

**Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko – geološko – naftni fakultet**

SEMINAR:

TOPLJIVE STIJENE : VAPNENCI, DOLOMITI I EVAPORITI

**Zlatko Topić
R 6**

Zagreb, 2009

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	2
2. VAPNENCI.....	3
2.1 SASTAV I KLASIFIKACIJA VAPNENACA.....	3
2.2 BIOKEMIJSKI VAPNENCI.....	3
2.3 KEMIJSKI VAPNENCI.....	5
2.4 KLASTIČNI VAPNENCI.....	6
3. DOLOMITI.....	7
4. EVAPORITI.....	8
5. PROCESI I EFEKTI TOPLJENJA.....	10
5.1 KEMIJSKA REAKCIJA VODE I KARBONATNIH STIJENA.....	10
5.2 FAZE OKRŠAVANJA.....	11
5.3 ZNAČAJKE OKRŠENOG VAPNENCA.....	11
5.4 VRTAČE.....	13
5.5 EFEKT SMANJIVANJA RAZINE PODZEMNE VODE.....	15
6. KARAKTERISTIKE POJEDINIH KRŠKIH FORMACIJA.....	16
7. REZIDUALNA TLA KRŠKIH REGIJA.....	17

1. UVOD

Stijene koje se sastoje od minerala osjetljivih na HCl su vapnenac, dolomit, gips, sol.

Dolomit se sporo razlaže u slaboj HCl dok čisti kalcitni vapnenac ima snažnu reakciju na HCl.

Osim kalcita i dolomita treba spomenuti gips i sol kojima je svojstvena veoma jaka topljivost.

Sve ove navedene stijene uzrokuju jedinstvene i karakteristične inženjerske probleme.

Iznimno su važne za inženjere, prvenstveno zbog svoje raširenosti na zemljinoj površini.

Zbog velike topljivosti navedenih stijena prilikom inženjerskog zahvata u njima može doći do određenih problema (slom tla) te im je zbog toga potrebno posvetiti veliku pažnju.

Vapnenac je iznimno važan u geologiji iz razloga što se uglavnom sastoji od školjaka

životinja te kao takav služi za dobivanje informacija o životu koji je nekad postojao na zemlji.

Također je bitan kao izvor sirovog materijala za proizvodnju cementa, šećera..

2. VAPNENCI

2.1 SASTAV I KLASIFIKACIJA VAPNENACA

Glavni sastojci vapnenaca su školjke te kristali ili fragmenti izgrađeni od minerala kalcita (CaCO_3).

Karbonatni minerali od kojih se uglavnom sastoje vapnenci:

- ili čisti kalcit (najviše 96%)
- ili najmanje 40 % dolomita

Kao sekundarni sastojak vapnenca često se nalazi silicij.

Vapnenac je stijena izgrađena od kalcita i dolomita.

Ako udio glinastog materijala raste → glinasti vapnenac - sedrasti škriljavac
- sedrasti muljnjak

ako udio pjeskovitog materijala raste → pjeskoviti vapnenac - sedrasti pješčenjak

vapnenci se klasificiraju na:

- biokemijske
- kemijske
- klastične

Biokemijski vapnenci su produkti akumulacije školjaka na morskom dnu.

Kemijski vapnenci nastaju direktnim izlučivanjem karbonatnih minerala u saturiranim morima, jezerima i izvorima.

Klastični vapnenci nastaju transportom i akumulacijom školjaka ili fragmenata već nastalih vapnenaca.

2.2 BIOKEMIJSKI VAPNENCI

Biokemijski vapnenci su česti u stijenama nastalim u paleozoiku. Većina biokemijskih vapnenaca posjeduje slojevitost debljine od nekoliko cm do 1 m.

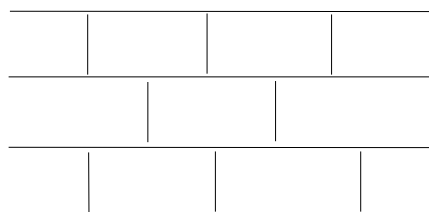
Iako se biokemijski vapnenci mogu ogrebatl nožem (sastoje se od mekog kalcita), ponašaju se kao stijene u svakom smislu. Prilikom udara geološkim čekićem, čekić odskakače od površine vapnenca i javlja se zvonki zvuk.

Na slici 2-1 prikazan je tipičan primjer uslojenog vapnenca s pukotinama.

Slika 2-2 prikazuje je univerzalni simbol za kartiranje vapnenca. Na njemu se jasno vidi da je kod vapnenca izražena slojevitost s poprečnim pukotinama.



Slika 2-1: Uslojeni vapnenac s pukotinama



Slika 2-2: Univerzalni simbol za kartiranje vapnenca

Kreda

Kreda je bijela stijena, vrlo porozna. Pojavljuje se u masivnim, jednolikim slojevima ili vrlo tankim slojevima odijeljenim šejlom.

Kreda je stijena koja je nastala kao rezultat sedimentacije kalcita ali uz nepotpunu litifikaciju.

Sastav:

- > 95 % CaCO_3
- ako sadrži glinovite primjese i < 95 % CaCO_3 → glinasta kreda
- ako sadrži > 13 % gline → lapor
- ako sadrži > 35 % gline → sedrasti muljnjak

kao što je već navedeno, kreda je vrlo porozna stijena. Pore se nalaze između fragmenata i unutar pojedinih fragmenata. Na slici 2-3 prikazana je kreda.



Slika 2-3: Kreda

2.3 KEMIJSKI VAPNENCI

Kemijske sedimentne stijene se formiraju precipitacijom, tj. izlučivanjem iz zasićene vodene otopine, a dijelimo ih na neevaporitne (karbonatne, silicijske i fosfatne) te evaporitne (gips, anhidrit i halit).

Direktna precipitacija kristala kalcita nije uobičajena kod vapnenaca, već uglavnom nastaju kao posljedica rada organizama pri uklanjanju CaCO_3 iz morske vode za građenje svojih školjaka.

Kod Bahama i blizu Floride precipitacija sedrastih sedimenata se događa trenutno.

Zagrijavanje oceana saturira samu vodu kalcijevim karbonatom. Stvaraju se ooliti koji imaju koncentričnu radijalnu strukturu centriranu oko pjeskovitog zrna.

Kemijski pokretač karbonatne precipitacije je promjena u sastavu CO_2 . Morska voda je gotovo zasićena kalcijevim karbonatom tako da promjena količine CO_2 zagrijavanjem ili reakcijom biljaka u plitkoj morskoj vodi uzrokuje precipitaciju CaCO_3 .

Taloženjem kalcita u izvorima i rijekama nastaju tuf i travertin.

Na slici 2-4 prikazan je oolit.



Slika 2-4: Oolit

2.4 KLASTIČNI VAPNENCI

Klastični vapnenci izgrađeni su od čestica veličine pijeska ili šljunka nastalih od starijih vapnenaca.

Kod klastičnih vapnenaca razlikuju se kalkarenit i kalkarudit.

Kalkarenit i kalkarudit mogu sadržavati školjke, oolite, čestice erodiranog vapnenca, kvarc i zrna pijeska.

Kalkarenitne čestice su uglavnom vezane, pošto su sastavljene od karbonatnih minerala koji su kemijski aktivni. Rana cementacija akumuliranih karbonatnih sedimenata dovodi do porozne strukture samih stijena.

Istraživanjem naslaga ispod morskog dna otkriveni su vrlo porozni kalkareniti. Takvi materijali izgrađeni su od vrlo slabih čestica koje se sastoje od tankih, šupljih školjaka. Zbog svega navedenog, mladi kalkareniti i kalkaruditi sadrže kompleksna inženjerska svojstva. Na slici 2-5 prikazan je varijetet kalkarenita, coquina, jako slaba stijena.



Slika 2-5: Coquina, varijetet kalkarenita

3. DOLOMITI

Dolomiti su po sastavu vapnenci koji sadrži više od 90 % minerala dolomita.

Najčešće nastaju rekristalizacijom starijih vapnenaca.

Posjeduju jednoliku sivu boju i šećerastu strukturu zrna jednake veličine. Dolomitični kristali su gotovo savršeno romboidalni.

Ukoliko sadrže manje od 90 % dolomita, a više od 10 % kalcita nazivaju se dolomitični vapnenci.

Dolomit je manje topljiv od kalcita. Prilikom reagiranja s HCl, vapnenac ima puno burniju reakciju od dolomita. Bez obzira na smanjenu topljivost i kod dolomita se mogu naći kaverne velikih razmjera. Na slici 3-1 prikazan je dolomit.



Slika 3-1: Dolomit

4. EVAPORITI

U evaporite ubrajamo Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Anhidrit (CaSO_4), Halit (NaCl).

Evaporiti su nastali precipitacijom iz mora i jezera u fazi evaporacije.

Gips

Pojavljuje se u masivnim ili slojevitim talozima. Unutar slojeva gipsa često se nalaze leće bitumena. Slojevi su često zakrivljeni ili razlomljeni.

Gips nastaje hidratacijom anhidrita, a tijekom transformacije raste deformacija u samoj stijeni.

Gips je 170 puta topljiviji od kalcita ali istovremeno njegova topljivost iznosi manje od 1 % topljivosti halita. Može se naći u izdancima na suhim i polusuhim područjima.

Na slici 4-1 prikazan je gips.



slika 4-1: Gips (alabaster)

Kamena sol

Kamena sol je sedimentni talog tvoren većinom od grubih kristala halita.

Za razliku od gipsa, sol isključivo nastaje na izdancima u vlažnim uvjetima. Kamena sol se uglavnom pojavljuje u masivnim slojevima.

Čista sol je uglavnom prozirna, a može biti sastavljena od tamnijih dijelova ukoliko sadrži čestica anhidrita. Uglavnom nema pukotina. Kamena sol ne sadrži podzemnu vodu osim ako

postojeće pukotine ne dosežu druge pukotine koje sadrže vodu. Vjeruje se da je nepostojanost pukotina u kamenoj soli zbog ponašanja same stijene koja je plastična i deformabilna. S vremenom postojeće pukotine zbog navedenih svojstava se zatvore.

Solne dome

Solne dome su intruzije soli u postojećim stijenama. Pri povišenom tlaku u troosnom laboratorijskom pokusu, kamena sol postaje potpuno plastična i teče kada postoji mala razlika u iznosima glavnih naprežanja. U stijenskoj masi na velikim dubinama, sol je izložena velikim naprežanjima te je omogućeno tečenje same soli. Kao posljedica tečenja, sol se izdiže probijajući slojeve. Prilikom probijanja slojeva, slojevi se zakrivljuju. Na slici 1-8 prikazana je solna doma.



Slika 4-2: Solna doma

Anhidrit

Anhidrit je bijela do svijetlo-smeđa, često masivna stijena sitnije granulacije. Po izgledu je sličan dolomitu. Može sličiti gipsu, no razlikuju se po gustoći.

$$(\rho_{\text{anhidrit}} = 2,95t / m^3; \rho_{\text{gips}} = 2,3t / m^3)$$

Anhidrit je stabilna forma kalcijevog sulfata ($CaSO_4$) pri temperaturama većim od $43^\circ C$ ukoliko postoji doticaj s vodom. Ukoliko nema doticaj s vodom, anhidrit je stabilan pri svakoj temperaturi.

Ukoliko je anhidrit mrvljen, drobljen, lakše će postići reakciju s vodom nego kompaktni anhidrit. Prilikom hidratacije anhidrit prelazi u gips. Zbog velike razlike u gustoći, prilikom hidratacije anhidrita doći će do povećanja volumena, a time i do pucanja stijene.

Postanak anhidrita nije do kraja razjašnjen. Pronađene su formacije koje su se iztaložile kao anhidrit dok su na drugim mjestima formacije formirane na dubini zagrijavanjem i dehidratacijom originalnih taloga gipsa. Na mjestima bliže površini, anhidrit bez obzira na postanak teži transformaciji u gips. Anhidrit hidratizira u gips uz promjenu volumena od 35 %.

5. PROCESI I EFEKTI TOPLJENJA

Kod promatranja topljivosti zanima nas njen utjecaj kroz vremensko razdoblje (kratkoročno i dugoročno).

Za vapnence i dolomite veće gustoće, topljenje je jako sporo tako da se neprimjetna količina stijene razloži kroz neko određeno vrijeme. U tom slučaju zanimaju nas efekti topljenja kroz neko geološko vrijeme.

U terenima od mladih, poroznih vapnenaca i evaporita, veliki problem inženjerima zadaje poveća razgradnja stijene uzrokovana vodom.

5.1 KEMIJSKA REAKCIJA VODE I KARBONATNIH STIJENA

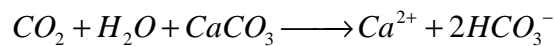
Skupljanjem CO_2 iz atmosfere i tla voda postaje razrijeđena karbonatna kiselina (H_2CO_3).

Voda koja se drenira kroz humusna tla za sobom povlači i organske kiseline koje se tu nalaze.

Kiša koja pada kroz industrijski zagađena područja pretvara se u sulfatnu kiselinu (H_2SO_4).

Također, u regijama s geotermalnim izvorima, H_2S koji se izdiže može u kontaktu s podzemnom vodom stvoriti sulfatnu kiselinu. Voda nastala otapanjem snijega ili ledenjaka je vrlo razrijeđena karbonatna kiselina i nije agresivna.

Karbonatna kiselina napada vapnenac i dolomit odstranjujući Ca^{2+} i Mg^{2+} u procesu otapanja.



5.2 FAZE OKRŠAVANJA

Kontinuirano trošenje vapnenca kroz duži period vremena rezultira stijenskom masom isprepletenom kavernama. Površina takve stijenske mase je prekrivena manjim i većim depresijama.

Razlikuju se 3 faza okršavanja i ovisno o njima različita svojstva krša:

- mladi krš
- zreli krš
- stari krš

Krajolik u mladom kršu nije previše potonuo te zadržava normalnu površinsku drenažu.

Kod zrelog krša tvore se vertikalne pukotine te plitke špilje. Špilje se nakon nekog vremena urušavaju pri čemu dolazi do stvaranja vrtača na površini. Zbog toga je površina terena neravna a krovinske naslage zauzima crvenica koja lako propušta dospjelu vodu.

U starom kršu, vapnenac je skoro potpuno uklonjen. Na mjestu vapnenca nalazi se talog zemlje koji se sastoji od netopljivih čestica ostalih nakon što su se kalcit i dolomit otopili.

Vrijeme potrebno da se čvrsti, kompaktni vapnenac prođe kroz sve 3 faze je dugo, dok će porozni, mekani vapnenac brže proći kroz ove faze te će se raspadanje lakše uočiti.

5.3 ZNAČAJKE OKRŠENOG VAPNENCA

Vapnenac koji se otopio može sadržavati šupljine svih veličina i oblika. U vapnencima velike gustoće, stijenska masa između šupljina može ostati gotovo netaknuta. Površina gotovo svake pukotine u okršenoj stijeni ima karakteristično lagano zakrivljenje na rubovima, vrlo lako uočljivo.

Na području Floride kod mladih kalkarenita i kalkarudita procesi raspadanja se događaju na kontaktu tla i stijene (Epikaristična regija).

Stijena je vrlo porozna i cementirana uglavnom na mjestima kontakta čestica. Voda koja se procjeđuje kroz pore, širi ih, povećava permeabilnost te time privlači veće količine vode. U području koje se nalazi iznad razine podzemne vode, nizvodno strujanje vode uzrokuje vertikalne jame širine do 1m, a dubine desetak metara. Tečenje vode u području koje se nalazi ispod razine podzemne vode je horizontalno te se na taj način otvaraju horizontalne pukotine. Povećavanjem pukotina povećava se i tečenje vode.

Otapanje stijene slabi i uništava vezu između čestica te dezintegrira stijenu u šljunkovita, pjeskovita, prahovita i glinasta tla. Oslabljene zone mogu se komprimirati pod teretom uzrokujući velika slijeganja.

U manje poroznim, čvršćim vapnencima veličina otapanja je koncentrirana duž pukotina. Otapanje širi pukotine stvarajući vertikalne žljebove otvorene na površini. Proširene pukotine odvajaju šiljke mladog krša koji nakon nekog vremena, u starom kršu, postaju odvojeni samo stojeći šiljci. Šiljci su ponekad zatrpani krovinskim naslagama (tlo), no često ih otkrije prirodna erozija ili rudarska djelatnost. Na slikama 5-1 (a,b) prikazani su vapnenački šiljci.



a)



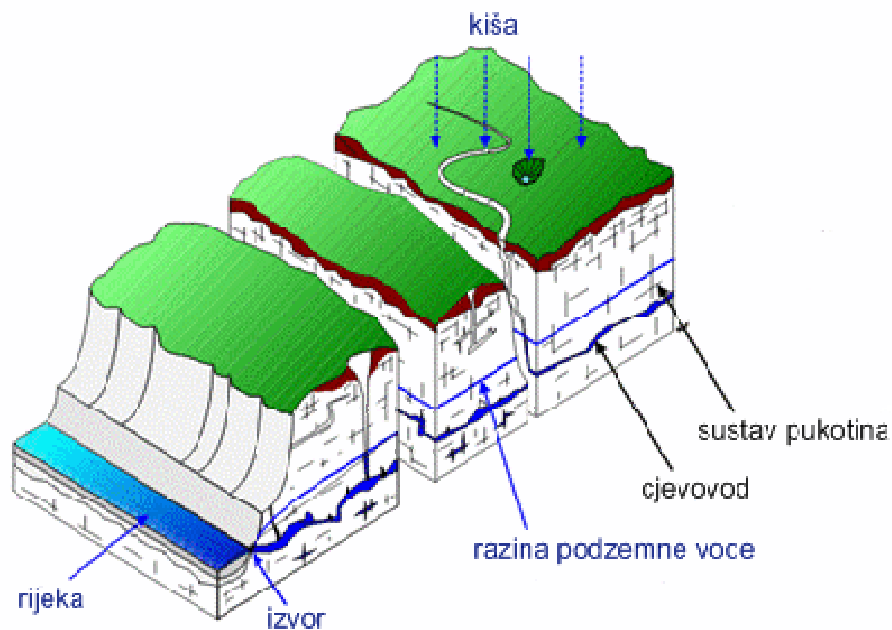
b)

Slika 5-1 (a, b): Vapnenački šiljci

Vertikalne pukotine spojene spojene sa šupljinama u ravnini slojevitosti skupljaju vodu u podzemni vodonosnik. Ta podzemna jezera se kroz mrežu horizontalnih tunela mogu drenirati prema mjestima niže nadmorske visine, koja mogu biti udaljena i do nekoliko desetaka kilometara, te se na kraju pojaviti kao izvor u dolini.

Veliki broj krških vodonosnika nema izvor te se voda zadržava kao u nekom rezervoaru.

Na slici 5-2 prikazan je tipični krški vodonosnik sa izvorom



Slika 5-2: Krški vodonosnik sa izvorom

5.4 VRTAČE

Vrtače su tipičan primjer krša.

Neke vrtače sadrže vodu dok su neke potpuno suhe. Ukoliko se vrtača nalazi u području gdje prevladava vlažna klima, a na samom dnu nema vode stajačice, voda se vrlo vjerojatno drenirala u kršne pukotine i otvore koji se nalaze ispod vrtače. Isto tako, ukoliko se na dnu vrtače nalazi voda, ta pojava ne mora značiti da se u podzemlju ispod vrtače ne nalaze pukotine i otvori već je moguće da je površina same vrtače vodonepropusna.

Najveće depresije mogu biti stotine metara široke i kilometar duge. Karakteristično je da svaka vrtača na vanjskom rubu ima pukotine i mnogostruke ožiljke.

Po načinu postanka razlikuju se slijegajuće vrtače i urušavajuće vrtače.

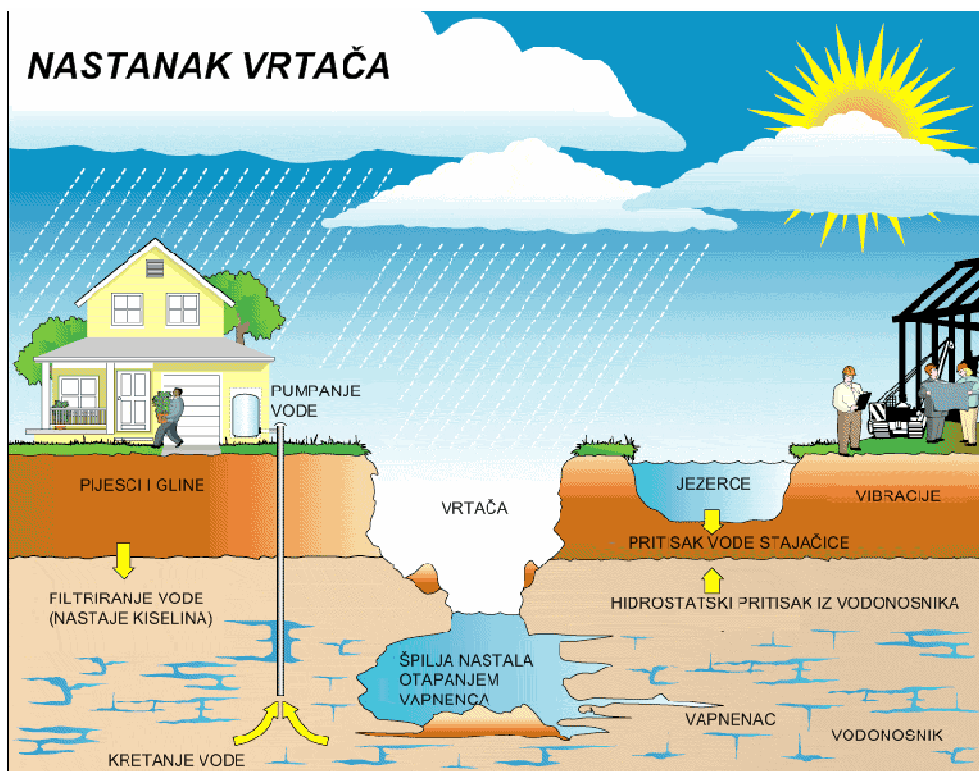
Slijegajuće vrtače nastaju prilikom slijeganja tla koje se nalazi iznad mreže pukotina. Te pukotine omogućavaju brzo dreniranje a samim time i brže slijeganje tla.

Urušavajuće vrtače nastaju urušavanjem stijenske mase prilikom čega tlo popunjava zarušeni prostor. Na slici 5-3 prikazana je vrtača.



Slika 5-3: Vrtača

Smanjenje razine podzemne vode i vibracije pospešuju nastanak vrtača . Na slici 5-4 prikazani su načini na koje nastaju vrtače.



Slika 5-4: Nastanak vrtača

5.5 EFEKT SMANJIVANJA RAZINE PODZEMNE VODE

Za nastanak vrtača dosada se kao najizraženiji faktor javlja smanjivanje razine podzemne vode. Navedeni su i neki primjeri:

Hershey Valley, Pennslyvania

Voda se pumpala za potrebe lokalnog kamenoloma. Kada je razina podzemne vode pala počele su se otvarati vrtače. Nakon toga uvedene su potrebne mjere kontrole razine podzemne vode i sprečavanja dodatnog spuštanja razine.

Transvaal, Južna Afrika

Smanjenje razine podzemne vode uzrokovano je drenažom vode u rudnike na velikim dubinama. Na površini su nastale brojne vrtače.

Južna Kina

U aluvijalnoj dolini, u regiji uznapredovalog krša, voda se crpila za potrebe željezare. Razina podzemne vode se smanjila sa dubine od 1 m na dubinu od 20 m. Zbog tog smanjenja u periodu od 1977-1985 pojavilo se više od 1000 vrtača.

6. KARAKTERISTIKE POJEDINIH KRŠKIH FORMACIJA

Nastanak šupljina i uvećanih pukotina u kršu ovisi o velikom broju faktora: kompoziciji, teksturi, strukturi, čvrstoći stijenske mase i geološkoj povijesti.

Navedene su karakteristike pojedinih krških formacija:

Mladi porozni vapnenci

- bliže površini su meki, spužvasti
- šupljine su relativno male

Gips i sol

- uglavnom nemaju otvorenih šupljina

Kreda

- rijetko sadrži šupljine iz razloga što se proces topljenja distribuira kroz tijelo same stijene, a ne kroz pukotine i šupljine kao kod vapnenaca veće gustoće
- na mjestima kontakta krede i drugih stijena uočljivi su efekti topljenja (plitke i široke vrtače)

Vapnenac velike gustoće

- može sadržavati velike šupljine različitih oblika

Vapnenci i dolomiti različitih gustoća

- razvijaju male ali izdužene pukotine duž ploha slojevitosti, rasjeda..

Dolomiti

- razvijaju male rupe, ali mogu sadržavati i velike šupljine

Špilje

- plitke špilje u čvrstoj stijeni mogu biti ispunjena s glinovitim tlima, dok špilje na većim dubinama uglavnom nisu ispunjene

7. REZIDUALNA TLA KRŠKIH REGIJA

Tla razvijena na vapnencima su akumulacije netopljivih čestica i mogu sadržavati nečistoće koje su pripadale razgrađenoj stijeni. Uglavnom su bogata željezom i daju tlu crvenu boju. Od toga je i naziv CRVENICA (TERRA ROSSA).

U vlažnim uvjetima crvenica može biti bogata glinom, hematitom i limonitom. Kreda je često prisutna iz razloga što su u velikom broju slučajeva karbonatne čestice međusobno zacementirane kredom. Dobro su drenirana unatoč velikim količinama gline uz razloga što u svojoj strukturi ima velik broj prslina. Na slici 7-1 prikazan je vapnenac iznad kojeg se nalazi crvenica.



Slika 7-1: Vapnenac prekriven crvenicom