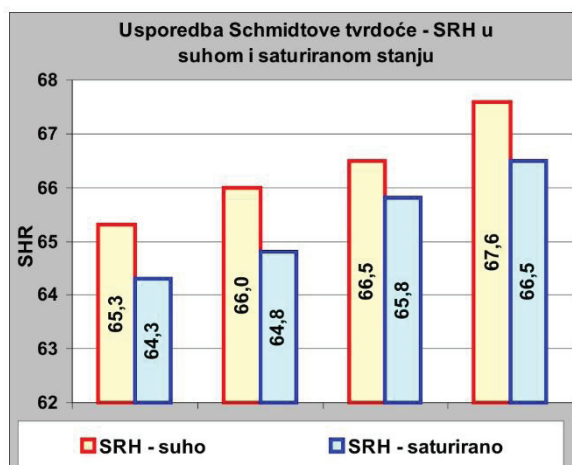
	Oznaka	$I_{s(50)}$		Oznaka	$I_{s(50)}$
		MP a			MP a
Suhi uzorci	14-003-017 B	4,81	Saturirani uzorci	14-003-018 B	4,73
	14-003-021 B	4,95		14-003-019 B	4,14
	14-003-023 B	4,67		14-003-020 B	4,10
	14-003-024 B	5,01		14-003-026 B	3,93
	14-003-025 B	5,04		14-003-027	5,01
	14-003-033	5,90		14-003-028	5,53
	14-003-035	4,02		14-003-029	3,31
	14-003-036	4,99		14-003-030	5,14
	14-003-037	5,65		14-003-031	4,94
	14-003-038	4,89		14-003-032	5,10
	x_{\min}	4,02		x_{\min}	3,31
	x_{\max}	5,65		x_{\max}	5,14
	x_{sred}	4,89		x_{sred}	4,62
	s'	0,66		s'	0,87
	Cv	13,6		Cv	18,9

$I_{s(50)}$ - indeks čvrstoće; x_{\min} - najmanja vrijednost; x_{\max} - najveća vrijednost; x_{sred} - srednja vrijednost; s' - standardna devijacija; Cv - koeficijent varijacije (%)

Tablica 5: Rezultati ispitivanja Schmitdove čvrstoće prema preporuci ISRM-a (1978)*Table 5: The test results of Schmidt rebound hardness as recommended by the ISRM's (1978)*

	Oznaka	SRH		Oznaka	SRH
Suhi uzorci	NEU III	65,3	Saturirani uzorci	NEU III	64,3
	NEU III	66,0		NEU III	64,8
	NEU IV	66,5		NEU IV	65,8
	NEU IV	67,6		NEU IV	66,5
	x_{\min}	65,3		x_{\min}	64,3
	x_{\max}	67,6		x_{\max}	66,5
	x_{sred}	66,35		x_{sred}	65,35
	s'	0,968		s'	0,988
	Cv	1,46		Cv	1,51

SRH – Schmitdova tvrdoća; x_{\min} - najmanja vrijed; x_{\max} - najveća vrijednost; x_{sred} - srednja vrijednost; s' - standardna devijacija; Cv - koeficijent varijacije (%)



Slika 6: Usporedba Schmidtove tvrdoće u suhom i saturiranom stanju

Figure 6: Comparison of the Schmidt rebound hardness in dry and saturated condition

4. Rasprava

Prema očekivanom, gustoća je povećana sa zasićenjem (tablica 1), ali se sve mjerene vrijednosti gustoće nalaze unutar raspona od 2 370 do 2750 kg/m³ za vapnence, prema Lama et al (1978). Utvrđena poroznost ispitivanog materijala od 1,39 % nalazi se također unutar uobičajenog raspona od 0,27 do 4,1 % za vapnence prema Jumikisu (1983).

Iz objavljenih radova vezanih uz ovu tematiku može se zaključiti kako se jednoosna tlačna čvrstoća stijenskog materijala smanjuje s povećanjem saturiranosti. To su potvrdila istraživanja i u ovom radu. Uz to je utvrđeno veće smanjenje čvrstoće u saturiranom stanju (od 17 %) kod uzoraka s manjim omjerom visine i promjera (tablica 2), nasuprot uzorcima s većim odnosom (tablica 3) gdje smanjenje

iznosi 6,4 %. Modul elastičnosti (tablica 3) ima vrijednosti unutar uobičajenog raspona od 9,8 do 78,5 GPa koji vrijedi za vapnence (Jumikis, 1983) te pokazuje najmanje smanjenje uslijed saturiranosti od 0,5%.

Za usporedbu rezultata iz ovog rada s rezultatima ispitivanja za vapnence iz literature (tablica 6), poslužili su rezultati ispitivanja prema ISRM (1979b) jer se objavljeni radovi temelje na istoj preporuci. U usporedbi s vapnencima opisanim u literaturi, vapnenac iz Crnoglava kod Neuma pokazuje isti trend smanjenja jednoosne tlačne čvrstoće, ali to smanjenje nije toliko izraženo za modul deformabilnosti.

Vrijednosti indeksa čvrstoće (tablica 4) nalaze se na gornjoj granici za čvrste i donjoj granici za jako čvrste stijene (Marinos et al, 2001). Omjer saturiranog indeksa čvrstoće prema indeksu čvrstoće u suhom stanju iznosi 0,956.

Vrijednosti Schmidtove tvrdoće nalaze se unutar uobičajenog raspona od 16 do 59 za vapnence prema Zangu (2005), kada se ona određuje pomoću L-tipa Schmidtove čekića, kako je to slučaj u ovom radu. Omjer saturirane tvrdoće prema suhoj iznosi 0,985.

Tablica 6: Odnos suhe - saturirane jednoosne tlačne čvrstoće i modula deformabilnosti za vapnence.

Table 6: Dry - saturated ratio of uniaxial compressive strength and modulus of deformability for limestones

Autori	Vrsta stijene	UCS _{sat} / UCS _d	E _{sat} / E _d
Lashkaripour i Ghafoori (2002)	Oolitski vapnenac	0,97	-
	Pješčenjak i pjeskoviti vapnenac	0,62	-
	Oolitski vapnenac i kalcitni pješčenjak	0,81	-
Vasarhelyi (2005)	Miocenski vapnenac	0,659	0,657
U ovom radu	Vapnenac, grejnston	0,934	0,995

UCS_{sat} – jednoosna tlačna čvrstoća u saturiranom stanju; UCS_d - jednoosna tlačna čvrstoća u suhom stanju; E_{sat} – modul elastičnosti u saturiranom stanju; E_d – modul elastičnosti u suhom stanju

5. Zaključak

Na osnovu analize rezultata ispitivanja gustoće, poroznosti, jednoosne tlačne čvrstoće, modula elastičnosti, indeksa čvrstoće utvrđenog opterećenjem u točki i Schmidtove tvrdoće, dobivenih u suhom i saturiranom stanju, kod vapnenca tipa grejnston iz istražnog prostora Crnoglav kod Neuma uočava se različit utjecaj saturiranosti prema vrsti pojedinog ispitivanja. Povećanjem saturiranosti smanjuju se vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće intaktnog stijenskog materijala. To smanjenje više se očituje kod uzoraka s manjim odnosom promjera i visine. Tada omjer UCS_{sat}/UCS_d iznosi 0,8303, dok kod većeg odnosa promjera i visine uzorka (2,5-3 : 1) omjer UCS_{sat}/UCS_d iznosi 0,934. Modul deformabilnosti se uslijed saturacije minimalno smanjuje za 0,5% i odnos E_{sat}/E_d iznosi 0,995. Saturacija izaziva smanjenje indeksa čvrstoće za 4,4% pa omjer saturiranog i indeksa čvrstoće u suhom stanju iznosi 0,956. Materijal pokazuje smanjenje Schmidtove tvrdoće od 1,5% te omjer saturirane Schmidtove tvrdoće prema suhoj iznosi 0,985. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na mogućnost proračunavanja fizikalno mehaničkih značajki u saturiranom stanju na osnovu njihovih poznatih vrijednosti u suhom stanju, za vapnenca tipa grejnston s istražnog prostora Crnoglav kod Neuma. Osim toga, daljnja istraživanja bi trebala usmjeriti na uočeno veće smanjenje jednoosne tlačne čvrstoće kod saturiranih uzoraka s manjim odnosom promjera i visine ispitivanjem na drugim vrstama stijena.

6. Literatura

- Colback, P. S. B. and Wild, B. L. (1965): The influence of moisture content on the compressive strength of rock. Proc. 3rd Canadian Rock Mech. Symp., 65-83.
- Dyke, C. J. and Dobereiner, L. (1991): Evaluating the strength and deformability of sandstones. Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 123-134.
- Hawkins, A.B. and McConnell, B.J., (1992) Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. Quarterly Journal of Engineering Geology 25, 115-130.
- Hoek, E. (1966): Rock Mechanics an introduction for the practical engineer Parts I, II and III. Mining Magazine, 67 str., London.
- HRN EN 1926:2008 (2008): Metode ispitivanja prirodnog kamena - Određivanje jednoosne tlačne čvrstoće (EN 1926:2006)
- ISRM (1978): Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rock; Part 3: Suggested method for determination of the Schmidt rebound hardness. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 15, 89-98.
- ISRM (1979a): Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties, Part 1: suggested method for determination method for porosity/density determination using saturation and caliper techniques. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst., 16, 141-156.
- ISRM (1979b): Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst., Vol. 16, 135-140.
- ISRM (1985): Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst., Vol. 22, 51-60.
- Jumikis, A. R. (1983): Rock Mechanics, Trans Teh Publications Second Edition, 613 str., Switzerland
- Lama, R. D. and Vutukuri, V. S. (1978): Handbook on mechanical properties of rocks. Trans Teh Publications, 4, 317-399.
- Lashkaripour, G. R. and Ghafoori, M. (2002): The engineering geology of the Tabarak Abad Dam. Engineering Geology, 66, 233-239.
- Marinos, P. and Hoek, E. (2001): Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of the Engineering Geology & the Environment (IAEG), 60, 85-92.
- O' Rourke, J.E. (1989): Rock index properties for geoengineering in underground development. Mining Engineering, 4, 106-110.
- Salihović S. (2011): Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi vapnenca kao ahrhitektonsko-gradevnog i tehničko-gradevnog kamena na istražnom prostoru "Crnoglav" općina Neum (stanje 01.07.2011. godine) . RGGF Tuzla.
- Tišljar, J. (1994): Sedimentne stijene. Školska Knjiga, 399 str., Zagreb
- Vasarhelyi B. (2005): Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the Miocene limestone. Rock Mechanics and Rock Engineering, 38, 69-76.
- Vasarhelyi B., Van P. (2006): Influence of water content on the strength of rock. Engineering Geology, 84, 70-74.
- Vásárhelyi, B. (2003): Some observations regarding the strength and deformability of sandstones in case of dry and saturated conditions. Bulletin of the Engineering Geology & the Environment, 62, 245-249.
- Yilmaz I. (2010): Influence of water content on the strength and deformability of gypsum. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 47(2), 342-347
- Zhang, L. (2005): Engineering Properties of Rocks. Elsevier Publ., Vol. 4, 290 str., Amsterdam.

THE INFLUENCE OF SATURATION ON THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH FOR LIMESTONE IN EXPLORATION AREA CRNOGLAV NEAR NEUM

Exploration area Crnoglav, near Neum, Bosnia and Herzegovina, is composed of limestone sedimentary rock, type grainstone. On the intact material collected in this area, influence on saturated physical and mechanical properties of rock (density, uniaxial compressive strength, moduli of deformation, point load strength index and Schmidt rebound hardness) was explored. Previously known research indicated a uniaxial compressive strength decrease from 50% up to 80% when material was in saturated state for different types of rock. However, different types of rock respond to saturation differently, due to mineralogy, size of grains, rock porosity and structure of the rock material.

Samples of irregular shape were taken from exploration area, which were later processed in the laboratory to match dimensions required by ISRM Suggested methods and Croatian Standards HRN EN 1926:2008. After conducted research, basic statistical analysis of physical and mechanical properties was made. Porosity of the material ranges from 1,01% to 1,86%. Mean value of density in dry condition is 2 646,247 kg/m³ and is approximately equal to mean value of density in condition of natural humidity, 2 648,344 kg/m³. Density of the material in saturated state is considerably larger, with mean value of 2 660,165 kg/m³. According to HRN EN 1926:2008, mean uniaxial compressive strength in dry state is 201,433 MPa and 167,247 MPa in saturated state. According to tests conducted by ISRM suggested methods, mean uniaxial compressive strength in dry state is 164,763 MPa, and saturated 153,869 MPa. Modulus of elasticity has minimal difference between values obtained in dry samples (68,655 GPa) and ones obtained in saturated samples (68,979 GPa). Mean point load strength index is 4,894 MPa for samples in dry state, and 4,628 MPa for samples in saturated state. Mean values of Schmidt rebound hardness are 66,35 for material in dry state and 65,35 for material in saturated state. All of the measured values are within range for limestone according to relevant literature.

Based on analysis of given results on limestone type called grainstone, found in exploration area Crnoglav, near Neum, it is clear that saturation has different influence on each type of conducted testing. By increasing saturation on intact rock, values of uniaxial compressive strength are decreasing. This fact is even more apparent with samples that have lower ratio of diameter and height. In that case, ratio UCS_{sat}/UCS_d is 0,8303. In case of larger ratio of diameter and height of the sample, ratio UCS_{sat}/UCS_d is 0,934. Moduli of deformation has minimal decrease of 0,5% in saturated samples, and ratio E_{sat}/E_d is 0,995. Saturation causes decreased values of point load strength index by 4,4%, and ratio of saturated and dry strength index is 0,956. Material shows decrease of Schmidt hardness by 1,5%, and ratio of saturated and dry Schmidt's rebound hardness is 0,985. Outcome of this research shows the possibility of calculating physical and mechanical properties of rock in saturated state based on their known values when dry. Ratios of decrease must be determined based on type of rock and separately for each tested property.