

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek
Mineraloško-petrografski zavod

Skripta za vježbe iz Petrologije (40920)
za studente 2. godine preddiplomskog studija Znanosti o okolišu

ak. god 2021./22.
zimski semestar

Sastavili:
dr. sc. Zorica Petrinec
prof. dr. sc. Marijan Kovačić
prof. dr. sc. Dražen Balen

SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. MAGMATSKE STIJENE.....	3
2.1. PETROGENI MINERALI MAGMATSKIH STIJENA	3
2.1.1. <i>Neka osnovna fizička svojstva minerala</i>	3
2.1.2. <i>Silikati</i>	3
2.1.3. <i>Kristalizacija magme i reakcije minerala u magmatskim sustavima</i>	6
2.2. STRUKTURE I TEKSTURE MAGMATSKIH STIJENA	9
2.3. KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STIJENA.....	11
3. SEDIMENTNE STIJENE	12
3.1. KLASTIČNE (SILICIKLASTIČNE) SEDIMENTNE STIJENE	14
3.1.1. <i>Struktura sedimenata</i>	14
3.1.2. <i>Sedimentne tekture</i>	15
3.1.3. <i>Detritični sastojci siliciklastičnih sedimenata</i>	19
3.1.4. <i>Krupnozrnate sedimentne stijene: konglomerati i breče</i>	20
3.1.5. <i>Srednjezrnate klastične sedimentne stijene: pješčenjaci</i>	20
3.1.6. <i>Sitnozrnate klastične sedimentne stijene</i>	20
3.2. VAPNENCI.....	23
3.2.1. <i>Sastojci vapnenaca</i>	23
3.2.2. <i>Klasifikacija vapnenaca</i>	24
3.3. DOLOMITI	25
3.4. ROŽNJACI.....	25
4. METAMORFNE STIJENE	26
4.1. PREFERIRANE ORIJENTACIJE (TEKSTURE)	26
4.2. STRUKTURE.....	27
4.3. KLASIFIKACIJA METAMORFNIH STIJENA.....	28
4.3.1. <i>Klasifikacija metamorfnih stijena koje pokazuju škriljavost ili folijaciju</i>	28
4.3.2. <i>Klasifikacija metamorfnih stijena bez preferirane orijentacije</i>	28
4.3.3. <i>Specifične metamorfne stijene</i>	28
5. LITERATURA	31
6. DODATAK	32
6.1. PREGLED NAJVAŽNIJIH PETROGENIH MINERALA I NJIHOVIH SVOJSTAVA.....	I
6.2. KRATICE IMENA NEKIH MINERALA I MINERALNIH SKUPINA	XII
6.3. RJEČNIK GEOLOŠKIH POJMOVA NA ENGLSKOM JEZIKU	XIII
6.4. GEOTEKTONSKA KARTA SVIJETA.....	XIV

1. UVOD

Petrologija je znanost koja se bavi proučavanjem stijena odnosno njihovog sastava, strukture, načina postanka i klasifikacija.

Stijene, prema definiciji, predstavljaju prirodni agregat jednog ili više minerala ili u nekim slučajevima i organske tvari. Prema tome, minerali su osnovne gradbene jedinice stijena. Pojam strukture obuhvaća arhitekturu same stijene i ukazuje na apsolutnu dimenziju pojedinih komponenata u njoj, relativnu veličinu pojedinih sastojaka, oblik komponenata i njihov međusobni odnos. Kombinacijom informacija na temelju mineralnog sastava i strukturno-teksturnih obilježja moguće je rekonstruirati (barem djelomično) informacije o nastanku stijene kao i fizičko-kemijske uvjete u kojima je ona nastala. Cilj klasifikacija je dati svakoj stijeni ime, što će omogućiti njezino svrstavanje u određenu skupinu, kao i međusobno uspoređivanje stijena i uvjeta njihova nastanka odnosno rekonstrukcije i usporedbe nekadašnjih okoliša u kojima su te stijene nastale, a koji danas uglavnom nisu sačuvani.

Stijene se obično dijele na magmatske, sedimentne i metamorfne. Magmačke stijene nastaju kristalizacijom magme. Ako su nastale u dubljim dijelovima Zemljine litosfere nazivaju se intruzivne, a ukoliko su nastale hlađenjem lave na Zemljinoj površini ili blizu površine nazivaju se efuzivne. Sedimentne stijene nastaju na površini ili blizu površine Zemlje i prema načinu postanka dijele se na klastične, biogene i kemogene. Piroklastične stijene su stijene koje imaju značajke i magmačkih i sedimentnih stijena. Metamorfne stijene nastaju preobrazbom bilo kojeg tipa stijena pod utjecajem povišenog tlaka, temperature ili različitih otopina i plinova.

Uz nekoliko iznimki, stijene se sastoje od minerala. Neki će se minerali kemijski raspasti i preobraziti u nove minerale ako dođe do promjene fizički uvjeta u kojima se stijena nalazi. Primjerice, feldspati nastali na visokim temperaturama u Zemljinoj unutrašnjosti na njenoj će površini reagirati s površinskim vodama i prijeći u minerale glina.

Zemlja se mijenja zbog djelovanja triju značajnih sila: njezine unutrašnje topline, Sunčeve energije i gravitacije. Da je Zemljin unutrašnji "toplinski stroj" prestao raditi (te da su prestale djelovati tektonske sile), Sunčeva energija i gravitacija zaravnile bi kontinente, a nastali bi sediment zapunio oceanske bazene. Sve bi aktivnosti na Zemlji zamrle, ništa se ne bi mijenjalo odnosno sve bi bilo u stanju ravnoteže. No, to nije slučaj. Endogene i egzogene sile još uvijek djeluju, uzrokujući neravnotežna stanja. Iz tog razloga Zemlja i ima tako promjenjivo lice. Minerali i stijene nisu iznimka - i oni se mijenjaju.

Ti se međuodnosi lako vizualiziraju kroz **stijenski ciklus**. Svaki od ranije spomenutih tipova stijena može nastati na štetu onog drugog ako se ovaj pomakne iz ravnotežnog stanja bilo promjenom fizičkog ili kemijskog okoliša ili pak pod djelovanjem endogenih ili egzogenih sila.

Magma je uglavnom silikatna taljevina i njenom solidifikacijom nastaju magmačke stijene, bilo efuzivne ili intruzivne. Ako takve stijene dospiju u stanje neravnoteže na Zemljinoj površini, gdje mogu biti podvrgnute trošenju i eroziji, materijal nastao njihovim raspadom transportira se i biva istaložen (obično na morskom dnu). Ako rastresiti sediment očvrstne, nastaje sedimentna stijena. Kako se ta stijena zatrpava novim slojevima sedimenta ili sedimentnih stijena, povećavaju se tlak i temperatura. Naravno, djelovanje tektonskih sila također može dovesti do povećanja tlaka i temperature. Ako tlak i temperatura dovoljno porastu, a to se obično događa na dubinama većim od nekoliko kilometara ispod Zemljine površine, originalna sedimentna stijena više nije u ravnoteži i dolazi do njene rekristalizacije. Na taj način nastaju metamorfne stijene. Ako temperatura postane iznimno visoka, može doći do ponovnog taljenja stijenskog materijala te ona prelazi u magmu, zatvarajući tako cijeli ciklus.

2. MAGMATSKE STIJENE

2.1. PETROGENI MINERALI MAGMATSKIH STIJENA

2.1.1. *Neka osnovna fizička svojstva minerala*

Mineral se definira kao element ili kemijski spoj koji je u pravilu kristaliziran i koji je nastao geološkim procesima.

Pri determinaciji minerala u uzorcima neka fizička svojstva mogu biti izrazito korisna. Iako je **boja** jedno od prvih svojstava koje se opaža, ona može znatno varirati, te nije uvijek pouzdano dijagnostičko svojstvo. **Sjaj** minerala može, uz druga svojstva, pomoći pri determinaciji, a razlikuju se dva osnovna tipa: metalni i nemetalni.

Tvrdoća je otpor koji glatka površina pruža zadiranju, a da pri tome ne dođe do njezina pucanja. Odnos između tvrdoće i kristalne strukture je slijedeći: ukupna čvrstoća odnosno snaga mineralne strukture je "zbroj" svih njenih veza, dok je tvrdoća strukture izraz njezine najslabije veze. Tvrdoća prema **Mohsu**:

1. talk - lako se zagrebe noktom, masan osjećaj
2. gips - može se zagrepsti noktom
3. kalcit - lako se zagrebe nožem
4. fluorit - lako se zagrebe nožem, ali teže nego u slučaju kalcita
5. apatit - teško se zagrebe nožem
6. ortoklas - ne može se zagrepsti nožem, teško grebe po staklu
7. kvarc - lako grebe staklo
8. topaz - vrlo lako grebe staklo
9. korund - reže staklo
10. dijamant - koristi se kao rezač stakla

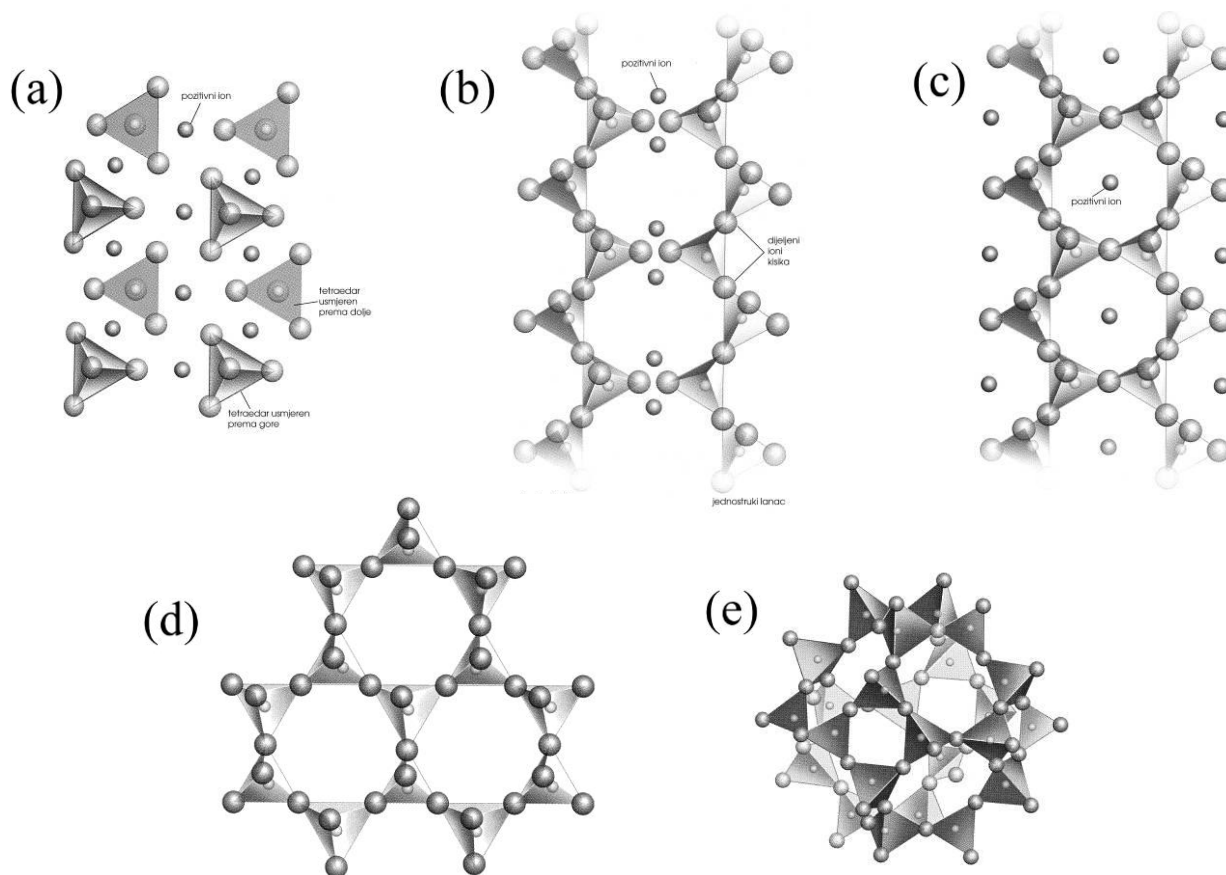
Kalavost, lučenje i lom odgovor su kristaliziranog materijala na djelovanje vanjske sile. Tip veze među atomima ima najveće značenje u ponašanju minerala pri primjeni sile. Ako mineral sadrži strukturne defekte duž određenih ravnina ili smjerova, težit će deformaciji duž takvih pravaca, lakše nego u mineralu sa savršenom strukturom. Ta svojstva mogu biti vrlo korisna pri determinaciji, posebno zato što se neki minerali karakterizirani specifičnim kutevima među smjerovima kalavosti. **Kalavost** je tendencija minerala da se lomi paralelno atomskim slojevima ili ravninama i odraz je kemijske strukture odnosno postojanja sila vezivanja u strukturi koje su različite jačine u različitim smjerovima. Neki minerali pokazuju kalavost po plohama (ravninama) koje su pod točno određenim kutem, što može poslužiti za njihovo prepoznavanje. **Lom** se javlja kod minerala kod kojih su jačine veza u svim smjerovima gotovo identične te tada lomljenje ne slijedi određeni kristalografski smjer. Može biti školjkast, vlaknast, nepravilan...

2.1.2. *Silikati*

Od 92 kemijska elementa koji se pojavljuju u Zemljinoj kontinentskoj kori, svega njih 8 izgrađuje većinu minerala od kojih se sastoje stijene na Zemlji. Većina takvih petrogenih minerala klasificira se u jednu od 6 kategorija na osnovu njihova kemijskog sastava: silikate, karbonate, okside, sulfide, sulfate i samorodne elemente.

Kao što je spomenuto, većina minerala Zemljine kore i plašta spada u **silikate**. Zbog velike zastupljenosti silicija i kisika i njihova lakog povezivanja, silikati - koji obuhvaćaju više od 1000 različitih minerala - čine više od 90% mase kore. Oni su dominantna komponenta većine stijena, bilo magmatskih, sedimentnih ili metamorfnih.

Različitim načinima vezivanja SiO_4 tetraedara u prostoru nastaje 6 tipova struktura koje odlikuju glavne grupe silikata, koje su: nezosilikati, sorosilikati, ciklosilikati, inosilikati, filosilikati i tektosilikati.



Slika 1. Prikaz izabranih struktura silikata: (a) nezosilikati, (b) inosilikati - jednostruki lanci, (c) inosilikati - dvostruki lanci, (d) filosilikati i (e) tektosilikati. (Chernicoff et al., 2002)

- ✧ **olivin, $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ - nezosilikat;** krist.: romski sustav; habitus: obično kao uklopljena zrna ili zrnate mase; tvrdoća: 6 $\frac{1}{2}$ -7; kalavost: nema; lom: školjkast; sjaj: staklast; boja: svijetlo žuto-zelena do zelena u Mg-bogatim varijetetima, tamnija smeđe-zelena s povećanjem Fe
- ✧ **enstatit-ferosilitna serija, $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$ - inosilikat;** krist.: rompski sustav (=ortopirokseni); habitus: najčešće masivan; tvrdoća: 5 $\frac{1}{2}$ -6; kalavost: dobra po {210} - sijeku se pod $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast do biseran na plohama kalavosti; boja: svijetlo bež kod enstatita, nešto tamnija, metaličastog brončanog sjaja kod hiperstena; tamnije što je više Fe
- ✧ **diopsid $(\text{CaMgSi}_2\text{O}_6)$ - hedenbergitna $(\text{CaFeSi}_2\text{O}_6)$ serija - inosilikati;** krist.: monoklinski sustav (=klinopirokseni); habitus: najčešće u obliku prizmatskih zrna s kvadratičnim do osmerokutnim presjecima; tvrdoća: 5-6; kalavost: dobra po {110} - sijeku se pod $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast; boja: bijela do svijetlo zelena (ovisi o povećanju udjela Fe)
- ✧ **augit, $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe, Al})(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$ - inosilikat;** krist.: monoklinski sustav (=klinopirokseni); habitus: najčešće u obliku prizmatskih zrna s kvadratičnim do osmerokutnim presjecima; tvrdoća: 5-6; kalavost: dobra po {110} - sijeku se pod $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast; boja: vrlo često izrazito tamno zelen do crn

- ✧ **hornblenda, $(\text{Ca}, \text{Na})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5\text{Si}_6(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - inosilikat;** krist.: monoklinski sustav; habitus: prizmatiski kristali, isto i masivni krupno- do sitnozrnati agregati; tvrdoća: 5-6; kalavost: savršena po {110} - sijeku se pod $\sim 124^\circ$; sjaj: staklast; boja: razne nijanse tamno zelene do crne
- ✧ **biotit, $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - filosilikat;** krist.: monoklinski sustav; habitus: listićavi ili masivni agregati; tvrdoća: 2 $\frac{1}{2}$ -3; kalavost: savršena po {001}; sjaj: blistav, sličan dijamantnom; boja: tamno zelena, smeđa, crna, vrlo rijetko svjetlije žuta
- ✧ **muskovit, $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - filosilikat;** krist.: monoklinski sustav; habitus: listićavi ili masivni agregati; tvrdoća: 2-2 $\frac{1}{2}$; kalavost: savršena po {001}; sjaj: staklast do svilenkast ili biseran; boja: bezbojan i proziran u tankim listićima, u agregatima ima svijetle tonove žute, smeđe, zelene, crvene
- ✧ **kvarc, SiO_2 - tektosilikat;** krist.: heksagonski sustav; habitus: najčešće u obliku nepravilnih zrna; tvrdoća: 7; kalavost: nema; lom: školjkast; sjaj: staklast, kod nekih primjera baršunast, blistav; boja: obično bezbojan ili bijel, ali često obojen zbog nečistoća; prozirnakast

Feldspati su najčešći tektosilikati i ujedno najčešći silikatni petrogeni minerali, a dijele se na 2 skupine: alkalijske feldspate (mikroclin, ortoklas i sanidin koje još nazivamo K-feldspatima, te anortoklas i albit) i plagioklase (albit, oligoklas, andezin, labrador, bitovnit, anortit). Albit u mikroskopskim preparatima pokazuje indekse loma niže od kanada-balzama (vezivo u mikroskopskim preparatima standardne vrijednosti indeksa loma), što je inače karakteristika K-feldspata, tako da se u petrološkim klasifikacijama zajedno s njima ubraja u alkalijske feldspate. S druge strane pak, on čini čvrstu otopinu s anortitom, te se iz toga razloga svrstava u plagioklase.

- ✧ **mikroclin, KAlSi_3O_8 - krist.: triklinski sustav; habitus: obično kratkoprizmatiski; albitski, periklinski sraslaci; često u krupnozrnatim, kalavim masama; tvrdoća: 6; kalavost: savršena po {001}, dobra po {010}, $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast; boja: bijela do svijetlo žuta**
- ✧ **ortoklas, KAlSi_3O_8 - krist.: monoklinski sustav; tvrdoća: 6; kalavost: savršena po {001}, dobra po {010}, $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast; boja: bezbojan, bijel, siv, boje mesa**
- ✧ **sanidin, $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ - krist.: monoklinski sustav; tvrdoća: 6; kalavost: savršena po {001}, dobra po {010}, $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast; boja: bezbojan, često proziran**
- ✧ **plagioklasi: albit, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - anortit, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - krist.: triklinski sustav; habitus: pojedinačni kristali su rijetki; obično u sraštenim, kalavim masama i u obliku nepravilnih zrna; tvrdoća: 6; kalavost: savršena po {001}, dobra po {010}, $\sim 90^\circ$; sjaj: staklast do biseran; boja: bezbojan, bijela, svijetlo do tamno siva; tamnije što se sastav više približava anortitu**
- ✧ **leucit, KAlSi_2O_6 - tektosilikati (feldspatoidi); krist.: tetragonski (4/m) ispod 605°C , kubični (4/m $\bar{3}$ 2/m) iznad 605°C ; **K:** nema; **T:** 5 $\frac{1}{2}$ - 6; **S:** staklast do zagasit; **B:** bijela do siva**
- ✧ **nefelin, $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$ - tektosilikati (feldspatoidi); krist.: hex. (6); **K:** uočljiva po {1010}; **T:** 5 $\frac{1}{2}$ - 6; **G:** 2.60 - 2.65; **S:** staklast u kristalima, baršunast u masivnim varijetetima; **B:** bezbojan, bijel, žućkast, u masivnim varijetetima siv, zelenkast, crvenkast**

Spomenuti mineralni predstavnici, ali i svi drugi petrogeni sastojci magmatskih stijena koji su vidljivi golim okom, po boji se mogu podijeliti u dvije grupe: svijetli minerali nazivaju se **leukokratski, salski ili felsični**, a tamno obojeni **melanokratski, femski ili mafitni**. U

leukokratske primjerice spadaju kvarc, feldspati i feldspatoidi, a u melanokratske olivin, pirkoseni, amfiboli i tinjci.

Količine odnosno udjeli silikatnih minerala u stijenama variraju, tako da imaju i različit značaj u definiranju pojedinih magmatskih stijena. U tom se smislu minerali dijele na bitne, sporedne i akcesorne.

Bitni (glavni) minerali su oni minerali koji se u stijeni nalaze u većim količinama, obično preko 10 vol. %, te određuju vrstu stijene. Tako, primjerice, kvarc, feldspati i tinjci bitni sastojci granita, dok je olivin bitan sastojak stijene dunita. **Sporedni se minerali** u stijeni javljaju podređeno, obično u količini do 10 vol. % i definiraju varijetete unutar osnovnih vrsta magmatskih stijena. Primjerice, bazični plagioklas i piroksen bitni su minerali u stijeni gabru, a ako uz njih dolazi i podređena količina olivina, takav varijetet se može označiti kao olivniski gabro. **Akcesorni se minerali** u stijenama javljaju u količinama do 1 vol.% i nemaju značaj pri definiranju vrsta ili varijeteta magmatskih stijena.

Petrogeni minerali koji su nastali direktnom kristalizacijom iz magme nazivaju se **primarni ili magmatski minerali**. Ako je magmatska stijena pretrpjela određene promjene, tada ti primarni minerali (bilo da su oni prema zastupljenosti u stijeni glavni, sporedni ili akcesorni) mogu biti zamijenjeni tzv. **sekundarnim mineralima**. Neki su minerali jako podložni promjenama (npr. feldspati), dok su neki izrazito otporni odnosno rezistentni (npr. kvarc). Te se promjene mogu odigravati u kasnijim fazama kristalizacije magme, odnosno neposredno nakon konsolidacije stijene, pa se nazivaju kasnomagmatskim ili postmagmatskim mineralima. Također, promjene na magmatskim stijenama mogu se odigravati i na površini Zemlje, u kori trošenja, ali i u unutrašnjosti Zemlje procesima metamorfizma.

2.1.3. *Kristalizacija magme i reakcije minerala u magmatskim sustavima*

Pojam **magma** najčešće se odnosi na silikatnu taljevinu (iako postoje i karbonatne i sulfidne) u kojoj se u određenim količinama pojavljuju gotovo svi elementi periodnog sustava. Najzastupljeniji su ipak ioni kisika, silicija, aluminijska, željeza, kalcija, magnezija, natrija, kalija, a u većim količinama prisutna je i voda i CO₂ i manje količine plinovitih komponenti kao što su H₂S, HCl, CH₄ i CO. Hlađenjem takve taljevine u njoj započinje kristalizacija, a redoslijed nastanka pojedinih minerala pokazuje određene zakonitosti.

Što se tiče **rasta kristala** u magmi koja se hladi, on je posljedica dvaju procesa koji se međusobno natječu: s jedne strane to su termalne vibracije koje žele razoriti jezgru potencijalnog minerala, dok suprotno djelovanje imaju privlačne sile koje žele okupiti atome u kristalne strukture. S padom temperature magme, smanjuje se utjecaj termalnih vibracija, što dopušta dominaciju efekta privlačnih sila i rast minerala. Kristalni rast započinje formiranjem kristalizacijske jezgre (klice) koja je nastala kao rezultat spajanja raznih iona i formiranja početnog pravilnog uzorka čvrstog kristala. Ako ta jezgra želi opstati u magmi, mora rasti dovoljno brzo da bi smanjila površinsku energiju i time smanjila topivost u otopini. Prema tome, šansu za opstanak imaće samo ako brzim oblaganjem dosegne kritičnu površinu.

Općenito, **kristalizacija** magme rezultat je dva tipa reakcija koje se u njoj odvijaju: kontinuiranih i diskontinuiranih. Kontinuirane reakcije odvijaju se u serijama čvrstih otopina pri čemu se sastav ranije formiranih kristala mijenja kontinuirano zbog interakcije minerala s okolnom taljevinom. U diskontinuiranim reakcijama dolazi do interakcije ranije formiranih minerala s taljevinom pri čemu dolazi do rasta novih minerala s drugačijom kristalnom strukturom i drugačijim kemijskim sastavom u odnosu na prethodni mineral. Takve kontinuirane i diskontinuirane reakcije, kao i separacija magme i kristalizacija, dovode do diferencijacije magme, pa tako iz jedne, primarno homogene otopine (taljevine) mogu nastati brojni različiti produkti odnosno različite stijene.

Procesi **kristalizacijske diferencijacije** imaju daleko najvažniju ulogu u evoluciji magme. Oni se temelje na činjenici da se sastav magme u toku njene kristalizacije stalno i postepeno mijenja u ovisnosti od izdvojenih kristala koji mogu na neki način biti uklonjeni iz same magme. Zbog toga se ovaj proces još naziva i frakcijska kristalizacija.

Prvi koji je razradio proces kristalizacijske diferencijacije ili frakcijske kristalizacije bio je Bowen, pa prema njemu ta serija reakcija nosi i naziv **Bowenova reakcijska serija ili niz**. Ukratko, Bowenova reakcijska serija prikazuje idealizirani slijed kojim minerali kristaliziraju iz magme. Kako za vrijeme kristalizacije istovremeno dolazi do diskontinuiranih i kontinuiranih reakcija, one se direktno ogledaju u kristalizaciji određenih minerala koja se samim time odvija u dvije serije: diskontinuiranoj i kontinuiranoj. Važno je napomenuti da minerali obiju serija kristaliziraju istovremeno!

2.1.3.1. Diskontinuirana serija

Svi minerali **diskontinuirane serije** su feromegnezijski. Ako promatramo izdvojeno samo ovu seriju, s početkom pada temperature i početkom kristalizacije magme doći će prvo do kristalizacije **olivina**. On je mineral s vrlo visokim omjerom (2:1) željeza i magnezija prema siliciju - formula mu je $(\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4$. Taljevina preostala nakon njegove kristalizacije relativno je osiromašena na željezu i magneziju, a relativno bogatija silicijem. Kako se taljevina dalje hladi, dolazi do temperature na kojoj će početi kristalizacija slijedećeg minerala diskontinuirane serije, a to su **pirokseni**. Oni će kristalizirati "na štetu" olivina. Naime, prethodno iskristalizirani olivin sada reagira s preostalom taljevinom te dolazi do izmjene prvotne strukture olivina u onu piroksena (strukturno gledano, od samostalnih Si-O tetraedara u jednostruke lance istih). Kristalna struktura piroksena, pojednostavljeno prikazanog formulom $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$, udomljuje veću količinu silicija u odnosu na željezo i magnezij - omjer je 1:1. Nakon što je sav olivin odreagirao s taljevinom da bi nastao piroksen, temperatura magme može se dalje snižavati pri čemu će doći do direktne kristalizacije piroksena iz taljevine.

Međutim, ako je početna taljevina bila bazaltnog sastava, vrlo je vjerojatno sva bila utrošena prije no što je sav olivin odreagirao s taljevinom. U tom slučaju bi stijena koja je tako nastala imala u mineralnom sastavu samo olivine i piroksene kao feromagnezijske minerale, koji bi (zajedno s odgovarajućim mineralima iz kontinuirane serije, a to su plagioklasi) sačinjavali stijenu - bazalt. No, ako je početna taljevina bila nešto kiselija odnosno bogatija silicijem ili ako su ranije iskristalizirani feromagnezijski minerali bili uklonjeni iz taljevine, tada bi nakon kristalizacije piroksena ostalo dovoljno taljevine za kristalizaciju slijedećeg minerala diskontinuirane serije - **amfibola**.

Dakle, pod pretpostavkom da je bilo dovoljno taljevine kada je hlađenjem dosegnuta temperatura kristalizacije amfibola, ranije iskristalizirani piroksen počinje reagirati s taljevinom - njegova struktura prelazi u dvolančastu strukturu amfibola. Samim time veća količina silicija napušta taljevinu (zajedno s aluminijem, kalcijem i menjim količinama natrija) i ugrađuje se u te nove amfibole.

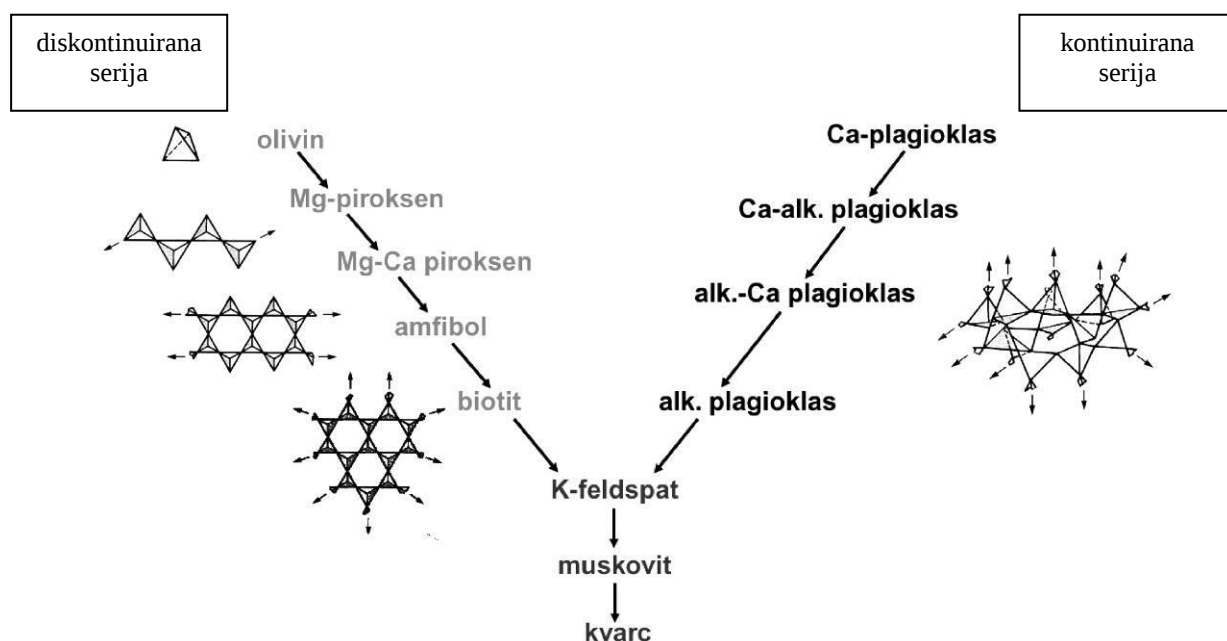
Ako je preostalo taljevine i nakon kristalizacije amfibola, daljnjim hlađenjem dolazi do njene reakcije s amfibolom i nastaje **biotit** (koji je po strukturi filosilikat). Biotit je posljednji feromagnezijski mineral koji će kristalizirati. Bilo koja taljevina preostala nakon kristalizacije biotita sadrži vrlo male količine željeza ili magnezija.

2.1.3.2. Kontinuirana serija

Plagioklas je mineral kontinuirane serije. Silicij i aluminij, koji su sastavni dio svih feldspata, kombiniraju se s kalcijem i natrijem kako bi izgradili plagioklase. Kalcijem bogati plagioklas kristalizirat će prvi, pri najvišim temperaturama, a s polaganim napredovanjem hlađenja kristalizirat će plagioklasi sa sve većim udjelom natrija. Ako se primjerice bazalna magma, koja je bogatija kalcijem u odnosu na natrij, polako hladi, prvo će kristalizirati kalcijem izrazito bogati plagioklasi. Kako hlađenje napreduje, kristali plagioklasa reagirat će s taljevinom i dalje rasti. Takvi će plagioklasi imati sve viši udio natrija u odnosu na kalcij.

Kristalizacija plagioklasa će se zaustaviti kada sastav plagioklasa (odnosno udio anortitne komponente u plagioklasima) promatran na solidusu dosegne sastav kakav je bio u magmi s početkom njene kristalizacije. Pri tome sastav zadnje taljevine, a time i ruba plagioklasa u tom sustavu pokazuje točka iste temperature na likvidusu. U slučaju bazaltne magme, to će se dogoditi pri relativno visokoj temperaturi (približno onoj na kojoj kristalizira piroksen u diskontinuiranoj seriji). Ako je početni omjer kalcija prema natriju u magmi niži (ili ako je Ca-bogati plagioklas uklonjen iz taljevine), plagioklasi će nastaviti kristalizirati i pri nižim temperaturama.

Bilo koja taljevina preostala nakon kristalizacije obiju serija, kontinuirane i diskontinuirane, bogatija je silicijem od početne taljevine i sadrži veće količine kalija i aluminija. Kombinacijom upravo tih dvaju elemenata sa silicijem nastaju **kalijski feldspati** (ako je u toj fazi bio i visok parcijalni tlak vode, može nastati i **muskovit**). Višak SiO_2 kristalizirat će u konačnici kao **kvarc**.



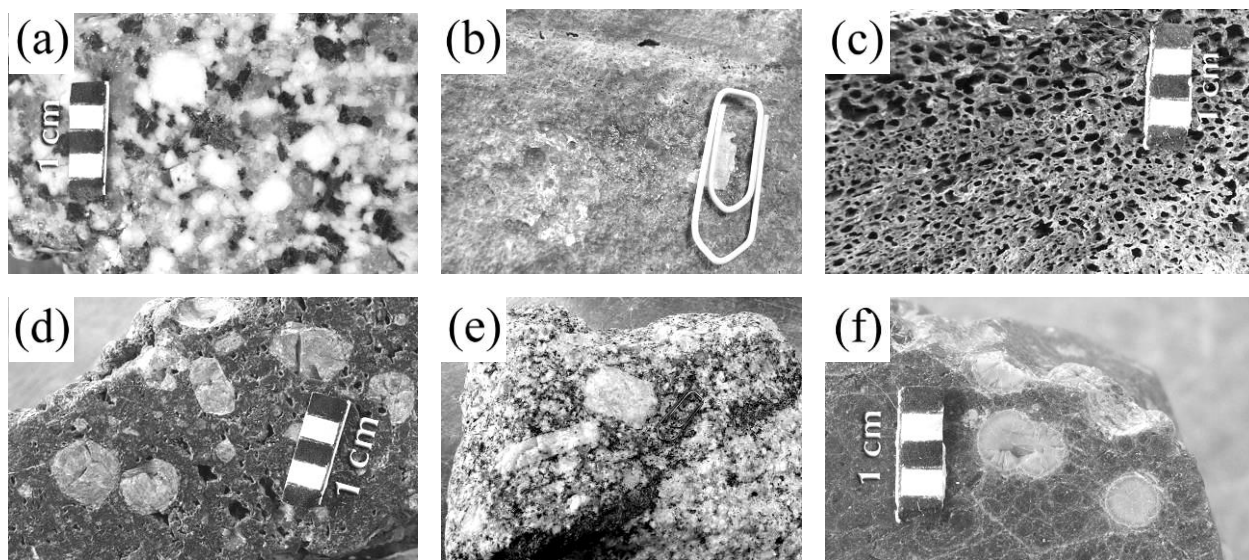
Slika 2. Shematski prikaz Bowenove reakcijske serije ili niza.

Bowenova reakcijska serija sastoji se od dviju serija: diskontinuirane i kontinuirane. Obje serije kristaliziraju istovremeno s hlađenjem magme i "sastaju" se u točki kristalizacije K-feldspata.

2.2. STRUKTURE I TEKSTURE MAGMATSKIH STIJENA

Tekstura označava način na koji minerali zauzimaju prostor u stijeni. Glavnu ulogu pri njihovoj nastanku imaju geološki uvjeti koji su stvorili samu stijenu. Tekstura može biti homogena, fluidalna, vezikularna, mandulasta, aglomerirana i sferulitska.

Za **homogenu** teksturu karakterističan je ravnomjeran raspored mineralnih zrna u stijeni, gdje ne postoji preferirana orijentacija pojedinih zrna. Takva je tekstura karakteristična za intruzivne magmatske stijene. Kod nekih magmatskih stijena vidljiv je paralelan raspored minerala koji nije rezultat djelovanja tlaka već kretanja magme za vrijeme kristalizacije. Tako primjerice nastaje **fluidalna** tekstura. **Vezikularna** tekstura odlikuje se brojnim šupljinicama koje su nastale ekspanzijom plinova za vrijeme kristalizacije ili skrutnjavanja magme. Ako su te šupljine ispunjene sekundarnim mineralima (kalcit, klorit, zeoliti...), tada stijena pokazuje **mandulastu** ili **amigdaloidnu** teksturu. Ako je u stijeni došlo do mjestimičnog nakupljanja minerala, ona tada ima **aglomeriranu** teksturu. **Sferulitska** se struktura odlikuje prisutnošću sferulita - radijalno-zrakastih ili koncentričnih kuglica izgrađenih od kristalnih vlaknaca, iglica i/ili stakla.



Slika 3. Prikaz osnovnih tekstura magmatskih stijena: (a) homogena, (b) fluidalna, (c) vezikularna, (d) mandulasta, (e) aglomerirana i (f) sferulitska.

Pod pojmom **struktura** podrazumijeva se arhitektura stijene. Ona obuhvaća stupanj kristaliniteta, veličinu zrna, oblik zrna te odnos i raspored pojedinih mineralnih zrna u stijeni. Osnovne strukturne karakteristike stijene rezultat su fizičko-kemijskih uvjeta pod kojima je ona kristalizirala.

Strukture se dijele prema obilježjima na koja se odnose.

Prema **stupnju kristaliniteta** strukture mogu biti:

- holokristalina - potpuno kristalizirana stijena, nastaje pri vrlo polaganom hlađenju magme;
- hijalina - potpuno staklaste (amorfne) stijene, nastale pri naglom hlađenju magme, kada nije bilo dovoljno vremena da dođe do kristalizacije;
- hipokristaline i hipohijaline - djelomično kristalizirane, a djelomično amorfne stijene.

Strukture se prema **veličini zrna** dijele na:

- makrokristalinu (fanerokristalinu ili fenokristalinu) - ako se sastojci stijene mogu razabrati golim okom;
- afanitsku - mineralna zrna nisu vidljiva golim okom ni ručnom lupom;

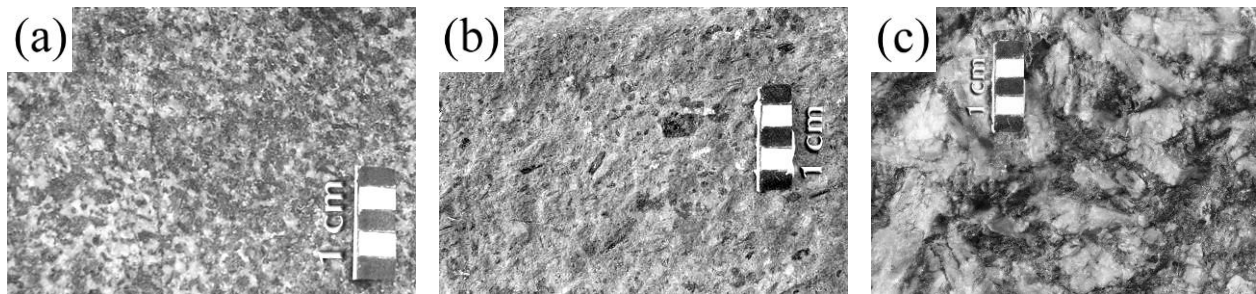
- a. mikrokristalinu - pojedina mineralna zrna vide se optičkim mikroskopom
- b. kriptokristalinu - veličina zrna opaža se ogibom RTG zraka ili elektronskim mikroskopom.

Prema **obliku**, mineralna zrna mogu biti:

- a) idiomorfna (euhedralna) - imaju razvijene vlastite kristalografske forme;
- b) hipidiomorfna (subhedralna) - vlastite forme samo su djelomično razvijene;
- c) alotriomorfna (anhedralna) - nemaju vlastitih formi, javljaju se u nepravilnim oblicima.

Strukture prema **odnosu i rasporedu pojedinih mineralnih zrna u stijeni** mogu biti:

- a) zrnata str. - osnova je u potpunosti iskristalizirana, a mineralna zrna su podjednake veličine (karakteristična za intruzive!);
- b) porfirna str. - sastoji se od krupnijih, većinom idiomorfni mineralnih zrna (utrusaka ili fenokristala) koji se nalaze u sitnozrnatoj osnovi (karakteristična za efuzive!);
- c) ofitska str. - prijelazna struktura između porfirne i zrnate, karakteristična za žične stijene; sastoji se od uglavnom idiomorfni, prizmatičnih kristala plagioklasa koji su različito orijentirani između kojih se nalaze nešto manja i nepravilna druga mineralna zrna (augit, hornblenda...).



Slika 4. Osnovne strukture magmatskih stijena: (a) zrnata, (b) porfirna i (c) ofitska.

Još neke specifične strukture magmatskih stijena

- mikrografska struktura (prorastanje) = pravilno prorastanje kvarca i ortoklasa
- mirmekitska struktura = crvoliko prorastanje kvarca i kiselog plagioklasa (poznata su još takva prorastanja nefelina i feldspata, kvarca i turmalina)
- poikilitiska struktura = ona u kojoj neki veliki mineral (ujedno mlađi) uklapa mnoštvo različitih sitnih (ranije kristaliziranih, starijih) minerala
- kelifitska struktura = oko jedne vrste minerala postoji reakcijski (kelifitski) ovoj ili korona, koji nastaje kao posljedica neravnoteže fenokristala i osnove
- pertitska = alkalni feldspati kao domaćin s izlučenim Na-bogatim plagioklasima (pertitska proraštanja)
- gabro-struktura = jedna od tipičnih struktura intruziva; dolazi do međusobnog zadiranja mineralnih zrna klinopiroksena i plagiokasa, što se odražava na jako dobra fizička svojstva stijene

2.3. KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STIJENA

Prema **kiselosti** odnosno težinskom udjelu SiO_2 , magmatske se stijene dijele na:

1. **kisele** - sadrže >63 tež. % SiO_2 uz koji se javljaju i veće količine Al, K, Na
2. **neutralne** - sadrže 52-63 tež. % SiO_2 uz koji se javljaju i veće količine Al, Ca, Na, Fe i Mg
3. **bazične** - sadrže 45-52 tež. % SiO_2 uz koji se javljaju i veće količine Al, Ca, Fe i Mg
4. **ultrabazične** - sadrže <45 tež. % SiO_2 uz koji se javljaju i veće količine Mg, Fe, Al, Ca

Ultrabazične magmatske stijene su tamnih boja i velike gustoće, zato što u njihovoj građi dominiraju željezom i magnezijem bogati silikati - olivini i pirokseni - a ne sadrže svijetle minerale. Ultrabazične se stijene javljaju samo kao intruzivi.

Glavni minerali **bazičnih** stijena su pirokseni, kalcijski plagioklasi i manje količine olivina. Javljaju se kao efuzivi, intruzivi i žične stijene.

Neutralne su stijene nešto svjetlije boje u odnosu na bazične zbog višeg sadržaja SiO_2 . Uglavnom se sastoje od feromagnezijskih minerala poput piroksena i amfibola, zajedno sa natrijem i aluminijem bogatim mineralima poput natrijskih feldspata i tinjaca, a može biti prisutna i manja količina kvarca. Također se javljaju efuzivni i intruzivni varijeteti, te žične stijene.

Kisele magmatske stijene sadrže znatnu količinu silicija u odnosu na pretodne skupine. Općenito se bitno svjetlije boje jer su siromašne željezom, magnezijem i kalcijским silikatima, a bogate kalijским feldspatima, aluminijem bogatim tinjcima i kvarcom. Javljaju se kao efuzivi, intruzivi i žične stijene.

Terenska klasifikacija magmatskih stijena temelji se na podacima o mineralnom sastavu magmatskih stijena. Redovi u terenskoj klasifikaciji odnose se na familije magmatski stijena odnosno njihovu podjelu prema kiselosti na ultrabazične, bazične, neutralne i kisele, a vertikalni stupci na serije koje ovise o vrsti prevladavajućih feldspata opaženih u stijeni. Dodatno se stijene unutar svake familije dijele na efuzivne i intruzivne ekvivalente.

ALKALIJSKA SERIJA	MONZONITSKA SERIJA	KALCIJSKO- ALKALIJSKA SERIJA	
<i>K-feldspati ± feldspatoidi</i>	<i>K-feldspati + plagioklasi</i>	<i>plagioklasi</i>	<i>mineralni sastav</i> ↕
granit	adamelit	granodiorit	kvarc + biotit (hornblenda)
riolit	delenit	dacit	
sijenit	monzonit	diorit	hornblenda ± biotit (piroksen)
trahit	trahi-andezit	andezit	
alk. gablo	kentalenit	gablo	piroksen ± olivin
alk. bazalti	trahi-bazalt	bazalt	
			olivin, piroksen
			dunit peridotit piroksenit

 intruzivi
 efuzivi

3. SEDIMENTNE STIJENE

Sedimentne stijene nastaju fizičkim, kemijskim i biološkim procesima. Na temelju dominantnih procesa kojima su nastale mogu se podijeliti u četiri osnovne kategorije. **Siliciklastične (terigene)** sedimentne stijene sastoje se od fragmenata ili klasta starijih stijena, koji su bili transportirani i istaloženi fizičkim procesima. Ovoj skupini pripadaju konglomerati, breče, pješčenjaci i muljnjaci. Sedimentne stijene većinom **biogenog, biokemijskog i organskog porijekla** su vapnenci, koji mogu biti izmijenjeni u dolomite, a u ovu skupinu spadaju još i rožnjaci i ugljen. U sedimentne stijene **kemijskog** postanka spadaju evaporiti. Četvrtu kategoriju čine **vulkanoklastične stijene** koje se sastoje od fragmenata lave i stijena koji potječu od vulkanske aktivnosti koja se odvijala istovremeno sa sedimentacijom.

Kratki shematski prikaz koji će olakšati prepoznavanje i opisivanje pojedinih sedimentnih stijena: što i kako opažati?

Boja

Boju sedimentnih stijena trebalo bi biti lako prepoznati. Ona obično odražava sadržaj organske tvari i oksidacijsko stanje željeza. Naime, s porastom udjela organske tvari boja stijene je sva tamnija, od sive prema crnoj. Ako je željezo prisutno u stijeni u obliku Fe^{2+} (u mineralima glina, npr. kloritu i nekim željezovitim mineralima) daje stijeni zelenkastu boju, a ako je prisutno kao Fe^{3+} (npr. hematit) daje crvenu ili žućkastosmeđu (npr. goethit-limonit) boju. Neke sedimentne stijene mogu imati specifičnu boju, kao što je bijela kod čistog anhidrita i gipsa.

Struktura

Golim okom ili džepnom lupom može se odrediti veličina zrna kod velikog broja stijena, te njihova zaobljenost i sortiranost. Ukoliko je moguće, potrebno je odrediti i vrstu kontakta među zrnima, te postoji li kakva preferirana orijentacija zrna.

Sastav

Pješčenjak: sastavljen od kvarca, feldspata i fragmenata stijena. Na osnovu udjela matriksa moguće je odrediti radi li se o arenitima ili grauvakama.

Vapnenac (šumi i pjeni se u dodiru s razrijeđenom HCl; ne ostavlja trag na čekiću prilikom grebanja jer je mekši): potrebno je utvrditi od kakvih se čestica sastoji i kojem tipu pripada (prema Folkovoj klasifikaciji).

Dolomit (ne šumi ili slabo šumi u dodiru s razrijeđenom hladnom HCl): da li je vidljiva kristalna građa, jesu li sačuvani fosili ili taložne teksture. Osim po obično sivkastijoj nijansi, od vapnenca se u većim masama mogu razlikovati i po tome što pokazuju relativno pravilne, romboidne lomove.

Pelitni sedimenti: ukoliko je cjepiv u listove, tada se radi o šejlu, a ako je masivniji tada je muljnjak.

Konglomerati: mogu biti monomiktini ili polimiktini (na temelju sastava valutica), te ortokonglomerati ili parakonglomerati (na temelju kontakta među valuticama).

Rožnjaci: obično pokazuju školjkast do iverast lom, tvrdi su (prilikom grebanja ostavljaju trag na čekiću).

Određene sedimentne teksture kao što su slojevitost, laminacija, teksture na donjim slojnim plohama itd., kao i prisutnost različitih fosila, mogu dati informacije o okolišima u kojima su istraživane stijene nastajale.

Na temelju sastava i strukturno-teksturnih karakteristika sedimentne stijene može se dobiti mnogo informacija o stijeni porijeklu i uvjetima postanka te stijene.

1. Kakva je bila klima?

- **aridna (suha) klima**

- **hladna** - nema kemijskog trošenja ili je vrlo sporo

- **topla** - izlučivanje bezvodnih minerala ili pustinjačkih prevlaka

- **vlažna hladna ili umjerena klima**

- kemijskom trošenju podložni su skoro svi minerali osim kvarca

- kao produkt trošenja nastaju minerali glina (autigeni minerali)

- **vlažna tropska (humidna) klima**

- kemijsko trošenje brzo i intenzivno

2. Kakav je bio teren tj. reljef?

- **blagi zaravnjeli teren** → bez erozije ili slaba erozija → duža izloženost na površini Zemlje → snažno kemijsko trošenje

- **strmi reljef** → snažna erozija → kratka izloženost na površini Zemlje → slabije izraženo kemijsko trošenje

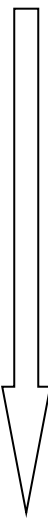
3. Koliko je dugo materijal transportiran prije taloženja i kojim mehanizmima?

- **voda** = dobro sortiranje materijala; ako je bilo dugotrajnije, fragmenti su zaobljeniji

- **vjetar** = dobro sortiranje materijala, fragmenti su još prilično uglati

- **ledenjaci** = slabo sortiran materijal

- **gravitacijska kretanja** = slabo zaobljena zrna, lošija sortiranost

Stabilnost minerala	Brzina trošenja	Bowenova reakcijska serija
NAJSTABILNIJI		
<i>Fe oksidi/ hidroksidi</i>		
<i>Al hidroksidi</i>		zadnji kristaliziraju
Kvarc		KVARC
<i>Gline</i>		
Muskovit		Muskovit
K-feldspati		K-feldspati
Biotit		Biotit
Na- feldspati		Na-feldspati
Amfiboli		Amfiboli
Pirokseni		Pirokseni
Ca-feldspati		Ca-feldspati
Olivin		Olivin
<i>Kalcit</i>		prvi kristaliziraju
<i>Halit</i>		
NAJNESTABILNIJI		

Slika 5. Stabilnost češćih minerala i njihova otpornost prema trošenju

3.1. KLASTIČNE (SILICKLASTIČNE) SEDIMENTNE STIJENE

Silicklastične sedimentne stijene predstavljaju raznovrsnu grupu stijena, raspona od sitnozrnatih pelitnih sedimenata, preko pješčenjaka, sve do krupnozrnatih konglomerata i breča. Oni su većinom sastavljeni od čestica (klasta) koje potječu od magmatskih, metamorfnih i starijih sedimentnih stijena. Klastična zrna oslobađaju se mehaničkim i kemijskim procesima trošenja, a do mjesta taloženja transportiraju se raznim mehanizmima, kao što su vjetrovi, ledenjaci, riječni tokovi, valovi, plimne struje, detritni tokovi i mutne struje. Konglomerati su sastavljeni uglavnom od valutica i velikih blokova građenih od raznih vrsta stijena. Pješčenjaci također sadrže fragmente stijena, ali većinu čestica čine pojedinačni kristali, uglavnom kvarca i feldspata, koji su u raznoj mjeri abradirani. Sitnije čestice nastale trošenjem i razlamanjem primarnih stijena, a sastavljene uglavnom od minerala glina, prevladavaju u pelitnim sedimentima i tvore matriks u nekim pješčenjacima i konglomeratima.

Dva važna obilježja silicklastičnih sedimenata su njihove sedimentne teksture i strukture, od kojih su mnoge nastale taložnim procesima, dok su ostale post-taložnog ili dijagenetskog postanka. Mnoge sedimentne teksture prisutne u pješčenjacima nalazimo također i u vapnencima, te u nekim drugim vrstama sedimentnih stijena.

3.1.1. Struktura sedimenata

Struktura sedimenata podrazumijeva veličinu zrna i parametre veličine zrna, morfologiju zrna, strukturu površine zrna i sklop zrna. Na temelju strukturnih svojstava definira se strukturna zrelost sedimenata. Struktura klastične stijene najvećim dijelom odražava taložne procese. Zbog toga se strukturna obilježja mnogih recentnih sedimenata iz različitih okoliša istražuju s ciljem boljeg tumačenja sedimentnih stijena.

Veličina zrna je temeljni opisni element svih sedimentnih stijena. Od raznih predloženih ljestvica, u najširoj uporabi i najviše prihvaćena je ljestvica J. A. Udden, temeljeno na konstantnom omjeru dviju uzastopnih granica klasa, zajedno s nazivima klasa C. K. Wentwortha. Prema Udden-Wentworthovu mjerilu sedimenti su razvrstani u sedam kategorija: glina, prah (silt), pijesak, granule, valutice, oblutci i blokovi, pijesak se još dijeli u pet grupa, a silt u četiri.

Slika 6. Skala veličine čestice sedimenata i sedimentnih stijena (Tucker, 2008).

Duljina (mm)		Klasa	Naziv sedimenta/stijene
φ		veliki blok	megakonglomerat
4096 — - 12	vk	blok	šljunak konglomerat
2048 — -11	k		
1024 — -10	sr		
512 — -9	s		
256 — -8	k	oblutak	
128 — -7	s		
64 — -6	vk	valutica	
32 — -5	k		
16 — -4	sr		
8 — -3	s		
4 — -2		granula	pijesak pješčenjak
2 — -1	vk	pijesak	
1 — 0	k		
0.50 — 1	sr		
0.25 — 2	s		
0.125 — 3	vs	prah (silt)	prahovnjak (silit)
0.063 — 4	k		
0.031 — 5	sr		
0.015 — 6	s		
0.008 — 7	vs	glina	glinjak
0.004 — 8			

Strukturna zrelost

Strukturno **nezreli** sedimenti imaju mnogo matriksa, slabu sortiranost i uglata zrna; **zreli** sedimenti imaju malo matriksa, osrednju do dobru sortiranost i poluzaobljena do zaobljena zrna; strukturno **superzreli** pješčenjaci uopće nemaju matriksa, vrlo su dobro sortirani i imaju vrlo dobro zaobljena zrna. Primarna poroznost i propusnost rastu s porastom strukturne zrelosti, budući da sediment sa zrelošću ima sve manje matriksa, a sve više pornog prostora.

Premda strukturna zrelost u pješčenjacima najviše odražava taložne procese, ona može biti izmijenjena dijagenetskim procesima. Sedimenti su uglavnom strukturno nezreli tamo gdje je aktivnost struja bila minimalna, a neprekidna aktivnost struja ili vjetrova pak rezultira zrelijim pješčenjacima. Primjeri strukturno nezrelih sedimenata su mnoge riječne i ledenjačke naslage, a tipični superzreli sedimenti su pustinjski, plažni i plitkomorski pješčenjaci.

3.1.2. Sedimentne teksture

Sedimentne teksture su obilježja većih dimenzija, u koje se ubrajaju općepoznata kosa slojevitost, riplovi, tragovi tečenja i utiskivanja, te tragovi životne aktivnosti različitih organizama. Glavnina tekstura nastaje fizičkim procesima prije, tijekom i nakon sedimentacije, dok ostale nastaju organskim i kemijskim procesima. Sedimentne teksture, posebno one nastale tijekom sedimentacije, koriste se u razne svrhe:

1. za tumačenje taložnog okoliša u smislu procesa, dubine vode, jačine vjetrova, itd.;
2. za utvrđivanje taložne orijentacije (ispravnog tj. primarnog položaja sloja) unutar slijeda stijena intenzivno boranog područja;
3. za donošenje zaključaka o paleotransportu i paleogeografiji.

Premda ne postoji općeprihvaćena klasifikacija sedimentnih tekstura, četiri glavne grupe obuhvaćaju (a) erozijske, (b) taložne, (c) post-taložne/dijagenetske i (d) biogene teksture.

3.1.2.1. Erozijske sedimentne teksture

Većina ovih tekstura nastala je erozijskim djelovanjem tokova, kako vodenih tako i onih bogatih sedimentom, te erozijom čestica (detritusa) koje su tijekom transporta udarale o površinu sedimenta, prije taloženja pokrovnog sloja. Najpoznatije teksture su one na donjim slojnim plohama, tragovi tečenja i tragovi vučenja čestica, koji se pojavljuju na donjoj strani mnogih slojeva istaloženih mutnim i olujnim strujama. Ostale teksture iz ove grupe su brazde izdubljene naletom vode i kanali.

Tragovi tečenja (*flute marks*) imaju specifičan izgled oblika lopatice ili potpetice, sastavljen od zaobljenog ili ispupčenog uzvodnog kraja, koji se u nizvodnom smjeru širi i stapa sa slojnom plohom. U presjeku su asimetrični s najdubljim dijelom na uzvodnom kraju. Prosječna širina im je 5-10 cm, a duljina 10-20 cm. Pojavljuju se u grupama i svi su slične orijentacije i veličine. Postanak tragova tečenja pripisuje se lokaliziranoj eroziji strujama koje sa sobom nose pijesak, a teku preko površine kohezivnog mulja. Trag tečenja nastane kada se na njegovu uzvodnom rubu tok struje odvoji od površine sedimenta, a unutar traga (jamice) ostane zarobljen mali vrtlog koji rotira u horizontalnoj ravnini. Zbog velike brzine struje vrtlog izbaci sediment iz jamice, u kojoj se istaloži sediment nakon što struja uspori. Tragovi tečenja su karakteristične teksture turbidita, a pouzdano ukazuju na smjer toka.

Tragovi vučenja (*groove marks*) linearni su hrptovi s donje strane pješčenjačkih slojeva, a nastali su ispunjavanjem žljebova usječenih u muljevitoj podlozi. Mogu biti pojedinačni ili ih je cijelo mnoštvo, svi paralelni ili s manjim odstupanjima u orijentaciji. Uglavnom se smatra da nastaju predmetima nošenima tokom, npr. fosilima, valuticama ili muljnim klastima, koji izdube

trag u mulju. Ti predmeti se rijetko nalaze na kraju traga. Tragovi vučenja česti su na donjim slojnim plohama turbiditnih slojeva, ali mogu nastati i drugdje, npr. na poplavnim ravnicama kada rijeka probije svoj nasip, te na plitkomorskim klastičnim šelfovima i karbonatnim rampama u vrijeme olujnih struja. Tragovi vučenja koristan su pokazatelj paleotransporta.

Erozijski žljebovi (*gutter casts*) slični su tragovima vučenja, a imaju oblik izduženih hrptova na donjim slojnim plohama pješčenjaka ili krupnozrnatih vapnenaca. U presjeku su u obliku slova U ili V, širine 10-20 cm i približno iste dubine. Ravni su ili se povijaju, a mogu se protezati metrima. Te teksture su česte u plitkomorskim sedimentima gdje se pripisuju eroziji fluidima, a u mnogim slučajevima se radi o olujnim strujama.

Tragovi udaraca (*impact marks*) nastaju udaranjem predmeta nošenih tokom o površinu sedimenata. Ovisno o načinu udara razlikuju se razne vrste, a to su tragovi zadiranja (*prod marks*), odskakivanja (*bounce marks*), otiranja (*brush marks*), poskakivanja i kotrljanja (*skip and roll marks*). Objekti koji ih stvaraju većinom su fosili i valutice. Tragovi udaraca česti su na donjim slojnim plohama turbiditnih naslaga, a češći su u njihovim distalnim (udaljenijim) dijelovima zbog slabljenja struje.

Kanali i brazde izdubljene naletom vode (*channels, scours*) nalaze se u sedimentima gotovo svih okoliša. Kanali su uglavnom metarskih dimenzija, a u nekim slučajevima kilometarskih, dok brazde izdubljene naletom vode predstavljaju erozijska obilježja manjih dimenzija i pojavljuju se unutar ili u bazi slojeva. Obje teksture prepoznatljive su po tome što presijecaju slojne plohe i laminaciju podinskih sedimenata. Brazde u tlocrtu izgledaju većinom ovalne do izdužene, a u vertikalnom presjeku su konkavne, glatkog do nepravilnog oblika. U njima može biti nešto krupnijeg sedimenata ili čak valutica. One predstavljaju kratkotrajne erozijske događaje.

U odnosu na brazde izdubljene naletom vode, kanali predstavljaju bolje organizirane teksture, a u mnogima od njih transportirao se sediment i voda tijekom duljih razdoblja. Brojni kanali sadrže koso slojevite pijeske nastale nizvodnim seljenjem dina i pješčanih valova. Mnoge ispune kanala predstavljaju izdužena linearna pješčana tijela, ali neki kanali zbog bočnog seljenja (npr. meandrirajuće rijeke i plimni kanali) daju daleko prostranije pješčane slojeve čije je dno u oštrom kontaktu s podlogom. Kanali nastaju u brojnim okolišima; osobito dobro poznati su oni u riječnim i deltnim okolišima, ali ima ih i u područjima ledenjaka, plimnih ravnica, rubova šelfa, padina i podmorskih lepeza.

3.1.2.2. Taložne sedimentne teksture

Slojevitost i laminacija

Karakteristično obilježje sedimentnih stijena je njihova stratificiranost odnosno **slojevitost**, koja uglavnom nastaje zbog promjene u načinu sedimentacije, a obično se radi o promjeni sastava sedimenata i/ili veličine zrna. Slojevitost se općenito definira kao sedimentna jedinica debljine veće od 1 cm. Slojevitost manjih, milimetarskih dimenzija naziva se **laminacija**, koja obično čini unutarnju teksturu sloja. Većina slojeva istaloži se unutar vremenskog raspona od nekoliko sati do nekoliko dana (primjer su turbiditi i olujni slojevi), a godinama, desecima godina ili čak dulje talože se slojevi mnogih marinskih šelfnih pješčenjaka i vapnenaca. Slojne plohe (*bedding planes*) mogu predstavljati znatna vremenska razdoblja tijekom kojih nije bilo većeg taloženja i kada je sediment mogao biti premještan uokolo. Naknadne modifikacije slojnih ploha rezultat su erozije tijekom taloženja sljedećeg sloja, zatim deformacije nastale taloženjem i kompakcijom, te otapanja pod pritiskom krovinskih slojeva. Tektonski pokreti također utječu na slojne plohe.

Laminacija proizlazi iz promjena veličine zrna među laminama, građenja veličine zrna unutar lamina i promjena sastava lamina. Često se događa da svaka pojedina lamina predstavlja jedan taložni događaj, što je u vremenskom smislu gotovo trenutačno, ali to može biti i mnogo duljeg trajanja.

Paralelna laminacija, također poznata i kao planarna, ravna ili horizontalna laminacija, može nastati na nekoliko načina. U sitnozrnatim pijescima i glinama uglavnom nastaje

taloženjem iz suspenzije, sporim oblacima sedimenta ili mutnim strujama male gustoće. Takvih lamina ima u gornjim dijelovima turbiditnih slojeva, te u varvama i ritmički laminiranim naslagama glacijalnih i ostalih jezera. Lamine također mogu nastati i kemijskim taloženjem, kao što je slučaj s podvodnim evaporitima, i tijekom cvjetanja fitoplanktona kada nastaju slojevi bogati organskom tvari. Mikrobne lamine tvore planarne stromatolite česte u vapnencima plimnih ravnica. Paralelna laminacija u pješčanom sedimentu, također poznata kao horizontalna slojevitost, nastaje turbulentnim tokovima velikih brzina.

Strujni riplovi, dine i kosa slojevitost

Strujni riplovi i dine oblici su dna koji se sele nizvodno, a nastaju jednosmjernim vodenim tokovima. Njihov nastanak ovisi o brzini toka, njegovoj dubini i veličini čestica sedimenta. Česti su u rijekama, estuarijima, plimnim ravnica, deltnim kanalima, duž obala i na plitkomorskim šelfovima; riplova također ima i na dubokomorskom dnu. Strujni riplovi ostaju sačuvani u starijim naslagama najčešće netaknuti, što je s pravim dinama vrlo rijedak slučaj; no međutim, seljenjem dina nastaje kosa slojevitost koja predstavlja jednu od najčešćih taložnih tekstura, prisutnu u stijenama građenima od čestica veličine pijeska.

Strujni riplovi su oblici dna manjih dimenzija čije valne duljine iznose manje od nekoliko desetaka centimetara, a visine su im manje od nekoliko centimetara. Njihov asimetričan profil sastoji se od strmije, nizvodno okrenute zaklone strane i blage, uzvodno okrenute priklone strane. Oblik riplova i dina srazmjeran je snazi toka; porast brzine toka praćen je sljedećim redoslijedom oblika riplova: ravne kreste, sinusoidalne, jezičaste; kod dina je taj redoslijed sljedeći: ravne kreste, sinusoidalne, lančaste, srpaste.

Do nizvodnog seljenja riplova i dina dolazi zbog erozije sedimenta priklone strane i njegova transporta do kreste, s koje se zatim odronjava niz padinu zaklone strane. Prolaskom struje nad oblikom dna dolazi do njena razdvajanja na kresti i stvaranja vrtloga unutar korita. Vrtloženjem nastaje povratni tok koji može preraditi sediment na dnu zaklone strane.

Nizvodnim seljenjem dina u uvjetima kompleksne sedimentacije nastaje **kosa slojevitost**, a seljenjem riplova **kosa laminacija**. Kosi slojevi (i lamine) predstavljaju nekadašnji položaj zaklone strane riplova i dina. Dvije osnovne vrste kose slojevitosti, jesu (a) planarni kosi slojevi, nastali od dvodimenzionalnih oblika dna (oni ravnih kresta) i (b) koritasti kosi slojevi, nastali od trodimenzionalnih oblika dna (oni zakrivljenih kresta).

Ukoliko se za seljenja riplova povremeno taloži mulj, tada se između setova kose laminacije pojavljuju tanke linije mulja, a koncentriran je u koritima riplova; ova vrsta teksture poznata je kao **flazer slojevitost**. **Lečasta slojevitost** odnosi se na izolirane riplove koji se u presjeku vide kao koso laminirane leće unutar mulja ili muljnjaka. Obje vrste su česte u sedimentima plimnih ravnica, gdje se mulj taloži tijekom razdoblja mirne vode; tih tekstura također ima na čelima delti, na prodeltama i u drugim situacijama gdje opskrba sedimentom i snaga toka pokazuju kolebanja.

Riplovi i kosa laminacija nastali radom valova

Riplovi nastali valovima česti su u mnogim plitkomorskim do plimnim, deltnim i jezerskim pješčenjicama i vapnencima. Oni imaju simetričan profil i kontinuirane ravne kreste. Nazivaju se i oscilacijskim riplovima.

Graduirana slojevitost

Ovo obilježje odnosi se na promjenu veličine čestica unutar sloja u smjeru prema gore (tj. naviše), a nastaje većinom zbog promjena uvjeta toka tijekom sedimentacije. Od brojnih različitih tipova graduirane slojevitosti, dva tipa **normalnog graduiranja** su (a) postupno smanjenje prosječne veličine zrna u sloju naviše (graduiranje sadržaja), i (b) postupno smanjenje veličine najkrupnijih čestica u sloju naviše. Graduirana slojevitost definirana prijelazom od krupnih ka sitnim česticama nastaje taloženjem iz struja bogatih sedimentom, a čija snaga postupno slabi; to je karakteristično obilježje turbidita istaloženih iz usporavajućih gustih struja.

Inverzno graduiranje znači da se veličina zrna povećava prema vrhu sloja što nije česta pojava. Inverznog graduiranja ima u donjem dijelu nekih slojeva krupnozrnatih dubokovodnih šljunaka i pijesaka. Tamo je ono rezultat taloženja iz vučenog 'tepiha' koji je putovao na dnu mutne struje velike gustoće. Takvo graduiranje još nalazimo u nekim vulkanoklastičnim naslagama.

Masivna slojevitost obilježje je slojeva koji nemaju vidljivu unutarnju teksturu. Premda mnoge sedimentne stijene mogu izgledati masivno ili bez teksture, detaljnije istraživanje može pokazati da to ipak nije slučaj. Ukoliko se doista radi o masivnoj slojevitosti, ona je mogla nastati naglim taloženjem, svojevrsnim 'odlaganjem' sedimenta iz npr. gravitacijskih tokova sedimenta velike gustoće. Alternativno tumačenje pretpostavlja da su originalne unutarnje taložne teksture mogle biti uništene bioturbacijom, otpuštanjem vode ili procesima rekristalizacije-zamjene.

3.1.2.3. Post-taložne sedimentne teksture

Ovoj grupi pripadaju teksture nastale klizanjima i *slampovima*, savijena (konvolutna) slojevitost, tragovi utiskivanja, pješčenjački dajkove (žile) i teksture otpuštanja vode.

Tragovi utiskivanja (*load casts*) česte su teksture na donjim slojnim plohama, a izgledaju kao okruglaste, nizvodno usmjerene kvrge pješčanog sloja u podinskom, uglavnom pelitnom sedimentu. Oblici i veličine tragova utiskivanja znatno variraju, a često se može vidjeti kako je mulj utisnut prema gore u pijesak, tvoreći jezičaste teksture nalik plamenu. Režnjevi sedimenta mogu se čak i odvojiti od pješčanog horizonta tvoreći lopte (*load balls*). Teksture utiskivanja nastaju zbog vertikalnih razlika u gustoći, pri čemu gušći pijesak, naliježući na manje gusti mulj, tone prema dolje.

3.1.2.4. Biogene sedimentne teksture

Raspon sedimentnih tekstura nastalih radom organizama protežu se od fosiliziranih tragova kretanja (ihnofosila) specifičnih obilježja, koja se mogu pripisati pojedinom organizmu i/ili njegovoj aktivnosti sve do nejasnih bioturbacijskih tekstura nastalih radom životinja koje zajedno obitavaju i ruju jame u sedimentu. Bioturbacija prekida, pa čak i uništava primarnu slojevitost i laminaciju. Ona može prouzrokovati i nodularnost sedimenta, pri čemu je razlika u veličini čestica između izrovane jame i okolnog sedimenta neznatna. Organizmi rovači mogu proizvesti šarenilo boja u sedimentu. Teksture rovanja mogu se bolje dolomitizirati ili silicificirati tijekom diageneze, a time i bolje isticati u stijeni. Kompakcija može spljoštiti izrovane jame ako su smještene duboko u muljevitom sedimentu. Jedan od rezultata bioloških procesa su i **stromatoliti**, nastali od mikrobnih prevlaka.

Kod mnogih fosiliziranih tragova kretanja ne zna se pouzdano koji tip organizma je za njih bio odgovoran, ali zato je moguće donijeti zaključke o ponašanju životinje. Slične fosilizirane tragove kretanja mogle su proizvesti prilično različite životinje, ukoliko su imale sličan način života. Ukoliko nema sačuvanih organizama, ti tragovi mogu biti jedino svjedočanstvo o tome da je u sedimentu bilo života. Fosilizirani tragovi kretanja mogu se podijeliti u dvije grupe: oni na površini sedimenta (staze i vijugave pruge) stvoreni djelovanjem epibentičkih organizama, te oni unutar sedimenta (izrovane jame) nastali endobentičkih organizama. Staze i vijugave pruge vide se jedino na slojnim plohama, dok izrovane jame vidimo i u horizontalnim i vertikalnim presjecima slojeva.

Na temelju životinjske aktivnosti razlikuje se šest kategorija fosiliziranih tragova kretanja: na površini sedimenta - tragovi odmaranja, puzanja i ispaše, te unutar sedimenta - izrovane jame zbog obitavanja (stanovanja), hranjenja i bježanja. Neki fosilizirani tragovi kretanja nastaju kombinacijom ovih aktivnosti.

3.1.2.5. Turbiditi

Turbiditi predstavljaju sedimente taložene iz mutnih (trubiditnih) tokova. Njihove karakteristike ovise o gustoći turbiditne struje iz koje su istaloženi. **Mutne struje velike gustoće** mogu nositi velike količine šljunka i krupnog pijeska, ponajviše u obliku vučenog "tepiha" uz dno toka, te u suspenziji povrh tog "tepiha". Faktori koji pospješuju gibanje šljunka i pijeska su turbulencija fluida, disperzijski pritisak zbog sudaranja čestica, te sitniji sediment koji izaziva plutanje čestica; to traje sve dok se tok ne uspori zbog smanjenja nagiba padine ili njegova razrjeđenja. **Mutne struje male gustoće** transportiraju čestice veličina do srednjezrnatog pijeska, podržanog u suspenziji turbulencijom fluida. Usporavanjem toka sediment se giba vučnim mehanizmom uz dno. Naslage tih struja predstavljaju "klasične" turbidite, čija karakteristika je određeni redoslijed unutarnjih tekstura (**Bouma-sekvencija**): bazalni graduirani dio **A (Ta)** prelazi naviše u donji horizontalno laminirani dio **B (Tb)**, na koji naliježe koso laminirani interval **C (Tc)** u kojem su u nekim slučajevima sačuvane priklone strane riplova, zatim slijedi gornji horizontalno laminirani pelitni interval **D (Td)** i masivni pelitni interval **E (Te)**. Ovakva sekvencija nastaje taloženjem iz usporavajućeg toka: dijelovi A i B odgovaraju višem režimu toka, C nižem režimu toka, a D i E su istaloženi iz suspenzije. Tipičan raspon debljina turbidita istaloženih iz tokova male gustoće iznosi 0,05 do 0,5 m. Često se, međutim, događa da nema svih dijelova Bouma-sekvencije, budući da njihov nastanak ovisi o veličini čestica i brzini taloženja. Nizvodno u smjeru kretanja struje, donji dijelovi postupno nestaju. Jako udaljene (distalne) turbidite čine tanki (nekoliko centimetara), normalno graduirani sitnozrnati pješčenjaci i siltiti. Teksture na donjim slojnim plohama česte su na donjim slojnim plohama turbiditnih slojeva. To su kod vrlo krupnozrnatih turbidita slabi otisci brazdi izdubljenih naletom vode i tragovi vučenja; srednjezrnati turbiditni pješčenjaci obično imaju tragove tečenja; u sitnozrnatim slojevima zastupljeniji su tragovi kretanja predmeta po dnu.

3.1.3. Detritični sastojci siliciklastičnih sedimenata

Pješčenjaci, konglomerati i breče sastoje se od sljedećih dijelova: **detritične čestice** koje čine skelet sedimenata, sitnozrnati **matriks** smješten među zrnima, te **autigeni minerali i cement** koji su se nakon taloženja sedimenta izlučili tijekom dijageneze.

Čestica (zrno) klastičnog sedimenta može biti gotovo svaki mineral koji se pojavljuje u prirodi, kao i fragment bilo koje stijene. Budući da su u sedimentnom okolišu neki minerali i tipovi stijena mnogo stabilniji u odnosu na druge, broj najčešćih tipova čestica zapravo je relativno malen. Obilnost pojedinog minerala u sedimentnoj stijeni ovisi o njegovoj raspoloživosti, tj. o geologiji izvorišnog područja, ali i o njegovoj mehaničkoj i kemijskoj stabilnosti, te otpornosti na trošenje i izmjene.

Detritične čestice u siliciklastičnim stijenama mogu se podijeliti u šest kategorija: (a) fragmenti stijena (litoklasti), (b) kvarc, (c) feldspati, (d) tinjci i gline, (e) teški minerali i (f) ostali sastojci. Mineralna zrelost sedimenata procjenjuje se na temelju njihovih detritičnih sastojaka.

3.1.4. *Krupnozrnate sedimentne stijene: konglomerati i breče*

Postoje brojni načini podjele krupnozrnatih klastičnih stijena koje se još nazivaju **ruditi**. Mogu se podijeliti prvenstveno na temelju oblika valutica u **konglomerate** - sastavljene od poluzaobljenih do dobro zaobljenih klasta, i **breče** - sastavljene od uglatih i poluuglatih klasta. Podjela na temelju sastava spomenuta je naprijed u tekstu: polimiktni konglomerati (ili breče) sadrže razne valutice i velike oblutke, dok monomiktni konglomerati sadrže samo jedan tip valutica. Na temelju sklopa zrna razlikuju se oni s potporom klasta (ortokonglomerati) i s potporom matriksa (parakonglomerati). Ista načela podjele vrijede i za breče.

3.1.5. *Srednjezrnate klastične sedimentne stijene: pješčenjaci*

Najrasprostranjenija podjela pješčenjaka zasniva se na sadržaju matriksa i međusobnom udjelu kvarca, feldspata i čestica stijena. S obzirom na sadržaj matriksa razlikuju se areniti i grauvice.

1. **Areniti** su čisti pješčenjaci koji sadrže <15% matriksa. Dije se na:

a) kvarcne arenite:

- sadrže najmanje 95% kvarca
- obično su sastavljeni od dobro zaobljenih i dobro sortiranih zrna (strukturno su zreli), a vezivo je cementno
- u većini slučajeva nastaju kao rezultat dugotrajne prerade sedimenta i minerloški su najzreliji tip pješčenjaka

b) feldspatske arenite ili arkoze:

- sadrže >25% feldspata, dosta kvarca i malo čestica stijena
- najčešće nastaju iz granita i gnajseva
- sastavljeni su od uglatih do poluzaobljenih klasta, različitog stupnja sortiranosti, a vezivo im je kvarcni ili kalcitni cement ili matriks

c) litične arenite:

- imaju veći sadržaj litičnih čestica (čestica stijena) u odnosu na feldspate
- sastav im je izrazito varijabilan
- sadrže malo primarnog matriksa, a cement je najčešće kalcitni ili kvarcni
- nezrelog su sastava što upućuje na brzu produkciju sedimenta i kratak ili umjeren transport

2. **Grauvike** su nečisti pješčenjaci koji sadrže >15% matriksa. Matriks je sastavljen od sericita i klorita, te čestica kvarca i feldspata veličine silta, a posljedica takvog sastava je u pravilu tamnosiva boja tih pješčenjaka. Kao i areniti, grauvice se dijele na:

a) kvarcne grauvice,

b) feldspatske grauvice i

c) litične grauvice.

3.1.6. *Sitnozrnate klastične sedimentne stijene*

Pelitni sedimenti (*mudrocks*) najzastupljeniji su tip sedimenata i čine približno 45-55% sedimentnih stijena. Oni se, međutim, lako troše pa ih često prekriva vegetacija zbog koje su slabo otkriveni. Osim toga, njihovo istraživanje često zahtijeva detaljne laboratorijske analize jer su im čestice vrlo sitnih dimenzija. Mogu se taložiti u gotovo svim okolišima, ali najviše je to na riječnim poplavnim ravninama i u jezerima, velikim deltama, udaljenijim područjima klastičnih šelfova, na padinama bazena i na dubokomorskom dnu. Njihovi glavni sastojci su kvarc (veličine silta) i minerali glina. Budući da su gline uglavnom detritičnog porijekla, njihov mineralni sastav više ili manje odražava klimu i geologiju izvorišnog područja.

Glede veličine zrna, **glina** se odnosi na čestice promjera manjeg od 4 μm , a **silt** na one promjera 4-62 μm . Glede mineralnog sastava, glina se odnosi na hidratizirane alumosilikate specifične slojevite strukture; tipična veličina minerala glina manja je od 2 μm , ali ona može dosezati 10 μm ili više. Naziv **mulj** (također i **lutit**) neformalno se koristi za smjesu materijala veličine gline i silta. **Muljnjak** (*mudstone*) očvršnuti je ekvivalent mulja koji nije moguće cijepati, ali može se lomiti u blokove različitog oblika. **Šejl** je obično laminiran i može se cijepati (cjepljivost je svojstvo razdvajanja u tanke pločice). Sedimentna stijena u kojoj prevladavaju čestice veličine gline naziva se **glinac**, a ona u kojoj prevladavaju čestice dimenzija silta naziva se **prahovnjak** ili **siltit**. **Lapor** je sitnozrnati sediment karbonatno-glinovitog sastava. Pelitni sediment je krovni pojam koji objedinjuje sve ove vrste stijena. Da bi se pelitni sediment opisao kao muljnjak, šejl, glinac ili siltit, posebno tijekom terenskog rada, treba uočiti njihovu boju, cjepljivost, sedimentne teksture, sadržaj minerala, organske tvari i fosila. Njihov mineralni sastav određuje se detaljnim laboratorijskim analizama, osobito rendgenskom difrakcijom na prahu (XRD).

Strukture i teksture pelitnih sedimenata

Sitnozrnati terigeni klastični sedimenti nemaju tako širok raspon struktura i tekstura kakav je tipičan za krupnozrnatiye siliciklastične sedimente. Razlog tome je uglavnom sitnija veličina čestica te kohezivna svojstva mulja.

Strukturu pelitnih sedimenata obično čini **preferirana orijentacija** minerala glina i tinjaca paralelno sa slojevitošću. Ona je rezultat taloženja "pahuljica" gline paralelno sa slojevitošću, a u manjoj mjeri kompakcije i otpuštanja vode. S tim je povezano i svojstvo cjepljivosti, koje posjeduju šejlovi, a označava sposobnost pelitnih sedimenata da se cijepaju (razdvajaju) duž ravnih ploha paralelnih slojevitosti. Postanak cjepljivosti nije u potpunosti razjašnjen. Glavni faktor je slaganje minerala glina uslijed kompakcije, ali i laminacija je također važna.

Česta sedimentna tekstura pelitnih sedimenata je **laminacija**. Ona je većinom rezultat varijacija u veličini čestica i/ili promjene sastava. Lamine graduirane glede veličine zrna mogu biti istaložene iz mutnih struja male gustoće i iz suspenzijskih struja, ili iz usporavajućih olujnih struja, unutar relativno kratkog vremenskog razdoblja (sati ili dani). Ostale vrste lamina mogu nastajati kroz puno dulja vremenska razdoblja (mjeseci ili godine), ukoliko postoji sezonsko ili godišnje kolebanje donosa sedimenta i/ili biološke produktivnosti. Organske lamine u pelitnim sedimentima mogu biti proizvedene sezonskim mikrobnim cvjetanjima, a smatra se da kupleti (parovi) u varvama glacijalnih jezera odražavaju godišnje proljetno otapanje snijega i leda.

Neki pelitni sedimenti ne posjeduju sedimentne teksture nego su **masivni**, a ta njihova masivnost može biti rezultat taložnih mehanizama. To je često obilježje vodenih tokova bogatih sedimentom koji imaju veliku viskoznost u vrijeme taloženja, kao što je to slučaj muljnih i detritnih tokova. U ostalim slučajevima, pelitni sedimenti postali su masivni nakon taloženja zahvaljujući bioturbaciji, masovnom kretanju sedimenta (*slampovi*), otpuštanju vode, procesima pedogeneze i rastu korijenja vegetacije.

Ostale sedimentne teksture koje se pojavljuju u pelitnim sedimentima, obuhvaćaju: erozijske teksture usječene u muljeve, a sačuvane su na donjim slojnim plohama pješčenjaka (tragovi vučenja i tečenja); teksture *slampova*; pukotine isušivanja nastale u kopnenim uvjetima; biogene teksture i otisci kišnih kapi.

Boja pelitnih sedimenata

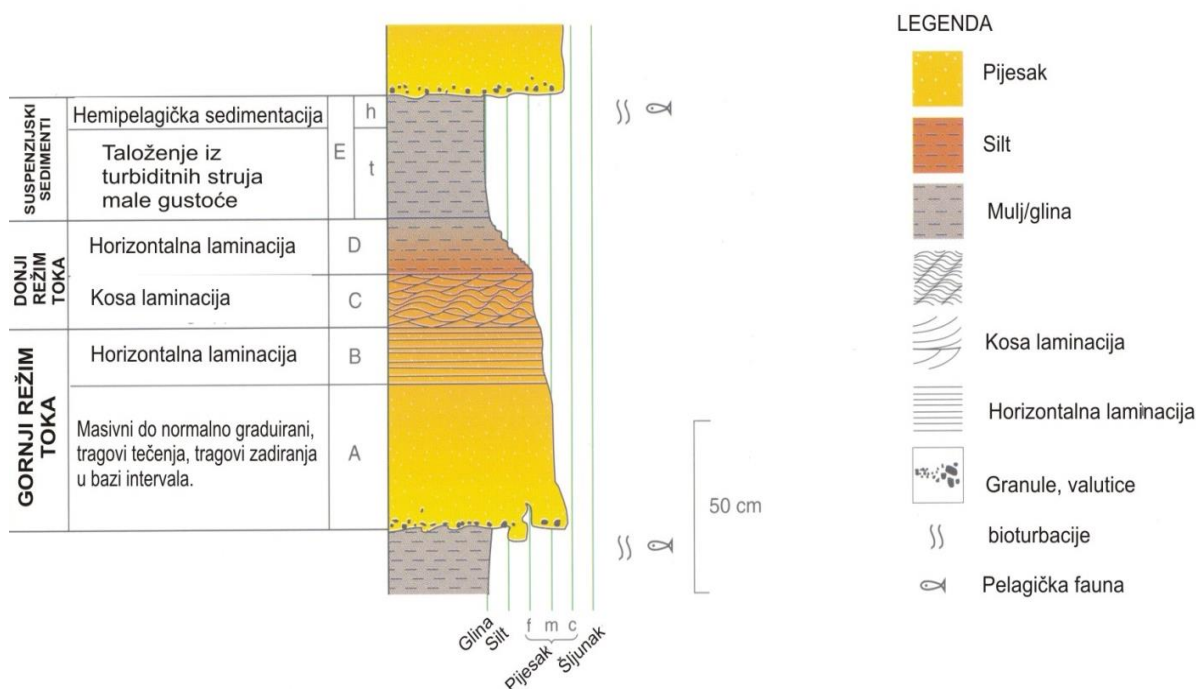
Boja pelitnog sedimenta, kao i bilo koje druge stijene, ovisi o njegovu mineralnom i kemijskom sastavu. Ona može biti jako korisna kod terenskog kartiranja jer se na temelju nje mogu razlikovati razne jedinice pelitnih sedimenata. Glavni faktori koji određuju boju su sadržaj organske tvari i pirita, te oksidacijsko stanje željeza. S porastom sadržaja organske tvari i pirita, pelitni sedimenti poprimaju tamnosivu boju i konačno postaju crni. Mnogi marinski i deltni

pelitni sedimenti imaju razne nijanse sive ili čak crne boje zbog sitno raspršene organske tvari i pirita.

Crvene i ljubičaste boje rezultat su prisutnosti Fe(III)-oksida hematita, koji najčešće tvori ovojnice oko čestica i u tijesnoj je zajednici s česticama glina. Prema općeprihvaćenu mišljenju, crvena boja nastaje nakon taloženja, starenjem hidratiziranog željeznog oksida (preteča hematita), kao što je to slučaj s crvenim pješčenjacima. Do smeđe boje može doći kada ovojnice željeznog oksida samo djelomično obavijaju zrna, ili kada su manjeg intenziteta. Mnoge naslage nemarinskih pelitnih sedimenata aridnih *playa* jezera i poplavnih ravnica crvene su boje, što ukazuje na većinom oksidativne uvjete taložnog i ranodijagenetskog okoliša.

Zeleni pelitni sedimenti ne sadrže hematit, organsku tvar ili željezne sulfide, nego im boja potječe od divalentnog željeza unutar rešetki illita i klorita. Zelena boja može biti primarna, ali u mnogim slučajevima je nastala u primarno crvenim pelitnim sedimentima, redukcijom njihova hematita u podzemnoj vodi.

Ostale boje pelitnih sedimenata rezultat su miješanja sastojaka koji daju boju. Njihova maslinasta i žuta boja, npr., može potjecati od miješanja zelenih minerala i organske tvari.



Slika 6.1 Kompletna Bouma sekvencija nastala taloženjem sedimenta iz mutne struje male gustoće.

3.2. VAPNENCI

Karbonatni sedimenti nastaju prvenstveno biološkim i biokemijskim procesima, ali izvjesnu ulogu ima i anorgansko izlučivanje CaCO_3 iz morske vode. Nakon taloženja, oni mogu biti znatno modificirani kemijskim i fizičkim procesima dijageneze. Vapnenaca ima posvuda u svijetu u svim geološkim razdobljima od kambrija naovamo i oni svjedoče o promjenjivoj sudbini beskralježnjaka karbonatnog skeleta, kroz njihovu evoluciju i izumiranje. Prekambrijskih karbonata ima također u obilnim količinama, ali to su uglavnom dolomiti od kojih su mnogi stromatolitnog postanka, nastali djelatnošću mikroba, osobito cijanobakterija.

Vapnenci mogu nastajati svugdje, budući da organizmi karbonatnih skeleta žive posvuda u svjetskim morima i oceanima. No ipak, postoji nekoliko faktora o kojima ovisi taloženje karbonata, a najvažniji su temperatura, salinitet, dubina vode i sedimentacija terigenih siliciklastita. Mnogi organizmi karbonatnih skeleta uspijevaju samo u toploj vodi, kao što su grebenotvorni koralji i mnoge vapnenačke zelene alge. Stoga glavina karbonatnih sedimenata nastaje u tropsko-suptropskom pojasu, približno 30° sjeverno i južno od ekvatora, a i većina fanerozojskih vapnenaca nastala je u područjima niskih geografskih širina. Biološka proizvodnja karbonata najveća je u morskoj vodi normalnog saliniteta, u plitkom (dubine manje od 10 m), uzburkanom dijelu fotičke zone (dubina do koje dopire svjetlost, reda veličine 100-200 m).

Neskeletne čestice, kao što su ooidi i vapnenački mulj, izlučuju se isključivo u toplim, plitkim vodama tropskog pojasa. U dubljevodnom, pelagičkom okolišu talože se vapnenački muljevi sastavljeni uglavnom od skeleta pelagičkih organizama, foraminifera i kokolitoforida, nastanjenih u fotičkoj zoni. Zbog velike brzine otapanja na dubinama od nekoliko tisuća metara, karbonati se slabo akumuliraju ispod te karbonatne kompenzacijske dubine. Vapnenci također nastaju u jezerima i tlima. Donos siliciklastičnog materijala najviše utječe na taloženje karbonata, budući da mnogi organizmi, koji sudjeluju u njihovu stvaranju, ne mogu podnijeti donos veće količine terigenog mulja.

3.2.1. Sastojci vapnenaca

U vapnencima se može razlikovati nekoliko glavnih sastojaka.

1. neskeletne čestice:

a) obavijena zrna

- ooidi = sferična i supsferična zrna sastavljena od jednog ili više pravilinih koncentričnih ovoja oko jezgre najčešće sastavljene od karbonatne čestice ili kvarcnog zrna
- pizoidi = nemarinski ooidi
- onkoidi = čestice nepravilnog grudastog oblika koje sadrže mikritne lamine bez jasne koncentrične građe

b) peloidi

- kuglasta, elipsoidna valjkasta ili vretenasta karbonatna zrna veličine 0.1 do 0.5 mm s mikritnom strukturom, bez ikakvih strukturnih obilježja unutarnje građe
- peleti = peloidi fekalnog porijekla (rakovi, ostrakodi, puževi...); pravilnog su oblika i bogati organskom materijom

c) agregirana zrna

d) intraklasti

2. skeletne čestice

3. mikrit

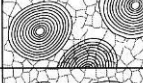
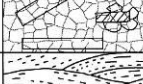
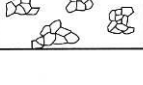
4. sparit

3.2.2. Klasifikacija vapnenaca

U širokoj su uporabi tri klasifikacijska sustava, svaki s drugačijim naglaskom, a najčešće korišten je treći, Dunhamov sustav, koji se temelji na strukturi.

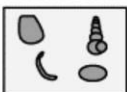
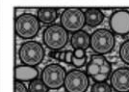
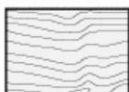
1. Prema vrlo jednostavnoj, ali često praktičnoj shemi, vapnenci se dijele na temelju veličine čestica na kalcirudite (većina zrna > 2 mm), kalkarenite (većina zrna između 2 mm i 62 µm) i kalcilutite (većina zrna < 62 µm).

2. Klasifikacijska shema **R. L. Folka**, temeljena uglavnom na sastavu, razlikuje tri vrste sastojaka: (a) zrna (alokemi), (b) matriks, većinom mikrit i (c) cement, uglavnom družni sparit. Skraćenice koje se odnose na čestice (bio - skeletna zrna, oo - ooidi, pel - peloidi, intra - intraklasti) koriste se kao prefiks za mikrit ili sparit, ovisno o tome koje od njih prevladavaju.

Glavna zrna u vapnencu	Tipovi vapnenaca			
	Cementacija sparitom		S mikritnim matriksom	
Skeletna zrna (bioklasti)	Biosparit (<i>Biosparite</i>)		Biomikrit (<i>Biomicrite</i>)	
Ooidi	Oosparit (<i>Oosparite</i>)		Oomikrit (<i>Oomicrite</i>)	
Peloidi	Pelsparit (<i>Pelsparite</i>)		Pelmikrit (<i>Pelmicrite</i>)	
Intraklasti	Intrasparit (<i>Intrasparite</i>)		Intramikrit (<i>Intramicroite</i>)	
Vapnenac nastao <i>in situ</i>	Biolitit (<i>Biolithite</i>)		Fenestralni vapnenac-dismikrit	

Slika 7. Klasifikacija vapnenaca na temelju sastava (tzv. Folkova klasifikacija) (Tucker, 2008).

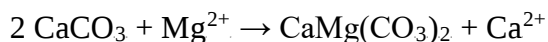
3. Klasifikacija **R. J. Dunhama** razlikuje vapnence na temelju strukture. Varijeteti s muljnom potporom na osnovi udjela čestice i tipu potpore među zrnima dijele se na *mudstone*, *wackestone* i *packstone*. Varijetet sa zrnskom potporom koji sadrži sparit umjesto mikrita naziva se *grainstone*. *Boundstone* podrazumijeva tip vapnenca kod kojeg su primarne komponente pri taloženju organogeno vezane odnosno gdje su organizmi litificirani na staništu i u položaju rasta ili su komponente vezane životnom aktivnošću organizama.

primarni sastojci nisu pri taloženju zajedno vezani				primarne komponente pri taloženju su organogeno vezane
sadrže mulj - mikrit		bez mulja		
muljna potpora		zrnska potpora		litifikacija organizama na staništu i u položaju rasta ili vezivanje komponenata životnom aktivnošću organizama
<10% čestica	>10% čestica			
Mudstone 	Wackestone 	Packstone 	Grainstone 	
				Boundstone 

Slika 8. Klasifikacija vapnenaca na temelju strukture taloženja (tzv. Dunhamova klasifikacija) (Tucker, 2008).

3.3. DOLOMITI

Dolomiti također spadaju u karbonatne stijene, a nastaju procesom dolomitizacije danom jednađbom:



Do zamjene CaCO_3 minerala dolomitom i taloženja dolomitnog cementa može doći ubrzo nakon taloženja sedimenata i tijekom rane dijageneze, ili mnogo kasnije, obično nakon cementacije, tijekom zalijeganja na velike dubine.

Na osnovi strukturnih obilježja moguće je zaključivati o vremenu nastanka dolomita za vrijeme dijageneze. Razlikuju se raodijagenetski i kasnodijagenetski dolomit.

Ranodijagenetski (primarni, singenetski) dolomiti nastaju tijekom sedimentacijskih procesa ili ubrzo nakon njih. Sastavljeni su od vrlo sitnih dolomitnih kristalia ($<15 \mu\text{m}$) i pokazuju očuvane primarne strukture vapnenaca.

Kasnodijagenetski (sekundarni, epigenetski) dolomiti nastaju kasnodijagenetskom dolomitizacijom već očvrslulih vapnenaca i/ili na većoj dubini zalijeganja. Izgrađeni su od krupnih dolomitnih kristala (0.1-0.4 mm). Zbog izrazite prekrystalizacije primarne strukturne komponente vapnenaca u pravilu su potpuno uništene.

3.4. ROŽNJACI

Pod **rožnjacima** se općenito podrazumijevaju sitnozrnati silicijski sediment anorganskog, biokemijskog, biogenog, vulkanskog ili hidrotermalnog porijekla. Obično je to vrlo gusta, kompaktna, vrlo tvrda stijena školjkastog loma. Porijeklo rožnjaka odnosno uvjeti nastanka još uvijek nisu u potpunosti razjašnjeni.

4. METAMORFNE STIJENE

Metamorfizam se definira kao skup svih procesa koji dovode do strukturnih, mineralnih ili kemijskih promjena u primarnoj stijeni (protolitu), za koje je bitno da se odvijaju u čvrstom stanju. Mineralni sastav metamorfne stijene daje informacije o prirodi protolita iz kojeg je stijena nastala (a moguće i o prirodi predmetamornog tektonskog okoliša), a strukturne i teksturne karakteristike o intenzitetu (stupnju) metamorfizma.

Temperatura utječe na mineralni sastav metamorfne stijene, a tlak na teksture i strukture. Uz tlak i temperaturu važni faktori u metamorfizmu su i koncentracija (aktivitet, fugacitet) i voda (kao katalizator i prijenosnik tvari).

Dakle, kakav će rezultat imati metamorfoza odnosno koju ćemo metamorfnu stijenu dobiti i kakav će biti njen mineralni sastav, ovisi ne samo o vrsti i intenzitetu promijenjenih fizičko-kemijskih uvjeta, nego i o kemijskom i mineralnom sastavu ishodišne stijene. Ukoliko ne dođe do priljeva novih mineralnih tvari, kemijski će sastav metamorfozirane stijene ostati uglavnom isti, samo se mora uzeti u obzir da može doći do stanovitog gubitka vode i ugljične kiseline. Naprotiv, mineralni sastav stijene mijenja se u većini slučajeva. Zbog djelovanja povišene temperature prijeći će primjerice šejl, koji je sastavljen od amorfnih aluminijevih silikata s vodom, amorfnih željeznih hidroksida, kvarca te nešto muskovita i klorita, u hornfels sastavljen od kremena, andaluzita, kordijerita, biotita i feldspata. Ako je metamorfozu uvjetovao znatno viši tlak, nastat će granatski tinčev škrljavac, koji se sastoji od kremena, muskovita, biotita i granata. Međutim kemijski sastav ishodišnog šejla, hornfelsa i granatskoga tinčevog škrljavca ostat će isti.

Glinoviti sedimenti (npr. šejlovi), koji su sastavljeni od finih čestica glinenih tvari, stabilni su samo kod niske temperature i niskog tlaka. Oni relativno lako podliježu već i manjem stupnju metamorfoze. Zato pokazuju gotovo kontinuirane prijelaze od šejlova preko stijena s različitim stupnjem metamorfoze do potpuno metamorfoziranog kamena: gline - šejlovi - filiti - tinčevi škrljavci - gnajsevi.

Stijene koje su sastavljene od kvarca i feldspata, kisele eruptivne stijene i pješčenjaci, mnogo su stabilniji, i njihove su metamorfoze moguće tek kod većih promjena temperature i tlaka.

Vapnenci, koji se uglavnom sastoje od kalcita, prilikom metamorfoze samo prekrystaliziraju. Nasuprot njima, dolomiti su nestabilniji i mogu se raspasti u agregat kalcita i niz magnezijevih minerala, oksida i silikata. Karbonatne stijene imaju u sebi različite nečistoće drugih minerala kao što su kvarc i gline, zbog čega dolazi do tvorbe različitih silikata i alumosilikata. Suvišna ugljična kiselina tada izlazi van iz stijene.

Minerali bazičnih eruptivnih stijena, bazični plagioklasi, pirokseni i olivin lako podliježu metamorfozama.

Metamorfoze su postepeni procesi, koji teku vrlo polagano. Zato možemo naći stijene koje su pretrpjele samo djelomičnu metamorfozu, a da ona nije u potpunosti dovršena. Na taj način mogu kao relikti u stijeni ostati sačuvani primarni minerali, originalne strukture ili teksture i fosili.

4.1. PREFERIRANE ORIJENTACIJE (TEKSTURE)

Folijacija podrazumijeva bilo koji vid planarne građe u metamorfnoj stijeni, a nastaje raspoređivanjem minerala u "slojeve" okomito na pritisak koji djeljuje na stijenu.

Škrljavost se odnosi na također paralelno redanje minerala okomito na smjer pritiska, a pojam se ograničava na one metamorfne stijene kod kojih su minerali vidljivi golim okom.

Lineacija nastaje ravnomjernim, pravilnim i paralelnim rasporedom linearnih strukturnih elemenata i definirana je s osi izduženja minerala.

4.2. STRUKTURE

Struktura metamorfnih stijena posljedica je istodobne prekristalizacije minerala. Zbog toga se kod metamorfnih stijena ne može govoriti o pravilnom redosljedu kristalizacije minerala, a time i njihovim specifičnim strukturnim obilježjima vezanim uz redosljed kristalizacije, kao što je bio slučaj kod magmatskih stijena.

Prema "vremenu" nastanka u odnosu na sam metamorfni događaj, strukture se dijele na: **reliktne** (nastale prije metamorfnog događaja odnosno ostale sačuvane kao karakteristike protolita i nakon metamorfoze), **tipomorfne** (novonastale strukture, direktna posljedica metamorfizma) i **naknadne** strukture (nastale djelovanjem različitih procesa nakon glavne faze metamorfizma).

1. RELIKTNE STRUKTURE = strukture protolita (ishodišnih stijena) koje su ostale sačuvane u novonastaloj metamorfnoj stijeni

- stijene mogu dobiti prefikse: **meta-** (+ izvorni naziv) (metamorfne stijene čiji je protolit još uvijek prepoznatljiv jer promjene nisu bile značajne), **orto-** (protolit je bio magmatska stijena), **para-** (protolit je sedimentna stijena)

2. TIPOMORFNE STRUKTURE

- vezane uz same metamorfne stijene

- blast = mineralno zrno koje je raslo u čvrstom stanju tijekom metamorfizma
- idioblast = pravilno razvijeno mineralno zrno
- ksenoblast = anhedralno, nepravilno mineralno zrno
- porfiroblast = mineralno zrno koje je znatno veće od ostalih mineralnih zrna u stijeni (nastaju u uvjetima prisutnosti malog broja nukleacijskih jezgara, a velike količine materijala)

a) granoblastična struktura - odgovara zrnatoj strukturi kod magmatskih stijena; sastoji se od podjednake mineralnih zrna

- granoblastična poligonalna str. - bridovi mineralnih zrna zatvaraju međusobno kuteve od 120°, što ukazuje na ravnotežne uvjete pri rastu minerala
- poikiloblastična str. - prisutni su porfiroblasti koji sadrže velik broj malenih uklopaka mineralnih zrna matriksa
- homeoblastična str. - zrna su podjednaka (npr. mramori)
- heteroblastična str. - zrna su različita (npr. kod hornfelsa)

b) nematoblastična struktura - označava istovrsnu orijentaciju štapčastih minerala u stijeni

c) lepidoblastična struktura - označava orijentaciju lističavih minerala u ravnini okomitoj na smjer pritiska

d) kataklastične strukture - vezane uz deformaciju i istovremeni rast minerala

- klast = reliktni minerali zaostali iz ishodišne stijene, uklopljeni u novi materijal
- ovisno o stupnju deformacije (od krupnijih prema sitnijim zrnima): mortar str., brečasta, okasta (augen), milonitna, ultramilonitna
- šivana struktura - kada na kontaktu zrna dolazi do prodiranja jednog zrna u drugo (zbog otapanja uslijed pritiska), pa zrna pokazuju šivani ili saturirani rub (npr. zrna u kvarcitu) - taj tip strukture upućuje na visoke tlakove
- subgrains - nekoliko manjih zrna nastalih raspadom jednog većeg
- palisade - štapčasti minerali koji se nalaze jedan pored drugog, poput ogradice
-

3. NAKNADNE STRUKTURE = nastaju djelovanjem raznih procesa nakon glavne faze metamorfizma

- mrežasta struktura - nastaje kada serpentin potiskuje olivin ili piroksen u stijeni, pa se mineralna zrna piroksena nalaze u "mreži" serpentina

4.3. KLASIFIKACIJA METAMORFNIH STIJENA

4.3.1. *Klasifikacija metamorfnih stijena koje pokazuju škriljavost ili folijaciju*

Slejt je kompaktna, sitnoznata metamorfna stijena s dobro razvijenom folijacijom. Svježe plohe folijacije su bez sjaja.

Filit je škriljava metamorfna stijena u kojoj sitni filosilikati (sericit/fengit i/ili klorit) na svježe odkalanoj plohi daju svilenkast sjaj. Pokazuju folijaciju, a često i lineaciju.

Škriljavci su metamorfne stijene koje pokazuju škriljavost. Ovdje je potrebno spomenuti da se pojam škriljavost u općoj upotrebi ograničava na one metamorfne stijene kod kojih su minerali vidljivi golim okom.

Gnajs je metamorfna stijena koja pokazuje specifičnu gnajnsnu teksturu. Ona se sastoji od "slojeva" izmjene leukokratskih i melanokratskih minerala, što stijeni daje vrpčast izgled.

4.3.2. *Klasifikacija metamorfnih stijena bez preferirane orijentacije*

Granofels je zajednički termin za sve izotropne stijene odnosno stijene bez preferirane orijentacije. One se ne kalaju pri udarcu čekićem.

Hornfels je vrsta granofelsa koja je sitnoznata i kompaktna, a javlja se u kontaktnim aureolama.

Mramor je metamorfna stijena koja u mineralnom sastavu ima pretežno kalcit i/ili dolomit, a čiji je protolit bila vapnenačka ili dolomitna sedimentna stijena.

Kvarcit je metamorfna stijena u čijem mineralnom sastavu prevladava kvarc. Protolit je bio pješčenjak.

4.3.3. *Specifične metamorfne stijene*

Zeleni škriljavac je metamorfna stijena niskog stupnja koja sadrži klorit, aktinolit, epidot (ti minerali daju joj zelenu boju) i albit. Protolit je bio ili mafitna magmatska stijena ili grauvaka.

Amfibolit označava metamorfnu stijenu koja sadrži hornblendu i plagioklas. Može i ne mora imati škriljavost, a prisutna je lineacija. Protolit je bio ili mafitna magmatska stijena ili grauvaka.

Serpentinit je ultramafitna stijena metamorfozirana u niskom stupnju metamorfizma, izgrađena uglavnom od serpentina (više varijeteta: krizotil, antigorit, lizardit).

Plavi škriljavac sadrži plave amfibole, uglavnom glaukofan. Nastao je iz mafitne magmatske stijene ili grauvake pod visokim tlakom. Njegova pojava karakteristična je za drevne subdukcijske zone.

Eklogit sadrži klinopiroksen (omfacit) i granat (pirop), često dolazi i kijenit (disten). Ne pokazuje nužno uvijek jasnu škriljavost. Protolit je bio bazaltnog sastava.

Skarn je kontaktno metamorfozirana i Si-metasomatozirana karbonatna stijena koja sadrži Ca-Si minerale poput grosulara, epidota, tremolita, vezuvijanita...

Grajzen je kontaktnometamorfozirana stijena nastala iz granita.

Granulit je metamorfna stijena visokog stupnja, čija ishodišna stijena može biti pelitni, mafitni ili kvarcnofeldspatski protolit, dominantno sastavljen od bezvodnih minerala, plagioklasa i ortopiroksena.

Migmatit je heterogena silikatna stijena (na 1-10 cm skali) koja sadrži tamni gnajnsni matriks (melanosom) i svijetli felzični dio (leukosom). Pri tome je barem dio materijala u ovoj stijeni prošao kroz procese parcijalnog taljenja.

Metamorfne stijene niskog stupnja metamorfoze

Tekstura	Struktura	Mineralni sastav		Metamorfne stijene	Vrsta metamorfoze	Protolit
		Glavni	Prateći			
kataklastična	milonitna cementna	kvarc feldspat	razni usitnjeni minerali	MILONIT ULTRAMILONIT PSEUDOTAHILIT	kataklastična ili dislokacijska	svi tipovi stijena
	brečasta			KATAKLASTIČNE STIJENE		
	flazer	leće nedrobljenih stijena	tinjci	npr. FLAZER GRANIT		
	okasta	porfiroklasti feldspata		npr. OKASTI GRANIT		
kristaloblastična i homogena	poikiloblastična granoblastična	biotit, piroks. Q, feldsp	kordijerit granat andaluzit	HORNFELS	kontaktna ili metasomatska	šejlovi tufovi
	granoblastična	granat, disten vezuvijan tremolit aktinolit	Q, kalcit	SKARN		karbonat
	granoblastična	kalcit, dolomit, Q	tremolit, disten granat, olivin silimanit	MRAMOR KVARCIT		dolomit, vapnenac pješčanjak
pločasta kompaktna	mikroepidoblastična	Q, tinjac, klorit, gline	org. tvar, grafit magnetit, hematit	SLEJT	niski stupanj reg. metamorfizma	glinoviti sed., tufovi
izrazita folijacija	mikroepidoblastična	Q, tinjac, klorit, sericit		FILIT	niski stupanj reg. metamorfizma	glinoviti sed., tufovi
škriljava	lepidoblastična	Q, tinjci klorit	feldsp. epidot, turmalin	TINJČEV ŠKRILJAVAC	srednji stuoanj reg. metam.	ginoviti sed., tufovi
	granolepidoblastična	klorit tinjci, Q	grafit, Ca-Mg silikati	ŠKRILJAVI MRAMOR	niski stupanj reg. metamorfizma	karbonati
	lepidonematoblastična	klorit, aktinolit epidot	feldsp., karbonati, magnetit	ZELENI ŠKRILJAVAC		bazični eruptivi
	lepidoblastična	talk	karbonati, magnetit Mg-miner.	TALKOV ŠKRILJAVAC	regionalni metamorfizam	peridotit Mg-stijene
	nematoblastična	alk. amfibol (glaukofan, krosit, ribekit)	granat, tinjci Q	PLAVI ŠKRILJAVAC		bazalti arkoze grauvake

Metamorfne stijene visokog stupnja metamorfoze

Tekstura	Struktura	Mineralni sastav		Metamorfne stijene	Vrsta metamorfoze	Protolit
		Glavni	Prateći			
škriljava	nematoblastična	hornblenda feldspati	Q, granat, biotit, magnetit	AMFIBOLSKI ŠKRILJAVAC	regionalna	glinoviti sed. bazični magma.
	lepidoblastična granoblastična	granat, staurolit silimanit, tinjci	feldspati, Q, disten	npr. GRANAT, SILIMANITSKI STAUROLITSKI ŠKRILJAVAC		glinoviti sed.
	nematoblastična	hornblenda plagioklas	epidot, granat Q, tinjci	AMFIBOLIT		Ca-sedim., bazične stijene
	gnajsna paralelna okasta	Q feldspati	tinjci granati turalin	GNAJS OKASTI GNAJS		arkoza, grauvaka, kisele magma. stijene
slabo škriljava	granoblastična	hipersten Q, feldspati	diopsid, granat hornblenda	ČARNOKIT		kisele i bazične magma. stijene
	granoblastična	omfacit granat	disten rutil	EKLOGIT		bazični magmati
	granoblastična granolepidoblastična	Q feldspati	biotit hornblenda	MIGMATIT		kisele magma. stijene i sedimenti
homogena	granoblastična	Q, feldsp., pirokseni	disten, granat, turalin	GRANULIT		kisele magma. stijene i pješčenjaci

5. LITERATURA

- Blatt, H., Tracy, R. J. (1996): Petrology: Igneous, Sedimentary and Metamorphic. Second Edition. W. H. Freeman and Company, NY.
- Chernicoff, S., Fox, H. A., Tanner, L. H. (2002): Earth: Geological Principles and History. Houghton Mifflin Company. Boston. 570 str.
- Klein, C., Hurlbut, Jr., C. S. (2001): Manual of Mineral Science, 22nd Edition. John Wiley & Sons, New York. 656 str .
- Plummer, C. C., McGeary, D., Carlson, D. H. (2001): Physical Geology. Updated Eighth Edition. McGraw-Hill, NY. 578 str.
- Ristić, P., Pamić, J. (1981): Petrologija i petrografija magmatskih stijena. Prvo izdanje. Svjetlost, Sarajevo. 272 str.
- Slovenec, D., Bermanec, V. (2003): Sistematska mineralogija - mineralogija silikata. Denona, Zagreb, 350 str.
- Tajder, M., Herak. M. (1959): Petrografija i geologija. Školska knjiga, Zagreb. 272 str.
- Tucker, M. E. (2008): Petrologija sedimenata. Uvod u postanak sedimentnih stijena. Prvo izdanje (hrvatsko). AZP Grafis, Samobor. 262 str.
- predavanja iz Petrologije (5303), autori: prof. dr. sc. Dražen Balen i doc. dr. sc. Marijan Kovačić (materijali dostupni na <http://www.geol.pmf.hr>)

6. DODATAK

Pregled najvažnijih silikatnih minerala i njihovih svojstava

Tablica s popisom kratica imena nekih minerala i mineralnih skupina

Kratice imena nekih minerala i mineralnih skupina

Rječnik geoloških pojmova na engleskom jeziku

Geotektonska karta svijeta

6.1. PREGLED NAJVAŽNIJIH PETROGENIH MINERALA I NJIHOVIH SVOJSTAVA

SILIKATNI MINERALI

Nezosilikati

✧ **olivin, $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** nema; **L:** školjkast; **T:** $6\frac{1}{2}$ - 7; **G:** 3.27 - 4.37 (povećava se s povećanjem udjela Fe); **S:** staklast; **B:** svijetlo žuto-zelena do maslinasto-zelena (forsterit), tamnija, smeđe-zelena (fajalit)
- lako prelazi u serpentin $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- svjetlija boja od magnezija, tamnija od željeza
- prvi mineral koji kristalizira u stijenama s relativno niskim udjelom silicija
- najčešće u mafitnim i ultramafitnim magmatskim stijenama kao što su bazalt i peridotit; vlastita stijena: dunit (>90% čistog olivina)
- forsterit - u okolišima siromašnim ili vrlo siromašnim silicijem, uključujući metamorfozirane vapnence i dolomite; fajalit - u silicijem bogatijim uvjetima
- niske temperature uz prisutnost vode - hidrotermalne alteracije u serpentin, talk, klorit ili magnetit
- često dolaze u asocijacijama s piroksenima, spinelima i granatima - tada se mogu koristiti kao geotermometri jer su raspodjele elemenata između dviju koegzistentnih faza ovisne o temperaturi kristalizacije
- česti u asocijaciji s primarnim sulfidima

✧ **granati**

- **kristalizacija:** kub. (4/m $\bar{3}$ 2/m); **K:** nema; **L:** školjkast; **T:** $6\frac{1}{2}$ - $7\frac{1}{2}$; **G:** 3.5 - 4.3; **S:** staklast, **B:** crvena, smeđa, žuta, bijela, zelena, crna, bijeli ogreb
- **pirop, $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$** - tamno crven do crn, dolazi u ultrabazičnim stijenama (peridotit, kimberliti)
- **almandin, $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$** - smeđe-crven, tipični granat srednjeg do visokog stupnja regionalnog metamorfizma, nalazi se u škriljavcima i gnajsima nastalim uglavnom iz pelitnih sedimenata; rijetko i u nekim granitima i riolitima
- **spesartin, $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$** - smeđ do crven - dolazi u skarnovima (bogatim sa Mn), granitski pegmatiti, tinjčevi škriljavci
- **grosular, $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$** - bijeli, zelen, žut, smeđ, svijetlo crven - dolazi u kontaktnim ili regionalnim metamorfozama nečistih vapnenaca
- **andradit, $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$** - žuta, zelena, smeđa, crna - dolazi u nečistim Si-vapnencima
- **uvarovit, $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$** - smaragdno zelen - dolazi u serpentinima, s kloritoidima
- granati hidrotermalno alteriraju u klorite, epidot i tinjce
- produkti alteracije (kelifit) stvaraju često ovoje oko zrna granata - kelifitski ovoj

✧ **cirkon, ZrSiO_4**

- **kristalizacija:** tetr. (4/m2/m2/m); **K:** slaba po {010}; **T:** $7\frac{1}{2}$; **G:** 4.68; **S:** dijamantan; **B:** obično neka od nijansi smeđe, bezbojan, siv, zelen, crven; bezbojan ogreb
- uobičajeni akcesorni mineral u kiselim i neutralnim eruptivnim stijenama tipa granita i sijenita - tu kristalizira među prvima i zato se često u obliku sitnih kristala nalazi kao uklopak u svim drugim mineralima u stijeni; vrlo čest u nefelinskim sijenitima
- relativno krupni kristali mogu se naći u pegmatitima

- cirkonija - kubično stabilizirani ZrO_2 , koristi se u draguljarstvu kao jedna od imitacija dijamanta

✧ **Grupa silimanita-andaluzita-kijanita**

- silimanit nastaje pri visokim temperaturama, kijanit pri visokim tlakovima, a andaluzit pri niskim tlakovima i temperaturama
- trojna točka stabilnosti svih triju modifikacija: $\sim 600^\circ C$ i tlak 5,5 kbar
- tipični metamorfni minerali, pojavljuju se u karakterističnim uvjetima
- prijelaz andaluzita u silimanit može poslužiti kao geotermometar tj. za određivanje temperature metamorfizma u uvjetima relativno niskog tlaka

✧ **silimanit, Al_2SiO_5**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** savršena po $\{010\}$; **T:** 6 - 7; **G:** 3.2; **S:** staklast; **B:** smeđa, svijetlo zelena, bijela
- dolazi u visokotemperaturnim metamorfozama glinovitih stijena, u regionalno metamorfnim stijenama može se naći u metapelitima

✧ **andaluzit, Al_2SiO_5**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** dobra po $\{110\}$; **T:** 7 $\frac{1}{2}$; **G:** 3.2; **S:** staklast; **B:** crvenkasta, smečkasta, maslinasto zelena, varijetet ima u sebi tamne uklopke ugljika u formi križa
- tipična pojava u kontaktnim aureolama magmatskih intruzija u glinovite stijene, može doći i sa silimanitom ili kijanitom u regionalnim metamorfozama, ponekad u granitima i pegmatitima

✧ **kijanit, Al_2SiO_5**

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena po $\{100\}$; **T:** 5 - paralelno s izduženošću, 7 - okomito na izduženje; **G:** 3.5; **S:** staklast do biseran; **B:** obično plava, često tamnija prema središtu kristala
- tipičan mineral škriljavaca i gnajseva nastalih regionalnom metamorfozom glinovitih sedimenata, često s granatima, staurolitom, korundom, dolazi i u eklogitima i kimberlitima (s piroksenima), nađen i u pegmatitskim i kvarcnim žilama

✧ **topaz, $Al_2SiO_4(F, OH)_2$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** savršena po $\{001\}$; **T:** 8; **G:** 3.5; **S:** staklast; **B:**
- karakterističan mineral pegmatita - nastaje iz para bogatih fluorom koje se oslobađaju u zadnjim stadijima očvršćivanja silicijem bogatih magmatskih stijena, nalazi se u šupljinama riolitnih lava i granita; asocijacije s turmalinom, kasiteritom, apatitom, fluoritom, berilom, kvarcom, tinjcima i feldspatima

✧ **staurolit, $Fe_2Al_9O_6(SiO_4)_4(O, OH)_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **T:** 7 - 7 $\frac{1}{2}$; **G:** 3.65 - 3.75; **S:** staklast kad je svjež, bez sjaja ili zemljast kada je izmijenjen ili nečist; **B:** crveno-smeđ do smeđe-crno
- produkt regionalnog metamorfizma
- nalazi se kao porfiroblast u škriljavcima i gnajsima, često u asocijaciji s granatima i kijanitom

✧ **kloritoid, $(Fe, Mg)_2Al_4O_2(SiO_4)_2(OH)_4$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** dobra po $\{001\}$; **T:** 6 $\frac{1}{2}$; **G:** 3.5 - 3.8; **S:** biseran; **B:** tamnozelen, zelenkasto-siv, često travnato zelen
- obično nastaje u ranom stadiju regionalnog metamorfizma niskog do srednjeg stupnja iz sedimenata bogatih s Fe

- obično dolazi kao porfiroblast u asocijacijama s muskovitom, kloritom, staurolitom, granatom i kijanitom

Sorosilikati

Grupa epidota

- serija klinozoisit-epidot

✧ **epidot, $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001} i nesavršena po {100}; **T:** 6 - 7; **G:** 3.3; **S:** staklast; **B:** pistacija-zelena do žuto-zelena, crna
- dolazi u regionalno metamorfnim uvjetima epidot-amfibolskog facijesa; karakterističan u aktinolit-albit-epidot-kloritnoj asocijaciji facijesa zelenih škriljavaca; niskotemperaturne metasomatoze u nekim granitnim stijenama (epidotizacija)
- nalazi se i u vezikulama i žilama u bazičnim lavama, često s kalcitom i kloritima
- važan sastojak spilita
- uobičajen je i u metamorfoziranim vapnencima gdje se nalazi s kalcijevim granatima, vezuvijanom i kalcitom

✧ **zoisit, $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m2/m2/m); **K:** savršena po {001} i slaba po {100}; **T:** 6; **G:** 3.35; **S:** staklast; **B:** zelena, zeleno-smeđa
- uglavnom u metamorfnim stijenama, osobito u amfibolitima
- u bazičnim eruptivima kao produkt alteracije Ca-silikata zajedno s epidotom, Ca-granatima, aktinolitom...
- prozirni kristali nalaze se u hidrotermalnim žilama

Ciklosilikati

✧ **kordijerit, $(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18} \times n\text{H}_2\text{O}$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m2/m2/m); **K:** slaba po {010}; **T:** 7 - 7 ½; **G:** 2.60 - 2.66; **S:** staklast; **B:** razne varijacije plave do plavo-sive
- tipični metamorfni mineral
- kontaktnometamorfne stijene (naročito hornfelsi), stijene visokog stupnja regionalnog metamorfizma (škriljavci, gnajsi, granuliti), mafitni eruptivi, graniti
- pojavljuje se zajedno sa silimanitom, muskovitom, biotitom, kalisjkim feldspatima, korundom, spinelima, granatima i andaluzitom

✧ **Grupa turmalina, $(\text{Na, Ca})(\text{Li, Mg, Al})_3(\text{Al, Fe, Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$**

- dominantno pneumatolitski minerali
- nalaze se u granitima, grajzenima, granitskim pegmatitima i kvarcnim žilama asociраним s granatima
- kao akcesorni minerali nalaze se i u škriljancima i gnajsima
- turmalinski granit - djelovanjem pneuma koje potječu iz granitske magme i koje uz ostale volatilne komponente sadrže bor, iz feldspata u granitu mogu nastati veće količine turmalina
- u granitima, škriljancima i gnajsevima obično su zelenocrni do crni (schorl); u pegmatitima zeleni ili ružičasti (elbait)
- dolaze u zajednici s kvarcom, albitom, lepidolitom, mikrokilnom, granatima, muskovitom, dolomitom, epidotom, fluoritom, titanitom, berilom, apatitima i spodumenom

✧ **turmalin, $(\text{Na, Ca})(\text{Li, Mg, Al})_3(\text{Al, Fe, Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$**

- **kristalizacija:** hex. (3m); **K:** nema; **L:** školjkast; **T:** 7 - 7 ½; **G:** 3.1; **S:** staklast do smolast; **B:** tamna, zavisi o sastavu

- najčešće dolazi u granitnim pegmatitima, također i kao akcesorni mineral u magmatskim i metamorfnim stijenama; pegmatitske asocijacije: mikroklin, albit, kvarc, muskovit

Inosilikati

Pirokseni

- važni petrogeni minerali - u nizu stijena su glavni minerali, a pirokseniti su sastavljeni pretežno samo od piroksena
- prema sustavu u kojem kristaliziraju razlikuju se: ortopirokseni (rompski) i klinopirokseni (monoklinski)
- pirokseni pokazuju kuteve između ploha kalavosti pod $\sim 93^\circ$

✧ **enstatit-ferosilitna serija, $(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** dobra po {210}, često lučenja po {100}; **T:** 5 ½ - 6; **G:** 3.4; **S:** staklast do biseran na plohama kalavosti; **B:** sivkasta, žuta, zelenkasto-bijela, maslinastozelena, smeđa
- Mg-bogati ortopirokseni česti su sastojci peridotita, gabra, norita i bazalta i često su u asocijaciji sa Ca-klinopiroksenima, olivinom, plagioklasima; često i u metamorfnim granulitnim facijesima (visoki P i T)
- ortopirokseni često pokazuju eksolucijske lamele Ca-bogatih piroksena
- grade i vlastite stijene - piroksenite
- ima ih u zajednicama s olivinima, flogopitom, klinopiroksenima, spinelima i granatima (pirop)
- uobičajene su korone oko olivina u kontaktu s plagioklasima u kojima nastaju srasli pirokseni i spineli u bazičnim i ultrabazičnim stijenama
- djelovanjem hidrotermalnih otopina ortopirokseni prelaze najčešće u serpentine
- ortopirokseni su obično češće alterirani od augita koji je s njima asociiran

✧ **pigeonit, $\text{Ca}_{0.25}(\text{Mg, Fe})_{1.75}\text{Si}_2\text{O}_6$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** dobra po {110}, lučenje po {100} može biti prisutno; **T:** 6; **G:** 3.30 - 3.46; **B:** smeđa, zelenkasto-smeđa do crna
- nalazi se u brzo hlađenim magmatskim stijenama, najčešće u andezitima i dacitima, rjeđe u bazaltima
- u efuzivima je obično u malim fenokristalima ili u malim zrnima osnove
- često dolaze kao korone oko zrna olivina i ortopiroksena

✧ **diopsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) - hedenbergitna ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) serija**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** nesavršena po {110}, često lučenja po {001}; **T:** 5 - 6; **G:** 3.3; **S:** staklast; **B:** bijela do svijetlo zelena (ovisi o povećanju udjela Fe)
- diopsid - karakterističan za termalno metamorfozirane, silicijem obogaćene dolomitične stijene; nalazi se i u škriljavicima bogatim kalcijem i magnezijem nastalima regionalnom metamorfozom ili eruptivnih ili sedimentnih stijena
- hedenbergit - u metamorfoziranim sedimentima bogatim željezom i u skarnovima, nađen i u nekim kvarcsijenitima i gabrima bogatim željezom

✧ **augit, $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe, Al})(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$**

- član diopsid - hedenbergitne serije → **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** nesavršena po {110}, često lučenja po {001}; **T:** 5 - 6; **G:** 3.3; **S:** staklast; **B:** bijela do svijetlo zelena (ovisi o povećanju udjela Fe)
- najčešći piroksen i važan petrogeni mineral - vjerojatno najrasprostranjeniji Mg-Fe mineral magmatskih stijena

- uglavnom dolazi u tamnim magmatskim st. kao što su bazaltne lave i intruzivi, gabri, peridotiti i andeziti
- kemijski zonirani augiti česti su u naglo hlađenim stijenama, tipa bazalta s Mjeseca
- subkalcijski augiti karakteristični su za brzo hlađenje magme i nalaze se gotovo isključivo u bazaltima i andezitima
- titanov augit - tipični klinopiroksen bazičnih alkalijskih stijena
- u metamorfnim stijenama augit je manje čest, a nalazi se u nekim granulitima i čarnokitima i drugim stijenama visokog stupnja metamorfizma
- u mnogim bazičnim stijenama augit je često pneumatolitskom aktivnošću djelomično ili potpuno alteriran u svijetlozeleni amfibol koji nazivaju uralit (obično aktinolitni amfibol)
- uobičajeni produkt alteracije augita je i klorit, a manje česti produkti alteracija su i epidot i kalcit

✧ jadeit, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** {110}, vrlo čvrst, teško se lomi; **T:** $6\frac{1}{2}$ - 7; **G:** 3.4; **S:** staklast, biseran na pl. kalavosti; **B:** svijetlo do smaragdno zelena, bijela
- pri povišenim tlakovima i temperaturama nastaje iz nefelina i albita:

$$\text{NaAlSiO}_4 + \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \leftrightarrow \text{NaAlSi}_2\text{O}_6$$
- dolazi jedino u metamorfnim stijenama (visoki P i niska T) - takvi uvjeti postoje na rubovima kontinentske kore

✧ spodumen, $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** {110}, obično dobro vidljivo lučenje po {100}; **T:** $6\frac{1}{2}$ - 7; **G:** 3.15 - 3.20; **S:** staklast; **B:** bijela, siva, ružičasta, žuta, zelena
- mineral granitskih pegmatita, bogat litijem, u kojima je asociiran s lepidolitom, berilom, petalitom, turmalinima, albitom i kvarcom

Piroksenoidi

✧ wolastonit, CaSiO_3

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena po {100} i {001}, dobra po $\{\bar{1}01\}$; **T:** 5 - $5\frac{1}{2}$; **G:** 2.8 - 2.9; **S:** staklast, biseran na pl. kalavosti, može biti svilenkast na fibroznom agregatu; **B:** bezbojan, bijel, siv
- uglavnom se pojavljuje u kontaktnim metamorfozama u vapnencima, gdje nastaje reakcijom kalcita i kvarca: $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$
- asocijacije s kalcitom, diopsidom, andraditom, grosularom, tremolitom, plagioklasima, vezuvijanitom i epidotom
- progresivni metamorfizam Si-dolomita: talk $\rightarrow$ tremolit $\rightarrow$ diopsid $\rightarrow$ forsterit $\rightarrow$ wolastonit $\rightarrow$ periklas $\rightarrow$ monticelit

✧ rodonit, MnSiO_3

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena po {110} i $\{\bar{1}\bar{1}0\}$; **T:** $5\frac{1}{2}$ - 6; **G:** 3.5; **S:** staklast; **B:** rozo-crvena, ružičasta, smeđa, često prevučen tamnim Mn-oksidom
- dolazi u manganskim naslagama i Mn-bogatim željeznim formacijama, a kao rezultat metamorfne i često metasomatske aktivnosti - može nastati reakcijom od rodokrozita:

$$\text{MnCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{MnSiO}_3 + \text{CO}_2$$
- nalazi se i u hidrotermalnim žilama

Amfiboli

- važni petrogeni minerali, glavni minerali brojnih stijena

- iza feldspata su, uz piroksene, najobilniji minerali u Zemljinoj kori
- također kristaliziraju u monoklinskom i rompskom sustavu
- razlika od piroksena - prema kutevima među plohama kalavosti koji iznose $\sim 124^\circ$

✧ **antofilit, $(\text{Mg, Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** romp. (2/m 2/m 2/m); **K:** savršena po {210}; **T:** $5\frac{1}{2}$ - 6; **G:** 2.85 - 3.2; **S:** staklast; **B:** siva do zelena, smeđa i bež
- dolazi metamorfnim stijenama srednjeg stupnja metamorfizma bogatim magnezijem; čest i u kordieritnim škriljancima i gnajsevima

✧ cummigtonitna serija: **cummingtonit, $\text{Fe}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - grunerit, $\text{Fe}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {110}; **T:** $5\frac{1}{2}$ - 6; **G:** 3.1 - 3.6; **S:** svilenkast (vlaknast); **B:** razne nijanse svijetlo smeđe
- cummingtonit - sastojak regionalno metamorfnih stijena, pojavljuje se i u amfibolitima, često dolazi uz hornblende i aktinolit
- grunerit - karakterističan za metamorfozirane željezne formacije
- pri progradnom metamorfizmu prelaze u ortopiroksene ili minerale olivinske serije

✧ tremolitna serija: **tremolit, $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - aktinolit, $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {110}, kut = 56° ; **T:** 5 - 6; **G:** 3.0 - 3.3; **S:** staklast, često sa svilenkastim presijavanjem na plohama prizme; **B:** bijela do zelena (aktinolit)
- nižetemperaturni metamorfni minerali
- važni su sastojci raznih škriljavaca (zeleni škriljanci, kloritni škriljanci, aktinolitni škriljanci), nalaze se u kontaktnim zonama eruptivnih i karbonatnih stijena (vapnenaca, dolomita), te u alteriranim ultrabazičnim stijenama zajedno s talkom
- tremolit - dolazi najčešće u metamorfoziranim dolomitičnim vapnencima:

$$5 \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 8 \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 + 3 \text{CaCO}_3 + 7 \text{CO}_2$$
 pri višim temperaturama je nestabilan i prelazi u diopsid
- aktinolit - karakterističan za facijes zelenih škriljavaca, dolazi i u glaukofanskim škriljancima gdje je u asocijacijama sa kvarcom, epidotom, glaukofanom...
- minerali ovog niza mogu alterirati u klorit ili u karbonate, tremolit ponekad alterira u talk

✧ **hornblenda, $(\text{Ca, Na})_{2-3}(\text{Mg, Fe, Al})_5\text{Si}_6(\text{Si, Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {110}; **T:** 5 - 6; **G:** 3.0 - 3.4; **S:** staklast, fibrozni varijeteti svilenkasti; **B:** razne nijanse tamno zelene do crne
- važan i vrlo raširen petrogeni mineral, dolazi i u magmatskim i u metamorfnim uvjetima, posebno je karakterističan za metamorfite srednjeg stupnja = amfiboliti → u asocijaciji s plagioklasima, hornblende su glavni konstituenti
- važan sastojak u mnogim magmatskim intruzivima (naročito u kiselim i neutralnim stijenama, posebno u alkalijским granitima, sijenitima i dioritima)
- u nizu eruptivnih stijena hornblende su sekundarnog postanka, a nastale su iz primarnih piroksena procesom uralitizacije
- u eklogitima su hornblende uglavnom nastale retrogradnom metamorfozom iz omfacita
- rjeđe dolaze u efuzivima
- djelovanjem hidrotermalnih otopina hornblende alteriraju u klorit, epidot, kalcit i kvarc

✧ **glaukofan, $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {110}; **T:** 6; **G:** 3.1 - 3.4; **S:** staklast; **B:** plava do boje lavande i crne, tamnija što je veći udio Fe; bijeli do svijetlo plavi ogreb
- dolazi samo u metamorfnim stijenama kao što su škriljanci, eklogiti i mramori; glavni je konstituent glaukofanskih škriljavaca

- pojava glaukofana odražava nisku temperaturu i relativno visok tlak pri metamorfozi
- dolazi u asocijacijama sa jadeitom, aragonitom...

✧ **prehnit, $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** romp. (2mm); **T:** 6 - 6 ½; **G:** 2.8 - 2.95; **S:** staklast; **B:** obično svijetlo-zelena koja prelazi u bijelu
- tipični hidrotermalni mineral koji uglavnom nastaje prilikom alteracije bazičnih plagioklasa, a nalazi se u žilicama, šupljinama i mandulama bazičnih eruptiva u asocijaciji sa zeolitima, pektolitom, datolitom, kalcitom i epidotom
- mnogo rjeđe dolazi u granitskim gnajsevima i sijenitima
- tipičan produkt metamorfoze niskog stupnja

Filosilikati

✧ **talk, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena po {001}, listići fleksibilni, ali ne elastični; **T:** 1; **G:** 2.7; **S:** biseran do mastan; **B:** zelenkasta, siva, bijela, srebrno bijela; mastan opip
- sekundarni mineral koji nastaje alteracijom Mg-silikata (olivina, piroksena i amfibola); karakterističan za niski stupanj metamorfoze, gdje može doći u obliku masivne stijene
- stvaranje talka (steatitizacija) u ultrabazičnim stijenama slijedi iza njihove serpentinizacije, a važnu ulogu ima ugljična kiselina
- gradi i vlastite škriljavce - talkove škriljavce

✧ **pirofilit, $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **T:** 1 - 2; **G:** 2.8; **S:** biseran do mastan; **B:** bijela, zelenkasta, siva, smeđa
- rijedak mineral u metamorfnim stijenama
- nastaje djelovanjem kiselih hidrotermalnih otopina na stijene bogate aluminijem
- dolazi u asocijaciji s kjanitom, andaluzitom ili silimanitom i to kao produkt njihovih alteracija

✧ **muskovit, $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001}, elastični listići; **T:** 2 - 2 ½; **G:** 2.76 - 2.88; **S:** staklast do svilenkast ili biseran; **B:** bezbojan i proziran u tankim listićima, u agregatima ima svijetle tone žute, smeđe, zelene, crvene
- jako raširen i čest petrogeni mineral; čest je i u metamorfnim stijenama, kao glavni sastojak tinjčastih škriljaca; u kloritnim metamorfnim zonama karakterističan je sastojak albit-klorit-muskovitnih škriljaca
- nalazi se u granitima (kristalizira obično nakon biotita), pegmatitima, grajzenima hidrotermalnim žilama i u metamorfnim stijenama (škriljavci i gnajsevi) koje su nastale metamorfozom sedimentnih stijena
- sericit - petrografskih naziv za vrlo sitnolistićavi bijeli tinjac (najčešće nastaje hidrotermalnom hidrotermalnom alteracijom feldspata)

✧ **biotit, $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001}, listići su elastični; **T:** 2 ½ - 3; **G:** 2.8 - 3.2; **S:** blistav, sličan dijamantnom; **B:** tamno zelena, smeđa, crna, vrlo rijetko svjetlije žut, tanki listići imaju boju dima
- nastaje u različitim geološkim sredinama
- uz muskovit su najrasprostranjeniji tinjci
- magmatskog, metamorfnog i metasomatskog postanka

- jedan glavnih minerala mnogih eruptivnih stijena i granita, metamorfnih stijena (škriljavci i gnajsevi), a nalaze se i u pegmatitima
- vermikulit - uobičajeni produkt površinskog trošenja biotita
- najčešći produkt hidrotermalne alteracije biotita je klorit

✧ **flogopit, $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001}, listići su elastični; **T:** 2 ½ - 3; **G:** 2.86; **S:** staklast do biseran; **B:** žuto-smeđa, zelena, bijela, često s bakrenim odsjajem na pov. kalavosti
- dolazi u metamorfozama Mg-bogatih vapnenaca, dolomita i ultrabazičnih stijena; često i u kimberlitima
- flogopit se često nalazi i u metamorfoziranim karbonatnim stijenama i u ultrabazitima
-

✧ **lepidolit, $\text{K}(\text{Li, Al})_{2-3}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{O, OH, F})_2$**

- **kristalizacija:** monokl. (2/m) i hex.; **K:** savršena po {001}; **T:** 2 ½ - 4; **G:** 2.8 - 2.9; **S:** biseran; **B:** ružičasta i ljubičasta do sivkasto-bijela
- tinjci ove serije najčešći su litijevi minerali
- dolaze uglavnom u litijevim pegmatitima, zatim u pneumatolitski izmijenjenim kiselim stijenama (grajzeni)

✧ **klorit, $(\text{Mg, Fe})_3(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \times (\text{Mg, Fe})_3(\text{OH})_6$**

- **kristalizacija:** monokl. ili trikl.; **K:** savršena po {001}, listići savitljivi, ali ne elastični; **T:** 2 - 2½; **G:** 2.6 - 3.3; **S:** staklast do biseran; **B:** različite nijanse zelene; rjeđe žuta, bijela ili rozo-crvena
- čest mineral metamorfnih stijena, dijagnostički mineral facijesa zelenih škriljavaca; često dolazi uz aktinolit i epidot
- nalaze se kao sporedni ili akcesorni minerali u stijenama niskog do srednjeg stupnja regionalnog metamorfizma, a u nekim metamorfnim stijenama dominantni su minerali (kloritni škriljavci)
- u eruptivnim stijenama i stijenama višeg stupnja metamorfizma su sekundarni, a nastali su uglavnom hidrotermalnom alteracijom primarnih Fe-Mg minerala - tinjaca, piroksena, amfibola, granata i olivina
- česti su u alteriranim bazičnim stijenama i hidrotermalno alteriranim zonama oko rudnih tijela

✧ **serpentin: antigorit, lizardit, krizotil, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$**

- **kristalizacija:** hex. i monokl., antigorit i lizardit su obično masivni i fino zrnati, a krizotil je fibrozni; **T:** 3 - 5; **G:** 2.5 - 2.6; **S:** mastan, voštan u masivnih varijeteta, svilenkast u fibrozni; **B:** svjetlije i tamnije nijanse zelene
- čest mineral, obično kao rezultat alteracije Mg-silikata, posebno olivina, piroksena i amfibola - npr. od forsterita:



- dolazi i u magmatskim i u metamorfnim stijenama
- lizardit - najčešći serpentinski mineral i najobilniji mineral stijena serpentinita
- serpentin općenito tvore velike stijenske mase koje su nastale hidrotermalnom alteracijom dunita i piroksenita
- asocirani su s talkom, magnezitom, dolomitom, kromitom i magnetitom
- serpentin zamjenjuju i olivine u bazaltima i gabrima

Tektosilikati

✧ kvarc, SiO_2

- **kristalizacija:** hex. (32); **K:** nema; **L:** školjkast; **T:** 7; **G:** 2.65; **S:** staklast, kod nekih primjeraka, baršunast, blistav; **B:** obično bezbojan ili bijel, no često obojen zbog nečistoća

Feldspati

✧ sanidin, $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001}, po {010} dobra; **T:** 6; **S:** staklast; **B:** bezbojan, često proziran; bijeli crt
- dolazi u fenokristalima u eruptivnim stijenama tipa riolita i trahita, karakterističan za stijene hlađene izrazito brzo s početne temp. u trenutku erupcije

✧ ortoklas, KAlSi_3O_8

- **kristalizacija:** monokl. (2/m); **K:** savršena po {001}, dobra po {010}, nesavršena po {110}; **T:** 6; **G:** 2.57; **S:** staklast; **B:** bezbojan, bijel, siv, crven, rjeđe žut ili zelen; bijeli ogreb
- jedan od glavnih sastojaka granita i sijenita, koji su nastali hlađenjem na umjerenoj dubini i relativno brzo - za sporije hlađene granite i sijenite biti će mikroklin karakterističan K-feldspat; nalazi se i u pegmatitima

✧ mikroklin, KAlSi_3O_8

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena po {001}, dobra po {010} pod kutom $89^\circ 30'$; **T:** 6; **G:** 2.54 - 2.57; **S:** staklast; **B:** bijela do svjetlo žuta, rjeđe crvena ili zelena (amazonit)
- istaknuti sastojak magmatskih stijena tipa granita i sijenita, koje su se hladile polako i na određenoj dubini, od metamorfita ga ima u gnajsevima, a vrlo je čest i u pegmatitima

Feldspati - plagioklasi

✧ albit, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - anortit, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

- **kristalizacija:** trikl. ($\bar{1}$); **K:** savršena {001}, dobra po {010}; **T:** 6; **G:** 2.62 - 2.67; **B:** bezbojna, bijela, siva, rjeđe zelenkasta, žućkasta, crvenkasta; **S:** staklast do biseran, koji puta se vidi prekrasna igra boja, posebno na labradoritu i andezinu
- kao petrogeni minerali šire su rasprostranjeni od kalijskih feldspata
- što je u stijeni više SiO_2 , manje je u njoj tamnih minerala, a veća količina Na-plagioklasa; i obrnuto, što je udio SiO_2 manji, veći je udio tamnih minerala i više Ca-plagioklasa
- prije kristaliziraju Ca-plagioklasi (An) u slijedu kristalizacije magme, jer imaju više talište od natrijskih (Ab)
- oligoklas - karakterističan za grandiorite i monzonite - ako u sebi ima uklopke hematita, naziva se aventurin
- andezin - relativno se rijetko nađe, osim kao zrnca u andezitima i dioritima
- labradorit - česti feldspat u gabrima i bazaltima, a u anortitima je jedan od glavnih konstituenata
- bitovnit - samo u zrcima u gabru
- anortit - rjeđi od većine Na-plagioklasa, dolazi u stijenama bogatim tamnim mineralima
- Ca-plagioklasi jako su podložni izmjenama - česta je hidrotermalna do pneumatolitska albitizacija bazičnih plagioklasa
- niskotemperaturnom hidrotermalnom aktivnošću, a i procesima površinskog trošenja, plagioklasi prelaze u kaolinske minerale i sericit (ilit)

Feldspatoidi

✧ leucit, KAlSi_2O_6

- **kristalizacija:** tetragonski (4/m) ispod 605°C , kubični ($4/m\bar{3}2/m$) iznad 605°C ; **K:** nema; **T:** $5\frac{1}{2}$ - 6; **S:** staklast do zagasit; **B:** bijela do siva

- nalazi se u mladim alkalijskim vulkanskim stijenama bogatim kalcijem a siromašnim SiO_2
- dosta rijedak mineral, dolazi uglavnom u stijenama koje nastaju u većim dubinama, nikada ne dolazi u stijenama koje sadrže kvarc
- obično je u asocijaciji s alkalijskim feldspatima, nefelinom, analcimom, natrolitom, kalsilitom, piroksenima i magnetitom

✧ **nefelin, $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$**

- **kristalizacija:** hex. (6); **K:** uočljiva po $\{1010\}$; **T:** $5\frac{1}{2} - 6$; **G:** 2.60 - 2.65; **S:** staklast u kristalima, baršunast u masivnim varijetetima; **B:** bezbojan, bijel, žućkast, u masivnim varijetetima siv, zelenkast, crvenkast
- petrogeni mineral u magmatskim stijenama s manjkom silicija
- nalazi se u eruptivima siromašnim silicijem i bogatim alkalijama - nefelinskim sijenitima, pegmatitima, gnajsevima i fonolitima, u kojima je bitan konstituent, često nastao natrijskom metasomatozom
- pojavljuje se i u zajednicama s K-feldspatima, plagioklasima, Na-piroksenima i amfibolima, leucitom, olivinima, augitom i diopsidom

✧ **sodalit, $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$**

- **kristalizacija:** kubični ($\bar{4}3m$); **K:** slaba po $\{011\}$; **T:** $5\frac{1}{2} - 6$; **G:** 2.15-2.3; **S:** staklast; **B:** obično plava, također bijela, siva, zelena
- relativno rijetki petrogeni mineral
- dolazi s drugim feldspatoidima uglavnom u neutralnim magmatskim stijenama bogatim alkalijama

✧ **zeoliti**

- u vulkanskim stijenama (brzo hlađenim, a sadržavale su i znatnu količinu lako hlapivih komponenata) javljaju se gotovo redovito u šupljinama i mandulama, gdje su kristalizirali iz vrućih rezidualnih vodenih otopina ili para, a asociirani su s kalcitom, dolomitom, tinjcima i kvarcom
- produkti su i hidrotermalne alteracije drugih tektosilikata

NESILIKATNI MINERALI

✧ **aragonit, CaCO_3**

- **kristalizacija:** rompski (2/m 2/m 2/m); **K:** po $\{010\}$, slaba po $\{110\}$; **T:** $3\frac{1}{2} - 4$; **G:** 2.94; **S:** staklast; **B:** bezbojan, bijela, svijetložuta
- manje je stabilan od kalcita u atmosferskim uvjetima i rjeđi
- može se naći u fibroznim korama na serpentinu i amigdaloidnim šupljinama u bazaltu, a pojave su zabilježene i u nekim metamorfnim stijenama

✧ **kalcit, CaCO_3**

- **kristalizacija:** heksagonski ($\bar{3}2/m$); **K:** savršena po $\{10\bar{1}1\}$; **T:** $2\frac{1}{2}$; **G:** 2.71; **S:** staklast do zemljast; **B:** bezbojan, bijela, svijetložuta, siva, crvenkasta, kad je nečist smeđ do crn
- jedan od najraširenijih nesilikatnih petrogenih minerala (ima ga u sedimentnim stijenama, vapnencima, mramorima...)
- kao primarni mineral javlja se i u nekim magmatskim stijenama (karbonatiti, nefelinski sijeniti), dolazi i u šupljinama u lavi kao produkt kasne kristalizacije, te u hidrotermalnim žilama (sa sulfidnim rudama)

✧ **dolomit, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$**

- **kristalizacija:** heksagonski ($\bar{3}$); **K:** savršena po $\{10\bar{1}1\}$; **T:** $3\frac{1}{2} - 4$; **G:** 2.85; **S:** staklast, u nekim varijetetima biseran; **B:** najčešće nijanse ružičaste, "boje mesa"; može biti i bezbojan, bijel, siv, zelen, smeđ ili crn
- u najvećim se masama pojavljuje u sedimentnim stijenama i u dolomitičnim mramorima
- javlja se i u hidrotermalnim žilama (sa olovom i cinkom, fluoritom, kalcitom, baritom i sideritom)

✧ **gips, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$**

- **kristalizacija:** monoklinski (2/m); **K:** savršena po $\{010\}$, po $\{100\}$ pokazuje školjkastu površinu, a po $\{011\}$ vlaknastu površinu loma; **T:** 2; **G:** 2.32; **S:** uglavnom staklast, može biti i biseran do svilenkast; **B:** bezbojan, bijela, siva; različite nijanse žute, crvene i smeđe zbog nečistoća
- čest mineral u sedimentnim stijenama; kao evaporitni mineral pojavljuje se obično u većim masama

✧ **halit, NaCl**

- **kristalizacija:** kubičan ($4/m\bar{3}2/m$); **K:** savršena po $\{001\}$; **T:** $2\frac{1}{2}$; **G:** 2.16; **S:** uglavnom staklast, može biti i biseran do svilenkast; **B:** bezbojan; bijela, siva; različite nijanse žute, crvene, plave i ljubičaste zbog nečistoća
- čest evaporitni mineral

6.2. Kratice imena nekih minerala i mineralnih skupina

<i>ime minerala/skupine</i>	<i>kratica</i>
aktinolit	Act
albit	Ab
almandine	Alm
amfibol	Amp
andaluzit	And
andradit	Adr
anhidrit	Anh
anortit	An
antigorit	Atg
antofilit	Ath
aragonit	Arg
augit	Aug
biotit	Bt
cirkon	Zrn
diopsid	Di
dolomit	Dol
enstatit	En
epidot	Ep
fajalit	Fa
feldspat	Fsp
ferrosilit	Fs
flogopit	Phl
forsterit	Fo
gips	Gp
glaukofan	Gln
granat	Grt
grosular	Grs
halit	Hal
hedenbergit	Hd
hematit	Hem
hornblenda	Hbl
kalcit	Cal
kijanit	Ky
klinoamfibol	Cam
klinopiroksen	Cpx
klorit	Chl
kloritoid	Cld
kordijerit	Crd
korund	Crn
krizotil	Ctl
kummingtonit	Cum
kvarc	Qtz
lepidolit	Lpd
leucit	Lct
mikroklin	Mc
muskovit	Ms

<i>ime minerala/skupine</i>	<i>kratica</i>
nefelin	Ne
olivin	Ol
ortoamfibol	Oam
ortoklas	Or
ortopiroksen	Opx
pirit	Py
piroksen	Px
pirop	Prp
plagioklas	Pl
sanidin	Sa
sericit	Ser
serpentin	Srp
silimanit	Sil
sodalit	Sdl
spesartin	Sps
staurolit	St
talk	Tlc
tinjac	Mca
topaz	Toz
tremolit	Tr
turmalin	Tur
uvarovit	Uvt
zeolit	Zeo

6.3. Rječnik geoloških pojmova na engleskom jeziku

Preuzeto iz: Blatt, H. & Tracy, R. J. (1996): Petrology. Igneous, Sedimentary and Metamorphic. W. H. Freeman and co. , 529 str.

6.4. Geotektonska karta svijeta

"Earth's dynamic crust", National Geographic Society, 1985.