



ULOGA LITOLOGIJJE, TEKTONIKE I VODE U POSTANKU KRŠA

doc.dr.sc. **Amira Galić** dipl.ing.geol.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Sažetak: Podatci o istraživanju krza sežu u daleku prošlost a istraživači koji su se bavili ovim fenomenom su vrlo različitih profila: geolozi, geografi, speleolozi, hidrolozi itd. Krz je i danas, zbog svoje raznolikosti, promjenljivosti, bogatstva podzemnim vodama i prirodnim ljepotama, neiscrpna tema. U ovom radu je napravljen kratak osvrt na temeljne uvjete stvaranja krza: litologiju, tektoniku i vodu, s primjerima krza Hercegovine.

Ključne riječi: krz, litologija, tektonika i voda.

THE ROLE OF LITHOLOGY, TECTONICS AND WATER IN THE GENESIS OF KARST

Abstract: Data of the research of Karst date back to the distant past and the researchers who have studied this phenomenon have different profiles: geologists, geographers, cavers, hydrologists and so on. Because of its diversity, variability, groundwater resources and natural beauty, the karst is still an inexhaustible subject of studies. This paper contains a brief review of the basic forming conditions of karst: lithology, tectonics and water, with examples of karst in Herzegovina.

Keywords: rocks, lithology, tectonics and water.



1. KRATKA POVIJEST IZUČAVANJA KRŠA

Pešine, kao prva ljudska obitavališta, bile su, vjerojatno, predmet najstarijih opažanja i istraživanja krza, a ujedno i mjesta na kojima su sačuvani prvi tragovi ljudske civilizacije. Još su grčki i rimski filozofi i pjesnici opisivali u svojim djelima krzke pojave (Herodot, Plinije Stariji, Ptolomej). U području Mediterana prva ispitivanja datiraju s početka krzanskog doba. Poznato je da Josip Flavije u djelu *Hebrejski rat* spominje ispitivanja toka rijeke Jordan i opisuje neke krzke pojave. Ozbiljnija znanstvena nastojanja interpretacije krza počinju u sedamnaestom stoljeću. Iz tog perioda (1654.g.) je djelo pod naslovom *Le Monde souterrain* (Podzemni svijet) u kojem je J. Gaffarel na specifičan način opisao tada poznate vrste pešine. U to vrijeme autori pored svih geografskih, geoloških i speleoloških podataka u svoja djela uvrstavaju mnoštvo mističnih komponenti u tumačenju podzemnog krzkog svijeta. Od tih vremena pa do danas dug je popis onih koji su izučavali razne pojave i probleme u krzu. Nemoguće bi bilo nabrojati sve istraživače a nepravedno izostaviti nekoga od njih.

Regija Dinarida oduvijek je bila vrlo privlačna za istraživanja i izučavanja krza, kako domaćim stručnjacima tako i stranim, koji su dolazili iz drugih dijelova da bi proučavali krzke fenomene u ovoj regiji. U današnje vrijeme brojni stručnjaci iz oblasti geologije, hidrologije, hidrotehnike, geotehnike, geostatistike i drugih znanstvenih disciplina, bave se raznim istraživanjima u krzu Dinarida.

Krzko područje Dinarida je pozornica složenih i specifičnih procesa i prirodni park, posebnog, bogatog i još nedovoljno poznatog materijala objavio je Roglić. Kako su ljudi koji stoljećima živeli na tom zahtjevnom ali živopisnom terenu pokušavali objasniti složenost brojnih i vrlo nesvakidašnjih pojava govore legende i mitovi koji su vezani za skoro svaku pešinu, jamu, ponor ili izvor u ovom kraju. Velike krajnosti karakteriziraju uvjete života na krzu, pa su i ljudi koji potječu iz tih krajeva poznati kao vrlo snaloživi i domizljati jer se od pamtljivjeka bore s ekstremnim uvjetima kao što su zima bez vode u zimskom periodu i velika oskudica vode i suša u ljetnom periodu.

Kako se danas pristupa rješavanju te složene problematike i koliki značaj se opravdano pripisuje izučavanju ovog složenog fenomena pokazuje potreba za osnivanjem instituta, ustanova i udruga koje se isključivo bave tom problematikom. Dobar primjer je Slovenija, koja je osnovala Institut za raziskivanje karsta središtem u Postojini u okviru kojeg djeluje i poslijediplomski studij o krzu.

2. RASPROSTRANJENJE KRŠA

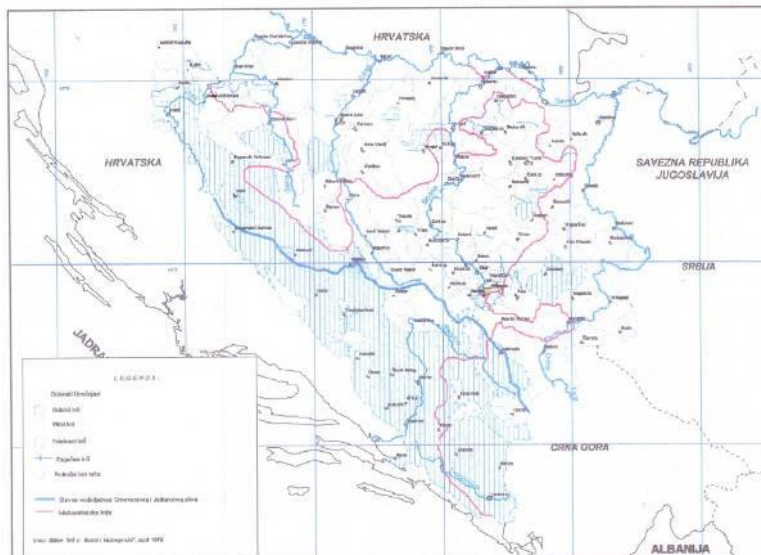
Na cijeloj Zemljinoj površini stijene koje su podložne procesu okrzavanja zauzimaju oko 25% površine (podatci u literaturi su vrlo neujednačeni i kreću se od 12-40%) svih kontinenata. G.A. Maksimovi (Milanovi, 1979.), konstatirao je da karbonatne stijene prevladavaju sa oko 40 milijuna km², gips i anhidrid oko 7 milijuna km², a halogenidne¹ stijene oko 4 milijuna km². mada u suvremenoj literaturi postoje podaci da je ta površina oko 20 milijuna km², što iznosi oko 12% kopnenih površina. U svjetskim razmjerima promatrano, krz nije vezan za određenu starost, jer postoje krzki fenomeni u najstarijim kambrijskim i silurskim formacijama Sjeverne Amerike i u najmlađim recentnim koraljnim vapnencima. Nije vezan niti geografski za neku geografsku zirinu ili duljinu, što potvrđuju lokacije u Kanadi, Rusiji, Mediteranu, Kini, Vijetnamu, Novom Zelandu, na obali Južne Australije i tako dalje. Nije ograničen ni na neku nadmorsku visinu, nego je zastupljen ispod morske razine i na visokim planinskim vrhovima. U Europi su najznačajnije krzke oblasti: Dinaridi, Helenidi, Apenini, Pirineji, Alpe, Krim, Kavkaz i Karpato-Balkanidi.



Dinarski krz obuhvaća široko područje uz Jadransko more, od Istre do Albanije, u dužini od oko 700 km, a promjenljive širine koja varira od 80 do 160 km, i obuhvaća i otoke u Jadranskom moru.

Ova oblast u Bosni i Hercegovini se prostire od granice s Republikom Hrvatskom na jugozapadu do Crne Gore na istoku, obuhvaća cijelu zapadnu i istočnu Hercegovinu na sjever sve do granice karbonatne platforme i alohtonih paleozojskih i trijaskih kompleksa, koja je ujedno i granica Vanjskih Dinarida sa Prijelaznom geotektonskom jedinicom i prolazi nešto sjevernije od Bihaća i Ključa, južno od Bugojna preko Prozora na jugoistok do Gacka. Na jugu se prostire do južne državne granice i izlaza na Jadransko more u Neumu i izgraja je 24 kilometra obalnog područja. Krz je zastupljen i na lokacijama sjevernije od spomenute granice, ali ne u kontinuitetu i ne na tako velikoj površini kao što je to slučaj u Hercegovini.

M. Selimović (Selimović, 2004.) iznosi podatak da je razvoj krza u Bosni i Hercegovini znatnijih razmjera i iznosi oko 60% površine (oko 30 000 km²), što je puno više od ostalih tipova stijena (klastične, magmatske i metamorfne).



Slika 1. Rasprostranjenje krza u Bosni i Hercegovini

¹Halogenidne stijene – stijene koje su izgrađene pretežito od minerala iz skupine halogenida, u koju spadaju minerali poput halita, silvina itd.

3. TERMINOLOGIJA

Kada je riječ o karbonatnim stijenama i genetsko-morfolozkim pojavnostima koje ih karakteriziraju, postoje izvjesna odstupanja, odnosno razlike pri korištenju naziva za pojave i procese u njima.

Termin *kras* je utemeljen prema toponimu, odnosno nazivu geografskog područja koje se nalazi u graničnom dijelu Slovenije prema Italiji, na relaciji od Istre prema Trstu. Mnogi autori se pozivaju na prvo pismeno zabilježeno spominjanje tog pojma 1230. g., na glagoljici pisanom dokumentu sa otoka Krka. U talijanskom jeziku je ostala zabilježena varijanta *carso*, još 1292. g. u nekim putopisima.



Germanizacijom termina nastao je izraz *karst*, koji je dokumentiran u nekoj austrijskoj zemljopisnoj karti 1423. g.

Termin *krš* u stručnoj literaturi je korišten prvi put 1894. g. (Milanović, 1979.), mada je u narodu koji živi na tim prostorima u upotrebi od pamtivijeka. Porijeklo i značenje ove riječi je potpuno drugačije, mada fonetski zvuči vrlo slično prethodnim terminima. Termin *krš* vodi porijeklo od hrvatske riječi koja označava nešto što je ispucalo, izlomljeno. Paralelno ovim spomenutim terminima, koriste se i termini *karstifikacija* (*izvedenica od pojma karst*) i *okršenost* (*izvedenica od pojma krš*) kao nazivi za geološke procese kojima se razaraju stijene i koji dovode do pojave krza.

O nazivu krzova je rasprava i na stručnom savjetovanju za istraživanje krza (JAZU 26.2.1957.g) Tom prigodom je zaključeno da pojam krz obuhvaća sve fenomene krza bez obzira gdje se on nalazi. Iznesen je genetski kriterij nastanka ovog termina, jer je krčenje i lomljenje stijena bio prvi korak u stvaranju krza, kao i mogućnost da se prave izvedenice od njega: krzevit, okršiti i tomu slično.

Simptomatično je i to da nazivi pojedinih krških morfoloških oblika kao što su krško polje nemaju sinonima u stranim jezicima, nego se koriste hrvatski termini.

4. DEFINIRANJE KRŠA

Iako je ovaj pojam poznat, kako smo vidjeli u nekoliko varijanti, vize od sedamsto godina, u novije vrijeme je vrlo teško i nezahvalno dati jezgrovitu i kratku definiciju pojma krz. Većina autora koristi malo dužu i kompliciraniju varijantu objasnjenja, zato što je pojava krza posljedica niza procesa koji mogu djelovati pod različitim uvjetima. Nije bez značaja ni to kojem se procesu pripisati koliki značaj i uloga, pa iz tog razloga postoji nekoliko načina definiranja ovog pojma.

Jedna od onih definicija, koje se vrlo često citiraju u literaturi je ona koju je dao I.V. Popov, 1959. g. a glasi:

„Pod krzem se podrazumijeva sveukupnost geoloških pojava u zemljinoj kori i na njenoj površini izazvanih kemijskim rastvaranjem stijena i izraženih u stvaranju zupljina u Zemljinoj kori, ruženju i izmjeni strukture i sastava stijena, u stvaranju cirkulacije i rečima podzemnih voda posebnog karaktera, specifičnog reljefa i posebnog rečima hidrografske mreže.“

M. Selimović je dao ovu definiciju: „Krz ima značenje određenog geografskog područja sa specifičnim morfološkim i hidrološkim osobinama, ili krz ima specifičan reljef sa posebnom (pretežno podzemnom) cirkulacijom vode u topivim stijenama (vapnenac, dolomit, gips).“

Prema M. Heraku: „Od svih morfoloških pojava koje su nastale u vezi s radom tektonike i vode najznačajnije su one koje skupnim imenom nazivaju krz. Karakterističan ne samo petrografskom grafičkom nego i morfologijom, hidrografijom, kao i raznim pratećim pojavama. Za krz je karakteristično da su podzemne vodene komunikacije i od nadzemnih i vezane su na zupljine različitih dimenzija koje se postupno proziruju zbog otapanja.“

S. Šestanović navodi: „Erozijom i korozijom vapnenca površinskim i podzemnim vodama nastaje specifični krški reljef koji, u određenom smislu, može biti zapreka u izvedbi objekata na površini u podzemlju.“

P. Milanović kaže: „Termin karst označava kompleksan geološki pojam za teren, sa specifičnim hidro-geološkim, geomorfološkim, geomehaničkim i hidrološkim karakteristikama. To je teren izgrađen od kretnjaka, dolomita, gipsa, halita i ostalih rastvorljivih stijena. Kao posljedica te rastvorljivosti nastaju procesi, pojave i oblici koji daju specifičan izgled specifične karakteristike terenu koji podrazumijeva ovaj termin.“



M. Bazagi i F. Skopljak daju neшто modificiranu definiciju koja se bazira na onoj koju je dao I.V. Popov, a glasi: s Krz podrazumijeva sveukupnost prirodnih (geoloških, hidrogeoloških, geomorfoloških i geografskih) pojava u Zemljinoj kori i na njevoj povrzini izazvanih kemijskim rastvaranjem karbonatnih stijena izrađenih u stvaranju zupljina i naročitih oblika, u ruženju i izmjeni strukture i sastava stijena, u stvaranju cirkulacije podzemnih voda posebnog karaktera, specifičnog reljefa i reolima i hidrografske mreže.

5. UVJETI NASTANKA

Za postanak krza preduvjet su stijenske mase koje su podložne djelovanju povrzinskih i podzemnih voda. Takve stijene su, prvenstveno karbonatne stijene, koje u sebi sadrže veliku količinu kalcijeva karbonata, odnosno minerala kalcita, kao na primjer vapnenci ili dolomitni vapnenci. Procesi okrzavanja su registrirani osim u karbonatnim stijenama i u leđiztima gipsa i halita, koji su također, jako osjetljivi na djelovanje vode.

Tektonski pokreti su drugi faktor i imaju za posljedicu svog djelovanja stvaranje diskontinuiteta kojima se stijenska masa kida, dijeli i na taj način slabi i izlaže djelovanju egzogenih faktora, od kojih je najvažnija voda. Uslijed tektonskih pokreta stijena gubi svoj kontinuum, otvaraju se predisponirani pravci kojima se vode sa povrzine procjeđuju i spuštaju duboko u stijensku masu, gdje nastavljaju svoju ulogu otapala ispod povrzine i s vremenom sve dublje i dublje.

Ta voda o kojoj govorimo je teža i ali ne i manje značajan imbenik, jer bez nje nema ni okrzavanja, koliko god vapnenačkih stijena bilo i ma koliko pukotina i rasjeda u njima bilo. Pri tome vrlo je bitna kvantiteta i kvaliteta vode koja dolazi u kontakt s tektonski izlomljenim karbonatnim stijenama. Fizičko-kemijska svojstva vode koja je u kontaktu sa stijenskom masom su od presudnog značaja za njenu sposobnost otapanja. Pri tome najveću ulogu igraju: sadržaj ugljika, temperatura i parcijalni tlak. Količina vode koja iz atmosfere dospijeva na Zemljinu površinu, sastav komponenti koje voda nosi sa sobom, kao i druge fizičko-kemijske karakteristike vode u velikoj mjeri ovise o klimatskim uvjetima koji vladaju u tom području. Utjecaj vode koja sadrži ugljikov dioksid na vapnenac može se izraziti i u vidu dobro poznate kemijske jednadžbe:





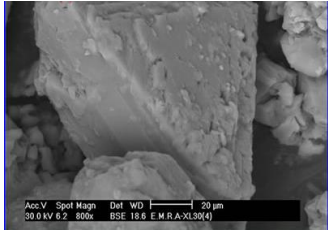
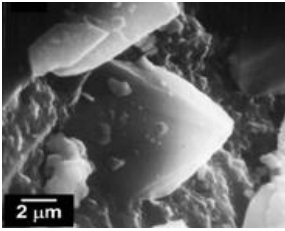
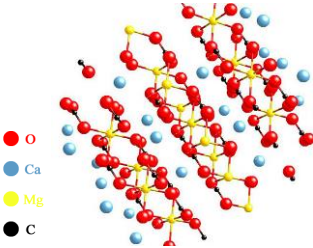
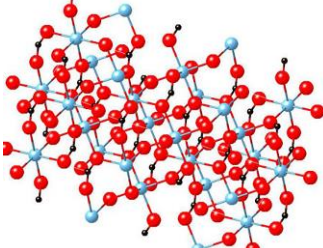
6. UTJECAJ LITOLOGIJE

Kada govorimo o litološkom sastavu karbonatnih stijena u procesu okrzavanja, onda je neophodno naglasiti da on utječe na način degradacije i na produkte povrzinskog raspadanja. Kao posljedicu toga imamo bitne razlike između vapnenačkih i dolomitnih stijena, koje predstavljaju dva osnovna litološka tipa karbonatnih stijena. Razlike u procesu njihova okrzavanja su posljedica razlika u kemijskom, odnosno, mineralnom sastavu.

Vapnenac, uz svoj osnovni sastojak, CaCO_3 , mineral kalcit može sadržavati neшто organske tvari i druge minerale, od kojih neki mogu biti detritični (kvarc, minerali glina) a drugi autigeni (kvarc, kalcedon, feldspati, glaukonit, gips, anhidrid, itd.) nastali u fazi dijagenese. Sadržaj vapnenac veće količine dolomita, kvarca, glaukonita, glina, tada razlikujemo dolomitski, kvarcni, glaukonitski, glinoviti, ili laporoviti vapnenac. Sa povećanjem količine glina, glinoviti i laporoviti vapnenci prelaze u lapor. Ako je povećan sadržaj organske tvari u vapnencima



onda su to bituminozni vapnenci. isti vapnenci su bijele boje, a primjese ih mogu obojiti u kasto, sme kasto, crvenkasto, sivo ili čak crno. Vapnenci su poligenetske stijene i mogu biti organogeni, klastični i kemijski sedimenti. Mnogi vapnenci su prema genezi kompleksni i predstavljaju prijelazne stijene dviju ili triju spomenutih skupina vapnenaca.

	dolomit	kalcit
makro-fotografija		
mikro-fotografija (SEM)		
struktura		

Slika 2. Minerali dolomit i kalcit

Stijena dolomit je agregat minerala dolomita, koji dominira, kalcita i akcesornih minerala (kvarc, feldspati, minerali glina i slični). Geneza dolomita je raznolika. Pokušima je dokazano da dolomit može nastati kristalizacijom iz morske vode visokog saliniteta. Neki dolomiti vode porijeklo iz biokemijskih procesa. Najvećim dijelom dolomiti su nastali sekundarnim kemijskim procesima dolomitizacije vapnenih sedimenta. U procesima metasomatoze dolazi do kemijske zamjene kalcijevog iona magnezijevim, pa se u prirodi često susreću u prijelazu iz istih vapnenaca preko onih izmiješanih sa kristalima dolomita do istih dolomitskih stijena. To su različiti stadiji u procesu dolomitizacije od početnog do završnog. Poznatu podjelu dao je Herak i ona je prikazana u tablici br.1.



Tablica 1. Sadržaj dolomita u karbonatnim stijenama

Sadržaj dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	vrsta stijene
< 10%	vapnenac
10% - 50%	dolomiti vapnenac
50% - 90%	vapnena ki dolomit
90% - 100%	dolomit

Granične plohe između ova dva tipa karbonatnih stijena, mogu odgovarati ploham stratifikacije, ali ih mogu i sjeći i slijediti neke strukturne oblike. Nekada dolomiti su samo tanji sloj a nekada cijelu formaciju. Prilikom dolomitizacije stijena trpi smanjenje volumena za približno 12%, zbog čega dolomit može biti zupljikav, a to tako utječe na njegovu drobljivost.

Zbog opisanog načina nastanka dolomita, ova dva tipa karbonatnih stijena u prirodi se često izmjenjuju na istim lokacijama pa se na terenu uočavaju razlike u procesu i rezultatima povrzninskog raspadanja. Dok vapnenci na površini pokazuju veću ispućanost (sl.3.) koja omogućava sve dublji prodor povrzninskih voda i pojavu krzja kao produkta povrzninskog raspadanja, dotle dolomiti imaju karakterističnu šeravu površinu raspadanja i pojavu grusa (sl.4.) kao produkta procesa povrzninske degradacije stijene.

Osobina dolomita da se drobi u sitan prah tuma i se njegovom specifičnom strukturom u kojoj se mikrokristali minerala dolomita samo naslanjaju jedan na drugoga a ne urastaju kao što je to slučaj sa mikrokristalima kalcita u vapnenačkoj strukturi.

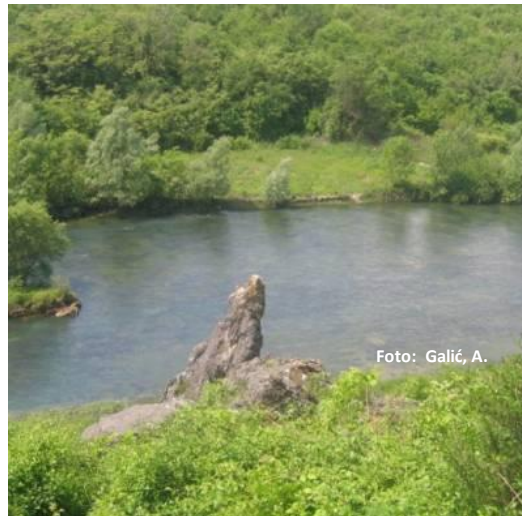


Slika 3. Okrzeni senonski vapnenac desne obale Mlade



Slika 4. Grusificirani dolomit lijeve obale Mlade kod Kavazbazinog mosta

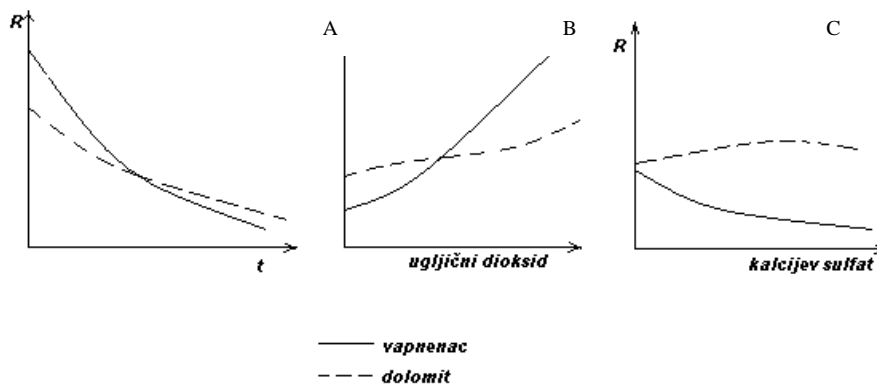
Buzenjima je utvrđeno da proces grusifikacije ide do nekoliko desetina metara u dubinu, pa se na pojedinim prirodnim usjecima, gdje se smjenjuju dolomitne i vapnenačke partije, može vidjeti kako iz grusificirane i zaglađene površine dolomita strže šerave, gromade ili stupovi partija obogaćeni vapnenačkom komponentom, koji se ponekad javljaju u nizovima koji su u narodu poznati pod nazivom skameni svatovi.



Slika 5. Kameni zub u lijevom boku vodotoka Mlade

Topivost dolomita nije potpuno definirana, mišljenja autora o tom problemu se razlikuju, a kada se prave usporedbe sa kalcitom esto su posve opre na. Pojedini autori brane tezu da je kalcit lakše topiv, a drugi isto to pokušavaju dokazati za dolomit. Ra ena su ispitivanja koja definiraju utjecaj drugih kemikalija i promjene temperature na intenzitet topivosti dolomita.

Rezultati koje je Sokolov dobio ispituju i topivost dolomita i vapnenca prikazani su na slici 6. Njegovi rezultati govore da topivost vapnenca (koja je u početku ve a) brže opada s porastom temperature vode (dijagram A). Na dijagramu B se uo a da s porastom sadr0aja ugljicnog dioksida raste topivost vapnenca više nego dolomita. Dijagram C pokazuje opadanje topivosti vapnenca s porastom sadr0aja kalcijeva sulfata, dok se topivost dolomita ne mijenja u zna ajnoj mjeri.



Slika 6. Dijagrami topivosti dolomita i vapnenaca po Sokolovu (preuzeto iz Milanovi , 1979.)



7. UTJECAJ TEKTONIKE

U genezi procesa okrzavanja naglažen je značaj tektonskih pokreta, kojima se stvaraju rupturi, diskontinuiteti koji usmjeravaju procese korozije i definiraju dubinu okrzavanja. Jasno je da i diskontinuiteti drugačije geneze imaju istu ulogu u procesu okrzavanja, a to je otvaranje putova kojima voda dopire u unutrašnjost stijenske mase, povećanje površine kontakta vode i karbonatne stijene, što ima za posljedicu ubrzanje i produbljivanje procesa okrzavanja. Značaj tektonskih diskontinuiteta se naglašava zbog njihove ujednačenosti i dubine pojavljivanja. Tektonika litosfernih ploča je proces koji zahvaća velika stijenjska prostranstva, ubira ih, kidaju i lomiti, tako da su pukotine ovog genetskog tipa vrlo česte u stijenama koje su zahvaćene tektonskim gibanjima, kao što je to slučaj s karbonatnim kompleksom Dinarskog pojasa kojemu pripada i krak Bosne i Hercegovine.

Ne možemo se zanemariti ni utjecaj površinskih pukotina koje su posljedica egzodinamskih procesa i koje prikupljaju vodu padavina. One uz minimum površinskog otjecanja sprovode tu vodu preko mreže dijaklaza i leptoklaza u podzemlje. Pri tome su pukotine koje presijecaju nekoliko slojeva značajnije jer stvaraju vezu (mrežu) s ostalim pukotinama a one koje su unutar jednog sloja su ograničene značajno, jer su izolirane od drugih. U tanko slojevitim, pločastim i listavim slojevima karbonatnih stijena, koji su često laporoviti, sustav pukotina je slabije razvijen.

Najznačajniji diskontinuiteti su, svakako, rasjedi (paraklaze), zato što su veliki po prostranstvu, kako horizontalnom tako i vertikalnom. Na mjestima gdje se pojavljuju rasjedi najizraženiji je proces okrzavanja, pa se na takvim mjestima često formiraju vrtače i na površini a u podzemlju kanali, kaverne pa i pećine, koje u kraku ponekad imaju ulogu izvora, kao što je to slučaj s vreloom rijeke Tihaljine (sl.7)



Slika 7. Rasjedne strukture u karbonatnim stijenama iznad vrela Tihaljina (3a . rasjedi iznad vrela, b . rasjedi s desne strane i c . rasjedi s lijeve strane)

Površinske depresije koje su rezultat djelovanja tektonike, također, ubrzavaju procese okrzavanja zato što se u njima vrši koncentracija otapanja uslijed povećanog površinskog otjecanja prema njima.



Posljedice djelovanja tektonike je i ubiranje slijeva pri čemu me uslojne pukotine (plohe) prelaze iz primarno horizontalnog položaja u neki kosi i postaju predisponirani pravci kretanja vode od povrznih dijelova prema dubljim dijelovima.



Slika 8. Tektonika na Cvitanjskim stinama ispod kojih je vrelo Tihaljine

8. UTJECAJ VODE

Voda djeluje svojom kvantitetom i kvalitetom. Količina vode koja iz atmosfere dopijeva na Zemljinu površinu, sastav komponenti koje voda nosi sa sobom, kao i druge fizičko-kemijske karakteristike vode u velikoj mjeri ovise o klimatskim uvjetima koji vladaju u tom području. Osobine vode koje utječu na proces okrzavanja su kemijski sastav, temperatura i parcijalni tlak.

Područja krza u Hercegovini su pod direktnim utjecajem mediteranske klime koji se dolinom Neretve prenosi duboko na sjever. Oborine su skoro isključivo u obliku kize, snijeg je iznimno rijetka pojava. Godišnje količine oborina kreću se oko 1500 l/m^2 [10] o čemu svjedoči i karta izohijeta (sl.9.). Njihov raspored u hidrološkom ciklusu je izrazito neujednačen. Jesenski i proljetni periodi obiluju oborinama a ljeta su izrazito suha, tako da postoje periodi obilnih kiza i poplava, i sušni periodi.



Slika 9. Raspored izohijeta za prostor Bosne i Hercegovine [9]

Kemijski sastav vode u stijenama varira u vremenu i prostoru, a ovisi o nizu okolnosti kao što su klima, vrsta stijene s kojom je voda u kontaktu i tomu slično. Voda koja u vidu atmosferskih padavina dopijeva na površinu Zemlje dolazi u kontakt sa organskim tvarima i biva obogaćena ugljikovim dioksidom (CO_2). Jedan od pokazatelja kemijskog sastava krških voda je i koeficijent relativne zasićenosti vode, koji se može se izraziti kao:

$$S_r = F \times (\text{Ca}/\text{Mg}) \quad (1)$$

gdje su:

Ca - koncentracija kalcija u mg/l otopine

Mg - koncentracija magnezija u mg/l otopine

F - koeficijent koji u prirodnim krškim vodama varira između 0.4 i 10.

Raspon u kojem varira koeficijent S_r je toliki zbog ujednačenosti pojave mijezanja vapnenačke i dolomitne komponente, koja je veća od pojave istih komponenti dolomita i vapnenca.

U tablici br.2. prikazana je vrijednost koeficijenta relativne zasićenosti zest najvećih krških vrela na lijevoj obali Tihaljine na dionici od Pešćanica do Klobuka. U ovoj tablici prikazana je vrijednost koeficijenta relativne zasićenosti vode zest krških vrela koja se nalaze na lijevoj obali Tihaljine, na dijelu toka od vrela u Pešćanica do Klobuka. Analize su rađene tri puta u godini (2001.g.), u travnju, srpnju i listopadu. Vidljivo je da se sadržaj Ca i Mg mijenja kroz godišnji hidrološki ciklus, a s tim i zasićenost vode koja je određena po jednadžbi koja glasi $S_r = F \times (\text{Ca}/\text{Mg})$. Ca i Mg u ovoj jednadžbi predstavljaju sadržaj kalcija i magnezija izražen u mg/l, a F je koeficijent koji ovisi o temperaturi vode, jonskoj vrsti i koncentraciji sulfata, a može varirati u širokom rasponu od 0.4 do 10. Milanović navodi podatak da se vrijednost koeficijenta $F=0.67$ koristi u slučaju kada temperatura vode oko 15°C i jonsku vrstu u oko



0,005. On još navodi podatke iz literature po kojima je vrijednost $Sr^{1/2}$ obično veća od 1. U slučaju kada imamo takve vrijednosti koeficijenta relativne zasićenosti vode, to nas upućuje na zaključak da je zasićenost te vode dolomitnom komponentom manja nego kalcitom čak i u litološkim slojevima koji sadrže velike količine dolomita.

Iz tablice se vidi da je vrijednost $Sr^{1/2}$ voda sa svih analiziranih vrela veća od 1, pa se gore spomenuti zaključak o većoj zasićenosti voda kalcitnom komponentom, može primijeniti na njih.

Na nekim izvorima zabilježena su neznatna ili mala odstupanja vrijednosti koeficijenta relativne zasićenosti a na nekima te razlike kroz godinu su jako izražene. Najmanja odstupanja kroz godišnji hidrološki ciklus su u vodama vrela Jakzenica, a iznose 0.36 i 0.06. Najveće razlike zasićenosti vode kroz hidrološku godinu registrirana su na vrelu Jeovo i iznose 4.82 i 1.97.

Lijeva obala vodotoka, a posebno taj potez od Pe -Mlina do Klobuka je područje na kojem se nalazi se veliki broj povremenih i stalnih izvora koji daju značajnu količinu vode ovom riječnom toku.

Tablica 2.: Koeficijenti relativne zasićenosti vode s izvora na lijevoj obali Tihaljine [3]

Naziv vrela	mjesec	sadržaj Ca (mg/l)	sadržaj Mg (mg/l)	Ca/Mg	$Sr = F \times Ca/Mg$ ($F = 0.67$)*	Prosječna vrijednost Sr
Krupa	IV	166.46	29.1	5.72	3.88	3.40
	VII	336.19	80.7	4.17	2.79	
	X	102.81	19.44	5.29	3.54	
Jeovo	IV	174.32	29.2	6.0	4.02	4.98
	VII	261.12	57.35	4.55	3.05	
	X	114.24	9.72	11.75	7.87	
Buzalo	IV	171.36	23.4	7.05	4.72	3.84
	VII	326.4	87.48	3.73	2.50	
	X	106.08	16.52	6.42	4.30	
Jakzenica	IV	110.97	30.13	3.68	2.47	2.25
	VII	119.14	37.91	3.14	2.11	
	X	125.66	38.88	3.23	2.17	
Nezdravice	IV	231.74	33.05	7.01	4.70	3.41
	VII	128.93	43.74	2.95	2.95	
	X	115.87	30.13	3.85	2.58	
Modro oko	IV	223.58	31.3	7.14	4.97	5.03
	VII	-	-	-	-	
	X	266.01	34.99	7.60	5.09	

*(F- čimbenik koji ovisi o temperaturi, jonskom naponu i sadržaju sulfata)



LITERATURA

1. Bonacci, O. Karst hydrogeology; Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1987.
2. Gali , A., Hidrogeološki uvjeti područja vodenih akumulacija u zapadnoj Hercegovini; Doktorska disertacija, 2011.
3. Grupa autora: Elaborat o snimanju nultog stanja vrela na lijevoj obali rijeke Tihaljine od njenog izvora do vrela Klokun i izrada katastra tih vrela; 2002.
4. Herak, M. Stringfild, V.T., Karst, Elsevier publishing company, Amsterdam-London-New York 1972.
5. Herak, M.: Geologija; 3. potpuno prerađeno i dopunjeno izdanje, školska knjiga, Zagreb. 1984.
6. Komatina, M. Hidrogeološka istraživanja; Geozavod Beograd 1984.
7. Milanovi , P. Hidrogeologija karsta i metode istraživanja; Hidroelektrane na Trebiznjici, 1979.
8. Palmer, A.N. Patterns of dissolution porosity in carbonate rock;
www.speleogenesis.info
9. Selimovi , M. Mehanika stijena ; I i II dio, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bijedić Mostar 2004.
10. Strategija upravljanja vodama federacije BiH 2010.-2020. Sarajevo, 2012.
11. Šestanovi , S. Osnove geologije i petrografije: primjena u građevinarstvu; Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 1997.