

# MINERALOGIJA I PETROLOGIJA

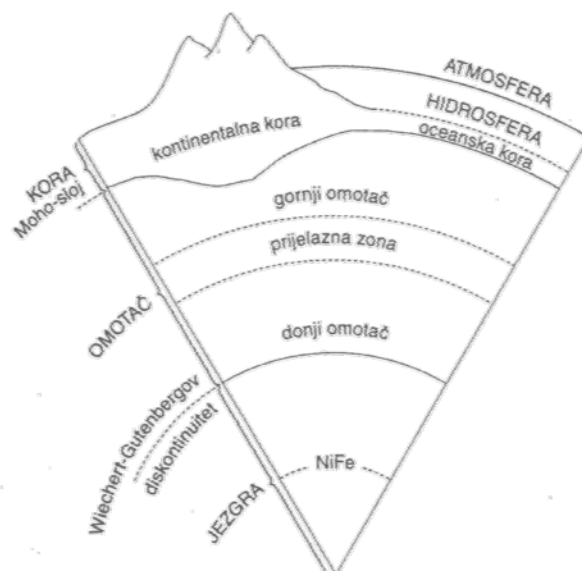
## OPĆA MINEROLOGIJA

### 1. LJUSKASTA GRAĐA ZEMLJE

Zemlja ima ljuskastu građu, iznad Zemljine površine nalazi se zračni omotač *atmosfera*, dok je *hidrosfera* vodeni omotač (ljuska) koji obuhvaća svu vodu na površini i u unutrašnjosti Zemlje.

Na Zemlji razlikujemo nekoliko *diskontinuiteta*, tj. granica u Zemljinoj unutrašnjosti na kojima dolazi do nagle promjene u brzini i načinju širenja seizmičkih valova. Diskontinuiteti razdvajaju područja različitog sastava ili različitog agregatnog stanja. Glavna podjela Zemlje po diskontinuitetima je na *koru*, *omotač* i *jezgru*. Koru od omotača odvaja *Mohorovičićev diskontinuitet* koji se nalazi na dubini od 10 km ispod oceana i 40-70 km ispod kontinenata. Na dubini od 2900 km nalazi se *Wiechert-Gutenbergov diskontinuitet* koji odvaja omotač od jezgre.

Kontinentalna kora izgrađuje kontinente (debljina varira između 40 i 70 km), dok oceanska kora izgrađuje oceane (debljina varira između 4 i 12 km). Prosječna gustoća kore je  $2.7 \text{ g/cm}^3$ . Omotač se dijeli na gornji omotač, prijelaznu zonu i donji omotač. Gornji omotač seže od Mohorovičićeva diskontinuiteta do dubine od 400 km. U gornjem omotaču najvažnija je zona od 70 do 250 km koja se naziva *astenosferom*. Stijene iznad astenosfere u čvršćem su stanju i tvore *litosferu* (gornji dio omotača i kora). Prijelazna zona nalazi se između 400 i 1000 km. Na tim dubinama dolazi do znatnog povećavanja brzina seizmičkih valova (pretvorba olivina u spinel, 400 do 670 km). Donji omotač karakterizira smanjenje brzine širenja seizmičkih valova, a na njega nailazimo između 1000 i 2900 km. Na dubini od 2900 km brzina *P-Valova* (titraju okomito na smjer širenja) naglo opada, dok brzina *S-Valova* (titraju longitudinalno) uopće ne prodire u jezgru. Time smo zaključili da je vanjski dio jezgre u rastaljenom stanju, a unutarnji u krutom. Vanjski dio jezgre sastoji se od taljevine Fe i Ni sa 5-15% primjesama O ili S, dok se unutarnji dio sastoji od slitine Ni i Fe.



### 2. TEORIJA TEKTONIKE PLOČA

Kora i dio gornjeg omotača tvore *litosferu* koja se sastoji od šest ploča (Euroazijska, Indoaustralska, Pacifička, Sjevernoamerička, Južnoamerička i Afrička) koje plivaju na

plastičnoj astenosferi. Debljina im je različita kao i širina. Teorija tektonike ploča objašnjava raspodjelu najznačajnijih geoloških pojava na Zemlji, potresna područja, vulkani, planinski lanci, oceanski grebeni i brazde te otočni lukovi i rasjedi. Kretanjem ploča mijenja se vanjski izgled Zemlje. Brzina kretanja ploča je 1-10 cm/god. Začetnik teorije tektonike ploča je Alfred Wegener (*Pangea*, prakontinent).

### 3. DIVERGENTNO I KONVERGENTNO KRETANJE PLOČA

*Divergentno kretanje* je odmicanje ploča, u zoni između njih nastaje nova kora, prodire magma iz koje nastaju magmatske stijene. *Konvergentno kretanje* kompenzira nastali prirast. Njime se dvije ploče primiču pri čemu dolazi do *subdukcije*, podmicanja jedne ploče ispod druge. Raspadanje Pangee tumači se postojanjem *vrućih točaka* iznad kojih dolazi do dizanja i pucanja kore. Pokretanje ploča koje uzrokuju nastajanje oceana naziva se *Wilsonovim Ciklusom*, tako Crveno more predstavlja primjer oceana u nastajanju.

### 4. MINERALOGIJA, KRISTALI I MINERALI

Mineralogija je znanost o mineralima koja proučava njihov oblik, unutrašnju građu, fizikalna i kemijska svojstva, postanak, metode određivanja i kriterije klasifikacije. Mineralogija kao znanost započinje djelovanjem G. Bauera-Agricole u XVI. stoljeću.

Minerali su prirodne, čvrste, većinom anorganske tvari definirane kemijskog sastava, stalnih fizikalnih svojstava, stabilne unutar određenih temperaturnih granica, tlaka i kemijskog sastava okoliša, te većinom pravilne unutrašnje građe izražene kristalnom rešetkom. *Amorfni minerali* su oni nepravilne unutrašnje građe, dok su *kristali* minerali pravilne unutrašnje građe. Vanjski, pravilan, poliedarski oblik kristala ovisi o pravilnom rasporedu materijalnih čestica unutar samog kristala. Svaki kristal iste mineralne vrste ima jednaka svojstva.

Temeljna svojstva kristala su:

*Homogenost* (jednakost svojstava u svakom njegovom dijelu)

*Anizotropija* (jednaka svojstva u paralelnim, a različita u neparalelnim smjerovima)

*Simetrija* (vanjska ili geometrijska, unutrašnja ili kristalografska)

*Rast* (pravilno slaganje materijalnih čestica usporedno sa kristalnim plohama)

Minerali koji nisu nastali u Zemljinoj litosferi, a odgovaraju mineralima po svojim svojstvima, nazivaju se *lunarnim*, odnosno, *meteoritnim mineralima* (svemirskog postanka) ili *sintetički minerali* (nastali u laboratoriju oponašanjem prirodnih uvjeta). *Rudni minerali* su oni iz kojih se tehnološkim putem dobivaju ekonomski isplative sirovine. *Petrogeni minerali* su minerali koji izgrađuju stijene.

### 5. GEOMETRIJSKI ELEMENTI KRISTALA I DIJELOVI KRISTALNE REŠETKE

Geometrijski elementi kristala, koji imaju oblik pravilnih poliedara ili višeplošnika, su *plohe*, *bridovi* i *vrhovi*. Istovrsne plohe imaju jednak oblik, veličinu i simetriju. Simetrija plohe određena je brojem pravaca simetrije koji dijele plohu na dva zrcalno jednaka dijela. Asimetrična ploha nema niti jedan pravac simetrije. Plošni kut, kut između odgovarajućih ploha, na kristalu iste mineralne tvari je jednak, čak i ako je kristal deformiran tijekom rasta (*zakon o stalnosti plošnih kutova*, N. Stensen, 1669.).

### 6. TRI KRISTALOGRAFSKA ZAKONA

*Simetrija*, *zakon o stalnosti plošnih kutova*, *zakon racionalnih indeksa*.

### 7. ELEMENTI KRISTALNE REŠETKE I KRISTALNI SUSTAVI

Unutrašnja građa minerala predočava se pravilnom trodimenzionalnom rešetkom u čijim čvorovima se nalaze *materijalne čestice* (ioni, atomi ili molekule). Čvorovi se nalaze na uspravnim pravcima na jednakoj udaljenosti tvoreći tako *točkasti niz*. Usporedni, jako

razmaknuti točkasti nizovi imaju izgled mreže i tvore *mrežnu ravninu*, koja naposljetku tvori *kristalnu rešetku*. Temeljna jedinica kristalne rešetke je *jedinična ćelija*. Jedinična ćelija definirana je bridovima i kutovima među njima. Bridovi tvore koordinatni sustav koji se u kristalografiji zove *osni križ*.

## 8. KRISTALNI SUSTAVI I OZNAČAVANJE KRISTALNIH PLOHA

*Kubični sustav* ima tri jednake i međusobno okomite osi ( $a = b = c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ )

*Tetragonski sustav* ima tri međusobno okomite osi od kojih su svije jednake i vodoravne, a treća je uspravna, dulja ili kraća ( $a = b \neq c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ )

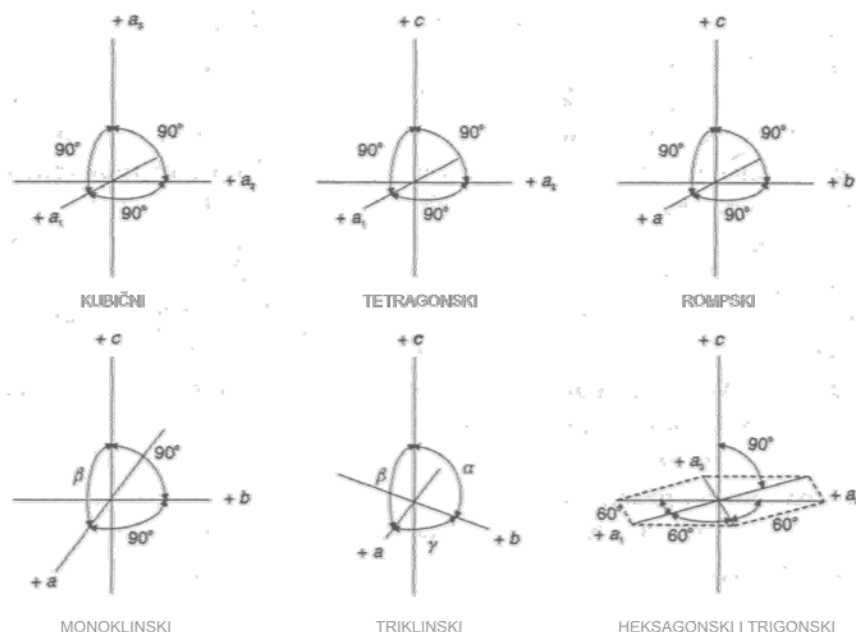
*Rompski sustav* ima tri nejednake i međusobno okomite osi ( $a \neq b \neq c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ )

*Monoklinski sustav* ima tri nejednake osi, dva prava kuta ( $a \neq b \neq c$ ,  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ,  $\beta \neq 90^\circ$ )

*Triklinski sustav* ima tri nejednake osi i tri različita kuta

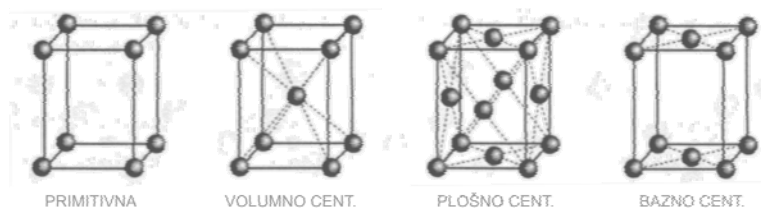
*Heksagonski sustav* ima iznimno četiri osi, od kojih su tri jednake i nalaze se u vodoravnoj plohi pod kutom od  $120^\circ$ , a četvrta je uspravna, dulja ili kraća od vodoravnih

Kristalne plohe odraz su unutarnje građe kristala i dio su mrežnih ravnina. Označavanje kristalnih ploha je određivanje njihova položaja i nagiba prema kristalografskim osima. Odsječak plohe na osi, udaljenost od središta kristala do sjecišta plohe s nekom osi, zove se *parametar*. Kristalna ploha se može označiti *parametarskim odnosom*. Za plohu koja siječe sve tri osi u jediničnim udaljenostima parametarski odnos je ( $1a : 1b : 1c$ ). Ploha koja siječe os  $a$  u dva puta većoj udaljenosti ima odnos ( $2a : 1b : 1c$ ). Ovakav način označavanja nazivamo *Weissovom parametrima*. Češće se koristimo *Millerovim indeksima*. Ti indeksi su racionalni, najčešće mali brojevi, što izražava i *zakon racionalnih indeksa* (na kristalu su moguće samo one plohe za koje su indeksi racionalni i općenito mali brojevi, R.J. Haüy, 1771.).



## 9. BRAVAISOVE JEDINIČNE ĆELIJE

Jedinična ćelija sastoji se od istovrsnih materijalnih čestica. Prema rasporedu materijalnih čestica u ćeliji razlikujemo *primitivnu* ili *jednostavnu ćeliju*, *volumno* ili *prostorno centriranu ćeliju*, *plošno centriranu ćeliju* i *bazno centriranu ćeliju*. U svakom kristalnom sustavu moguće su jedna ili više od četiri navedene ćelije. Ako se objedini odnos bridova i kutova te raspored čestica možemo izdvojiti 14 tipova te ih zovemo *Bravaisove jedinične ćelije*.



## 10. KEMIJSKE VEZE U KRISTALIMA I TIPOVI KRISTALNIH REŠETAKA

Minerali se sastoje od jednog ili više kemijskih elemenata. Materijalne čestice su raspoređene u čvorovima kristalnih rešetaka. Elementi su u ravnoteži zbog djelovanja kemijskih privlačnih i odbojnih sila. Sile su različite vrste i jednakosti. Prevladava *ionska veza* između iona metala, koji lako otpuštaju elektrone i postaju kationi, i iona nemetala, koji primanjem elektrona postaju anioni. Anioni i kationi izgrađuju *ionsku rešetku*. Privlačne sile djeluju jednako u svim smjerovima. Kristalna rešetka je neutralna. Kristali sa ionskom vezom imaju visoko talište i loši su vodiči el. struje (jer naboji imaju točno određena mjesta).

Svaki ion u rešetki okružen je određenim brojem iona suprotnog naboja. Taj broj je *koordinacijski broj*. Raspored aniona koji okružuju središnji kation zove se *koordinacijski poliedar*, a dobiva se spajanjem središta aniona. Broj vrhova koordinacijskog poliedra jednak je koordinacijskom broju. Najčešći koordinacijski brojevi su 4 (tetraedar), 6 (oktaedar) i 8 (heksaedar).

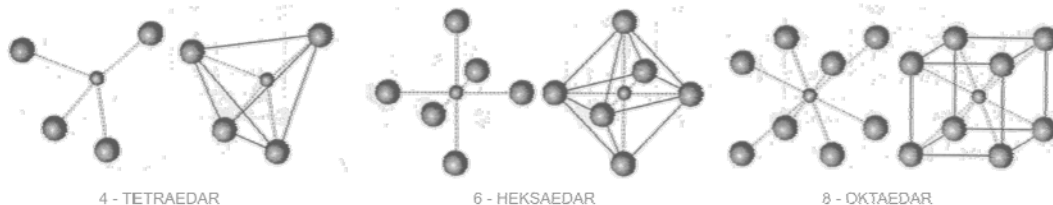
U nekim mineralima veza je *kovalentna*, pa atomi izgrađuju *atomsku rešetku* (dijamant). Kovalentna veza odvija se između nemetala koji lako primaju elektrone stvaranjem zajedničkog elektronskog para. Čvrsta je i usmjerena od atoma prema atomu. Takvi kristali imaju veliku tvrdoću, visoko talište, netopljivi su i ne vode el. struju.

*Metalnu vezu* ostvaruju atomi kovina. Oni lako otpuštaju elektrone koji tvore el. oblak u *metalnoj rešetki*. Elektroni su zajednički većem broju atoma u rešetki i veoma su pokretljivi, pa su stoga dobri vodiči el. energije i topline.

Između neutralnih molekula djeluju slabe *van der Waalsove sile* koje ostvaruju *molekularnu rešetku*. Te sile su rezultat privlačenja pozitivnog naboja jezgara jedne molekule i negativnog naboja elektronskog omotača atoma druge molekule. Kristali sa ovim tipom veze pravilno se kidaju (kalaju).

*Homodezmične rešetke* imaju samo jednu vrstu kemijske veze, dok *heterodezmične* imaju više tipova kem. veze (otočni, lančasti, slojeviti i prostorni tipovi).

Kod *otočnih tipova* rešetaka koordinacijski poliedri tvore izdvojene skupine. Kod *lančastih tipova* poliedri su linearno spojeni. *Slojeviti tipovi* imaju slojevit raspored, veze unutar slojeva su jače nego između slojeva. Kod *prostornih tipova* poliedri su jednako raspoređeni u tri prostorna pravca.



## 11. SIMetriJA KRISTALA

Simetrija kristala je jedno od temeljnih svojstava kristala. Pri promjeni jednog geometrijskog elementa kristala mijenjaju se i ostali istovrsni geometrijski elementi (*zakon simetrije*, R.J. Haüy, 1815.). *Elementi makrosimetrije*, koji tvore grupaciju od 32 kristala, imaju odraz na vanjskoj simetriji, a *elementi mikrosimetrije* na unutarnju simetriju. Na temelju svih

elemenata simetrije kristale grupiramo u 230 prostornih grupa. *Simetrijske operacije* koje ponavljaju istovrsne geometrijske elemente su *zrcaljenje*, *rotacija* i *inverzija*. *Jednostavni elementi makrosimetrije* ponavljaju istovrsne geometrijske elemente samo jednom simetrijskom operacijom.

*Ravnina simetrije* je zamišljena ravnina koja prolazi središtem kristala i dijeli ga na dva jednaka dijela. Označava se slovom *P* ili slovom *m*.

*Rotacijska os simetrije* ili *gira* je pravac koji prolazi kroz središte kristala oko kojeg se kristal može okrenuti 2, 3, 4 ili 6 puta unutar 360°, a da pri tome dođe u istovrsni položaj. Prema kutu zaokreta razlikujemo *digiru*, *trigitu*, *tetragiru* i *heksagiru*. Gire se označavaju slovom *L* uz odgovarajući eksponent.

*Centar simetrije* je točka u središtu kristala koji razdvaja spojnice svih nasuprotnih, istovrsnih geometrijskih elemenata. Označava se slovom *C* ili slovom *i*.

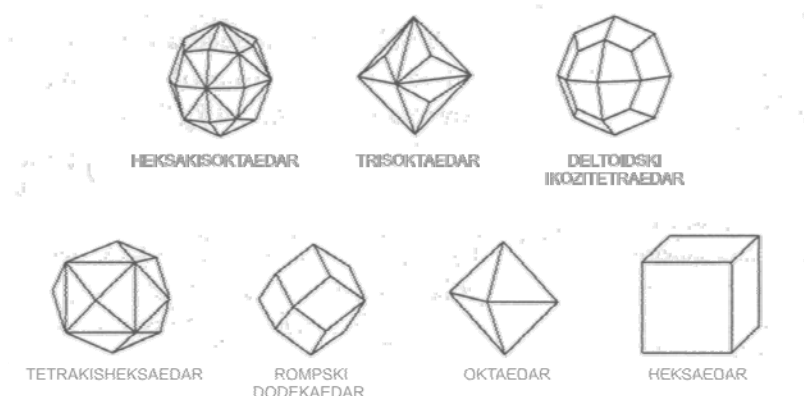
## 12. KRISTALNA FORMA I KOMBINACIJA

Kristalna forma je skup istovrsnih ploha koji kao cjelina ima određenu simetriju. Tako šest ploha oblika kvadrata tvori formu koja se zove *heksaedar*, a osam ploha oblika jednakostraničnog trokuta *oktaedar*. *Zatvorena forma* je forma čije plohe zatvaraju neki prostor, dok *otvorene forme* ne zatvaraju prostor. Kristal koji sadrži više formi zove se *kombinacija*. Forme s najvišom simetrijom unutar jednog kristalnog sustava zovu se *holoedri*, a one s nižom *hemiedri*, *tetartoedri* i itd.

U kubičnom sustavu najvišu simetriju imaju forme *heksakisoktaedar*, *trisoktaedar*, *deltoidski ikozitetraedar*, *tetrakisheksaedar*, *rompski dodekaedar*, *oktaedar* i *heksaedar*. U ostalim sustavima prevladavaju *pinakoidi*, *prizme* i *bipiramide*. Pinakoid je otvorena forma koja ima dvije paralelne plohe. Baznim pinakoidom nazivamo formu čije plohe sijeku samo uspravnu os *c*. Prizma je forma čije su plohe paralelne s jednom kristalografskom osi. Ima različit broj ploha. Bipiramida je zatvorena forma čije plohe sijeku os *c*. Ima različit broj ploha.

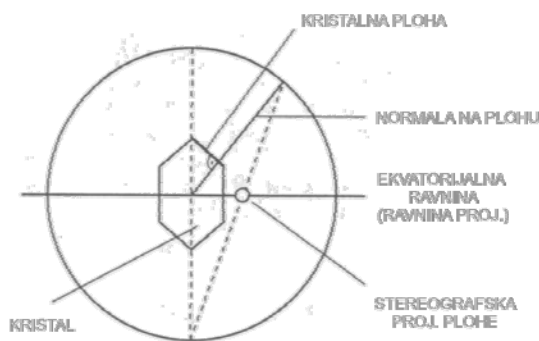
Pri označavanju kristalnih ploha indeks u okrugloj zagradi označava indeks samo jedne plohe, a indeks u vitičastoj zagradi označava indeks forme.

HOLOEDAR	MILLEROV INDEKS	BROJ PLOHA
HEKSAKISOKTEDAR	{123}	48
TRISOKTAEDAR	{221}	24
DELTOIDSKI IKOZITETREDAR	{112}	24
TETRAKISHEKSEDAR	{120}	24
ROMPSKI DODEKAEDAR	{110}	12
OKTAEDAR	{111}	8
HEKSAEDAR	{100}	8



### 13. STEREOGRAFSKO PROJICIRANJE KRISTALA

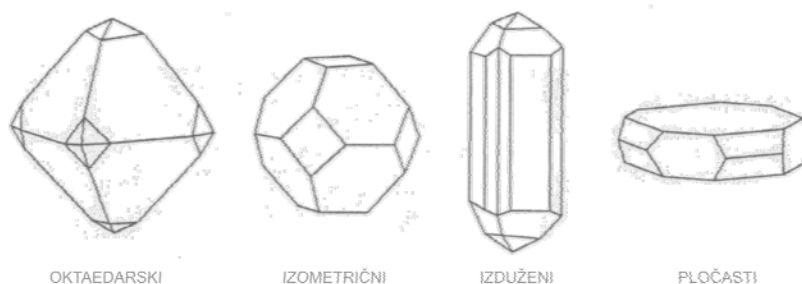
Kristal koji se projicira zamisli se u središtu kugle iz kojega se zamisle okomice ili normale na svaku kristalnu plohu. Normale probadaju kuglu u točkama *sferne projekcije*. Kroz središte postavlja se ravnina, tzv. *ekvatorijalna ravnina (ravnina projekcije)*. Njen presjek s kuglom naziva se *glavnim krugom*. Točke sferne projekcije spajaju se s južnim polom kugle, a spojnice probadaju ekvatorijalnu ravninu u točkama stereografske projekcije. Ovom metodom obično projiciramo gornji dio kruga. Stereografskom projekcijom projiciraju se i ravnine, osobito ravnine simetrije.



### 14. HABITUS I NJEGOVE VRSTE

*Habitus* je vanjski izgled kristala. Ovisi o unutarnjoj građi te o uvjetima postanka. Može se definirati kristalnom formom koja prevladava na kristalu.

*Izometrički* habitus imaju obično kristali kubičnog sustava kojima su dimenzije u svim smjerovima podjednake. *Izduženi* habitus imaju kristali koji kristaliziraju u sustavima s nejednakim osima ako kristal raste duž jednog pravca brže nego duž ostalih. *Pločasti* habitus imaju također kristali koji kristaliziraju u sustavima s nejednakim osima gdje kristal raste duž jednog pravca sporije nego duž ostalih.



### 15. NEPRAVILNOSTI HABITUSA I UNUTARNJE GRAĐE

*Idealni kristali* koji su nastali u idealnim uvjetima rasta imaju pravilan poliedarski habitus kao posljedicu pravilne unutarnje građi. *Realni kristali* su kristali s izraženim nepravilnostima habitusa i unutarnje građi.

Među nepravilnostima habitusa često je razvučenost kristala, hrapava i mutna površina, isprutane plohe i kristalni skeleti. *Razvučeni kristali* nastaju za vrijeme rasta kristala zbog neravnomjernog pritjecanja mineralne tvari kristalnim ploham. *Hrapava i mutna površina* posljedica je uklapanja različitih čestica na površini kristala, kao i tvorbe vrlo sitnih ploha neke druge kristalne forme iste kristalne klase. *Isprutane plohe* nastaju zbog promjene smjera rasta kristala ili zbog mnogostrukog naizmjeničnog ponavljanja dvaju ploha. *Kristalni skeleti* posljedica su brzog rasta kristala na bridovima i vrhovima.

Među nepravilnostima unutarnje građe najčešće su dislocirani atomi ili ioni, vakancije, inkluzije i zonalna građa. *Dislocirani atomi* ili *ioni* nalaze se u kristalnoj rešetki, ali ne u njezinim čvorovima. Ako napuste svoja mjesta u njoj nastaju šupljine ili *vakancije*. *Inkluzije* ili uklopci su minerali, tekućine ili plinovi uklopljeni u kristal za vrijeme njegova rasta. *Zonalnu građu* imaju kristali kod kojih zapažamo područja različitih svojstava.

#### 16. ZASEBNI KRISTALI, SRASLACI I AGREGATI

*Zasebni kristali* su pojedinačni kristali, u prirodi malobrojni. Slobodni su ili prirasli, ovisno rastu li slobodno bez zapreke ili rastu s neke podloge u slobodni prostor.

*Sraslaci* su dva ili više kristala pravilno spojena po određenom zakonu. Interpretiraju se zakretanjem pojedinca za  $180^\circ$  stupnjeva oko sraslačke osi. Ravnina simetrije sraslačke tvorbe zove se *sraslačka ravnina*, površina kojom se dodiruju kristali *sraslački šav*.

Prema broju sraslih kristala razlikujemo *jednostruke* i *višestruke sraslace*. Višestruki sraslaci mogu biti *polisintetski* ili *ciklički*. Sraslaci, prema površini, mogu biti *dodirni* ili *prodorni*.

*Agregati* su skupine minerala sa nepravilnom međusobnim odnosom pojedinaca u skupini. Više su zastupljeni nego sraslaci i zasebni kristali. Razlikuju se kristalni agregati od agregata amorfni minerala. U kristalnim agregatima svaki pojedinac ima manje ili više pravilan vanjski oblik s razvijenim kristalnim ploham. Nastaju u šupljinama stijena.

#### 17. KEMIJSKA I FIZIKALNA SVOJSTVA MINERALA

Kemijska svojstva su kemijski sastav, sadržaj vode, izomorfija, i polimorfija. Fizikalna svojstva su kohezija (tvrdoća, kalavost, lom, kovnost), optička, toplinska, električna, magnetična, fiziološka te radioaktivnost i gustoća.

Fizikalna svojstva mogu biti vektorska i skalarna. Vektorska ovise o smjeru i različita su u različitim, a jednaka u paralelnim smjerovima. Skalarna svojstva ne ovise o smjeru i jednaka su u svim smjerovima. Većina fizikalnih svojstava su vektorska (kohezijska, optička, plinska, električna i magnetična). Skalarna su svojstva fiziološka, radioaktivnost i gustoća.

#### 18. KEMIJSKI SASTAV, IZOMORFIJA I POLIMORFIJA

Kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, natrij, kalij i magnezij osam su glavnih elemenata u tvorbi minerala. Njihovim kombiniranjem nastaju minerali koji mogu biti kemijski elementi ili kemijski spojevi čiji se sastav određuje različitim postupcima analitičke kemije s ciljem određivanja masenog udjela kemijskih elemenata.

*Izomorfija* je pojava u kojoj minerali različitog, ali analognog kemijskog sastava, imaju slične kristalne rešetke i slična svojstva te tvore *izomorfne smjese* ili *kristalne mješance*. U kristalnim rešetkama međusobno se zamjenjuju veličinom slični ioni.

*Polimorfija* je pojava u kojoj minerali istog kemijskog sastava imaju različita kemijska svojstva. Takvi minerali se nazivaju *polimorfnim modifikacijama*. Modifikacije koje se bitno razlikuju po kristalnoj strukturi i fizikalnim svojstvima imaju različite nazive, a one s manjim razlikama označavaju se grčkim slovima (npr.  $\alpha$ -kvarc). Tvorba polimorfne modifikacije ovisi najčešće o temperaturi i tlaku, pa je tako prijelaz iz jedne u drugu modifikaciju prouzročen promjenom tih faktora.

#### 19. VODA U MINERALIMA

*Konstruktivskom vodom* nazivamo vodu koja je sadržana kao sastavni dio kristalne rešetke u obliku hidroksid-iona ( $\text{OH}^-$ ). Gubitkom te vode kristal se raspada i ne može vodu primiti natrag u rešetku.

Ako kristal sadrži vodu u obliku molekula  $\text{H}_2\text{O}$ , takva voda može biti ili *kristalna* ili *adsorpcijska*.

*Kristalna voda* se nalazi na određenim mjestima kristalne rešetke. Kristal djelomično može izgubiti takvu vodu, ali ju i primiti natrag. Potpunim gubitkom vode kristal prelazi u novi mineral.

*Adsorpcijska voda* nema strogo određeno mjesto u kristalnoj rešetki. Kod nekih minerala količina ovakve vode izaziva određenu plastičnost (klizišta na glinovitom tlu). Kod minerala slojevite građe ona se nalazi između slojeva, pa se naziva *međuslojna voda*. Kod zeolita se raspoređuje po šupljinama i kanalima rešetke i naziva se *zeolitnom vodom*. Grijanjem mineral gubi vodu pri čemu se jedinična ćelija smanjuje, dok pri povratku jedinična ćelija se povećava što uzrokuje bubrenje.

Sadržaj bilo kojeg tipa vode iskazuje se u kemijskoj formuli minerala. No minerali mogu sadržavati higroskopnu i mehanički uklopljenu vodu koja se ne iskazuje kemijskom formulom.

*Higroskopna voda* je voda koja se ne nalazi u kristalnoj rešetki već na površini minerala kao molekula  $H_2O$  u obliku vlage. Takva voda izbacuje se grijanjem minerala do točke vrelišta vode.

*Mehanički uklopljenu vodu* sadrže minerali kao inkluzije uklopljene tijekom rasta minerala. Ta je voda, najčešće, dio matične otopine iz koje je mineral nastao.

## 20. KOHEZIJSKA SVOJSTVA

Kohezijska svojstva ovise o *koheziji*, sili koje djeluje u kristalnoj rešetki zbog koje su materijalne čestice na stalnoj udaljenosti. Kohezija za uzrok ima određene kemijske sile i održavanje rešetke na minimumu energije.

*Tvrdoća* je otpor minerala prema djelovanju mehaničke sile na njegovu površinu. *Apsolutna tvrdoća* (prema utiskivanju, odskoku ili brušenju) izražava se broјčano u određenim mjernim jedinicama, a mjeri se prikladnim instrumentima. *Relativna tvrdoća* prema paranju (*T*) je neimenovani broj koji označava je li jedan mineral tvrdi ili mekši u odnosu na drugi, bez obzira na apsolutnu tvrdoću (F. von Mohs, XIX. st.).

<i>MINERAL</i>	<i>MOHS TVRDOĆA</i>	<i>PARA IH</i>
TALK	1	NOKAT
GIPS	2	NOKAT
KALCIT	3	Cu ŠILJAK
FLUORIT	4	ČELIČNI NOŽ
APATIT	5	ČELIČNI NOŽ
ORTOKLAS	6	TURPIJA
KVARC	7	TURPIJA
TOPAZ	8	*PARA STAKLO
KORUND	9	*PARA STAKLO
DIJAMANT	10	*PARA STAKLO

*Kalavost* je pravilno lomljenje minerala po kristalnim plohama na kojeg djeluje vanjska sila. Imaju je minerali kod kojih je kohezija različita u različitim smjerovima. Ovisi o strukturi kristala, a izražena je plohom u kojoj je najjača kohezija. Minerali se mogu kalati jednom i više ploha.

*Lom* je nepravilno kidanje minerala kod kojih je kohezija podjednaka u svim smjerovima. Prema izgledu površine loma razlikujemo školjkaste, zemljaste, neravne lomove itd.



*Kovnost* je svojstvo minerala, osobito kovina, da se pod djelovanjem mehaničke sile stanje, a ne pucaju, što je posljedica metalne veze unutar kristalne rešetke. Pokretni oblak elektrona omogućava klizanje slojeva atoma bez kidanja veza.

## 21. OPTIČKA SVOJSTVA

Optička svojstva ovise o svjetlosti. Svjetlost je dio spektra elektromagnetskog zračenja (400-700 nm). Optička svojstva koja zapažamo golim okom su propuštanje svjetlosti, boja i sjaj.

Minerali koji potpuno *propuštaju svjetlost* su prozirni (kalcit, gips), za razliku od onih koji svjetlost potpuno apsorbiraju, pa su neprozirni (galenit, grafit). Minerali mogu biti i djelomično prozirni, tj. propuštaju samo dio svjetlosti.

*Boja* je posljedica selektivne refleksije različitih valnih duljina bijele svjetlosti od površine minerala. Bezbojni minerali podjednako reflektiraju sve valne duljine svjetlosti, a obojeni različito. Obojeni minerali mogu biti *idiokromatični* (imaju vlastitu boju, sadrže kromofore) ili *alokromatični* (boja nije uvjetovana kemizmom, kromofori su primjese u mineralu). Boja minerala određuje se promatranjem mineralnog praha. Ako je *ogreb* (trag) bezbojan, mineral je alokromatičan.

*Sjaj* je svojstvo minerala ovisno o refleksiji koja je jača s ravnih i glatkih ploha nego s neravne odlomljene površine. Sjaj ovisi o indeksu loma, pa je jači kod minerala većeg indeksa. Prema jačini razlikujemo voštani, smolasti, svilenasti, sedefasti, masni, staklasti, dijamantni i metalni sjaj.

Svi minerali, kao uostalom i sve tvari, imaju *indeks loma* svjetlosti ( $n$ ), fizikalnu konstantu koja izražava optičku gustoću tvari i obrnuto je proporcionalna brzini širenja svjetlosti u toj tvari. Indeks loma tvari je omjer brzine svjetlosti u vakuumu, odnosno tvari iz koje svjetlost dolazi i brzine svjetlosti u tvari u koju svjetlost upada. Većina minerala (osim onih kubičnog sustava i amorfnih) ima *dvolom* (svjetlost se razdvaja u dva dijela ili vala). Minerali koji nemaju dvolom su *optički izotropni*, a oni koji ga imaju su *optički anizotropni*. Dvolomom nastali valovi su linearno polarizirani (imaju međusobno okomite titrajne pravce i različite brzine širenja), prolazom kroz mineral određene debljine ostvaruju *razliku u hodu* ( $\Delta$ ). Ona je jednaka umnošku debljine minerala ( $d$ ) i razlike indeksa loma dvaju valova nastalih dvolomom.

$$\Delta = d(n_2 - n_1)$$

Razlika u hodu uzrokuje pojavu *interferencijskih boja*. Nastajanje i promatranje interferencijskih boja omogućeno je konstrukcijom *polarizacijskog mikroskopa*. Polarizacijskim mikroskopom promatra se *vlastita boja* minerala. Ako se pri zakretanju mikroskopskog stolića mijenja vlastita boja, znači da je apsorpcija svjetlosti za svaki dvolomom nastali val različita. Takva se pojava naziva *pleokroizam*.

## 22. MAGNETIČNA SVOJSTVA, FIZIOLOŠKA SVOJSTVA I GUSTOĆA MINERALA

Minerali, s obzirom na magnetska svojstva, mogu biti *feromagnetni* (magnet ih privlači), *dijamagnetni* (slabo izražena magnetska svojstva, jaki magnet ih odbija) i *paramagnetni* (magnetska svojstva slabo izražena, jaki magnet ih privlači).

Fiziološka svojstva su ona svojstva koja se zapažaju neposredno osjetilima (okus, miris i opip). *Okus* imaju minerali koji su topivi u vodi. *Miris* se može osjetiti kod nekih minerala prilikom njihovog mrvljenja, zagrijavanja ili vlaženja. *Opip* je tipičan za specifične minerale (talk i gips imaju mastan opip).

*Gustoća* je omjer mase tijela i njegova volumena ( $\text{g/cm}^3$ ). Ovisi o kemijskom sastavu i kristalnoj rešetki, pa veću gustoću imaju minerali koji sadrže elemente većih atomskih brojeva i rešetke s gušćim rasporedom materijalnih čestica. Gustoća je važna za procjenu dragog i poludragog

kamenja te za razlikovanje sintetičkih od prirodnih minerala. Obično se izražava relativnom gustoćom ( $G$ ), odnosom gustoće minerala prema gustoći vode ( $4\text{ °C} \rightarrow 1\text{ g/cm}^3$ ).

### 23. GENEZA ILI POSTANAK MINERALA

*Geneza minerala* razmatra način postanka kristalnih klica i rast kristala te promjene njihove unutarnje građe, vanjskog oblika, kemijskih i fizikalnih svojstava. S obzirom na nastanak minerale dijelimo na *magmatske*, *sedimentne*, *metamorfne* i *minerale kore trošenja*.

Najčešći mehanizam postanka minerala je *kristalizacija*. Kristalizacija je prijelaz tekuće ili plinovite faze u čvrstu, i to pravilnim trodimenzionalnim raspoređivanjem materijalnih čestica u kris. rešetku. Kristalizacija započinje nastajanjem *centra kristalizacije* ili *kristalne klice*. Klice nastaju zbog sniženja temperature ili zasićenja otopine, kada se čestice mineralne tvari prestaju slobodno gibati. Nije vidljiva niti okom niti optičkim instrumentom. Povećavanjem sila privlačenja u odnosu na sile gibanja nastaju formacije igličastih i kuglastih oblika koje nazivamo *kristali*. *Rast kristala* je anizotropno svojstvo, dakle različit je u različitim smjerovima (kristali nisu kuglastog oblika). Sredina male *viskoznosti* (svojstvo slabog otjecanja, tj. pokretljivosti) pogodna je za rast kristala. Ako je viskoznost velika, manja je mogućnost kretanja materijalnih čestica, pa je kristal sporiji, a postoji i mogućnost pojave mikrolita (sićušnih kristala) ili amornog vulkanskog stakla. Amorfno stanje nije stabilno i postupno prelazi u kristalno stanje. Kristali nastaju i iz *pravih (kristalnih) otopina* koje sadrže otopljenu mineralnu tvar. Iz *koloidnih otopina* čije čestice, veličine od 1 do 100 nm (*koloidne čestice*), gubitkom otapala (vode) tvore čvrsti amorfni *gel* koji u određenim okolnostima prelazi u kristalno stanje.

*Magmatski minerali* su minerali čiji postanak je vezan uz *magmu* (prirodna taljevina kompleksnog, pretežno silikatnog sastava koja potječe iz unutrašnjosti Zemlje) i različite stadije njezinog hlađenja. Magma sadrži i lako hlapljive sastojke koji umanjuju njezinu viskoznost, snižavaju tališta minerala i time pospješuju kristalizaciju. Na mjestu postanka je homogena, no postupnim kretanjem prema površini homogenost se gubi, te joj se mijenja sastav. Gušći minerali nastaju pri višim temperaturama, dok manje gušći nastaju tijekom hlađenja. Američki petrolog N.L. Bowen pretpostavio je redosljed kristalizacije minerala iz magme. Prikazao ga je dvama *reakcijskim nizovima* minerala koji padom temperature istodobno kristaliziraju naznačenim redosljedom. Jedan je izomorfni *kontinuirani niz* plagioklasa, a drugi je *diskontinuirani niz* femskih minerala, bogatih željezom i magnezijem.

U prirodi se malokad nalazi na potpune reakcijske nizove i obično se nalaze njegovi dijelovi. Naime, prvo nastali kristali, veće gustoće, padaju na dno magmatskog rezervoara i sudjeluju u reakciji s magmatskom taljevinom. U procesu snižavanja temperature i tlaka te promjene sastava magme razlikuju se neki stadiji koji uvjetuju kristalizaciju. *Pirogeni* ili *magmatski stadij* je stadij u kojem kristaliziraju *pirogeni* ili *magmatski minerali*, pri temperaturama višim od  $600\text{ °C}$ . U ovom stadiju kristaliziraju silikatni minerali Bowenovih reakcijskih nizova te sulfidi i oksidi teško taljivih kovina. U zaostaloj taljevini koncentriraju se volatili (najvažnija je vodena para) koji se ne ugrađuju u minerale. U *pegmatitnom stadiju* kristaliziraju minerali pri temperaturama od  $600$  do  $500\text{ °C}$ . U toj magmi ima dosta volatila zbog kojih se mineralna tvar lako pokreće prema kristalizacijskim centrima gdje nastaju krupni *pegmatitni minerali* koji sadrže OH-skupinu. U *pneumatolitnom stadiju* kristaliziraju minerali sublimacijom plinova i para koje se gomilaju nakon kristalizacije minerala u prethodnim stadijima uzrokujući povišenje tlaka do vrijednosti više od vanjskog tlaka. *Lavom* nazivamo magmu koja izbija na površinu. *Pneumatolitni minerali* nastaju pri temperaturama višim od kritične temperature vode, tj. pri  $350\text{ °C}$ . *Hidrotermalni stadij* je završni stadij kristalizacije minerala magmatskog postanka. *Hidrotermalni minerali* nastaju iz jako koncentrirane vodene otopine magmatskog postanka koja sadrži mnogo otopljenih soli. Najčešće ih nalazimo u oblicima gnijezda, žila, žica i impregnacija. Temperatura postanka je između  $350$  i  $100\text{ °C}$ . Među

takvim mineralima su i glavni rudni minerali. Pneumatolitni i hidrotermalni stadij se objedinjuje zbog nedostatka čvrstih kriterija razlikovanja.

*Minerali sedimentnog postanka* nastaju u površinskim dijelovima Zemljine kore. *Hidatogeni minerali* nastaju kristalizacijom iz hladnih vodenih otopina koje nisu magmatskog postanka. *Evaporitni minerali* kristaliziraju iz slanih jezera i *salina*, prirodno visoko koncentriranih otopina koje se isparavaju zbog zagrijavanja Sunčevom energijom. *Organogeni minerali* kristaliziraju biokemijskim procesima. Postanak *hidatogenih minerala* vezan je uz oborinsku i oceansku vodu te, tzv. pornu vodu. Izlučivanje minerala zbiva se izdvajanjem nekih sastojaka iz otopine, međusobnim djelovanjem mineralnih otopina, sublimacijom, te sniženjem temperature. U šupljinama kršnih terena međudjelovanjem stijena i vode koja sadrži kalcijev hidrogenkarbonat izdvaja se CO<sub>2</sub>, što kao produkt ima nastajanje kalcijeva karbonata.

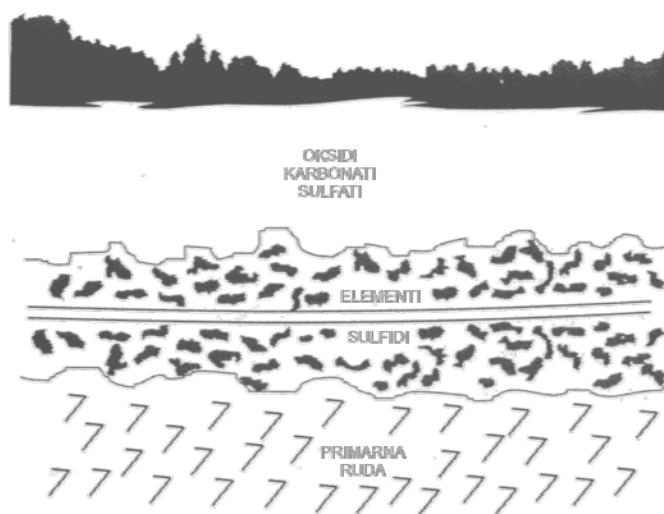


Oni tvore prekrasne *sige*. *Stalaktiti* se sa svodova špilja spuštaju prema dnu, a *stalagmiti* rastu s dna špilje. Međusobnim djelovanjem mineralnih otopina različitog kem. sastava nastaju netopljivi spojevi u obliku taloga. Sublimacijom vodene pare nastaju snježni kristali. Posljedica sniženja temperature je smanjena topljivost. *Evaporitni minerali* nastaju *evaporacijom* u aridnim ili suhim područjima te u područjima u kojima nema dotoka svježje vode, kao i u priobalnim dijelovima mora i jezera gdje se isparavanjem povećava koncentracija otopina. Gips, koji nastaje evaporacijom, tvori kristalne druze (*pustinjske ruže*) u pješčanim i muljevitim talozima na rubovima slanih jezera i *salina*. *Organogeni minerali* mogu nastati utjecajem životinja (*zoogeni*) ili utjecajem biljaka (*fitogeni*). Oni nastaju fiziološkim funkcijama organizama ili rekristalizacijom skeletnih ostataka uginulih organizama. Zajedničkim hidatogenim i organogenim djelovanjem nastaje, uz slapove i brzace kršnih rijeka, *vapnenačka sedra* (kalcijev karbonat).

*Metamorfni minerali* ne nastaju primarno kristalizacijom iz magme, otopine ili plina, nego metamorfozom ili preobrazbom već otprije nastalih minerala magmatskog, sedimentnog ili metamorfnog postanka bez njihovog otapanja ili taljenja. *Metamorfoza* je preraspodjela mineralne tvari u skladu s fizikalno-kemijskim uvjetima koji su različiti od uvjeta postanka minerala koji se metamorfizira. U plićim dijelovima litosfere tlak je usmjeren prema središtu Zemlje (*stres*) pa uzrokuje orijentaciju pločastih i izduženih minerala u usporedne nizove okomito na smjer djelovanja tlaka. U dubljim dijelovima tlak je neusmjeren (*litostatički*) pa nastaju minerali veće gustoće. Metamorfni minerali mogu nastati *kontaktnom metamorfozom*. To je metamorfoza manjeg prostiranja, uzrokovana temperaturom (*termalna metamorfoza*). Manjeg prostranstva su *pneumatolitna* i *hidrotermalna metamorfoza* koje su posljedica djelovanja plinova i vrućih otopina na minerale okolni stijena. Pritom se mijenja kemizam minerala zbog migracije iona, a proces se naziva *metasomatoza*. Takva metamorfoza je često *retrogradna* (minerali nastali pri višem tlaku i temperaturi se mijenjaju u minerale stabilne pri nižem tlaku i temperaturi). Novonastali minerali u pravilu sadrže vodu. *Progradnom metamorfozom* nazivamo proces suprotan retrogradnoj metamorfozi. *Metasomatoza* je aktivna i pri *metamorfozi oceanskog dna* u područjima djelovanja morske vode i lave na divergentnim rubovima ploča. Takva metamorfoza je velikog prostiranja kao i *orogena metamorfoza* kod nastajanja gorja. *Dinamotermalna metamorfoza*, koja prati povišenje temperature i tlaka, osim formiranja novih minerala uzrokuje i *rekristalizaciju minerala* (promjenu veličine).

Minerali koji nastaju trošenjem (relativno nizak tlak i temperatura) su *minerali kore trošenja*. Trošenje uzrokuje promjena temperature i tlaka, kisik, vodene otopine različitog pH, ugljik-dioksid, vjetar, pokretanje leda i organizmi. Vodu, CO<sub>2</sub> i kisik nazivamo *atmosferilije*. Najvažniji mehanizmi koji dovode do pojave minerala kore trošenja su hidratacija, oksidacija, redukcija, karbonatizacija i biokemijski procesi. U ležištima rudnih minerala nastaju

oksidacijska i cementacijska zona. *Oksidacijska zona* nalazi se iznad razine podzemne vode, do trošenja dolazi zbog oksidacijskog djelovanja kisika iz zraka, te CO<sub>2</sub> i vode. *Cementacijska zona* nalazi se ispod oksidacijske. U toj zoni reagiraju otopljene soli kovina iz oksidacijske zone s prisutnim prvotnim mineralima.



## SISTEMATSKA MINEROLOGIJA

### 1. KRITERIJ KLASIFIKACIJE MINERALA I NJIHOVOG IMENOVANJA

Kriteriji klasifikacije su različiti. Tako *genetska klasifikacija* svrstava minerale prema načinu postanka. Nedostatak te teorije je činjenica da isti mineral može nastati na različite načine. *Kemijska klasifikacija* svrstava minerale prema kemijskom sastavu, a njen glavni nedostatak je u tome što minerali koji sadrže više različitih kationa ne pripadaju samo jednoj skupini minerala. Minerali se mogu svrstati prema *abecedi* ili prema zajedničkom *fizikalnom svojstvu* (boji, tvrdoći itd.). *Uporaba* također može poslužiti kao kriterij klasifikacije. Danas se najčešće upotrebljava *kristalokemijska klasifikacija*.

### 2. KRISTALOKEMIJSKA KLASIFIKACIJA

*Kristalokemijska klasifikacija*, odnosno, svrstavanje minerala prema kemijskim strukturnim svojstvima. Kristali su svrstani u osam glavnih skupina na temelju zajedničkog aniona.

- ELEMENTI
- SULFIDI
- HALOGENIDI
- OKSIDI I HIDROKSIDI
- KARBONATI
- SULFATI
- FOSFATI
- SILIKATI

Zasebnu skupinu čine organski minerali koji, s obzirom na organski sastav, odnosno po mišljenu pojedinih mineraloga, na pripadaju mineralima.

#### ELEMENTI:

Elementi su minerali koji se nalaze kao kemijski elementi, nespojeni s drugim kemijskim elementima, u elementarnom ili samorodnom stanju. Čine samo 0.1% Zemljine ukupne mase. Razlikuju se kovine od nekovina, čak i neke polukovine (arsen, antimon, bizmut).

## SULFIDI:

Sulfidi su spojevi kovina prijelaznih elemenata (Fe, Cu, Zn, Pb itd.) i polukovina (Sb, Bi) sa sumporom. Strukturom su im slični *arsenidi*. Posebnu skupinu čine *sulfosoli*, minerali s kompleksnim anionom. Zbog tipično olovnosive boje nazivaju se još i *sinjavci*, a zbog kristala koji su obično tetraedarske forme i *tetraedritima*. Sulfidi većinom nastaju hidrotermalno i sedimentno u redukcijskim uvjetima, a u površinskim uvjetima su nestabilni i oksidiraju najčešće u sulfate. Izuzevši pirit, ostali minerali nemaju tvrdoću veću od 4, a većina ih je tvrdoće do 2.5. Veći broj sulfida ima jak metalni sjaj i važne su rude.

## HALOGENIDI:

Halogenidi su prema kemijskom sastavu soli klorovodične (HCl), fluorovodične (HF), jodovodične (HI) i bromovodične (HBr) kiseline, pa se razlikuju kloridi, fluoridi, jodidi i bromidi. Halogenidi su tipični ionski kristali. Većina ih ima jednostavan kemijski sastav i kristalizira u kubičnom sustavu visokog stupnja simetrije, dok su nižesimetrijski kompleksni halogenidi, osobito oni koji sadrže vodu. Glavna značajka halogenida je topljivost u vodi.

## OKSIDI I HIDROKSIDI:

*Oksidi* su spojevi kovina i polukovina s kisikom. U njihovoj krs. rešetki prevladava ionska veza. Imaju veliku gustoću i tvrdoću i tamnih su boja. Među njima ima važnih ruda, ali i brojnih varijeteta dragog kamenja.

*Hidroksidi* su spojevi kojima je anion hidroksid-ion, ili spojevi koji u anionu uz kisik sadrže i hidroksid-ion. U hidroksidima sa slojevitom rešetkom prevladavaju slabe van der Waalsove sile, pa se kalaju po slojevima.

## KARBONATI:

Karbonati su soli ugljične kiseline,  $H_2CO_3$ . Karbonata ima oko dvije stotine, ali samo ih je mali broj zastupljen u Zemljinoj kori u kojoj izgrađuju goleme mase karbonatnih stijena, vapnenaca i dolomita. U anionu,  $(CO_3)^{2-}$ , između ugljika i kisika prevladava kovalentna veza, a između aniona i kationa ionska veza. Zajednička svojstva su im tvorba izomorfni smjesa (izomorfna zamjena navedenih kationa), topljivost u kiselinama uz burno oslobađanje ugljičnog dioksida, mala relativna tvrdoća (2.5 do 4.5) i općenito jasne boje. Razlikujemo tri glavne skupine bezvodnih karbonata. *Skupina kalcita* (kalcit, magnezit, siderit, smitsonit i rodohrozit koji kristaliziraju u trigonskom sustavu), *skupina dolomita* (dvosoli, dolomiti, ankerit) i *skupina aragonita* (aragonit, stroncijanit, viterit, cerusit koji kristaliziraju u rompskom sustavu). Postoje i kristala koji sadrže  $(OH)^-$  i  $H_2O$  (malahit i azurit). Karbonatima su strukturom slični *nitрати*, soli dušične kiseline ( $HNO_3$ ).

## SULFATI:

Sulfati su soli sumporne kiseline i često su zastupljeni u Zemljinoj kori. Nastaju u oksidacijskoj sredini pri relativno niskim temperaturama, tvorbom kompleksnog aniona  $(SO_4)^{2-}$ . Taj je anion velik, s stabilnost kristalne rešetke moguće je postići njegovim spajanjem s velikim dvovalentnim kationima. Sulfati koji sadrže manje katione primaju u kristalnu rešetku molekule vode i imaju manju tvrdoću i gustoću. Većina sulfata su mekani i svijetle boje. Sulfatima su po strukturi slični *volframati* i *molibdati*, soli volframove i molibdenove kiseline. Manje su zastupljeni od sulfata, a imaju veće tvrdoće i živih su boja. Minerali ove skupine strukturom podsjećaju na silikate.

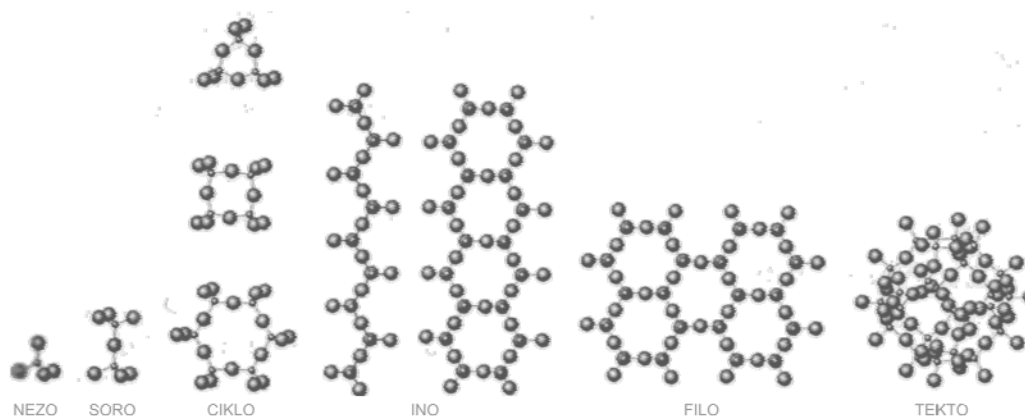
## FOSFATI:

Udio fosfata u litosferi je neznatan. Po kem. sastavu fosfati su relativno složeni spojevi. Oni su soli fosforne kiseline,  $H_3PO_4$ , i kristaliziraju u klasama nižeg stupnja simetrije. Minerali nastaju kao proizvod trošenja, dok ih je mali broj magmatskog postanka.

## SILKATI:

Silikati su najobilnija i najrasprostranjenija skupina minerala, poznato ih je oko 800. Razlog tome je velika zastupljenost silicija u litosferi i njegov afinitet prema kisiku. Temeljna strukturna jedinica je  $[SiO_4]^{4-}$ , tetraedar u čijem središtu se nalazi ion  $Si^{4+}$ , a na vrhovima ioni

$O^{2-}$ . U različitim silikatima tetraedri su međusobno povezani na različite načine preko zajedničkih kisika kovalentnim vezama, a preostali kovalentni naboj se kompenzira ugradnjom različitih kationa. Postoje silikati koji sadrže i vodu. Najčešće se klasificiraju prema strukturi i to u šest skupina.



### 1. NEZOSILIKATI

Minerali otočne rešetke kod kojih  $[SiO_2]^{4-}$ -tetraedri nisu međusobno povezani i nalaze se odvojeno između kationa, poput otoka. Svaki kisik vezan je kovalentnom vezom uz silicij, a preostali negativni naboj na neki kation.  $[SiO_2]^{4-}$  kompleksni je anion. Opisani nezosilikati imaju tvrdoću 6 do 7.5.

### 2. SOROSILIKATI

Minerali kod kojih su dva tetraedra povezana preko zajedničkog kisika. Kompleksni anion je  $[Si_2O_7]^{6-}$ , a tvrdoća navedenog coisita je 6 do 6.5.

### 3. CIKLOSILIKATI

Minerali prstenaste rešetke međusobno povezanih 3, 4 ili 6 tetraedara u prsten sa zajedničkih 3, 4 ili 6 molekula kisika. Kompleksni anioni su  $[Si_3O_9]^{6-}$ ,  $[Si_4O_{12}]^{8-}$  i  $[Si_6O_{18}]^{12-}$ , tj.  $[SiO_3]_n^{2n-}$ . Navedeni ciklosilikati imaju velike tvrdoće, između 7 i 8.

### 4. INOSILIKATI

Minerali lančaste rešetke s jednostrukim ili dvostrukim lancima. Kod jednostrukih lanaca tetraedri su povezani u beskonačni lanac preko svoja dva kisika, a kompleksni anion je  $\infty[Si_2O_6]^{4-}$ . Kod dvostrukih lanaca spojena su dva jednostruka lanca preko jednog kisika svakog drugog tetraedra i kompleksni anion je  $\infty[Si_4O_{11}]^{6-}$ . Tvrdoća je između 5 i 7.

### 5. FILOSILIKATI

Minerali slojevite rešetke, tetraedri su povezani u beskonačni sloj preko tri molekule kisika. Jedan slobodan kisik svakog tetraedra istog sloja izlazi iz sloja na istu stranu. Na njih se vežu kationi i hidroksid-ioni, pa povezuju slojeve. Kompleksni anion je  $\infty[Si_4O_{10}]^{4-}$ . Navedeni minerali su mekani i imaju tvrdoće od 1 do 2.5, a neki 3 ili 4.

### 6. TEKOSILIKATI

Minerali prostorne rešetke, tetraedri su povezani trodimenzionalno preko svih četiriju kisika, pa ne preostaje niti jedna slobodna valencija kisika. Često je dio silicija zamijenjen aluminijem. Na taj se način oslobađa jedna valencija za spajanje kationa. Feldspati, važna skupina petrogenih silikata, sadrže SiO grupu  $\infty[SiO_2]^0$ , odnosno  $\infty[Si_4O_8]^0$ , ili kompleksni anion  $\infty[AlSi_3O_8]^-$ , a kod veće zamjene silicija aluminijem sadrže i  $\infty[Al_2Si_2O_8]^{2-}$ . Tvrdoće navedenih tektosilikata su od 5.5 do 6.5.

## 3. GLAVNE SKUPINE ELEMENATA

Dvije su glavne skupine elemenata. To su kovine, ili metali i nekovine, odnosno, nemetali.

*Kovine* su u odnosu na nekovine više zastupljene u litosferi kao samorodne. Zajednička svojstva su im metalna rešetka, masivni i dendritični habitus, neprozirnost, jaki metalni sjaj, mala tvrdoća po Mohsu (2.5 do 3), dobra toplinska i el. vodljivost, kovnost i velika gustoća.

*Zlato (Au)* kristalizira u kubičnom sustavu. Nalazi se u obliku nepravilnih zrnaca uprskano u drugim mineralima, ponekad u obliku izometričnih kristalića. Sadrži primjese, a varijetet koji ima 15 do 20% Ag zove se *elektrum*. Tvrdoća 2.5 do 3, zlatno žute boje i ogreba, kovan je i rastezljiv te odličan vodič topline i el. energije. Gustoća zlata je 19.3. Nastaje hidrotermalno, kao mineral otporan na trošenje, nalazimo ga u naplavinama rijeka. U Hrvatskoj zlata ima u sekundarnim nalazištima, i to u pijescima Drave i Mure te u pijescima koje donose potoci sa Samoborske gore, Papuka, Psunja i Krndije. Zlatonosnoga pijeska ima kod Hrvaca. Svjetska nalazišta su u JAR-u, Čileu (komad mase 153 kg), nalazimo ga u Rumunjskoj, Rusiji, SAD-u, Kanadi, Brazilu, Australiji, Novom Zelandu itd. Mjera čistoće zlata je *karat*, a označava odnos primjesa metala u slitini. Zlato od 24 karata je stopostotno zlato. Rabi se u proizvodnji nakita, i to legiran sa srebrom i bakrom, što mu povećava tvrdoću i mijenja boju. Rabi se i u zubarske svrhe kao i u proizvodnji el. opreme, satova, preciznih uređaja, boja, kovanog novca i sl. Zlato ima monetarnu vrijednost.

*Bronca* je naziv za leguru ili slitinu bakra (94%) i kositra (6%) i upotrebljava se za izradu skulptura i ukrasnih predmeta. *Mjed* ili *mesing* je slitina bakra i cinka u omjeru 2:1.

*Nekovine* su skupina koja sadrži mali broj međusobno vrlo različitih minerala. Za razliku od kovina tvore kristale, prozirni su, nisu kovni i ne provode el. struju.

*Dijamant (C)* kristalizira u kubičnom sustavu, a kristali oktaedarskog habitusa su zaobljeni jer ih magma tijekom kristalizacije djelomično otapa. Agregati dijamanta su *bort* ili *balas* (prozirni, kuglasti s radijalnim vlakancima) i *karbonado* (mikrokristalaste crne ili sive čestice onečišćene grafitom i drugim elementima). Najtvrđi mineral, proziran i bezbojan, a s primjesama može biti različitih boja. Ima velik indeks loma,  $n = 2.40-2.48$  te se svjetlost totalno reflektira. Jaki sjaj se brušenjem malih i simetričnih ploha pojačava i to u različitim bojama. Najbolji je vodič topline. Gustoća dijamanta je 3.5. Nastaje kao pirogeni mineral pri visokoj temperaturi i tlaku i ima ga u ultramafitnim magmatskim stijenama, kimberlitima, nazvanih prema nalazištu Kimberley u Južnoafričkoj Republici, gdje je ujedno i najpoznatije nalazište dijamanta primarnog postanka. Sekundarno se nalazi u riječnim naplavinama. Jedinična mjera za masu dragog kamenja, *karat*, je 200 mg. Najveći dijamant je Cullinan, 3106 karata.

*Grafit (C)* kristalizira u obliku pločastih kristala heksagonskog sustava. Tvori prutičaste i zemljaste agregate. Jedan je od najmekših minerala. Relativna tvrdoća ugljika je 1. Zbog slojevite strukture i slabih van der Waalsovih sila kala se po slojevima, odnosno, baznim pinakoidom. Gustoća grafita je 2.3, tamno sive je boje i na papiru ostavlja crni trag. Nastaje metamorfozom organske tvari. U Hrvatskoj ga ima blizu Pakraca, na Psunju i na obroncima Papuka. Veća svjetska nalazišta su u Austriji, Češkoj, Italiji, Rusiji, Ukrajini, Meksiku itd.

#### 4. SULFIDI – PIRIT, ANTIMONIT, CINABARIT, GALENIT, SFALERIT, REALGAR I AURIPIGMENT

*Pirit* je kubična polimorfna modifikacija  $\text{FeS}_2$ , a rompska modifikacija se zove *markazit*. Kristali oblika heksaedra imaju isprutane plohe sukladno svojoj simetriji. Česti su i kristali forme pentagonskog dodekaedra koji je nazvan *pirotoedrom*. Pirit tvori zrnaste, kuglaste i bubrežaste agregate. Često sadrži primjese zlata, galija, seleni i bakra, velike je tvrdoće, oko 6 do 6.5, svijetložut je do zlatnožut i ima zelenocrn ogreb. Gustoća mu je 5, 5.2, što ga među ostalim razlikuje od zlata. Pri udarcu iskri, a grijanjem otpušta miris sumporova dioksida. Nastaje magmatski (pirogeno i hidrotermalno), sedimentno (hidatogeno i organogeno) i metamorfn. Trošenjem prelazi u limonit i sumpornu kiselinu, pa je stoga kao primjesa štetan. Česti je sporedan sastojak sedimentnih stijena taloženih u redukcijskim uvjetima i uz

posredovanje bakterija koje reduciraju sumpor u sulfatima. Najrasprostranjeniji mineral u Hrvatskoj. Služi kao sirovina pri proizvodnji sumporne kiseline, a od ostatka prženja koristi se sirovina za proizvodnju žute i smeđe boje. Iz pirita se dobiva zlato, galij, selen i bakar, ali ne i željezo zbog povećane koncentracije sumpora te njegove krтости.

*Antimonit* kristalizira u rompskom sustavu. Kristali su štapčastog do igličastog habitusa, a agregati su trakasti, prutičasti, igličasti i vlasasti. Sadrži 78% Sb. Tvrdća po Mohsu je 2, olovnosiv je i ima jak metalni sjaj (*antimonov sjajnik*). Gustća je približno 4.7, nastaje hidrotermalno. U Hrvatskoj je zapažen na Samoborskoj gori, a gospodarski najvažnija nalazišta su u Meksiku, Boliviji, Kini i Alžiru. Antimonit je najvažnija ruda antimona, a rabi se za proizvodnju farmaceutskih proizvoda i žigica.

*Cinabarit* kristalizira u trigonskom sustavu, ali se romboedarski ili pločasti kristali nalaze malokad. Tvori zrnaste i zemljaste agregate te impregnacije. Sadrži 86% Hg. Tvrdće je 2 do 2.5, skrletnocrven je i ima crveni ogreb, gustoće 8. Najčešće nastaje hidrotermalno. U Hrvatskoj ga pronalazimo u Gorskom kotaru te na Samoborskoj gori, a na svijetu u Italiji, Sloveniji i Španjolskoj. Važna ruda za dobivanje žive, a rabio se kao sirovina za dobivanje boja, kasnije zamijenjen neotrovnim organskim bojama.

*Galenit* kristalizira u kubičnom sustavu, kristali imaju karakterističan heksaedarski habitus. Agregati su najčešće zrnasti. Sadrži 85% Pb, a često i primjese od kojih je gospodarski važno srebro. Tvrdće je 2.5, odlično se kala plohama heksaedra, olovnosiv je, a zbog jakog metalnog sjaja zove se *olovni sjajnik*. Ima piezoelektrična svojstva. Gustće od 7.2 do 7.6. Najveći dio nastaje hidrotermalno, često zajedno sa sfaleritom. Nalazimo ga na Medvednici, Samoborskoj gori, Zrinskoj gori, Lici i kod Knina. Ležište galenita i sfalerita Stari Trg (Trepča, Kosovo) pripada najvećim nalazištima hidrotermalnog postanka ruda olova i cinka. Galenit nalazimo i u Austriji, Njemačkoj, Rusiji, SAD-u itd.

*Sfalerit* je kubična polimorfna modifikacija ZnS, dok se heksagonska modifikacija zove *vurcit*. Kristali imaju tetraedarski habitus, a česti su zrnasti i vrpčasti agregati. Ima 76% Zn, sadrži primjese Cd, Ga, In, Ge, i to u gospodarski važnim količinama. Relativna tvrdća mu je 3.5 do 4 i različite je boje, ovisno o sadržaju željeza. Crni varijetet bogat željezom naziva se *marmatit*. Ima piezoelektrična svojstva. Gustća se kreće od 3.9 do 4.2. Nastaje hidrotermalno i asociran je s galenitom. Važna je ruda cinka, a zbog piezoelektričnih svojstava rabi se u elektrotehnici.

*Realgar* kristalizira u monoklinskom sustavu, a najčešći su zrnasti i zemljasti agregati ili prevlake na drugim mineralima. Ponekad tvori igličaste kristale. Sadrži 69% As. Male je tvrdće, 1.5 do 2, jasnocrven do narančastocrven i ima svijetlonarančast ogreb. Na zraku oksidira u žuti auripigment. Gustća je približno 3.6. Nastaje pneumatolitno, sublimacijom na mjestima vulkanske aktivnosti ili hidrotermalno. Koristio se za proizvodnju boja no otkriveno je da je, zbog povećane koncentracije arsena, otrovan.

*Auripigment* kristalizira u monoklinskom sustavu. Štapčasti kristali su malobrojni, a najčešće se nalaze lističasti, zrnasti, zemljsti i vrpčasti agregati ili prevlake. Sadrži 61% As. Male je tvrdće, 1.5 do 2. Žute je boje i ogreba. Gustća je 3.5. Nastaje hidrotermalno poput realgara, pa je najčešće prisutan uz realgar, a nastaje i trošenjem drugih minerala arsena. U Hrvatskoj ga nalazimo kod Delnica, Dikla (Zadar), na Lapadu i kod Vrlike. Služi kao ruda za dobivanje arsena. Upotrebljava se za dobivanje kemikalija i bojnih otrova, a rabio se i za proizvodnju boje, te kao depilator. Otrovan.

Ostali minerali sulfida su *halkozin*, *pirohtin*, *halkopirit*, *bornit*, *molibdenit* i *kovelin*.

## 5. HALOGENIDI – HALIT, FLUORIT

*Halit* ili *kuhinjska sol* kristalizira u kubičnom sustavu, a kristali su heksaedarskog i ponekad oktaedarskog habitusa. Česti su i zrnasti agregati. Izrazito je higroskopan. Pri temperaturi od 10 do 25 °C prima vlagu iz vlagom bogatog zraka, dok je na suhom zraku gubi. Ima tvrdću



2. Bezbojan je i tipičan alokromatičan mineral. Elementarni natrij u kris. rešetki uzrokuje plavkastu boju. Ima tipičan slankasti okus. Gustoća je približno 2.2. Hidatogeni mineral sedimentnog postanka, a ponekad nastaje oko vulkanskih kratera sublimacijom.

*Fluorit* kristalizira u kubičnom sustavu, a habitus kristala ovisi o temperaturi postanka. Na nižim temperaturama je heksaedarski, a na višim oktaedarski. Češće se nalazi u obliku zrnastih i zemljastih agregata. Za razliku od ostalih halogenida praktički je netopiv u vodi. Ima tvrdoću 4. Bezbojan je, ali s primjesama može imati različitu boju. Gustoća se kreće od 3.1 do 3.3. Najvrjednija ležišta nastaju hidrotermalno, ali može nastati pneumatolitno i sedimentno (hidatogeno).

## 6. OKSIDI I HIDROKSIDI – KVARC, OPAL, HIDROKSIDI AL, GETIT, LEPIDOKRIT

*Kvarc* ( $\text{SiO}_2$ ) kristalizira u trigonskom sustavu, a kristali, bogati formama, najčešće imaju prizmatičan habitus s vodoravno isprutanim ploham. Tvori druze te zrnaste ili prutičaste agregate. Premda prema unutrašnjoj građi pripada tektosilikatima, sastoji se od kisikom povezanih  $\text{SiO}_4$ -tetraedara na način na koji definira tektosilikate, zbog kemijskog se sastava uvrštava među okside. Poznato je desetak kristalnih polimorfnih modifikacija  $\text{SiO}_2$  (tridimit, kristobalit itd.). Relativna tvrdoća kvarca je 7. Izrazito alokromatičan mineral, razlikujemo brojne kristalne i kriptokristalne varijetete. Poznati kristali su *gorski kristal* ili *prozirac* (bezbojan), *ametist* (ljubičast), *čadavac* (crnosmeđ), *morion* (crn), *ružičnjak* (ružičast), *citrin* (žut), *željeznjak* (crven), *mliječnjak* (bijel) itd. Kriptokristalasti  $\text{SiO}_2$  zove se *kalcedon*, a njegovi varijeteti su *ahat* (koncentrični slojevi različite boje), *oniks* (crno-bijeli ahat), *karneol* (narančastocrven), *spis* (žut, smeđ, crven ili zelen) itd. Kvarc je piezoelektričan i gustoće je približno 2.6. Nastaje na sve načine postanka minerala. Najrasprostranjeniji je mineral u Zemljinoj kori. Kao mineral otporan na fizikalno i kemijsko trošenje glavni je sastojak mnogih pijesaka i pješčenjaka. U Hrvatskoj su kristali prozirca nađeni na Moslovačkoj gori. Bezbojnih kristala ima na Žumberačkoj gori, u Lici i na Zrinskoj gori. Čadavca ima na Moslovačkoj gori, a ametista kod Vrapča te kraj Voćina na Papuku. Kalcedona ima na Plešivici kod Samobora, a ahata kod Lepoglave. Kvarc ima različitu primjenu. Čisti se kristali upotrebljavaju u proizvodnji elektroničkih komponenata i komunikacijskih aparata, optičke opreme (leća i prizmi) te prozora za istraživanje UV zračenja kao i kvarcnih svjetiljki u medicini. Upotrebljava se za ležajeve, u proizvodnji satova, maziva, silikonske gume, brusnih proizvoda itd. Pripisivana mistična svojstva. Neki varijeteti koriste se u proizvodnji nakita kao drago kamenje.

*Opal* ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) je amorfni mineral koji tvori bubrežaste, grozdaste, kuglaste, staklaste i zemljaste agregate te tanke kore i sige, a sadrži promjenljivu količinu vode (1 do 27%). Primjese uzrokuju različite boje opala, *dragi opal* (modrosiv), *vatreni opal* (crven), *mliječni opal* (mliječnobijel), *prazopal* (zelen) itd. Tvrdoća mu je 5.5 do 6.5, a gustoća 1.9 do 2.5. Nastaje trošenjem, taloženjem iz hladnih otopina (hidatogeno), iz toplih otopina (hidrotermalno) te biogeno (skrleti radiolarija, dijatomeja i spikule spužvi kremenjašica). U Hrvatskoj ga ima kod Lepoglave, Topuskog, Vrapča i Milne na Braču. U svijetu su najpoznatija nalazišta u Austriji. Neki varijeteti uvelike se primjenjuju u proizvodnji nakita, proizvodnji brusnih proizvoda, izolacijskog pribora, posebne keramike, kao punilo, kao sredstvo za filtriranje itd. Eksperimentiranje u medicinske svrhe u liječenju nekih bolesti, pretežno kancerogenih.

*Hidroksidi aluminija* su *hidrargilit* ili *dipsit*, *dijaspore* i *bemit*. Ta su tri minerala glavni sastojak *boksita* koji se često uvrštava među minerale, iako to nije, nego je sedimentna stijena koja sadrži smjesu hidroksida aluminija i u manjoj količini hidroksida željeza te niza drugih minerala (pretežno glina). Neki boksiti sadrže samo jedan ili dva spomenuta minerala pa ih prema tome nazivamo *hidrargilitni*, *diasporni* ili *bemitni boksit*. Nalazi se u zemljastim i oolitnim masama. Sadrži između 46 i 70%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Važna primjesa je galij. Relativna tvrdoća

mu je 2.5 do 3. Bijel je ili žućkast, a s primjesama hidroksida željeza i organske tvari crven ili smeđ. Higroskopan je, pa se lijepi na jezik. Nastaje u kori trošenja, i to ili na karbonatnoj podlozi (kršni boksit) ili na alumosilikatnoj podlozi (lateritni boksit). Glavna je ruda aluminija, a upotrebljava se za dobivanje galija, sintetičkog korunda i spinela, aluminijevih soli, služi kao abraziv i refraktorni mineral te za proizvodnju posebnih vrsta cementa.

*Hidrargilit* ili *đipsit* kristalizira u monoklinskom sustavu. Kristali su sitni i imaju pločast habitus, tvori zemljaste, ljuskaste i sigasto-koraste agregate. Tvrdća 2.3 do 3. Srebrnobijel je, sivkast ili zelenkast. Gustoća približno 2.4. Nastaje u kori trošenja te hidrotermalnom metamorfozom. Rabi se za dobivanje aluminija.

*Dijaspor* kristalizira u rompskom sustavu. Kristali imaju pločast ili igličast habitus, uglavnom tvori listićaste, ljuskaste, štapićaste ili vlasaste agregate. Jedan je od dimorfnih modifikacija  $AlOOH$ . Druga je bemit. Tvrdća 6.5 do 7. Bijel je, a s primjesama može biti sivkast, žućkast, zelenkast, crvenkast ili ljubičast. Gustoća je 3.3 do 3.5. Nastaje kontaktnom i hidrotermalnom metamorfozom minerala aluminija te u kori trošenja. Rabi se za dobivanje aluminija te za proizvodnju vatrootalnih posuda.

*Bemit* je jedna od dimorfnih modifikacija  $AlOOH$ . Od dijaspora se razlikuje po unutrašnjoj građi te tvrdoći. Tvrdća mu je 3, a ima i manju relativnu gustoću, približno 3.1.

*Getit* kristalizira u rompskom sustavu. Kristali su sitni i imaju igličasti habitus. Tvori sigaste prevlake te pločaste, zrnaste, igličaste, zemljaste, grozdaste, oolitične agregate. Getit je jedna od dimorfnih modifikacija  $FeOOH$ . Druga je lepidokrit. Sadrži razne koloidne primjese. Tvrdća je 5 do 5.5. Žut je, smeđ ili crn. Relativna gustoća mu je promjenjiva, između 3.3 i 5.3. Nastaje u oksidacijskoj zoni kore trošenja iz minerala željeza. Može nastati i sedimentno i to organogeno i hidatogeno. U Hrvatskoj ga nalazimo na Petrovoj gori i Zrinskoj gori. Rabi se kao ruda željeza, za proizvodnju oker boje, a ponekad i nakita.

*Lepidokrit* se razlikuje od getita po strukturi, za razliku od getita, crven je, pa ga još nazivamo i *rubinski tinjac*. Nalazimo ga u Italiji, SAD-u (Pennsylvania), Indiji, Japanu itd.

Oksidima pripadaju još i *korund*, *hematit*, *skupina spinela* (*magnetit* i *kromit*) i *kasiterit*. Oksidima i hidroksidima pripada oko 250 minerala.

## 7. OKSIDI U PROIZVODNJI NAKITA

*Korund* ( $Al_2O_3$ ) kristalizira u trigonskom sustavu, u kristalima bačvastog, stupićastog i pločastog habitus ili se nalazi kao zrnasti agregat. Relativna tvrdoća mu je 9, tipičan alokromatičan mineral, zbog toga razlikujemo mnoge varijetete. *Safir* (modar), *rubin* (crven), *ljubičasti safir*, *žuti safir*, *zeleni safir*. Gustoća mu je približno 4. Nastaje magmatski, pirogeno i pegmatitno, ali i kontaktnom metamorfozom. Rezistentan je pa ga nalazimo i u sekundarnim nalazištima i naplavinama. Od 1904. god. proizvodi se sintetički korund, proziran i čist. Dodatkom različitih primjesa postiže se različita boja. Koristi se u proizvodnji brusnih proizvoda, ležajeva, u preradi drva te za izradu nakita. Učvršćuje površinske dijelove objekata i smanjuje klizavost.

*Hematit* ( $Fe_2O_3$ ) kristalizira u trigonskom sustavu, u kristalima pločastog ili ljuskastog habitusa. Najčešći su zrnasti, vlaknasti, ljuskasti, zemljasti ili oolitični agregati te kore impregnacije. Listićasti je *hematitni tinjac*, a agregat u obliku ruže zove se *željezna ruža*. Sadrži 70% Fe. Tvrdće je 6.5, može biti crven, crveno smeđ, sivo crn ili crn i ima crveni ogreb. Česti sporedni sastojak sedimentnih stijena i daje im crvenkastu boju. Važna ruda željeza. Koristi se za proizvodnju nakita te taljiva.

*Kasiterit* ( $SnO_2$ ) kristalizira u tetragonskom sustavu, a kristali su kratkostupićastog i igličastog habitusa. Česti su zrnasti i bubrežasti agregati. Sadrži 78% Sn. Ima tvrdoću 7, može biti žut, smeđ ili crn. Gustoće je od 6.8 do 7.1. Nastaje magmatski (pegmatitno, pneumatolitno i hidrotermalno), a nalazi se i sekundarno u nanosima. Glavna je ruda kositra. Upotrebljava se u proizvodnji bijele boje u glazurama te nakita.

## 8. KARBONATI – KALCIT, DOLOMIT, ARAGONIT

*Kalcit* ( $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ ) je trigonska polimorfna modifikacija  $\text{CaCO}_3$ , a rompska modifikacija je aragonit. Kristali imaju tipičan romboedarski habitus. Kalcit je mineral s najvećim brojem kombinacija kristalnih formi. Osim različitih agregata, zrnastih, vlasastih, oolitičnih, zemljastih, tvori i prekrasne sige. Otapa se u klorovodičnoj kiselini, po čemu se razlikuje od dolomita. Tvrdoća kalcita je 3. Odlično se kala ploham romboedra. Bezbojan je, a s primjesama može biti različitih boja. Ima velik dvolom svijetla. Gustoće 2.7. Nastaje na različite načine, a najčešće sedimentno, hidatogeno, evaporitno i organogeno. Kao sastojak monomineralne stijene vapnenca ima veliku primjenu u građevinarstvu. Rabi se u medicini i farmaciji, pa čak i za proizvodnju nakita.

*Dolomit* ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ) kristalizira u trigonskom sustavu i uglavnom tvori stijene, *dolomite*, koji su kristalasti i zrnasti agregati istoimenog minerala. Kristali romboedarskog habitusa često tvore kristalne druze. Nije izomorfna smjesa Mg i Ca, već je dvosol s omjerom  $\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3 = 1 : 1$ . Ako je sadržaj izomornog željeza u dolomitu velik, on prelazi u *ankerit*. Otapa se u vrućoj klorovodičnoj kiselini. Tvrdoće je 3.5 do 4. Najčešće je bezbojan ili žućkast, relativne gustoće 2.9. Nastaje magmatski, sedimentno i metamorfno. Temeljna primjena mu je u građevinarstvu.

*Aragonit* je rompska polimorfna modifikacija  $\text{CaCO}_3$ . Kristali su malokad razvijeni i štapićastog su do igličastog habitusa. Mnogo su zastupljeniji agregati, bubrežasti, vlasasti i zrakasti. Ponekad su razgranati poput koralja i nazivani *željeznim cvijetom* zbog ležišta rude željeza. Agregati su i oolitični poput graška pa iz nazivamo *grašenjakom* ili *pizolitom*. Tvrdoće je 3.5 do 4. Bezbojan je, no s primjesama može biti različitih boja. Nastaje sedimentno, hidatogeno, evaporitno i organogeno te u kori trošenja. Upotrebljava se kao ukrasni kamen.

Karbonatima pripadaju i *magnezit*, *siderit*, *aragonit* i *stroncijanit*.

## 9. SULFATI – ANHIDRIT, BARIT, GIPS

*Anhidrit* ( $\text{Ca}[\text{SO}_4]$ ) kristalizira u rompskom sustavu. Malobrojni su kristali štapićastog i pločastog habitusa, a najčešće tvore zrnaste, kuglaste, ponekad štapićaste i vlasaste agregate. Praškasti anhidrit prima vodu i prelazi u gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), uz znatno povećanje volumena. Ima tvrdoću 3 do 3.5. Bezbojan je, bijel, ili nijansiran plavo, sivo, ružičasto ili ljubičasto. Gustoće je 3.0. Nastaje evaporacijom iz morske vode visokog saliniteta (pri nižoj temperaturi i koncentraciji nastaje gips). U Hrvatskoj ga nalazimo kod Zadra, Sinja, te blizu Samobora. Upotrebljava se za izradu sumporne kiseline, kao vezivo i ukrasni kamen u građevinarstvu. Dodaje se tlu kao gnojivo. Posebne strukture, dijapirske bore, mogu biti pokazatelj naftnih ležišta.

*Barit* ( $\text{Ba}[\text{SO}_4]$ ) kristalizira u rompskom sustavu, a kristali su pločasti i stupićasti. Kristalne druze ponekad nalikuju pustinjačkoj ruži, agregati su zrnasti, zrakasti i zemljasti. Ima jednaku tvrdoću kao anhidrit. Bezbojan je, s primjesama može biti različite boje. Zbog velike gustoće, približno 4.5, u odnosu prema drugim mineralima nazivamo ga *težac*. Tipičan hidrotermalni mineral, nastaje hidatogeno i manjim dijelom trošenjem. Veća nalazišta u Hrvatskoj su kod Mrzle Vodice u Gorskom Kotaru, a ima ga i u Lici i na Petrovoj gori. Područje primjene barita je široko, upotrebljava se za dobivanje barija, proizvodnju bijele boje, punila za proizvodnju papira i gramofonskih ploča, isplake pri vađenju sirove nafte, u pirotehnici, proizvodnji gume, plastike, kemikalija, stakla, keramike, žbuke koja ne propušta rendgensko zračenje, u medicinske svrhe kao kontrastno sredstvo pri rendgenskom snimanju itd.

*Gips* ( $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) je monoklinski mineral čiji se veliki pločasti kristali zovu *Marijino* ili *Gospino staklo*. Bijeli zrnasti agregat zove se *alabaster*, a lećesti agregat u obliku ruže koji sadrži uklopke zrnaca pijeska nazivamo *pustinjačkom ružom*. Kristali su pločasti, stupićasti, igličasti i lećasti. Zagrijavanjem gubi kristalnu vodu, a pri 120-130 °C nastaje poluhidrat,

$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ . Dodatkom vode takvom poluhidratu nastaje kaša u kojoj započinje proces rekristalizacije i ona brzo očvrstne u *štukaturni gips*. Dodatkom vode gipsu prethodno zagrijanom na temperaturu od 500 °C nastaje veoma tvrdi *hidraulični gips*. Mekan je, relativne tvrdoće 2 i jedan je od minerala Mohsove ljestvice tvrdoće. Primjese uzrokuju različite boje inače bezbojnog gipsa. Gustoća je približno 2.4. Nastaje hidatogeno i evaporacijom, a velike količine nastaju izmjenom (hidratacijom) anhidrita na površini Zemlje. U Hrvatskoj ga u većoj količini ima blizu Samobora. Nalazimo ga i kod Srba u Lici, u dolini Zrmanje, kod Sinja, Knina i Komiže na Visu. Gips ima različitu primjenu. Najveća je u kiparstvu, građevinarstvu, medicini, zubarstvu, kao punilo u proizvodnji papira, tekstila, guma, boja, kemikalija, mineralnih gnojiva, kao mazivo, elektroizolator itd. Od čistih i prozirnih varijeteta proizvodi se i optička oprema.

Sulfatima pripadaju i *halkantit* te *epsomit*.

## 10. FOSFATI – APATIT, FOSFORIT

*Apatit* kristalizira u heksagonskom sustavu. Kristali prizmatičnog, igličastog ili pločastog habitusa različitih su dimenzija – od mikroskopski sitnih do metarskih dimenzija. Najrasprostranjeniji su ipak zrnasti, vlasasti i zrakasti agregati. Relativna tvrdoća apatita je 5 i jedan je od minerala Mohsove ljestvice. Bezbojan je ili blijedih boja, zelen, ljubičast, crven, smeđ ili žut. Gustoće je približno 3.2. Nastaje magmatski u svim stadijima kristalizacije magme.

Za razliku od apatita *fosforit*, varijetet apatita, nastaje hidatogeno, češće organogeno, ali i u kori trošenja.

Apatit i fosforit su glavne sirovine za dobivanje fluora, fosforne kiseline i fosfora. Upotrebljavaju se za proizvodnju mineralnih gnojiva, a bistri kristali apatita lijepih boja za proizvodnju nakita. Kao nusprodukt obrade možemo ekstrahirati uran i vanadij.

## 11. NEZOSILIKATI – OLIVIN, GRANATI, ANDALUZIT, DISTEN, SILIMANIT

*Olivin* kristalizira u rompskom sustavu, malokad u kristalima stupićastog habitusa, a najčešće u zrnastim agregatima. Kristal je mješanac krajnjih članova, *fosterita* ( $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ ) i *fajalita* ( $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ ), a izomorfna zamjena Mg i Fe je potpuna. Relativne tvrdoće je 6.5 do 7. Maslinastozelen je u raznim tonovima, ovisno o sadržaju željeza. Čisti fosterit je bijel, a fajalit tamnozelen do crn. Gustoće je 3.2 do 4.2. Nastaje pirogeno, a rjeđe kontaktnom metamorfozom. Važan je petrogeni mineral ultrabazičnih i bazičnih stijena. U Hrvatskoj ga ima kod Kutjeva i na Kalničkom gorju. Upotrebljava se za proizvodnju silikatnog stakla i vatrostalnih materijala, ponekad kao abraziv, dok se prozirni varijeteti koriste u proizvodnji nakita.

*Granati* su skupina minerala promjenjiva kemijskog sastava. Kristaliziraju u kubičnom sustavu, često u formi *granatoedra* (rompskog dodekaedra) ili su kristali zaobljeni. Tvrdoće su od 6.5 do 7.5. Mogu biti različitih boja, izuzevši plavu (*pirop* je crven, *almandin* smeđocrven, *spesartin* žut, a *uvarovit* zelen). Gustoće su im od 3.4 do 4.6. Nastaju metamorfno (kontaktnom i dinamotermalnom metamorfozom) i magmatski (pirogeno i pegmatitno). Zbog velike tvrdoće nalaze se često sekundarno u nanosima. Granati se upotrebljavaju za proizvodnju brusnih proizvoda, filtara za pročišćavanje vode, a prozirni kristali za proizvodnju nakita.

*Rompski andaluzit*, *triklinski disten* i *rompski silimanit* su polimorfne modifikacije  $\text{Al}_2[\text{O}|\text{SiO}_4]$ . Kristali andaluzita su stupićasti, distena stupićasti ili pločasti, a silimanita igličasti. Česti su zrakasti i zrnasti agregati andaluzita, zrakasti agregati distena te zrakasti i vlaknasti agregati silimanita. Tvrdoća je kod distena izrazito anizotropno svojstvo, pa je na različitim plohama različita, od 4 do 7. Andaluzit ima tvrdoću 7.5, a silimanit 6 do 7. Andaluzit je siv, crvenosiv, smeđ ili zelen. Često sadrži ugljik raspoređen u rešetki u obliku

slova *X*, a nazivamo ga *hijastolit*. Plavi varijetet distena nazivamo *cijanit*, dok je silamanit blijedih boja. Gustoća andaluzita je 3.1 do 3.2, distena 3.6 do 3.7, a silamanita 3.2. Svi nastaju metamorfno, s time da je andaluzit najstabilnija modifikacija pri normalnoj temperaturi i tlaku. Disten nastaje pri visoku tlaku, a silimanit pri visoku tlaku i visokoj temperaturi. Andaluzita ima na Moslovačkoj gori, distena kod Kutjeva, a silimanita na oba navedena lokaliteta. Sva tri minerala upotrebljavaju se u proizvodnji vatrostalnih materijala i izolacijskog pribora, a lijepi obojeni varijeteti za proizvodnju nakita. Nezosilikatima pripadaju *cirkon* i *titanit*.

## 12. SOROSILIKATI – COISIT

*Coisit* kristalizira u rompskom sustavu. Kristali imaju stupićast habitus, a izduženi su pravcem osi *c*. Tvori prutičaste ili zrnaste agregate. Tvrdće je 6 do 6.5. Različite je boje, pretežno zelen. Gustoća mu je 3.3, nastaje metamorfno, obvezno uz prisutnost vode. U Hrvatskoj ga ima kod Buzete (Banovina). Ponekad se upotrebljava u proizvodnji nakita. Draguljarska firma Tiffany izrađuje nakit od plavoljubičastog varijeteta zvanog *tanzanit*.

## 13. CIKLOSILIKATI – BERIL, TURMALIN

Heksagonski kristali *berila* najčešće su prizmatičnog habitusa. Samo ponekad tvori štapičaste agregate. Beril sadrži 5% Be. Veoma tvrd mineral (7.5 do 8) i različitih je boja, pa se razlikuju brojni varijeteti koji se, ako su prozirni, cijene kao drago kamenje. *Smaragd* je zelen, *morganit* ružičast, *akvamarin* zelenoplav do svijetloplav, a *helidor* žut. Gustoća berila je od 2.7 do 2.9. Najčešće nastaje pegmatitno, a često se nalaze zaobljeni kristali sekundarno u nanosima. Koristi se za proizvodnju prozora za izlaz rendgenskih zraka u rendgenskim cijevima te za izradu nakita, kao ruda berilija te sirovina za dobivanje cezija.

Izduženi trigonski kristali *turmalina* imaju prizmatičan habitus, a zanimljiv je i zrakasti agregat koji zovemo *turmalinsko sunce*. Turmalin može sadržavati više desetaka različitih elemenata. Tvrdće je 7 do 7.5. Brojni su varijeteti s obzirom na boju koja može biti bijela, crvena (*rubelit*), plava (*indigolit*), zelena, žuta, siva, smeđa i crna. Ponekad su različiti dijelovi istog kristala različite boje, varijetet poznat pod imenom *crnačka glava* (jedan kraj mu je crn). Ima piezoelektrična svojstva. Gustoća mu je od 2.9 do 3.3. Nastaje najčešće pegmatitno, a nalazi se sekundarno u nanosima. U Hrvatskoj ga ima na Moslovačkoj gori i u gorju Slavonije. Rabi se kao ruda bora, neki varijeteti za proizvodnju nakita, kao polaroid zbog svojstava apsorpcije jednog od dvaju valova nastalih u njemu dvolomom svjetlosti te zbog piezoelektričnih svojstava u proizvodnji elektroničkih komponenata.

## 14. INOSILIKATI – PIROKSENI, AMFIBOLI

*Pirokseni* su inosilikati s jednostrukim lancem. Kristaliziraju u rompskom i monoklinskom sustavu. U rompskom sustavu kristaliziraju *enstatit*, *broncit* i *hipersten* koji čine izomorfni niz *enstenita*. Monoklinski pirokseni mogu biti jednostavnog kem. sastava. To su silikati kalcija, magnezija i željeza, *diopsid* i *hedenbergit*. Složeni kem. sastav ima *augit*. Posebna skupina su pirokseni alkalijskih elemenata, Na i Li, npr. *egirin*, *jadeit* i *spodumen*, tzv. *alkalijski pirokseni*. Pirokseni imaju zajednička svojstva, kratkostupičasti habitus, mogućnost izomorfne zamjene pojedinih kationa, tvrdoću od 5 do 7 te dvije kalavosti kod kojih je kut 87°, odnosno 93°. Hidrotermalnom izmjenom nastaju *serpentin*, *amfibol* i *klorit*. *Uralitizacija* jest izmjena piroksena u igličasti do vlaknasti agregat koji nazivamo *uralitom*. Agregat uralita obično ispunjava konture prvotnog piroksena.

Kristali rompskih piroksena malokad su zastupljeni i tada imaju kratkostupičasti habitus. Najčešća su nepravilna zrna i zrnasti agregati. Tvrdće su im od 5 do 6. *Enstatit* je bijel, zelenkast ili smeđkast, *broncit* je smeđ kao bronca, a *hipersten* je tamnozelen, smeđ ili crn. Gustoće su im od 3.1 do 3.7. Tipični su minerali magmatskog postanka. Bitni realni sastojci

ultramafitnih magmatski stijena. U Hrvatskoj ih ima u Banovini, na Ivanšćici i Moslavačkoj gori. Prozirni primjerci upotrebljavaju se za proizvodnju nakita, a enstatit za proizvodnju vatrostalnih materijala. Važni petrogeni minerali.

*Amfiboli* su inosilikati s dvostrukim lancem. Petrogeni amfiboli kristaliziraju u monoklinskom sustavu. Mogu biti, kao i pirokseni, jednostavnog i složenog kem. sastava. Jednostavni sastav imaju amfiboli kalcija, magnezija i željeza, a pripadaju skupini *tremolita* i *aktinolita*. Složeni kem. sastav s velikim mogućnostima izomorfne zamjene ima *hornblenda*. Kao i kod piroksena, i kod amfibola posebna skupina su alkalijski amfiboli kojima pripada skupina *glaukofana* i *ribekita*. Amfiboli ne sadrže hidroksid-ion, imaju štapičast habitus pravcem osi *c*, mogućnost izomorfne zamjene pojedinih kationa te dvije kalavosti, kut od 124° i kut od 56°. Tvrdće su od 5 do 6. Hidrotermalnom izmjenom nastaju kloriti. Često tvore vlaknaste agregate i tada se zovu *amfibolski azbesti*. *Azbesti* su općenito skupina vlaknastih silikata, važna kao nemetalna mineralna sirovina.

Monoklinski kristali izduženi pravcem osi *c* imaju stupičast ili igličast habitus, a i agregati su štapičasti, zrakasti ili vlasasti. Pripadaju izomorfnom nizu čiji krajnji članovi uz kalcij sadrže magnezij, tj. željezo. Tvrdće su im 5 do 6. Boja ovisi o sadržaju željeza koje mineral čini tamnim. *Tremolit* je bijel, siv ili zelenkast, a *aktinolit* je sivozelen do tamnozelen. Gustoće su 2.9 do 3.3. Nastaju metamorfno. U Hrvatskoj ih nalazimo kod Velike na Papuku i na Psunju. Od lijepih varijeteta izrađuju se ukrasni elementi i nakit, dok se od ostalih većinom proizvode azbestni materijali, vatrostalne posude te u industriji papira, plastike, gume i kao materijal za filtriranje.

## 15. FILOSILIKATI – SERPENTIN, TALK, TINJCI (MUSKOVIT, BIOTIT), KLORITI

*Serpentin* kristalizira u monoklinskom sustavu u obliku vlaknastih, pločastih, listićastih i ljuskastih kristala i agregata. Vlaknasti varijetet zove se *hrizotil* i *serpentinški azbest*, a listićasti je *antigorit*. Ima tvrdoću 2.5 do 4. Svijetlih je boja, bijel, siv, žućkast, zelenkast ili plavkast. Gustoća mu je približno 2.6. Nastaje hidrotermalnom metamorfozom magnezijevih silikata. Ponajprije se upotrebljava za proizvodnju vatrostalnih materijala i elektroizolacijskog pribora. Rabi se u proizvodnji papira i azbestnog cementa.

*Talk* kristalizira u monoklinskom sustavu te tvori pločaste kristale, a najčešće listićaste, ljuskaste ili vlaknaste agregate. Relativna tvrdoća mu je 1 i najmekši je mineral Mohsove ljestvice tvrdoće. Bijel je, zelenkast, sivožut ili smeđkast. Ima mastan, mio, opip pa je prozvan *milovkom*. Gustoća mu je 2.6 do 2.8. Nastaje hidrotermalnom metamorfozom minerala koji sadrži magnezij. U Hrvatskoj ga ima na Zrinskoj gori. Ima raznovrsnu primjenu, kao izolator, vatrostalni materijal, lubrikant, punilo u proizvodnji papira, tekstila, boja, gume, plastike, keramike, a fino samljeven puder koristi se kao toaletno-kozmetički proizvod. U Kini se od talka izrađuje nakit.

*Muskovit* kristalizira u monoklinskom sustavu, a kristali imaju pločast, pseudoheksagonski habitus. Tvori listićaste i ljuskaste agregate. Sitnolistićasti muskovit se zove *sericit*. Tvrdće je 2 do 2.5. Kao i svi tinjci odlično se kala baznim pinakoidom u vrlo tanke elastične listiće. Bezbojan je, bijel, srebrnobijel, siv, nježno zelen, žut ili smeđkast, što ovisi o kem. sastavu. Gustoća mu je približno 2.8. Nastaje magmatski u svim stadijima kristalizacije magme te metamorfno. Krupniji kristali su pegmatitnog postanka. Sastojak je mnogih magmatskih i metamorfnih stijena, a zbog kem. rezistentnosti ima ga i u klastičnim sedimentnim stijenama, pa se nalazi posvuda. Muskovit je važan za proizvodnju toplinskoizolacijskog i elektroizolacijskog pribora. Upotrebljava se u proizvodnji pokrovnog papira, zidnih tapeta, elektroničkih komponenata, isplake, automobilskih guma, lakova, plastike, keramike itd. Samljeven dodaje se kozmetičkim proizvodima. Koristi se u proizvodnji vatrostalnog stakla (*rusko staklo*).

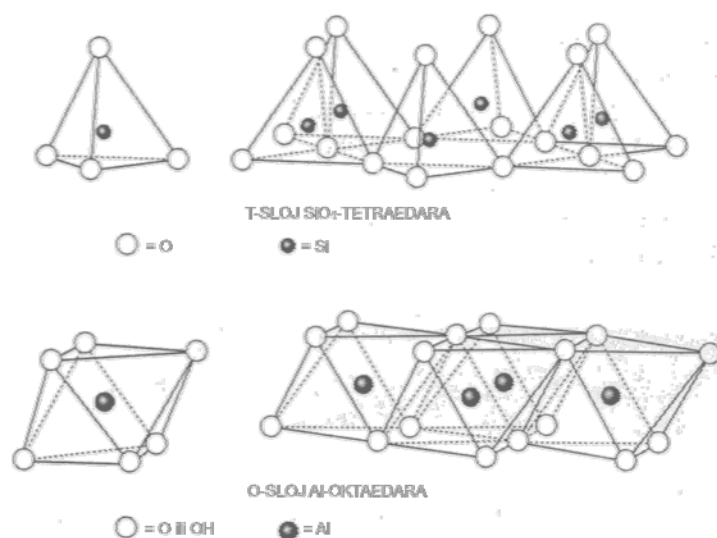
*Biotit* je morfološki po unutarnjoj građi vrlo sličan kristalu muskovita. Manje se nalaze pseudoheksagonski, pločasti kristali, a češće listićasti agregati. Zlatnožuti listići, nastali trošenjem biotita, zovu se *macino zlato*. Tvrdooće je 2.5 do 3. Odlično se kala baznim pinakoidom u tanke listiće. Za razliku od muskovita, biotit je tamne boje. Gustoća mu je 2.8 do 3.2. Nastaje magmatski, pegmatitno, ali i metamorfno. Najrasprostranjeniji tinjac. Nalazi se u mnogim vrstama magmatskih i metamorfnih stijena. Lako se troši, pa je u sedimentnim stijenama malokad prisutan. Upotrebljava se kao izolator, a fino samljeven kao mazivo. Važan je petrogeni mineral.

*Kloriti* kristaliziraju u monoklinskom sustavu. Po kem. sastavu su alumosilikati magnezija i željeza promjenljivog sastava. Razlikuju se dvije skupine klorita, *ortokloriti* ili magnezijevi kloriti koji sadrže malo željeza i tvore pločaste kristale te *leptokloriti* ili željezovi kloriti koji su mikrokristalasti i kriptokristalasti i najčešće tvore listićaste i oolitične aggregate. Male su tvrdoće, 2 do 2.5. Bezbojni su ili zeleni (ovisno o sadržaju željeza). Gustoće su im 2.5 do 4.8. Nastaju hidrotermalnom metamorfozom silikatnih minerala koji sadrže magnezij i željezo. Oolitični kloriti nastaju sedimentno. Nalaze se u izmijenjenim magmatskim stijenama te u zelenim i kloritnim škriljancima. U Hrvatskoj ih nalazimo na Medvednici. Važni su sastojci stijena, a neki se rabe kao rude željeza.

Mineralima filosilikata pripadaju *pirofit* i *minerali glina*.

## 16. MINERALI GLINA

Minerali glina su trošenjem i hidrotermalnim procesima hidratizirani alumosilikati koji uz Si i Al sadrže Ca, Mg, Fe, Na, K itd. Temeljna struktura svih minerala glina je složen paket sastavljen od T-sloja spojenih  $\text{SiO}_4$ -tetraedara u kojima je svaki silicij okružen s četiri kisika i O-sloja Al-oktaedara u kojima je svaki aluminij okružen sa šest kisika ili (OH)-skupna.



Strukture mogu biti dvoslojne ili troslojne. Kaolinit dvoslojne strukture T i O pripada *grupi kaolina*, a montmorilonit troslojne strukture T, O i T pripada *grupi smektita*.

Suhe gline ili minerali glina primaju vodu na način da voda ulazi u porne prostore (porna voda), dok voda koja prolazi kroz pore može biti adsorbirana na površinu čestice minerala glina (adsorbirana voda). Adsorbirane molekule vode dipolnog karaktera tvore tanki *nefluidni sloj*, vezan vodikovom vezom uz negativno nabijenu površinu čestice na kojoj se obično nalazi ili sloj kisika ili (OH)-skupina. Kao rezultat nastaje orijentirani raspored molekula vode na česticama minerala glina. Ta je uređenost prisutna uz površinu čestice, a što je deblji vodeni sloj koji okružuje čestice, to on postaje manje uređen i sličniji normalnoj vodi.

Nefluidni vodeni sloj i određena količina normalne vode između glina uzrokuju *plastičnost* glina. Gline postaju plastične nakon kraćeg dodira s vodom. Ako između dvije čestice okružene *nefluidnom vodom* nema normalne vode, čestice su čvrsto spojene u materijal otporan prema sušenju. Ako između čestica postoji tanki sloj normalne vode, koji djeluje poput maziva, čestice se pomiču jedna prema drugoj što uzrokuje plastičnost, tj. promjenu oblika stijenske mase. Ako je količina normalne vode velika, plastičnost se gubi, a čestice minerala glina s vodom tvore suspenziju. Plastičnost ovisi o izmjenjivim kationima, veličini i obliku čestica, kristalitetu te temperaturi tijekom pripreme materijala.

Voda koja prodire između paketa, sastavnih dijelova kris. strukture (međuslojna voda), uzrokuje njihovo širenje, odnosno *bubrenje*.

*Tiksotropija* je svojstvo suspenzije koja sadrži čestica minerala glina da mirovanjem prelazi u čvrsti gel. Suspendirane se čestice zbog raspodjele naboja (negativni na površini, poz. na rubovima) naslanjaju jedna na drugu tvoreći strukturu sličnu *kuli od karata*. U međuprostorima čestica zarobljene su i nepokretne molekule vode. Snažnim mehaničkim djelovanjem, potresanjem, struktura se ruši, voda postaje pokretljiva i gel prelazi u tekuću suspenziju, *sol*. Taj se prijelaz može ponavljati. Svojstvo tiksotropije je važno za primjenu gline kao isplake pri bušenju te za injektiranje.

## 17. TEKTO-SILIKATI – FELDSPATI, FELDSPATOIDI, ZEOLITI

*Feldspati* su najrasprostranjeniji i najvažniji petrogeni minerali i čine približno 60% mase Zemljine kore. Nalaze se u gotovo svim magmatskim, mnogim metamorfnim i nekim sedimentnim stijenama. Kristaliziraju u monoklinskom i triklinskom sustavu. Zajednička svojstva su im morfološka sličnost, relativna tvrdoća približno 6, dvosmjerna kalavost, svijetle boje, magmatski postanak, izražena hidrotermalna izmjena i/ili trošenje u sericit te minerale glina. Dije se na *alkalijske feldspate* (ortoklas, sandin i mikroklin) i *plagioklase*, Ca-alkalijske feldspate (albit, anortit).

*Feldspatoidi* su minerali koji sadrže veći udio alkalijski elemenata, Na i K, a manji udio Si nego što ih sadrže slični feldspati.

*Zeoliti* su tektosilikati koji se svrstavaju prema habitusu u tri skupine. *Kockasti* (habazit, filipsit), *vlaknasti* (natrolit, laumontit) i *listićasti* (hojlandit, stilbit). Kristaliziraju u različitim sustavima i češće tvore agregate nego li zasebne kristale. Svi sadrže adsorpcijsku vodu koja je raspoređena po šuplinama i kanalima kristala, *zeolitna voda*. Zagrijavanjem lako izlazi iz rešetke bez narušavanja strukture te ju lako prima natrag. Tvrdoća im se kreće između 3.5 i 5.5. Bijeli su ili vrlo svijetlih boja. Gustoća im je između 2.1 i 2.4. Nastaju hidrotermalno, hidatogeno i hidrotermalnom metamorfozom minerala koji sadrže natrij. U Hrvatskoj se nalaze u izmijenjenim bazičnim magmatskim stijenama ili tufovima (očvrsnuo vulkanski pepeo).

## 18. ALKALIJSKI FELDSPATI – ORTOKLAS, SANIDIN, MIKROKLIN

*Ortoklas* i *sanidin* kristaliziraju u monoklinskom, a *mikroklin* u triklinskom sustavu. Imaju stupićast ili pločast habitus. Svojevrsna im je tvorba sraslaca. Česte su kris. druze, kao i zrnasti agregati. Ortoklas ima relativnu tvrdoću 6 i jedan je od minerala Mohsove ljestvice tvrdoće. Velika tvrdoća tektosilikata, u koji ubrajamo i kvarc zbog njegove unutarnje strukture, pripisuje se trodimenzionalnoj prostornoj rešetki. Kut vrlo dobre dvosmjerne kalavosti kod monoklinskih je članova  $90^\circ$ , dok se kod mikrokлина razlikuje za  $\frac{1}{2}^\circ$ . Bezbojni su ili svijetlih nijansi raz. boja. Zeleni varijetet mikrokлина zove se *amazonit*. Gustoće su im približno 2.5. Svi kalijeve feldspati su magmatskog postanka. Sanidin nastaje pri najvišoj temperaturi, ortoklas pri srednjoj, a mikroklin pri najnižoj. *Adular* je varijetet ortoklasa hidrotermalnog postanka i jakog staklastog sjaja. Plavkasti adular se naziva *mjesečevim kamenom*. Neki minerali ove skupine mogu nastati metamorfno. Ortoklas je često zastupljen i



sastojak je brojnih stijena, osobito granita i gnajsa. U Hrvatskoj ga ima, kao i mikroklina, na Moslavačkoj gori i gorju Slavonije. Važni petrogeni minerali, sirovina za proizvodnju stakla.

## 19. PLAGIOKLASI – ALBIT, ANORTIT

*Plagioklasi* kristaliziraju u triklinskom sustavu. Kristali su malobrojni, a imaju stupićast ili pločast habitus. Najčešće ih nalazimo kao polisintetske sraslace, i to po albitnom zakonu. Česte su druze, kao i pločasti i zrakasti agregati. Prema sadržaju albitne, odnosno anoritne komponente razlikujemo *albit*, *oligoklas*, *andezin*, *labrador*, *bitovnit* i *anorit*. Povećavanjem sadržaja anoritne komponente smanjuje se udio  $\text{SiO}_2$  u plagioklasima, pa se stoga dijele i na kisele, neutralne i bazične. Imaju tvrdoću približno šest i vrlo dobru dvosmjernu kalavost. Bijeli su ili sivi, a rjeđe plavkasti, zelenkasti ili crvenkasti. Plagioklasi mogu nastati sedimentno ili metamorfno. Rasprostranjeni su u gotovo svim vrstama magmatskih i u nekim vrstama metamorfnim stijena. Albita ima na Medvednici.

## 20. MINERALI BAKRA

*Bakar* kristalizira u kubičnom sustavu. Kristali su heksaedarskog habitusa, a zastupljeni su listićasti, vlasasti i dendritični agregati. Tvrdoće je 2.5 do 3. Bakrenocrven je, ali zbog trošenja na površini nastaje tanka zelena prevlaka bakrova(II)-dihidroksidkarbonata. Odličan vodič topline i elektriciteta. Gustoća je 8.9. Nastaje trošenjem sulfidnih ruda bakra. U Hrvatskoj se nalazi kao mineralna pojava na Zrinskoj gori. Važan industrijski materijal, sastojak legure *bronce* i *mesinga* (*mjedi*).

*Halkozin* ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) kristalizira, ovisno o temperaturi, u rompskom i heksagonskom sustavu. Kristali su malokad razvijeni i tada su pločasti, a najčešće u obliku zrnastih i praškastih agregata. Sadrži 79% Cu. Tvrdoća mu je 2.5 do 3, olovno siv je do crn. Gustoće je 5.5 do 5.8. Nastaje u cementacijskoj zoni trošenja ležišta sulfida bakra.

*Halkopirit* ( $\text{CuFeS}_2$ ) kristalizira u tetragonskom sustavu, a zbog male razlike u duljini osi kristali su slični kubičnima. Češće tvori zrnaste i bubrežaste agregate. Sadrži 34% Cu, ali i primjese zlata i srebra. Tvrdoća mu je 3.5 do 4. Mesingastožut je do zlatnožut. Gustoća mu je približno 4.3. Najbrojnija i gospodarski najvažnija su ležišta hidrotermalnog postanka. Najrasprostranjeniji sulfid. Iz halkopirita se dobiva gotovo 70% svjetske proizvodnje bakra. U Hrvatskoj ga ima u malim količinama kod Donjeg Pazarišta u Lici, iznad Jelenja, na Medvednici, Petrovoj gori, Samoborskoj gori i Zrinskoj gori.

*Bornit* kristalizira u kubičnom sustavu. Malobrojni kristali su heksaedarskog ili oktaedarskog habitusa, a najčešće tvori zrnaste agregate. Sadrži 63% Cu. Tvrdoća mu je 3, bakrenocrven je do smeđecrven. Gustoća mu je 5.1. Nastaje hidrotermalno i pneumatolitno te trošenjem u cementacijskoj zoni. U Hrvatskoj su male pojave na Zrinskoj gori.

*Kovelin* ( $\text{CuS}$ ) kristalizira u heksagonskom sustavu. Malokad se nalaze pločasti kristali, a češći su listićasti agregati i praškaste prevlake na primarnim mineralima bakra. Sadrži 66% Cu. Mekan je, tvrdoća između 1.5 i 2, i ima tipičnu indigoplavu boju. Gustoća se kreće između 4.6 i 4.8. Nastaje trošenjem u cementacijskoj zoni, ne tvori zasebna ležišta, ali se nalazi u većini ležišta bakra.

*Halktantit* ili *modra galica* ( $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) kristalizira u triklinskom sustavu, a kristali se nalaze malokad i veoma su sitni, pločasti ili kratkostupićasti. Najčešće nalazimo zrnaste, igličaste i vlaknaste agregate. Tvrdoće je 2.5. Plav je, a grijanjem gubi vodu i postaje bijel. Ima oporni okus. Gustoća mu je približno 2.3. Nastaje trošenjem ruda bakra. Upotrebljava se za galvanizaciju i proizvodnju boja, a sintetički priređen kao pesticid u vinogradarstvu.

Ostale najvažnije rude bakra su *tetraedrit* (sulfosol) i *kuprit* (oksid).

## 21. MINERALI ANTIMONA

Kao najvažnije minerale antimona navodimo *antimonit* i *tetraedrit*.

## 22. MINERALI ŽELJEZA

*Pirohtin* ( $FeS$ ) kristalizira u heksagonskom sustavu s pločastim habitusom, no takav nije česta pojava. Češće ga nalazimo u obliku zrnastih i listićastih agregata. Tvrdooće je 4. Brončanožut je do bakrenocrven i magnetičan. Gustooća mu je 4.6. Nastaje magmatski, kao pirogeni mineral, te u ostalim stadijima kristalizacije magme.

Kristali kubičnog *magnetita* imaju oktaedarski habitus. Često se nalazi u slobodnom zrnju kao pijesak. Sadrži 72% Fe. Tvrdooća mu je 5.5, a boja i ogreb crni. Vrlo magnetičan. Gustooća mu je 5.2. Nastaje magmatski i metamorfno. U Hrvatskoj ga nalazimo na Medvednici, u Gorskom kotaru i kod Tomingaja u Lici.

*Kromit* kristalizira u kubičnom sustavu. Nalazi se u zrnastim agregatima i impregnacijama koje izgledaju poput leopardove kože, malobrojni su kristali oktaedarskog habitusa. Tvrdooća mu je 5.5, gustooća između 4.5 i 4.8, a boja crna. Nastaje samo magmatski. U Hrvatskoj se nalazi kao sporedan sastojak stijena koje sadrže olivin.

*Siderit* kristalizira u trigonskom sustavu, a kristali su romboedarskog habitusa te često spljošteni poput leće. Česti su agregati raz. oblika. Sadrži 48% Fe, tvrdooća mu je 4.5, gustooća između 3.7 i 3.9, siv je, a zbog oksidacije u limonit često je žućkastih tonova. Nastaje hidrotermalno i hidatogeno u Hrvatskoj ga ima u manjim količinama blizu Samobora, na Medvednici, Petrovoj te Zrinskoj gori.

*Ankerit* kris. u trigonskom sustavu. Kristali su romboedarskog habitusa, a tvori zrnaste agregate. Sadrži izomorfan magnezij i mali udio mangana. Tvrdooća mu je između 3.5 i 4, gustooća od 3.0 do 3.9, bijel je, siv, žut ili smeđ. Nastaje hidrotermalno i metamorfno.

Ostali minerali željeza su *halkopirit*, *bornit*, *pirit*, *hematit*, *limonit* (*getit*, *lepidokrit*), *šamozit*, *arsenopirit*, *ilmenit* i *volframit*.

## 23. MINERALI ŽIVE

Važni minerali žive su *cinabarit* i *tetraedrit*.

## 24. MINERALI BARIJA

Minerali barija su *barit* i *viterit*.

## 25. MINERALI BERILIJA

Najvažniji mineral berilija jest *beril*.

## 26. MINERALI KOSITRA

Industrijski važan mineral kositra je *kasiterit*.

## 27. MINERALI OLOVA

Minerali olova su *galenit*, *kriolit* i *nitronatrit*.

## 28. MINERALI CINKA

Minerali cinka su *sfalerit*, *cinkit* i *smitsonit*.

## 29. MINERALI MAGNEZIJA

Kristali *magnezita* koji kristalizira u trigonskom sustavu nalaze se malokad, a imaju romboedarski habitus. Agregati su vlasasti ili zrnasti, slični porculanu. Tvrdooća mu je približno 4, gustooća 3, a najčešće je bijel ili siv, no može biti žućkast, smeđ ili crn. Serpentinški tip magnezita koji je gust, kriptokristalast, nastaje metamorfozom peridotita, a alpski tip magnezita koji je kristalast nastaje metasomatozom, izmjenom magnezijevih minerala zbog djelovanja vode koja sadrži  $CO_2$ . U Hrvatskoj je nađen u Banovini.

*Epsomit* kristalizira u rompskom sustavu u stupićastim i igličastim kristalima te igličastim, vlasastim i zemljastim agregatima. Na suhom zraku i zagrijavanjem gubi vodu i raspada se u prah. Tvrdća mu je između 2 i 2.5, gustoća približno 1.7, bezbojan je ili svijetlih nijansi raz. boja. Nastaje hidatogeno, evaporitno i u kori trošenja. U Hrvatskoj ga ima blizu Samobora. Kao još jedan važan mineral magnezija spominjemo *dolomit*.

### 30. MINERALI KROMA

Važan mineral kroma je *kromit*.

### 31. MINERALI ALUMINIJA

Minerali aluminijski su *korund*, *boksit* (*hidrargilit*, *dijaspore*, *bemit*), *plagioklasi*, *leucit* i *kriolit*.

### 32. MINERALI ARSENA

Minerali arsena su *realgar*, *auripigment*, *arsenopirit*, *kobaltin* i *nikelin*.

### 33. MINERALI SREBRA I ZLATA

*Srebro* kristalizira u kub. sustavu. Najčešće u obliku dendritičnih i vlasastih agregata, a samo ponekad nalazimo kristale heksagonskog habitusa. Tvrdće je između 2.5 i 3, velike relativne gustoće (od 10 do 12), na svježem prijelomu srebrno bijel do bijel, ali se na zraku zbog djelovanja  $H_2S$  prevlači crnosmeđim slojem srebrova sulfida. Odličan vodič topline i elektriciteta. Nastaje trošenjem sulfidnih minerala koji sadrže srebro (*galenit*, *halkopirit*, *tetradrit*) te hidrotermalnom metamorfozom.

Minerali zlata su *halkopirit* i *pirit*.

### 34. UPORABA MINERALA I NJIHOVO ŠTETNO DJELOVANJE

Uporaba minerala, osim u metalurgiji kao metalne mineralne sirovine, vrlo je široka i u ostalim brojnim granama proizvodnje. Navedeni minerali upotrebljavaju se za proizvodnju keramike i refraktornih materijala, stakla, emajla i glazura, materijala za nuklearne reaktore, veziva, abraziva, kemikalija i otrova, nakita i ukrasnih predmeta, mineralnih gnojiva i stočne hrane, boja te azbesta. Kao zasebni kristali koriste se u proizvodnji optičkog pribora, monokromatora za rendgensko zračenje, kao piezoelektrični materijali te poluvodiči. Također se koriste i u ostalim granama proizvodnje, najčešće kao punila u proizvodnji hrane, tekstila, kože, papira, plastike, naftnih derivata, farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda, pesticida, kirurških instrumenata, gume itd.

Minerali mogu imati i štetno djelovanje na zdravlje čovjeka, gdje su vrlo opasne dišne bolesti azbestoza i silikoza. Silicijeva kiselina kao i azbestna vlakna oštećuju plućno tkivo uzrokujući stvaranje šupljina i stvrdnjavanje plućnog tkiva. Za zdravlje su štetni prašina kvarca, alkalijskih feldspata, tinjaca, amfibolskog i serpentinskog azbesta, talka, berila, silimanita itd. Za pluća su štetne čestice manje od 5  $\mu m$ . Kad je riječ o trovanju za čovjeka je štetna i prašina koja sadrži arsen, živu, olovo, beril ili uran.

## UVOD U PETROLOGIJU

### MAGMATSKE STIJENE

#### 1. PETROLOGIJA I PETROGENEZA, STIJENE

*Petrologija* je znanost koja proučava način postanka, prostorni sklop, mikrofiziografska i makrofiziografska svojstva stijena te njihovu sistematiku. *Stijene* su mineralni agregati. Ako sadrže samo jednu mineralnu vrstu, zovu se *monomineralne stijene* (vapnenac sadrži samo kalcit), a ako sadrže različite vrste minerala, tada su *polimineralne stijene* (granit sadrži

feldspat, kvarc i tinjac). Za razliku od *stijene*, čvrste mase na mjestu postanka, *kamen* je njen odlomljeni dio.

Prema načinu postanka razlikujemo *magmatske*, *sedimentne* i *metamorfne stijene*.

*Magmatske stijene* nastaju kristalizacijom iz taljevine. Po sastavu su najčešće silikatne.

*Sedimentne* ili *taložne stijene* nastaju u vodi i na kopnu, kao rezultat taloženja materijala koji potječe od mehaničkog i kemijskog razaranja površinskih dijelova litosfere pod utjecajem egzodinamičkih faktora, organogeno ili kris. iz zasićenih otopina. Po sastavu mogu biti silikatne, karbonatne, evaporitne i miješane silikatno-karbonatne.

*Metamorfne stijene* nastaju preobrazbom magmatskih, sedimentnih ili već ranije nastalim metamorfnim stijenama. Po sastavu su ili silikatne ili karbonatne.

Stijene nastaju s cikličkom izmjenom tvari i energije. Rastaljena se magma iz unutrašnjosti Zemlje polagano kreće prema površini, tvori plutone (intruzivna magmatska tijela), žile ili se izljeva kao lava iz koje nastaju efuzivne stijene. Tektonskim pokretima magmatske stijene koje su došle na površinu izložene su mehaničkom, kemijskom i biološkom trošenju. Nastale čestice se transportiraju ledenjacima, vodama tekućicama i vjetrom te talože, a dijagenезom tada nastaju sedimentne stijene. Iz stijena u metamorfnim uvjetima nastaju metamorfne stijene koje dolaskom na površinu podliježu trošenju. Sve stijene, bez obzira na način postanka, mogu različitim tektonskim pokretima doći u uvijete temperature i tlaka pri kojima se tale, pa nastaje nova magma i ciklus se ponavlja.

Postanak stijena, kojim se bavi *petrogeneza*, je geološki proces koji obuhvaća u određenim prostorima i vremenskim okvirima prijenos toplinske energije, raz. kem. procese, te prijenos tvari. Procesi postanka stijena povezani su sa tektonikom ploča. Određeni tipovi stijena nastaju u određenim područjima ploča. Procesi petrogeneze mogu trajati i nekoliko desetaka milijuna godina. Tijekom svog postanka stijena može biti izvrnuta višefaznoj promjeni temperaturnih i tlačnih uvjeta. Svojstva stijena su rezultat brojnih zbivanja u prošlosti, iako konačni izgled stijene odražava samo uvijete u završnoj fazi formiranja.

*Prijenos toplinske energije* vrlo je važan pri postanku stijena, osobito magmatskih i metamorfnih. Prijenos topline je usmjeren od toplijeg tijela prema hladnijem i to *kondukcijom* (prijenos topline uzrokovano prijenosom kinetičke energije od jednog atoma na drugi), *konvekcijom* (prijenos topline fizičkim kretanjem toplijeg materijala) i *radijacijom* (prijenos topline elektromagnetskim zračenjem).

Uz prijenos topline, za postanak stijena važni su *kemijski procesi*, zbog kojih se mijenja udio kem. elemenata u sustavu. *Transport tvari* zbiva se bilo procesom difuzije bilo djelovanjem mehaničkih sila koje premještaju stijenske masa u smislu njihovog drobljenja, boranja, rasjedanja itd.

Postanak stijena ne može se razmatrati odvojeno od postanka minerala, minerogeneze.

Više od 90% površine naše zemlje pokrivaju sedimentne stijene, dok je u preostalih desetak posto manji udio magmatskih stijena od udjela metamorfnih.

Moguće je izdvojiti pet načina uporabe stijena. Najviše se rabe u građevinarstvu, i to kao prirodni ili arhitektonsko-građevni kamen te tehnički građevni kamen, a mogu biti i sirovine za proizvodnju ostalih građevnih materijala. Od nekih se vrsta stijena rabi kamen za kiparstvo, a neke su sirovine u različitim granama proizvodnje.

Kamen je nemetalna mineralna sirovina koja se najčešće eksploatira na površinskim kopovima, tj. u kamenolomima, gdje se obrađuje do oblika pogodnog za primjenu te se upotrebljava u različite svrhe.

Veziva su proizvodi koji se dobiju mljevenjem termički tretiranog kamena, nakon čega taj materijal pomiješan sa vodom ima svojstvo bržeg ili sporijeg očvršćivanja te dobrog prijanjanja i povezivanja s drugim materijalima.

## 2. SVOJSTVA KAMENA

*Boja* kamena određena je bojom mineralnih sastojaka. Monomineralne stijene su jednolične boje, a u polimineralnim, osobito krupnozrnastim stijenama, može se zapaziti više boja. Subjektivna procjena boje ovisi i s koje se udaljenosti kamen promatra. Najčešća boja magmatskih stijena su siva, crna, žuta, zelena, bijela i crvena. Boju sedimentnih stijena uzrokuju pigmenti, najčešće minerali željeza, te organska tvar. Metamorfne stijene nastale iz magmatskih imaju boje slične ishodnim stijenama. Eventualnu promjenu boje uzrokuje postanak sekundarnih minerala, klorita, aktinolita i sericita. Metamorfne stijene nastale iz sedimentnih vrlo su raz. boja. Magmaške stijene su u pravilu stabilne boje, sedimentne karbonatne stijene su nestabilnih boja, a sedimentne silikatne su, u odsutnosti organske tvari, stabilnih boja. Boje metamorfnih stijena su uglavnom stabilne. Boja ima važnu ulogu u građevinarstvu.

*Gustoća* kamena ( $\rho_0$ ) je odnos mase čvrstog kamena,  $m_0$ , prema volumenu čvrstog kamena, tj. mineralnih sastojaka, bez pora i šupljina koje čine poroznost,  $V_0$ . Izražava se jedinicom  $\text{g/cm}^3$ .

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

Gustoća kamena ovisi o gustoći i volumnom postotku mineralnih sastojaka prema izrazu:

$$\rho_0 = \sum_{i=1}^n \rho_{0i} V_i$$

- $n$  – broj min. vrsta
- $V_i$  – volumen pojedine min. vrste
- $\rho_0$  – gustoća pojedine mineralne vrste

Budući da je mineralni sastav istovrsnih stijena promjenjiv, gustoća nije stalna veličina. Petrogeni minerali imaju gustoću između  $2.6$  i  $3.5 \text{ g/cm}^3$  što se podudara sa gustoćama čvrstih stijena. Sadržaj vezane vode u kamenu znatno smanjuje njegovu gustoću, dok sadržaj rudnih minerala je povećava.

*Prostorna masa* kamena ( $\rho$ ). Uz čvrste dijelove, stijena sadrži i sustav pora i šupljina. Prostorna masa je odnos mase čvrstog kamena prema volumenu kamena u njegovom prirodnom stanju.

$$\rho = \frac{m_0}{V}$$

Prostorna masa je uvijek manja od gustoće, a odnosi se kao:

$$\rho = \rho_0(1 - p)$$

- $p$  – poroznost

Prema prostornoj masi razlikuju se pet kategorija kamena, *izrazito lagan* ( $< 1.0 \text{ g/cm}^3$ ), *lagan* ( $1.0\text{--}1.5 \text{ g/cm}^3$ ), *srednje težak* ( $1.5\text{--}2.5 \text{ g/cm}^3$ ), *težak* ( $2.5\text{--}3.0 \text{ g/cm}^3$ ) i *izrazito težak* ( $> 3.0 \text{ g/cm}^3$ ).

Najveći broj čvrstih stijena ima prostornu masu između  $2.2$  i  $3.1 \text{ g/cm}^3$ .

*Poroznost* kamena razmatra se kao apsolutna i kao relativna.

*Apsolutna poroznost* je odnos volumena svih pora i šupljina u kamenu prema volumenu kamena u njegovom prirodnom stanju, izražen u postocima.

$$\rho = \frac{V_p}{V} \cdot 100$$

Volumen pora i šupljina jednak je razlici volumena kamena u prirodnom stanju i volumena mase čvrstog kamena,  $V_p = V - V_0$ .

Za različite stijene poroznost je širokog raspona vrijednosti, od 0.1% do više od 50%. Ona može biti *primarna*, ako su šupljine nastale pri postanku stijene, ili *sekundarne*, ako su šupljine nastale nakon postanka stijene zbog različitih geoloških procesa – tektonskih lomova, procesa alteracije, otapanja itd.

*Relativna poroznost* je poroznost koju voda može ispuniti, a izražava se omjerom volumena pora koje se pri atmosferskom tlaku ispunjavaju vodom i volumenom kamena u prirodnom stanju.

$$p_{rel.} = \frac{m_v - m_0}{V}$$

- $m_v$  – masa vodom zasićenog kamena
- $m_0$  – masa suhog kamena
- $V$  – volumen kamena u prirodnom stanju

Šupljine prisutne u stijeni ne mogu se uvijek ispuniti vodom, jer su često izolirane ili su nepogodnih dimenzija za zadržavanje vode.

O poroznosti ovisi sposobnost upijanja i zadržavanja vode, otpornost na smrzavanje, toplinska vodljivost, mehanička svojstva (povećavanjem broja pora smanjuje se kohezija u stijenama zbog smanjenja dodirne površine mineralnih sastojaka) itd.

*Tvrdoća* kamena određuje se na načine opisane u općem dijelu mineralogije. Za monomineralne stijene ona je jednaka tvrdoći minerala, sastojka stijene. Kod polimineralnih stijena tvrdoća se ne može točno izmjeriti, već je određuju prevladavajući mineralni sastojci. O tvrdoći minerala u stijeni ovisi otpornost kamena na habanje.

*Upijanje vode* je svojstvo kamena da potopljen u vodi pri određenim uvjetima primi u svoje pore određenu količinu vode i zadrži je. Izražava se omjerom mase vode koju kamen upije pri određenoj temperaturi i tlaku, i mase suhog kamena, a izražava se u postocima.

$$w = \frac{m_v - m_0}{m_0} \cdot 100$$

- $w$  – upijanje vode (izraženo u postocima mase)
- $m_v$  – masa vodom zasićenog kamena
- $m_0$  – masa suhog kamena

Vrijednosti upijanja vode su vrlo različite, za neke stijene manje od 0.1%, a za neke više od 50% njihove mase.

*Propusnost* ili *permeabilnost* kamena je sposobnost propuštanja vode. Ona ne ovisi o poroznosti kamena, nego o veličini pora. Stijene s vrlo sitnim porama su nepropusne, jer se voda veže na površinu njihovih stijenki, pa ne istječe iz stijene.

*Tlačna čvrstoća* kamena je svojstvo odupiranja kamena vanjskim silama koje mogu razoriti vezu između mineralnih sastojaka. Definira se silom potrebnom da se pri statičkom jednosmjernom opterećenju zdrobi uzorak određenog oblika i veličine te slobodnih strana. Vrijednosti tlačne čvrstoće su između 5 i 300 MPa, odnosno MN/m<sup>2</sup>.

*Trajnost* kamena je otpor kamena prema fizikalnim i kem. utjecajima u njegovu razaranju tijekom vremena, tj. nastanku kohezijske veze između mineralnih sastojaka te promjeni kem., pa i mineralnog sastava, a time i svojstva, u površinskim uvjetima. Glavni faktori *fizikalnog vremenskog razaranja* kamena su vlaga, kristalizacija različitih soli, insolacija i temperaturne promjene. Glavni faktori *kemijskog vremenskog razaranja* kamena su onečišćena atmosfera i kišnica (osobito magla) čiji sastav ovisi o atmosferi.

Kamen razaraju i brojni organizmi svojom životnom aktivnošću, direktnim biokemijskim djelovanjem, mehaničkim razaranjem, razaranje vodenih organizama ukopavanjem te na kopnu zagađivanjem.

### 3. POSTANAK MAGMATSKIH STIJENA

Magmatske stijene nastaju iz magme, silikatne taljevine iz Zemljine unutrašnjosti. Taljevina kristalizira ili polaganim hlađenjem u dubljim dijelovima litosfere, pa nastaju *intruzivne* ili *dubinske stijene*, ili se skrutnjava kao lava brzim hlađenjem na površini litosfere ili blizu površine, pa nastaju *efruzivne* ili *površinske stijene*. Osam je glavnih elemenata u sastavu magme, kisik, silicij, aluminij, željezo, kalcij, kalij, natrij i magnezij. Magma sadrži i fluidne sastojke plinova i para. Viskoznost ovisi o temperaturi i kem. sastavu. Kisele magme, bogate silicijevim dioksidom, viskozne su poput tijesta, a bazične magme su fluidne. Sposobnost kristalizacije je manja u viskoznoj taljevini stoga iz kiselih lava često nastaju amorfnja stakla.

Silikatna taljevina nastaje neprekidno taljenjem stijena omotača ili kore. Osim o temperaturi i kem. sastavu, viskoznost taljevine ovisi i o tlaku iznad ležećih stijena. Što je tlak veći, veća je viskoznost magme, dok smanjenjem tlaka magma postaje fluidnija.

Formirana magma diže se prema površini zbog razlike u gustoći između okolnih stijena i nje same, a kretanje pospješuje prisutnost dubokih lomova unutar litosfere. Pri tome se smanjuje tlak i istodobno magma hladi. Pri malom sniženju temperature počinju se iz nje izdvajati različiti minerali, tvoreći određenu zajednicu minerala, *mineralnu paragenezu*. Mineralnom paragenezom nazivamo skup mineralnih sastojaka stijene koji su stabilni pri sličnim uvjetima temperature, tlaka i kem. sastava. Prema mineraloškom pravilu faza, maksimalni broj koegzistirajućih minerala jednak je broju prisutnih komponenata. Kristalizacija i izdvajanje minerala iz magme, odnosno *kristalizacijska diferencijacija*, jedan je od načina mijenjanja sastava magme. Drugi način je asimilacija taljenjem okolnih stijena na putu prema površini.

O nastanku izvorne magme postoji više teorija. Jedna od njih je tzv. Bowenova teorija (1956.) koja pretpostavlja da postoji samo jedna izvorna magma bazičnog sastava iz koje kristalizacijom nastaju različiti petrogeni minerali. Teorija pretpostavlja dva kristalizacijska niza minerala, jedan je kontinuirani niz plagioklasa, drugi je kontinuirani niz feromagnezijevih minerala. Niz plagioklasa nastaje *ravnotežnom kristalizacijom* pri čemu nastali mineral reagira s taljevinom, pa se između minerala i taljevine uspostavlja ravnoteža. Niz feromagnezijevih minerala nastaje *frakcijskom kristalizacijom*, pri čemu nastali mineral ne uspostavlja ravnotežu s taljevinom već se iz nje izdvaja, preostala ili rezidualna taljevina bitno je različitog sastava od taljevine koja bi preostala nakon ravnotežne kristalizacije. Ta dva niza kristaliziraju usporedno navedenim redom u prvom, *magmatskom stadiju* kristalizacije magme i tvori većinu magmatskih stijena.

Proces nastajanja više od jedne vrste stijena iz zajedničke taljevine naziva se *magmatska diferencijacija*. U magmatskom stadiju razlikujemo dva podstadija. *Rani stadij kristalizacije* u kojem pri visokoj temperaturi nastaju Mg-Fe silikati te oksidi i sulfidi. Nastali kristali tvore ultrabazične i bazične stijene te neka mineralna ležišta, primjerice klorita. *Glavni stadij*

*kristalizacije*, do približno 600 °C, u kojem nastaju silikatni minerali koji uz aluminij sadrže kalcij, kalij, magnezij, željezo i natrij. Oni tvore neutralne i kisele stijene.

Osim u magmatskom stadiju. Stijene nastaju i u *pegmatitnom stadiju* do približno 500 °C, i to uglavnom u pukotinama već ranije očvrslulih stijena. Sadrže krupne kristale nastale iz taljevine čiji sastav je bitno različit od ishodišnog, a obilježava ga povećani udio rijetkih elemenata i fluidnih sastojaka, plinova i para.

Sve promjene u sustavu zbivaju se u smislu uspostave ravnotežnog stanja.

#### 4. KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STIJENA

Magmatske stijene se klasificiraju prema sadržaju SiO<sub>2</sub> (kiselosti), mjestu postanka stijene te mineralnom sastavu.

Prema sadržaju SiO<sub>2</sub> magmatske stijene mogu biti *ultrabazične* (< 45% SiO<sub>2</sub>), *bazične* (45-52% SiO<sub>2</sub>), *neutralne* (52-63% SiO<sub>2</sub>) i *kisele* (> 63% SiO<sub>2</sub>).

Prema mjestu postanka magmatske stijene mogu biti *intruzivne*, *efruzivne* i *žične*.

*Intruzivne stijene* nastale su u uvjetima visokog tlaka polaganim hlađenjem i potpunom kristalizacijom magme u dubljim dijelovima litosfere. Takve stijene se nalaze u obliku *batolita* (intruzivno tijelo nepoznate osnovice, površine veće od 100 km<sup>2</sup>), *štoka* ili *masiva* (sličan batolitu, manje površine), *lakolita* (intruzivno tijelo gljivasta oblika) itd.

*Efruzivne stijene* nastale su brзом kristalizacijom ili skrutnjivanjem lave pri niskom tlaku na površini litosfere ili blizu nje. Oblici pojavljivanja su *ploča* (tijelo tipično za bazičnu magmatsku stijenu, bazalt, velike površine i relativno male debljine, nastalo izlivanjem lave male viskoznosti kroz prostrane pukotine) i *kupa* (oblik tipičan za kiselu magmatsku stijenu, dacit, predstavlja nekadašnji vulkanski čunj izgrađen od slojeva ohlađene lave velike viskoznosti i drugog vulkanskog materijala).

*Žične stijene* spona su između prethodnih dviju skupina, a nastaju hlađenjem i kristalizacijom magme, lave, vrućih otopina i para koje su utisnute u pukotine stijena. Tipičan oblik pojavljivanja je *žila* (tanka ploča nastala u pukotinama koje nepravilno presijecaju slojeve sedimenata), *sklad* (pločasto tijelo utisnuto između slojeva sedimenata debljine od nekoliko centimetara do 1 km, duljine od više kilometara) te *nek* ili *dimnjak* (magmačko tijelo koje ispunjava cjevasti prolaz prema površini ispod nekadašnjeg vulkana). Nastaju relativno brzim hlađenjem pri visokom tlaku.

#### 5. ODREĐIVANJE MAGMATSKIH STIJENA

Pri određivanju magmatskih stijena treba poznavati njezina makrofiziografska svojstva koja se zapažaju okom te njezina mikrofiziografska svojstva koja se zapažaju petrogenim mikroskopom.

*Prostorni sklop* je vanjsko obilježje stijenskog masiva koje se odnosi na veličinu i oblik stijenske mase, njezin vremenski smještaj, vrstu kontakta s okolnim stijenama i promjene strukture i tekture na kontaktima. Kontakti mogu biti oštri ili postupni, masivi mogu biti paralelno smješteni ili se mogu presijecati.

*Lučenje* stijene je nepravilno pucanje ili pravilno odvajanje dijelova prvotno homogene stijenske mase u komade različitih oblika i veličine zbog hlađenja. Magmačka stijena nakon hlađenja ima relativno visoku temperaturu te se hlađenjem njezini dijelovi stežu. Pravilno odvajanje može biti prizmatično, pločasto, kockasto ili kuglasto. Bitno je da uzrok nisu geološki procesi koji uzrokuju pomicanje i premještanje stijenske mase, nego smanjenje volumena zbog hlađenja. Važno svojstvo koje olakšava obradu u kamenolomima i određuje gabarite (dimenzije) blokova i komada kamena.

*Tekstura* je međusobni odnos skupina minerala u stijeni. Može biti homogena, vezikularna, amigdaloidna, fluidna itd. *Homogena tekstura* tipična je za intruzivne stijene. Minerali su u stijeni ravnomjerno raspoređeni, bez vidljive orijentacije. *Fluidna tekstura* održava



orijentacijom štapićastih mineralnih sastojaka smjer otjecanja lave koja je sadržavala već kristalizirane štapićaste sastojke. *Vezikularna tekstura* sadrži mnogo šupljina nastalih oslobađanjem plinova i para tijekom naglog hlađenja lave (u efuzivnim stijenama). Ako se šupljine naknadno ispune sekundarnim mineralima, tekstura je *mandulasta* ili *amigdaloidna*.

*Boja* stijene je odraz količinskog i prostornog odnosa svjetlijih prema tamnijim mineralima u stijeni. Razlikujemo dvije skupine petrogenih minerala, *salski minerali* male gustoće i svjetlijih boja u kojima je velik udio Si i Al (feldspati, muskovit, kvarc) i *femski minerali* veće gustoće, tamnijih boja u kojima je velik udio Mg i Fe (olivin, pirokseni, amfiboli, biotit). Općenito dobar indikator kemizma i mineralnog sastava stijene. Svijetla boja ukazuje na kiselu stijenu s velikim udjelom  $\text{SiO}_2$ , a tamna na bazičnu s malim udjelom  $\text{SiO}_2$  i velikim udjelom Fe ili  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Stijene koje sadrže do 30% femskih minerala nazivaju se *leukokratne stijene*. *Mezokratne stijene* sadrže 30 do 60%, a *melanokratne stijene* više od 60% femskih minerala. Stijene koje sadrže više od 90% femskih minerala zovu se *ultramafitne stijene*. Većina ultrabazičnih su i ultramafitne stijene, ali ultramafitna stijena nije i ultrabazična ako sadrži više od 45%  $\text{SiO}_2$ .

S obzirom na *granularitet*, tj. krupnoću mineralnih sastojaka, stijene mogu biti *fenitne* (min. sastojci se vide okom), *afanitne* ili *mikrokristalaste* (min. sastojci se vide tek petrografskim mikroskopom) i *kriptokristalaste* (mineralni sastojci se ne vide polarizacijskim mikroskopom ili se vide samo vrlo velikim povećanjem). S obzirom na dimenzije sastojaka, fenitne stijene mogu biti krupnozrnaste, srednjezrnaste i sitnozrnaste.

Prema udjelu minerala u stijeni, *mineralnog sastava stijene*, razlikujemo *glavne* ili *bitne* minerale koji prevladavaju i određuju glavna svojstva stijene, *sporedni* minerali koji se nalaze u stijeni u manjoj količini i *akcesorni* minerali koji su prisutni u stijeni u zanemarivoj količini, a ponekad ukazuju na posebne uvjete postanka stijene. Mineralni sastojci razlikuju se i prema vremenu postanka. *Primarni* su oni koji su nastali kristalizacijom iz magme ili iz lave pri prijelazu iz taljevine u čvrsto stanje. *Sekundarni* su oni koji su nastali kasnije izmjenom ili alteracijom primarnih minerala djelovanjem hidrotermalnih procesa i kem. trošenja. Najčešći minerali magmatskih stijena su feldspati, augit i hornblenda, kvarc, tinjci i u malom sastavu ostali minerali, a ponekad i vulkansko staklo.

*Struktura* je određena veličinom, oblikom i međusobnim odnosom mineralnih sastojaka, a posljedica je načina prijenosa topline i uvjeta kristalizacije. Dva su osnovna tipa strukture, *granularna* ili *zrnasta* i *porfirna*. Granularnu strukturu imaju potpuno kristalizirane stijene u kojima su minerali približno jednake veličine dodiruju. Formira se pri polaganom gubitku topline i plinova. Granularna struktura može biti *idiomorfna*, mineralni sastojci pravilnog oblika, *hipidiomorfna*, sastojci djelomično pravilni, i *alotriomorfna*, sastojci nepravilnog oblika. Minerali koji prvi kristaliziraju su idiomorfni. Porfirnu strukturu obilježavaju kristali dviju generacija, *fenosilikati* ili *utrusci* i *osnova*. Fenosilikati su krupni i pravilno kristalizirani minerali koji nastaju polaganim hlađenjem taljevine u ranoj fazi postanka stijene, a osnova je staklasta ili sitnokristalasta masa koja nastaje bržim hlađenjem, gubitkom topline ili plinova iz lave, kada djelomično kristalizirana taljevina dođe u uvjete znatno niže temperature i tlaka. Tipična za efuzivne stijene. *Intergranularna struktura* je prijelaz između granularne i porfirne strukture. U međuprostorima neorijentiranih štapićastih plagioklasa nalaze se drugi minerali. Među intergranularnim strukturama posebno je za dijabaz tipična *ofitna struktura* s augitima u međuprostorima plagioklasa, a naziva se i *dijabaznom strukturom*. *Hijalinsku strukturu* (staklastu) imaju naglo ohlađene lave koje sadrže pretežno vulkansko staklo, a ponekad i malu količinu sitnih štapićastih kristala. *Vitrofirna struktura* sadrži uz vulkansko staklo i poneki fenokristal.

*Kristalitet* s odnosi na postotak kristaliziranih mineralnih sastojaka u stijeni. Stijene mogu biti *holokristaline* (postupno iskristalizirane), karakteristika intruzivnih stijena, *hipokristaline*, hipohijaline ili mezokristaline (djelomično iskristalizirane, a djelomično vulkansko staklo),

što je karakteristika nekih efuzivnih stijena i *holohijaline* (potpuno staklaste), naglo ohlađene lave koje su amorfno staklo.

## 6. ULTRABAZIČNE I ULTRAMAFITNE STIJENE – PERIDOTIT, DUNIT, ANORTOZIT

*Peridotit* je ultrabazična i ultramafitna intruzivna stijena. Glavni mineralni sastojci su olivin i piroksen, a ponekad hornblenda i biotit. Sporedni minerali mogu biti plagioklasi, spinel i granat. Stijena velike gustoće, između 2.6 i 3.2. Prostorna masa se malo razlikuje od gustoće, između 2.6 i 3.1, poroznost je između 0.4 i 2.5% volumena, a upijanje vode između 0.1 i 0.8% mase. Premda je tlačna čvrstoća svježije stijene 300 MPa, najčešće je izmijenjena, pa joj se tlačna čvrstoća spušta i do 70 MPa. Upotreba kao tehnički građevni kamen je manja u odnosu na bazične stijene.

Stijena ove skupine koja sadrži isključivo olivin, uz akcesorni kromit, je *dunit*.

*Anortozit* je ultrabazična, ali ne i ultramafitna stijena, jer iako sadrži  $< 45\%$   $\text{SiO}_2$ , njezin je jedini sastojak salski mineral, bazični plagioklas. *Piroksenit*, krupnozrnasta monomineralna stijena, pripada skupini ultramafitnih, ali ne i ultrabazičnih stijena, jer sadrži  $> 45\%$   $\text{SiO}_2$ . glavni mineralni sastojak jest monoklinski ili rompski piroksen, ili oba piroksena. Malo zastupljena stijena.

## 7. BAZIČNE STIJENE – GABRO, BAZALT, DIJABAZ

*Gabro* je bazična, intruzivna, melanokratna stijena granularne strukture koja sadrži bazične plagioklase i jedan feromagnezijev mineral, najčešće piroksen, te olivin. Može sadržavati amfibol, biotit i ponekad kvarc. Tipična struktura čije je obilježje duboko prodiranje jednog minerala u drugi, što stijenu čini čvrstom i žilavom. Različiti procesi hidrotermalne izmjene gabra rezultiraju brojnim varijetetima stijena u čijem su sastavu različiti sekundarni minerali. Tlačna čvrstoća je između 180 i 130 MPa, gustoća između 2.8 i 3.1, a prostorna masa 2.8 do  $3.05 \text{ g/cm}^3$ . Poroznost je između 0.3 i 1.5% volumena, upijanje vode između 0.2 i 0.4% mase. Lako se polira nakon čega je postojan prema djelovanju atmosferilija. Zabilježena je pojava gabra na Kalničkom gorju i na otoku Jabuci. Poznata su ležišta kod Jablanice u Hercegovini gdje je gablo izdvojeno stijensko tijelo.

*Bazalt* je bazična, efuzivna, melanokratna stijena koja odgovara gabru osim po strukturi koja je porfirna. Sadrži bazične plagioklase, a od piroksena najčešće augit ili diopsid. Neki bazalti sadrže veću količinu magnetita. Najrasprostranjenije efuzivne stijene na Zemlji. Velike količine bazaltne lave izlijevaju se i danas kod područja divergentnog pokretanja ploča na oceanskom dnu. Najčešći oblici pojavljivanja su velike ploče vezane uz pukotinsko izlijevanje lave na kontinentima, ili jastučasti oblici koji nastaju brzim hlađenjem lave koja se izlijeva na dnu oceana i u dodiru s morskom vodom. Nalazimo ga na Zagrebačkoj gori, Ivanščici, Kalničkom gorju, Samoborskoj gori, kod Orahovice u Slavoniji, Popovca u Baranji, Donjeg Pazarišta u Lici, u srednjoj Dalmaciji te na Visu. Bazaltne stijene najrasprostranjenije su na Pacifičkom dnu.

*Dijabaz* je bazična, žična, melanokratna stijena tipične strukture koju čine isprepleteni štapičasti plagioklasi čije međuprostore ispunjava augit. Ovakva struktura uzrok je velikoj kompaktnosti dijabaza koji je jedan od najčvršćih i najžilavijih stijena uopće. U našoj zemlji nalazimo ga na sjevernoj strani Zagrebačke gore, na Ivanščici, Papuku, Kalničkom gorju, Samoborskoj gori, kod Topuskog itd., ali je redovito slabije ili jače hidrotermalno izmijenjen, što mu slabi fizička i mehanička svojstva. Kao produkt izmjene poprima zelenu boju. Gustoća bazalta i dijabaza je između  $2.85$  i  $3.15 \text{ g/cm}^3$ , prostorna masa između 2.8 i 3.1, poroznost od 0.1 do 1% volumena, upijanje vode između 0.2 i 1% mase. Ove stijene imaju vrlo veliku tlačnu čvrstoću, svježije i do 500 MPa, a najčešće između 200 i 400 MPa. Natrijem bogata bazična stijena, nastala izmjenom bazalta i dijabaza pri niskoj temperaturi djelovanjem otopina koje sadrže natrij, zove se *split*.

## 8. NEUTRALNE STIJENE – SIJENIT, TRAHIT, DIORIT, ANDEZIT, LAMPROFIRI

*Sijenit* je neutralna, intruzivna stijena granularne strukture koja sadrži pretežno alkalijske feldspate i tinjac. Može sadržavati hornblendu te kvarc, ali isključivo kao akcesorni sastojak. Boja ovisi o boji ortoklasa kao prevladavajućeg sastojka. Često sadrži rudne minerale. Osim željeza, u nekim sijenitima je povećan udio olova, cinka, bakra, bizmuta, žive, arsena, kobalta, nikla, urana, srebra itd. Gustoća sijenita je između 2.6 i 2.75 g/cm<sup>3</sup>, a prostorna masa između 2.55 i 2.75. Poroznost je između 0.4 i 3.5% volumena, upijanje vode između 0.2 i 0.8% mase, a tlačna čvrstoća između 160 i 250 MPa.

*Trahit* je neutralna, efrazivna stijena porfirne strukture koja sadrži fenokristale alkalijskog feldspata, a ponekad i plagioklasa te tinjca. U manjoj količini sadrži feromagnezijske minerale. Često ima tipičnu strukturu čije je obilježje orijentacija sitnih štapićastih kristala osnove u smjeru toka lave. Poznati varijetet je i *crveni porfir* iz Egipta koji se rabi kao kamen za kiparstvo.

*Diorit* je neutralna, intruzivna stijena granularne strukture koja sadrži neutralne plagioklase i neki feromagnezijski mineral, hornblendu, a uz nju biotit i ponekad piroksen. Kvarc je odsutan ili akcesoran. Svojstva i primjena slični su sijenitu.

*Andezit* je neutralna stijena porfirne strukture, efrazivni ekvivalent diorita, sadrži svijetle fenokristale neutralnih plagioklasa i tamne fenokristale nekog feromagnezijskog minerala koji se jasno ističu u gustoj strukturi. Često je hidrotermalno izmijenjen u tzv. propilit. Vrlo dekorativan varijetet *zeleni porfir* iz Grčke rabi se kao kamen za kiparstvo.

*Lamprofiri* su neutralne žične stijene s većim udjelom femskih minerala, tamnih su boja. Uz femske minerale sadrže feldspate.

## 9. KISELE STIJENE – GRANIT, RIOLIT, DACIT, PEGMATIT I APLIT

*Granit* je kisele, intruzivna, leukokratna stijena granularne strukture čiji su glavni mineralni sastojci alkalijski feldspati, kvarc i tinjci. Ponekad sadrži i kisele plagioklase, hornblendu i augit, te niz sporednih akcesornih sastojaka kao apatit, cirkon, magnetit, ilmenit itd. većina sastojaka može biti različita, pa se razlikuju sitnozrnasti od krupnozrnastih granita. Ako su samo neki sastojci (obično feldspati) znatno veći od ostalih, granit se naziva porfiroidnim. Najrasprostranjenija intruzivna stijena u kori. Gustoća granita je između 2.6 i 2.8 g/cm<sup>3</sup>, a prostorna masa između 2.55 i 2.75. Poroznost je između 0.4 i 3.5% volumena, sposobnost upijanja vode između 0.2 i 0.7% mase, tlačna čvrstoća između 150 i 240 MPa. Trajna je stijena, osim u uvjetima većih temperaturnih kolebanja i malo oborina, kao i ostale magmatske intruzivne stijene, kada se mehanički troši i prelazi u pjeskoviti, rastreseni materijal, tzv. *grus*. U Švedskoj i Finskoj su poznata nalazišta dekorativnog, crvenkastog, *rapakivi granita* koji sadrži crvenkasti kalijev feldspat. Drobljenjem slabe kohezijske veze između mineralnih sastojaka. Slaba strana je i kalavost feldspata i tinjaca.

*Riolit* je kisela, efrazivna, leukokratna stijena koja odgovara granitu, osim po strukturi koja je porfirna. Primjena efrazivnih kiselih, pa i neutralnih stijena, u pravilu je manje važna od primjene njima ekvivalentnih intruzivnih stijena. Iako njihova fizikalna i mehanička svojstva mogu biti slična, zbog načina postanka brzim hlađenjem ta svojstva mogu biti i znatno slabija, osobito u pogledu poroznosti, tlačne čvrstoće, otpornosti na habanje i udar. Osobito su nepovoljni varijeteti s krupnim fenokristalima i staklom u osnovi.

*Granodiorit* je kisela, intruzivna, leukokratna stijena granularne strukture čiji su glavni mineralni sastojci kisel i do neutralni plagioklasi, kvarc i tinjac. Sadrži i neki feromagnezijski mineral, hornblendu, a rjeđe augit, i to u većoj količini nego granit, pa je u pravilu i nešto tamniji od granita.

*Dacit* je kisela, efrazivna, leukokratna stijena koja odgovara granodioritu, osim po strukturi koja je porfirna. Sadrži plagioklase, kvarc i tinjac te amfibol. Sanidinski dacit sadrži alkalijski feldspat, sanidin.

*Pegmatit* i *apatit* su kisele, žične, leukokratne stijene koje imaju najveći udio ortoklasa i kvarca, a sadrže i tinjac. Ostali sporedni i akcesorni sastojci slični su onima kod granita, a u pegmatitima se često nalaze rijetki minerali. *Pegmatit* je krupnozrnasta stijena čiji sastojci su veličine nekoliko centimetara, a ponekad i vrlo krupni kristali. Nastaje polaganim hlađenjem kisele magme bogate lako hlapljivim sastojcima u pegmatitnoj fazi. *Apatit* je sitnozrnasta svijetla stijena, nastala također u pegmatitnoj fazi, ali iz kisele magme siromašnije lakohlapljivim sastojcima.

## 10. UPORABA MAGMATSKIH STIJENA

Uporaba magmatskih stijena, koja je najveća u građevinarstvu, ovisi o njihovim fizikalnim i mehaničkim svojstvima koja su posljedica načina postanka stijene. Intruzivne stijene su u pravilu povoljnijih karakteristika zbog homogene strukture i izotropnih svojstava, poroznosti koja je zbog slabog hlađenja mala te pornog prostora koji čine međukristalni prostorni i pukotine kalavosti minerala. Kod efuzivnih stijena izražene su razlike u fizikalnim i mehaničkim svojstvima, jer veća raznolikost njihovog postanka rezultira i većim razlikama u strukturi i teksturi. One se naglo hlade, stoga imaju širok raspon poroznosti. Svježe magmatske stijene općenito su vrlo velike nosivosti. Tereni izgrađeni od svježih intruzivnih stijena vrlo su pogodni za izvođenje građevinskih radova, pa i većih podzemnih objekata (tunela i sl.). Primjena svježih efuzivnih stijena slična je primjeni intruzivnih stijena. Međutim, efuzivne stijene su zbog podložnosti hidrotermalnim izmjenama često različitog mineralnog sastava u odnosu prema ishodišnim stijenama, s brojnim sekundarnim mineralima i redovito oslabljenim fizikalnim i mehaničkim svojstvima.

## SEDIMENTNE STIJENE

### 1. POSTANAK I KLASIFIKACIJA SEDIMENTNIH STIJENA

*Sedimentne* ili *taložne stijene* nastaju na površini Zemlje ili plitko ispod njezine površine, u vodi ili na kopnu, pri relativno niskoj temperaturi i tlaku određenim fizikalnim, kemijskim, biološkim i geološkim procesima. Prema postanku razlikujemo *klastične* te *kemijske* i *biokemijske stijene*. Kemijske i biokemijske dijele se na *karbonatne*, *evaporitne* i *silicijske* (neke karbonatne stijene su evaporitnog postanka). Zasebne skupine stijena su *rezidui* ili *rezidualni sedimenti* i *vulkanoklastične stijene*.

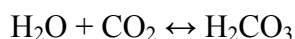
*Klastične sedimentne stijene* nastaju iz čvrstog materijala koji potječe od već ranije nastalih minerala i stijena složenim i dugotrajnim procesom koji obuhvaća trošenje ranije nastalih stijena, transport rastresenog materijala, taloženje transportiranog materijala i dijagenezu.

*Trošenje* ranije nastalih stijena, odnosno minerala koji su njeni sastojci, je proces njihova razaranja zbog djelovanja mehaničkih, kemijskih i biogenih čimbenika koji djeluju najčešće zajedno. Razlikujemo mehaničko, kemijsko i biološko trošenje.

Pri mehaničkom trošenju postojeći minerali i stijene se usitnjavaju zbog djelovanja sila iz atmosfere, hidrosfere i biosfere (insolacija, hidratacija i smrzavanje). Mehaničkim trošenjem ne nastaju novi minerali. *Insolacijom* se u područjima aridne ili pustinjske klime troše stijene zbog neprekidne izmjene vrlo vrućih sunčanih dana i hladnih noći pri čemu se anizotropni mineralni sastojci različito rastežu i stežu, slabe veze između minerala te stijena puca. *Hidratacija* i *dehidratacija* su procesi primanja i otpuštanja vodene pare ili vode iz pora stijena ili iz pojedinih mineralnih sastojaka. Dolazi do promjene volumena stijene što uzrokuje njeno trošenje. *Smrzavanje* utječe na trošenje stijene zbog razlike u volumenu leda i vode. Osobit je utjecaj na stijene koje imaju veliku relativnu poroznost i izraženo svojstvo upijanja vode, ili su prethodno raspucane. Mineral kvarc je kemijski iznimno rezistentan, ali je krt i podložan pucanju. Zastupljen je u mnogim stijenama te njegov veći udio pridonosi trošenju. Stijene se, također, troše i zbog kretanja ledenjaka. Mehaničkim trošenjem nastaju

čvrste čestice minerala i stijena koje se nazivaju *klastima* ili *detritusom*, velikog raspona dimenzija. Klastične sedimentne stijene koje sadrže klaste manje od 0.063 mm zovu se *peliti*, one koje sadrže klaste veličine između 0.063 i 2 mm su *psamiti*, a klasti veći od 2 mm sastojci su *psefita*.

Pri *kemijskom trošenju* na minerale i stijene, osobito nakon što im je mehaničkim trošenjem povećana reaktivna površina, djeluju voda, kisik i razne kiseline koje se nalaze u prirodi, a najčešće ugljična kiselina ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Minerali i stijene se otapaju i nastaju novi minerali. Otapanju su podložnije stijene s velikom količinom pukotina. Kemijska aktivnost *vode*, karakter trošenja i vrsta novonastalih minerala, ovisi o pH vrijednosti. Neutralna voda ima pH vrijednost 7, kisela ispod te vrijednosti, a lužnata iznad. Neki minerali nastaju samo u uvjetima strogo određenog pH. Voda predstavlja i transportni medij za topljive ione. Osobito je kem. aktivna (agresivna) voda koja sadrži otopljen ugljikov dioksid, jer reakcijom vode i  $\text{CO}_2$  nastaje ugljična kiselina.



*Kisik* djeluje oksidacijski i vrlo je važan pri trošenju stijena. Zbog oksidacije koja se zbiva iznad razine vode temeljnice, kamo kisik donese oborine koje poniru u dubinu kroz porne prostore stijena, mijenja se njena boja, poroznost i mineralni sastav. *Ugljična kiselina* razara osobito karbonatne minerale, a iz silikatnih sastojaka mnogih stijena, osobito feldspata, nastaju minerali glina. Stijene se kem. troše i zbog djelovanja *humusnih kiselina*.

Pri *biološkom trošenju* minerale i stijene razaraju biljni i životinjski organizmi svojom životnom djelatnošću.

*Transport* predstavlja prijenos čvrstog materijala, nastalog trošenjem ranije nastalih stijena, najvećim dijelom vodom te manje vjetrom i ledenjacima. U područjima vječnog leda u kratkotrajnim ljetnim razdobljima dio ledenog pokrova se otapa, a nagomilani klasti tvore *morene*. *Erozija* obuhvaća trošenje i odnošenje rastresenih površinskih dijelova minerala i stijena. Erozija koju uzrokuju organizmi naziva se *bioerozija*.

Taloženje materijala započinje kada snaga transportnog medija postane preslaba za njegovo daljnje prenošenje.

*Dijageneza* je skup procesa koji se zbivaju u sedimentu od njegova postanka do početka njegove metamorfoze. Najvažniji diagenetski proces je *okamenjivanje* ili *litifikacija*, tj. postupni prijelaz mekanih, rasutih, vodom bogatih, nevezanih taloga u čvrste sedimentne stijene, a javlja se *zbijanjem taloga* i *cementacijom*.

## 2. SASTOJCI, STRUKTURA I TEKSTURA SEDIMENTNIH STIJENA

Proučavanjem sastojaka, strukture i teksture sedimentnih stijena mogu se ustanoviti uvjeti njihovog postanka te okoliš postanka tijekom geološke prošlosti.

*Mineralni sastojci* sedimentnih stijena mogu biti *alotigeni* i *autigeni*. *Alotigeni minerali* potječu od mehaničkog razaranja ranije nastalih stijena. *Autigeni minerali* nastaju kristalizacijom iz vodenih otopina, nisu transportirani kao alotigeni, već su taloženi na mjestu postanka. U sedimentnim stijenama najčešće nalazimo kvarc, muskovit, kalcit, dolomit, feldspate te minerale glina. U nekim evaporitnim sedimentnim stijenama glavni sastojci su halit, gips ili anhidrit.

*Klasi* ili *detritus* sedimentnih stijena razlikuju se po sastavu. Mogu biti odlomci silikatnih minerala i stijena, pa je detritus *siliciklastični*, mogu biti odlomci karbonatnih minerala i stijena, pa je detritus *karbonatni*, dok fosili ili njihove krhotine čine *fosilni* detritus.

*Struktura* sedimentnih stijena definirana je veličinom, oblikom, rasporedom i međusobnim odnosom njihovih sastojaka. Strukturna obilježja se razlikuju za stijene različitog postanka, klastične stijene imaju *klastične strukture*, a kemijske i biokemijske stijene imaju *kristalne* i

*organogene strukture*. Strukturni sastojci klastičnih sedimentnih stijena su *klasti*, *vezivo* (*matriks* i *cement*) i *pore*. *Klasti* čine osnovni sastavni dio stijene. *Matriks* tvore sitna alotigena zrna manja od 0.03 mm. Matriks koji ispunjava prostor između klasta predstavlja vezivo. Osim matriksa u klastičnoj stijeni može povezivati i cement. *Cement* je autigena mineralna tvar izlučena u intergranularnom ili međuzrnskom prostoru iz pornih otopina nakon taloženja zrna, a ima ulogu veziva. *Pore* su slobodni prostori između zrna i unutar zrna, prostori u kojima nema niti matriksa, niti cementa. U porama se najčešće nalaze plinovi, voda ili nafta. *Kristalne strukture* kemijskih i biokemijskih stijena razlikuju se prema veličini kristala, *makrokristalasta* s kristalima vidljivim okom (0.1 mm), *mikrokristalasta* s kristalima dimenzija između 0.1 i 0.01 mm, koji su vidljivi mikroskopom te *kriptokristalasta* s kristalima manjim od 0.01 mm koji se vide mikroskopom tek pri vrlo velikom povećanju. *Organogenu* strukturu imaju organogene stijene koje su nastale posredovanjem organizama, tj. uslijed njihove životne aktivnosti.

*Tekstura* sedimentne stijene definira sve značajke njezine građe uvjetovane prostornim razmještajem, međusobnim odnosima i orijentacijom sastojaka stijene, pa i njezin morfološki oblik. Ona se istražuje ponajprije na terenu, a manjim dijelom u laboratoriju. Primarne tekture nastaju u vrijeme taloženja ili kratko nakon taloženja. *Slojevitost* je jedna od najvažnijih teksturnih karakteristika sedimentnih stijena. Osnovna jedinica sedimentnih stijena je *sloj*, geološko tijelo definirano debljinom većom od 1 cm. Slojevi nastaju kao posljedica kontinuiranog taloženja pri jednakim fizikalnim, kemijskim i/ili biološkim uvjetima. Sloj je omeđen fizičkim plohama diskontinuiteta, gornjom i donjom *slojnom plohom* koje nastaju pri prekidu taloženja, drastičnim promjenama uvjeta taloženja ili erozije. Ako do promjena u taloženju dolazi postupno, ne formiraju se jasne slojne plohe, već je promjena jednog tipa sloja u drugi postupna ili gradacijska. Campbell (1967.) je podijelio slojeve prema debljini u pet skupina: vrlo debeli (> 100 cm), debeli (30-100 cm), srednje debeli (10-30 cm), tanki (3-10 cm) i vrlo tanki (1-3 cm). *Slojevitost* nastaje redanjem slojeva. Slojevi mogu imati ravne slojne plohe i biti međusobno paralelni, pa nastaje *ravna paralelna slojevitost*. Takvi ravni paralelni slojevi obično imaju veliku površinu prostiranja. Debljina jednog sloja može varirati, tako da slojevi mogu imati ravne slojne plohe koje nisu međusobno paralelne. Redanjem takvih slojeva nastat će *ravna neparalelna slojevitost*. Slojevi koji imaju valovite slojne plohe formiraju *valovitu paralelnu slojevitost* ili *valovitu neparalelnu slojevitost*. Nizanjem slojeva koritasta oblika formira se *koritasta paralelna slojevitost* ili *koritasta neparalelna slojevitost*. Talozenje klastičnih sedimenata je gotovo nedjeljivo od transporta. Male fizikalne razlike u uvjetima taloženja rezultirat će manjim promjenama u sloju koje se vide kao nehomogenosti milimetarskih dimenzija ili *lame*. *Laminacija* se promatra u poprečnom presjeku na sloj. Razlikuje se *horizontalna*, *kosa*, *valovita* i *koritasta laminacija*. Setovi lamina su kod horizontalne laminacije horizontalno, a kod kose laminacije koso položeni prema slojnoj plohi, a valovito ili koritasto u slučaju valovite, odnosno koritaste laminacije. Tekture nastale na slojnim plohama pripadaju *vanjskoj* ili *eksternoj teksturi*. Najčešće *teksture na gornjoj slojnoj plohi* su *valoviti tragovi* ili *riplevi* nastali prenošenjem pješčanog i sitoznog materijala jednosmjernim strujama ili valovima, zatim *pukotine isušivanja*, nastale stezanjem sedimenata pri isušivanju u subaerskim uvjetima, ili se na gornjoj slojnoj plohi mogu naći *tragovi kišnih kapi*. Svi opisani tragovi nastaju na gornjoj slojnoj plohi, a tu se nalaze i sačuvani. Složeniji je slučaj s *teksturama na donjoj slojnoj plohi*. One predstavljaju negativ ili otisak s gornje slojne plohe i nastaju najčešće erozijom gornje slojne plohe nekog glinovitog sedimenta podložnog plastičnoj deformaciji iznad kojeg se istaložio pješčani sediment. Na gornjoj plohi glinovitog sedimenta nastali su različiti tragovi, a otisci tih tragova nalaze se sačuvani na donjoj slojnoj plohi iznad ležećeg pješčanog sedimenta. Mogu ostati tragovi *vuče*, *zadiranja*, *usijecanja*, *kotrljanja*. Otisci *tragova vuče* nastaju kada je neki predmet bio nošen strujom i istodobno

povlačen po glinovitom sedimentu, ostavljajući dugačke ravne brazde. *Tragovi zadiranja* nastaju kad neki predmet zadire, upada pod velikim kutom na površinu glinovitog sedimenta, ostavljajući asimetrično udubljenje prije nego što je ponovno podignut i ponesen jednosmjernim tokom. Otisci zadiranja su asimetrična izbočenja. *Tragove usijecanja* ostavljaju predmeti koji se samo lagano usijecaju u površinu sedimenta i ostavljaju plitke simetrične usjekline. Kotrljanjem predmeta po dnu nastaju *tragovi kotrljanja*. Tragovi vezani uz određeni oblik životne aktivnosti nazivaju se *ihnofosilima*. Potpuna prerada sedimenata aktivnošću organizama naziva se *bioturbacijom*. Vanjske teksture su važne kako bi se za slojeve poremećene tektonskim pokretima mogao ustanoviti slijed sedimentacije i hidrotermički uvjeti i okoliši taloženja.

### 3. OPIS I UPORABA SEDIMENTNIH STIJENA

Sedimentne se stijene klasificiraju prema postanku, odnosno podrijetlu sastojaka, na klastične te kemijske i biokemijske stijene, a u okviru sedimentnih stijena razmatraju se i rezidui ili rezidualni sedimenti i vulkanoklastične stijene kao zasebna skupina.

*Klastične sedimentne stijene* mogu biti *nevezane* i *vezane*, a sadrže siliciklastične čestice ranije nastalih stijena. Nevezane se nazivaju sedimentima, a vezane su ne sedimentne stijene. Nastaju mehaničkim trošenjem, transportom i taloženjem fragmenata ranije nastalih stijena (klasta, odnosno detritusa). Prema veličini sastojaka dijele se na *psefite* ili *krupnozrnaste* (sastojci dimenzija kršja i valutica, više od 2 mm), *psamite* ili *srednjezrnaste* (sastojci dimenzija pijeska, od 2 do 0.063 mm) i *pelite* ili *sitnozrnaste* (sastojci dimenzija praha ili silita i gline, manje od 0.063 mm).

*Psefiti* sadrže više od 50% klasta većih od 2 mm koji mogu biti nezaobljeni ili zaobljeni. Nakupljanjem nezaobljenih klasta ili kršja nastaju *sipari*, a nakupljanjem zaobljenih valutica nastaje *šljunak*. Njegovi vezani ekvivalenti su *breča* ili *kršnjaci* i *konglomerati* ili *valutičnjaci*.

*Sipari* nastaju na strmim padinama kratkim transportom nezaobljenog detritusa u podnožju strmih uzvišenja. Detritus nastaje mehaničkim trošenjem stijena strmog reljefa. Nezaobljeni klasti obično su nesortirani i jednoličnog sastava.

*Šljunak* sadrži zaobljene valutice, a nastaje duljim transportom u riječnim koritima te na obalama mora i jezera. Veličina valutica šljunka ovisi o duljini transporta i sastavu, tj. otpornosti prema mehaničkom i kemijskom trošenju.

*Breče*, nastale cementacijom kršja, sadrže nesortirane uglate fragmente povezane najčešće kalcitnim ili kvarcnim vezivom te limonitom ili nekim drugim mineralom. Vezivo može biti i sitnozrnasti detritus, matriks. Prema načinu postanka razlikujemo *siparišne breče*, nastaju cementacijom kršja koje se odronjavalo niz strme padine, *tektonske breče*, nastaju usitnjavanjem stijena pri boranju, rasjedanju ili drugim tektonskim pokretima, te *breče urušavanja*, nastaju urušavanjem nestabilne stijenske mase.

*Konglomerati* nastaju cementacijom valutica, zaobljenih klasta većih od 2 mm, a vezivo je slično vezivu breča. Valutice magmatskih stijena i stijena homogene teksture kuglastog su ili jajolikog oblika, dok su valutice metamorfnihi stijena škrljaste teksture spljoštene. Konglomerati se razlikuju prema udjelu matriksa i udjelu stabilnih valutica otpornih prema trošenju. Stabilnim valuticama smatraju se valutice kvarca, rožnjaka i kvarcita.

Fizikalna i mehanička svojstva breča i konglomerata su slična, a ovise o svojstvima fragmenata i veziva. Vapnenačke breče i konglomerati čija je uporaba najveća među vezanim psefitnim stijenama imaju gustoću između 2.6 i 2.72 g/cm<sup>3</sup>, prostornu masu između 2.6 i 2.7 g/cm<sup>3</sup>, a poroznost između 0.8 i 2% volumena. Upijanje vode im je između 0.2 i 1% mase, a tlačna čvrstoća između 100 i 200 MPa. Vapnenačke breče i konglomerati lako se poliraju i upotrebljavaju se kao prirodni kamen te kao tehnički građevni kamen. Konglomerati se teže obrađuju, pa im je upotreba manja nego li breča.

*Psamiti* sadrže najveći udio klasta dimenzija od 2 do 0.063 mm. Nevezane su *pijesci*, a vezane *pješčenjaci*.

Klaste dimenzija *pijeska* može trošenjem dati gotovo svaka stijena, pa je njihov sastav složen. Talože se u morima, jezerima, rijekama ili djelovanjem vjetra u pustinjama. Pijesci koji sadrže teške minerale, minerale velike gustoće, važni su kao ležišta dotičnih minerala. Rabe se za proizvodnju žbuke i betona, a čisti kvarcni pijesci bez željezne komponente i za proizvodnju stakla.

*Pješčenjaci* se, s obzirom na udio matriksa, sitnozrnastog materijala čestica manjih od 0.03 mm, odnosno manjih od debljine mikroskopskog izbruska, taloženih zajedno s klastima, dijele na *arenite* ili *čiste pješčenjake* i *grauvake* ili *nečiste pješčenjake*. Unutar svake skupine kriterij za daljnju podjelu je udio bitnih sastojaka među klastima.

*Areniti* sadrže manje od 15% matriksa, u intergranularnim prostorima uglavnom sadrže naknadno izlučeni cement. Prema udjelu kvarca, feldspata i sastojaka stijena dijele se na *kvarcne arenite*, *feldspatne arenite* ili *arkoze*, *subarkoze*, *litične arenite* i *sublitoarenite*. *Kvarcni areniti* sadrže više od 95% kvarca koji je kao rezistentan mineral zaostao nakon intenzivnih procesa trošenja ranije nastalih stijena, dugotrajnog transporta te višekratnog pretaloživanja. Stoga su dobro sortirani, a najčešće sadrže kvarcni, opalni ili kalcitni cement. *Feldspatni areniti* ili *arkoze* sadrže manje od 75% kvarca, te 25 do 100% feldspata (ortoklas, mikroklin, kiseli plagioklasi) i tinjce, a udio feldspata je veći od udjela odlomaka stijena. *Subarkoze* sadrže 75 do 95% kvarca, a udio feldspata je veći od udjela odlomaka stijena. *Litični areniti* sadrže manje od 75% kvarca te 25 do 100% odlomaka stijena, a udio odlomaka stijena je veći od udjela feldspata. Najzastupljeniji areniti. Klasti navedenih sastojaka su slabo zaobljeni, a sadrže i mali udio tinjaca. *Sublitoareniti* sadrže 75 do 95% kvarca, a udio odlomaka stijena je veći od udjela feldspata.

*Grauvake* sadrže više od 15% matriksa. Prema udjelu glavnih sastojaka kvarca, feldspata i odlomaka stijena, dijele se slično arenitima na *kvarcne grauvake*, *feldspatne grauvake* i *litične grauvake*. *Kvarcne grauvake* sadrže više od 95% kvarca. Malo zastupljene. *Feldspatne grauvake* sadrže manje od 95% kvarca, a udio feldspata je veći od udjela odlomaka stijena. Udio feldspata može biti vrlo različit, manji ili veći od udjela kvarca. Kao sporedne sastojke sadrže tinjce. Matriks je sitnozrnasta smjesa minerala glina, sericita, klorita, kvarca i karbonata. *Litične grauvake* sadrže manje od 95% kvarca. A udio odlomaka stijena je veći od udjela feldspata. Litoklasti potječu od svih vrsta stijena i loše su sortirani. Najrasprostranjenije su među grauvakama. Matriks je sličan onom kod feldspatnih grauvaka. Ako je udio matriksa veći od 50%, pješčenjaci prelaze u muljnjake. U Hrvatskoj su poznate ležišta pješčenjaka kod Daruvara.

Fizikalna i mehanička svojstva pješčenjaka različita su za različite sastave klasta i veziva. Boja može biti različita, a ovisi o vrsti veziva. Kvarc i kalcit daju bijelu boju, a limonit i hematit žutu, smeđu ili crvenkastu. Gustoća je između 2.6 i 2.7 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa između 2.4 i 2.7 g/cm<sup>3</sup>, poroznost između 2 i 18% volumena, upijanje vode između 0.5 i 8% mase, a tlačna čvrstoća vrlo širokog raspona vrijednosti, između 80 i 200 MPa.

Pješčenjaci imaju veliku ulogu u građevinarstvu koja ovisi o fizikalnim i mehaničkim svojstvima. Najkvalitetniji su oni sa silicijskim vezivom, premda je njihova obrada i eksploatacija otežana. Pješčenjaci sa velikim udjelom klasta kvarca sirovina su za proizvodnju vatrostalnih silikatnih opeka za oblaganje metalurških peći te za proizvodnju ferosilicija. Pješčenjaci s karbonatnim vezivom manje su čvrstoće, tvrdoće i trajnosti od pješčenjaka sa silicijskim vezivom, ali se lakše eksploatiraju i obrađuju.

*Peliti* sadrže najveći udio klasta dimenzija praha, odnosno, silita i gline. Mineralni sastav silitnih čestica je sličan sastavu pijeska. Najčešće su to kvarc, feldspati i odlomci stijena, a uz to su prisutni minerali glina. Pelite dijelimo, s obzirom na udio praha i gline kao i stupanj



litifikacije, na nevezane (*prah* ili *silt*, *mulj* i *glina*) i nevezane (*prahovnjak* ili *siltit*, *muljnjak* i *glinjak*).

*Prahovnjaci* su litificirane sedimentne pelitne stijene koje sadrže više od 2/3 čestica dimenzija praha i manje od 1/3 čestica dimenzija gline.

*Muljnjaci* su litificirane sedimentne pelitne stijene koje sadrže između 1/3 i 2/3 sitozne i glinovite komponente, odnosno približno podjednake količine siltnog i glinovitog detritusa.

*Glinjaci* sadrže više od 2/3 čestica dimenzija gline i manje od 1/3 čestica dimenzija praha.

Neke pelitne sedimentne stijene s većim udjelom glina imaju svojstvo plastičnosti, a neke svojstvo bubrenja. Oba su svojstva nepovoljna sa stajališta izvođenja građevinarskih radova, jer pridonose nestabilnosti objekta izgrađenih na glinovitom terenu, osobito zbog formiranja klizišta čak i kod veoma blago nagnutih padina.

*Šejlovi* su vezane pelitne stijene koje se listaju u tanke listiće, što je posljedica paralelnog rasporeda listićastih sastojaka. Glavni su sastojci minerali glina, tinjci, kloriti, kvarc i feldspati. Čvrstoća i otpornost prema vodi ovisi o mineralnom sastavu. Šejlovi s većim udjelom minerala glina mekani su i raspadaju se u vodi, dok veći udio kvarca pridonosi njihovoj čvrstoći i postojanosti u vodi. Zbog različitog sastava, različitih su boja. Ovisno o udjelu sitozne i glinovite komponente, razlikuju se *sitozni šejl* (*lisnati prahovnjak*), *muljeviti šejl* (*lisnati muljnjak*) i *glinoviti šejl* (*lisnati glinjak*).

*Argilit* pripada pelitima, a po svojstvima sličan je muljnjacima i šejlovima od kojih je nešto tvrdi te slabije laminiran od šejla. Sadrži minerale glina, kvarc, sericit i klorit te manji udio grafita, pirita, rutila ili hematita. Siv je do crn, gustoća mu je između 2.82 i 2.9 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa između 2.7 i 2.8 g/cm<sup>3</sup>. Poroznost je između 0.6 i 2.5% volumena, upijanje vode između 0.5 i 0.8% mase, a tlačna čvrstoća okomito na laminaciju je između 140 i 250 MPa. Trajan je, a koristio se za pokrivanje krovova, te u proizvodnji biljarskih stolova.

Pelitnim sedimentnim stijenama pripada i *les* ili *prapor* kao posebna vrsta žućkaste do smeđkaste stijene nastale taloženjem čestica praha vjetrom. Nastaje osobito u područjima velikih rijeka koje često poplavljuju. Čestice kvarca, minerala glina, feldspata, karbonata i niza drugih minerala su pretežno dimenzija silita. Les ima veliku vertikalno distribuiranu poroznost, a u porama se zbog kapilarnih sila zadržava voda koja je obogaćena kalcijevim hidrojenkarbonatom. U sušnim razdobljima u porama se izlučuje kalcit, ili oko fragmenata nekog minerala kao jezgre, ili kao cement koji tada povezuje zrnca dimenzija praha i gline. Kao posljedica tih procesa nastaju *praporne lutke*, kuglaste i jajolike konkrecije, po sastavu različite od lesa u kojem se nalaze.

*Lapor* je miješana klastično-kemogena pelitna sedimentna stijena nastala u morima i jezerima taloženjem glinovitih čestica klastičnog podrijetla i kemogeno izlučenog kalcita koji povezuje čestice gline. Uz glinovite sastojke i kalcit sadrži i manje od 10% siliciklasta dimenzija silita. Lapor koji sadrže samo glinovite sastojke i kalcit, tzv. čisti lapori, malo su zastupljeni. Ako se dijagenetski u fazi litifikacije minerali glina u laporu izmijene u klorite i tinjce, stijena je *litificirani lapor* ili *lapornjak*.

#### 4. KARBONATNE STIJENE

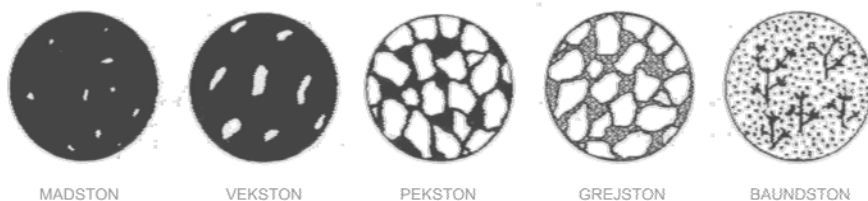
*Karbonatnim stijenama* pripadaju *vapnenci* i *dolomiti*, ali i prijelazni varijeteti, *dolomitični vapnenci*. Glavni mineralni sastojci tih stijena su kalcit, Ca[CO<sub>3</sub>], dolomit, CaMg[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub> i u manjem udjelu aragonit, Ca[CO<sub>3</sub>], jer je u procesu dijageneze aragonit nestabilan i prelazi u stabilni kalcit. Uz njih sadrže minerale glina, kvarc i druge minerale.

*Vapnenci* su karbonatne stijene organskog ili anorganskog postanka s udjelom kalcita većim od 50%. Čisti vapnenci imaju više od 90% kalcita, a vapnenci s manjim udjelom kalcita i povećanim udjelom dolomita, minerala glina ili klasta, nazivaju se dolomitičnim, glinovitim, sitoznim, pjeskovitim itd. Za precipitaciju kalcita potrebni su uvjeti plitkog, toplog, mora gdje

se voda uklanja isparavanjem, ili uvjeti uklanjanja ugljičnog dioksida fotosintezom biljaka koje žive u vodi.

U građi vapnenaca sudjeluju karbonatni mulj ili mikrit, interklasti, fosili, peleti, obavijena zrna i sparit. *Karbonatni mulj* ili *mikrit* je nakupina najsitnijih čestica karbonatnog materijala. Nastaje djelomično prije samog taloženja, mehaničkim usitnjavanjem skeletnih ostataka organizama ili karbonatnih sastojaka, a djelomično precipitacijom sitnih kristala iz otopine. Ako se unutar istog taložnog prostora neki poluočvrsnuli vapnenački talog dezintegrira, nastaju više ili manje zaobljeni vapnenački fragmenti koji se zovu *interklasti*. U tom istom taložnom prostoru vapnenci mogu nastati mehaničkim nakupljanjem *fosila*, *skeleta* i *čitavih ljuštura*. Karbonatne čestice koje nastaju nakupljanjem fekalnih ostataka različitih organizama zovu se *peleti*. Ako se oko neke jezgre anorganskim procesom izlučuju kalcitni ili aragonitni ovoji ili ako se na jezgri lijepi karbonatni mulj, nastaju *obavijena zrna*. Između bilo kojih od navedenih karbonatnih sastojaka može se kao vezivo nalaziti karbonatni mulj, ili *sparit*, tj. cement koji nastaje izravnim izlučivanjem iz otopina zaostalih u međuzrnskom prostoru. Vapnenci nastaju u morskoj vodi (marinski vapnenci), slatkoj vodi (slatkovodni vapnenci) te na kopnu (terestrički vapnenci). *Marinski vapnenci* su najrasprostranjeniji tip karbonatnih stijena. Klasificiraju se prema, tzv. Dunhanovoj klasifikaciji iz 1962. godine. Kriteriji razlikovanja u navedenoj klasifikaciji su prisutnost ili odsutnost karbonatnog mulja, odnosno udio strukturnih sastojaka. Stoga razlikujemo *madston vapnenac* (prevladava karbonatni mulj, a sadrži manje od 10% zrna promjera manjih od 2 mm), *vekston vapnenac* (sadrži karbonatni mulj te 10-50% zrna manjih od 2 mm koja se ne dodiruju, već plivaju u mulju), *pekston vapnenac* (sadrži zrna koja se dodiruju, a u intergranularnim prostorima nalazi se karbonatni mulj), *grejston vapnenac* (sadrži zrna koja se dodiruju, a u intergranularnim prostorima nema mulja, već izlučeni karbonatni cement) i *baundston vapnenac* (nastaje litifikacijom organizama na staništu i u položaju rasta). Ova klasifikacija primjenjuje se pri terenskim istraživanjima vapnenaca. *Slatkovodni vapnenci* nastaju u jezerima te u rijekama. Uzroci izlučivanja vapnenaca su promjena tlaka ili temperature, izdvajanje ugljikova dioksida iz vode zbog asimilacije biljnih organizama, evaporacijom iz vode u područjima aridne klime, miješanjem voda različitog pH itd. Djelovanjem algi i mahovina koje vežu karbonatni sediment nastaju velike količine jezerskih vapnenaca. *Terestrički vapnenci* su vapnenačka sedra, travertin i špiljski vapnenci ili speleotermi. *Vapnenačka sedra* je spužvasti vapnenac koji nastaje na slapovima i izvorima izlučivanjem kalcita na vodenom bilju zbog prskanja vode i fotosinteze. *Travertin* je šupljikavi laminirani ili nepravilno slojeviti vapnenac, nastao brzim anorganskim izlučivanjem kalcita iz vrućih voda na termalnim izvorima. Nastaje zbog oslobađanja CO<sub>2</sub> iz vode kojoj je temperatura pri izbijanju na površnu znatno viša od temperature okoliša. Varijetet travertina je *oniks-mramor*, raznobojna slojevita nakupina vlaknastog kalcita, rjeđe aragonita. *Špiljski vapnenci* su vapnenačke sige nastale kapanjem i udaranjem vode zasićene kalcijevim hidrogenkarbonatom u vapnenačkim špiljama. Spajanjem stalaktita i stalagmita nastaje *stalagmat*.

Vapnenci su najčešće bijeli do sivi. Zbog primjesa željezovih minerala mogu biti žuti, crveni i smeđi, a zbog organske tvari tamnosivi do crni. Često sadrže dekorativne fosilne ostatke. Gustoća tvrdih vapnenaca je između 2.68 i 2.72 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa između 2.6 i 2.1 g/cm<sup>3</sup>, poroznost između 0.4 i 1% volumena, upijanje vode između 0.1 i 0.4% mase, a tlačna čvrstoća 120 do 200 MPa.



*Dolomiti* su karbonatne stijene izgrađene pretežno od minerala dolomita uz koji sadrže kalcit, kvarc, minerale glina itd. Slični su vapnencima, a na terenu se od vapnenaca razlikuju po slabijoj topljivosti u solnoj kiselini i po romboedarskom oštrobridnom lomu. Veće su gustoće i tvrdi su od vapnenaca. Mogu nastati kemijskim izlučivanjem minerala dolomita izravno iz morske vode, ali ne u količinama dostatnim za postanak većih masa dolomitnih stijena. Najčešće nastaje procesom *dolomitizacije*, potiskivanjem kalcita ili aragonita dolomitom tijekom dijageneze. Proces se zbiva ili u *nevezanim vapnenačkim talozima*, kada nastaje *ranodijagenetski dolomit*, ili u već *čvrstim vapnenačkim stijenama*, kada nastaje *kasnodijagenetski dolomit*. Dolomitizacija je proces koji možemo prikazati reakcijom:



Tim se procesom smanjuje volumen stijene, pa su dolomiti obično šupljikavi i stoga drobljivi, povećava se poroznost u odnosu prema kalcitnom vapnencu za 12.9% te za 5.5% u odnosu na aragonitni vapnenac. *Ranodijagenetski dolomiti* nastaju u plitkim i zatvorenim lagunama ili na rubovima mora u toploj i suhoj klimi, pri jakom isparavanju vode zbog kojeg se povećava koncentracija magnezijevih iona potrebna za dolomitizaciju. Omjer Mg i Ca koji je u normalnoj morskoj vodi 5.26 treba porasti na više od 10 da bi nastupila ranodijagenetska dolomitizacija. Proces je relativno brz, pa nastaju sitnozrnaste, kriptokristalaste stijene sa zrnima manjim od 0.01 mm. Ranodijagenetski dolomiti nastaju i u zoni miješanja slatke i morske vode. Taj je proces vrlo spor. Ranodijagenetski dolomiti su čisti i ne sadrže relikte kalcita. *Kasnodijagenetski dolomiti* nastaju dolomitizacijom čvrstih vapnenaca uz sudjelovanje pornih voda koje donose magnezij, a odnose kalcij. U pornim vodama koncentracija magnezija je malena te je potrebna velika količina porne vode, a takav proces je spor i rezultira stijenama čiji sastojci su krupni kristali s relativno dobro razvijenim plohama. U kasnodijagenetskim dolomitima raspoznaju se relikti nedolomitiziranog vapnenca, jer su vapnenci zahvaćeni dolomitizacijom različitog intenziteta, tektonski raspucani i različito propusni.

Dolomiti su manje zastupljeni od vapnenaca, a često su i asocirani s njima. Sivi su ili mliječnobijeli. Gustoća je između 2.8 i 2.9 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa između 2.7 i 2.84 g/cm<sup>3</sup>, poroznost između 0.8 i 5% volumena, upijanje vode između 0.5 i 3% mase, a tlačna čvrstoća oko 140 i 260 MPa.

## 5. EVAPORITNE I SILICIJSKE STIJENE

*Evaporitne stijene* nastaju kemijskim izlučivanjem iz slanih jezera i *salina* zbog jakog isparavanja vode. Mjesto postanka ovih stijena su rubni dijelovi slanih jezera i mora te zatvorene lagune i zaljevi u područjima aridne klime. Evaporacijom nastaju karbonati, sulfati i halogenidi. Za postanak ovih stijena isparavanje vode treba biti brže od dotoka vode. Najčešće i najvažnije evaporitne sedimentne stijene su monomineralne i to gips, anhidrit i halit te razni halogenidi, K-Mg soli. U određenim uvjetima moguć je prijelaz gipsa u anhidrit i obratno. Gips prelazi procesom dehidratacije pod utjecajem porasta dubine od približno 1000 m na kojoj je temperatura viša od površinske za 30 do 40 °C. Anhidrit prelazi u gips procesom hidratacije na površini Zemlje ili plitko ispod površine zbog djelovanja pornih voda normalnog saliniteta.

*Silicijske stijene* sastavljene su većinom od minerala iz skupine silicijeva oksida (kvarc, opal i kalcedon). Prema načinu postanka, strukturi i sastavu razlikuju se *biogene* i *dijagenetske*. Biogene stijene nastaju organogeno, taloženjem opalnih skeleta raznih organizama, a dijagenetske nastaju kemijski, silicifikacijom (izlučivanjem) silicijevih oksida iz otopine koja sadrži silicijevu kiselinu pri čemu novonastali minerali potiskuju minerale u talozima i stijenama. Među biogenim silicijskim stijenama su *radolarit*, *spikulit*, i *dijatomit*, a među

dijagenetskim *rožnjak*. Biogene stijene nastaju u područjima povoljnih uvjeta za život organizama koji izgrađuju skeletne dijelove i gdje je mali donos kopnenog materijala te mala produkcija karbonata. Opal se porastom dubine i temperature transformira u kalcedon, a zatim u kvarc. Tom se pretvorbom smanjuje poroznost taloga, jer kvarcni cement ispunjava pore između skeleta i unutar njih.

*Radiolarit* je gusta stijena mikrogranularne strukture koja se sastoji od skeleta radiolarija, jednostaničnih organizama, a uz to sadrži i vlaknaste agregate kalcedona.

*Spikulit* se sastoji od iglica spužvi (spikula) koje su izgrađene od opala i kalcedona. Cement, prvobitno opalni, tijekom dijageneze obično prekrystalizira u kriptokristalasti kvarc.

*Dijatomit* je svijetla, čvrsta stijena koja sadrži uglavnom opalne skelete dijatomejskih algi.

Biogene silicijske stijene postupno tijekom dijageneze i prekrystalizacije opala prelaze u slojevite rožnjake.

*Rožnjak* ili *čert* je gusta, tvrda stijena koja se sastoji od kriptokristalastog agregata kvarca i kalcedona, oksida i hidroksida željeza te organske tvari. Rožnjaci dijagenetskog postanka su nodularni i lećasti, a nastaju uz sudjelovanje silicijeve kiseline potiskivanjem karbonatnih taloga ili neke stijene opalom, kvarcom ili kalcedonom. Međutim, mogu nastati i organogeno, sporim procesom prekrystalizacije radiolarita i spikulita, kada su slojeviti.

Silicijskim stijenama pripada i *tripoli*, svijetla, porozna, zemljasta ili praškasta stijena koja sadrži sitnozrnasti kvarc dimenzija pelita. Nastaje djelomičnom silicifikacijom karbonatnih stijena, trošenjem kojih se karbonatna komponenta izlučuje, a ostaje kvarcna komponenta.

## 6. REZIDUI ILI REZIDUALNI SEDIMENTI

Rezidui ili rezidualni sedimenti sadrže rezidualni kvarc, i tinjce, silikatne minerale male topljivosti te nove minerale nastale pri kemijskom trošenju stijena, najčešće minerale glina, željezove okside i hidrokside te aluminijske hidrokside. Među reziduima su *lateritne stijene* (*lateriti*, *boksiti*), *kaolini* i *zemlja crvenica* (*terra rossa*).

*Lateritne stijene* su produkti intenzivnog fizikalnog i kemijskog površinskog trošenja alumosilikatnih stijena u uvjetima tropske klime. Sastoje se od željezovih oksida i hidroksida, aluminijskih hidroksida, minerala glina i kvarca. Ako prevladavaju željezovi oksidi i hidroksidi, stijena se zove *laterit*. *Boksit* je član grupe lateritnih stijena i kao prevladavajući sastojak sadrži aluminijske hidrokside (hidrargilit, dijaspor i bemit). Boksiti koji nastaju na alumosilikatnoj podlozi zovu se *lateritni boksiti*, a oni koji nastaju na karbonatnoj podlozi iz netopljiva alumosilikatnog ostatka ili alumosilikatnih materijala nanesenih na karbonatnu podlogu zovu se *krški boksiti*.

Laterit nastaje iz stijena bogatih željezom (bazične magmatske stijene), a boksit iz stijene bogate aluminijem (kisele magmatske stijene ili arkozni sedimenti). Eh i pH imaju izravan utjecaj na procese otapanja i formiranje novih minerala te kao takvi u velikoj mjeri kontroliraju prirodu, udio i intenzitet kemijskog trošenja, pa time i boju produkata trošenja. Eh je mjera za koncentraciju negativnih iona u nekoj sredini. Lateriti i boksiti se nazivaju željeznom, odnosno aluminijskom rudom kada je gospodarski opravdana ekstrakcija željeza, odnosno aluminija iz dotičnog laterita, tj. boksita.

*Kaolin* sadrži čisti kaolinit kao ostatak trošenja feldspata uglavnom iz kiselih magmatskih stijena. Taloži se najčešće u jezerima.

*Zemlja crvenica* sadrži kaolinit, tinjce i kvarc te manji udio hematita, getita, plagioklasa, kalijeva feldspata i amorfnih tvari. Crvena je, smeđocrvena ili žućkastocrvena, a nastaje na karbonatnoj podlozi, osobito na krškim terenima mediteranskog područja. Materijal za tvorbu nanesen je ili vjetrom ili spiranjem te pomiješan s tлом nastalim trošenjem karbonatnih stijena. Uvjeti postanka su mediteranska klima, dobra drenaža (propusna karbonatna podloga), neutralni medij i dugo vremensko razdoblje nepromijenjenih uvjeta za postanak mineralnih sastojaka crvenice.

## 7. VULKANOKLASTIČNE STIJENE

*Vulkanoklastične stijene* sadrže više od 25% vulkanskog materijala te različit materijal sedimentnog postanka. Izbačeni vulkanski materijal je raznoga sastava, oblika i veličine. Prema sastavu se razlikuju *litoklasti* (fragmenti vulkanskih stijena), *kristaloklasti* (minerali ili fragmenti minerala nastalih prije erupcije, često korodiranih kontura zbog djelovanja volatila) i *vitroklasti* (uglati i nepravilni fragmenti vulkanskog stakla). Prema obliku i veličini razlikuju se *vulkanske bombe*, *lapili*, *krupni vulkanski pepeo* te *sitni vulkanski pepeo*.

Cementacijom vulkanskih bombi nastaje *vulkanski aglomerat*, cementacijom lapila nastaju istoimene stijene *lapili*, a *tuf* je očvrstnuo litificirani vulkanski pepeo.

Tufovi se razlikuju prema vrsti prevladavajućih čestica, pa mogu biti *litoklastični* ako prevladavaju čestice stijena, *kristaloklastični* ako prevladavaju čestice minerala i *vitroklastični* ako prevladavaju čestice vulkanskog stakla. Imaju veliku poroznost, a pore su povezane tako da je izraženo kapilarno primanje vode. Uz to su mekani i male tlačne čvrstoće, pa nisu kvalitetan građevni kamen.

Izmjenom kiselih tufova zbog djelovanja vode nastaju glinama slične akumulacije montmorilonita, zeolita, kristobalita, kalcedona i opala, a nazivamo ih *bentoniti*. Izmjenom bazičnih tufova zemljaste nakupine montmorilonita, zeolita, klorita i željezovih hidroksida nastaju *palagoniti*.

Erupcijom kiselih i neutralnih lava nastaju akumulacije šupljikavog vulkanoklastita, tzv. *plovučca*.

## 8. UPORABA SEDIMENTNIH STIJENA

Od svih stijena gospodarski najvažnije značenje imaju sedimentne stijene, jer im je kao sirovina udio u svjetskim razmjerima 85 do 90%. Za neke od primjena upravo je važan i sam kemijski sastav stijene, što je za većinu magmatskih i metamorfnihi stijena malo važno. Sedimentne stijene se međusobno po fizikalnim i mehaničkim svojstvima bitno razlikuju, pa čak i varijeteti iste skupine stijena, osobito u pogledu tlačne čvrstoće i poroznosti. Bitno se razlikuju vezane od nevezanihi sedimentnim stijena, a uz to su minerali glina njihov česti sastojak, pa je potrebno obavljanje detaljnih istražnih radova za svaki planirani zahvat, kako bi se izbjegle štetne posljedice nedostatno pripremljenog terena na izgrađeni objekt.

Podzemni radovi u nevezanim sedimentima, kao i u glinovitim stijenama, izvode se teško i sporo napreduju. Tereni izgrađeni od vezanihi klastičnih stijena stabilni su za temeljene i podzemne radove, no svakako treba istražiti mineralni sastav klasta i veziva te sustav eventualnih pukotina u stijeni. Ako su neoštećene i dobro vezane, imaju veliku nosivost (1/8 do 1/15 svoje tlačne čvrstoće). Tereni izgrađeni od stabilnih vapnenaca i dolomita velike nosivosti najpovoljnijih su svojstava za temeljenje i izvođenje podzemnih radova, osim ako su stijene razlomljene. U području krša radovi se isključivo izvode uz prethodno istraživanje pukotinskihi sustava, osobito njihove povezanosti.

Mnoge stijene rabe se kao građevni kamen, a u sedimentnim stijenama nalaze se mineralna goriva. Važno je napomenuti da su sedimentne stijene kolektori vode.

## METAMORFNE STIJENE

### 1. POSTANAK METAMORFNIHI STIJENA

Metamorfne stijene nastaju *metamorfozom*, preobrazbom teksture, strukture, mineralnog i kemijskog sastava ranije nastalih stijena magmatskog, sedimentnog i metamorfnog postanka, tzv. *protolita*. Metamorfoza je uzrokovana promjenom tlaka, temperature ili kemijskog sastava sredine u kojoj je stijena do tada bila stabilna i prilagodbom protolita novim fizikalno-kemijskim uvjetima. Ponekad se mijenjaju sva svojstva stijene, a ponekad samo neka od njih i to u čvrstom stanju, bez prijelaza stijene u taljevinu.

Premda metamorfozi ne prethodi prijelaz stijene u taljevinu, gotovo uvijek su prisutni fluidi, najčešće voda te fluidi karbonatnog sastava. Metamorfna stijena ne može imati isti ili izmijenjeni mineralni sastav u odnosu prema protolitu.

## 2. ČIMBENICI METAMORFOZE

### TEMPERATURA I TLAK:

*Porast temperature* u stijenama može biti uzrokovan utiskivanjem magme u stijene, trenjem velikih masa stijena pri njihovom pomicanju duž rasjednih linija, udarom meteorita ili drugih svemirskih tijela, utonućem stijenskih masa u veće dubine (geometrijski gradijent) te radioaktivnim procesima.

Zbog razlike u temperaturi između različitih dijelova kore ili omotača dolazi do transporta ili prijenosa topline mehanizmima kondukcije, konvekcije i radioaktivnog zračenja. Unutrašnjost Zemlje je topla, pa se toplota neprekidno prenosi prema hladnijoj površini. Ako iz stijenskog volumena izađe ista količina topline koja je u njega i ušla, temperatura ostaje konstantna. Ako iz stijenskog volumena izađe manje količina topline od one koja je unesena, stijene se zagrijavaju, što uzrokuje endotermičke kemijske reakcije, osobito dehidrataciju, dok je metamorfoza progradna. Obrnutim procesom stijene se hlade, a metamorfoza je retrogradna.

*Promjenu tlaka* u nekom volumenu stijenske mase uzrokuje promjena visine i gustoće stupa iznadležćih stijena. Jednako debeli stup stijena manje gustoće proizvest će manji tlak nego isti stup stijena veće gustoće. U plićim dijelovima litosfere djeluje usmjereni tlak ili *stres*, a s dubinom prelazi u neusmjereni, *litostatički tlak* zbog prijelaza stijene u stanje plastičnosti. Znatne tangencijalne tlakove usporedne s površinom Zemlje izazivaju i horizontalna pokretanja i sudaranje kontinentalnih i oceanskih ploča.

Usmjereni tlak ili stres posljedica je različitih geoloških procesa, tektonskih pokreta te promjena volumena povezanih s promjenama temperature. Stres može biti *statički*, pri kojemu stijenska masa miruje, ili *dinamički* (kinematički), pri kojemu se stijenska masa pomiče. Ako su na istoj dubini stijene različite gustoće, različiti tlak može uzrokovati pokretanje fluida u pornim prostorima stijena, a time i pokretanje kemijskih reakcija u stijeni. Stres utječe ne tekstone metamorfnih stijena. Pri stresu dolazi do preraspodjele tvari u stijenama, kako bi se smanjio usmjereni tlak i postiglo stanje neusmjerenog litostatičkog tlaka. Na mjestima dodira kontinentalnih ploča debljina kore se može i udvostručiti, što izaziva porast tlaka dovoljan za metamorfozu. Sličan proces se zbiva i u prostranim sedimentacijskim bazenima gdje razmatrani dio sedimentnih naslaga tone i metamorfozira se tzv. metamorfozom tonjenja. Temperatura i tlak najčešće djeluju zajedno.

### FLUIDI:

U nekim stijenama, osobito šejlovima, veliki je udio minerala koji sadrže vodu. Dovodjenjem topline tijekom metamorfoze nastupa dehidratacija, oslobađanje vode. Taj proces je temeljan pri progradnoj metamorfozi. Gustoća vode veća je od gustoće vodene pare, međutim, u kritičnoj točki vode (374 °C i 217 bara) njihove gustoće su jednake, a pri temperaturama višim od temperature kritične točke, vodena faza se naziva fluidnom fazom ili *fluidom*. Uz H<sub>2</sub>O važni metamorfni fluidi su CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> te H<sub>2</sub>S koji snažno utječu na metamorfne procese. Osim iz dehidratacijske faze, fluid može potjecati iz reliktna vode zaostale pri postanku sedimentnih stijena, meteorske vode te magmatske vode oslobođene iz magme pri kristalizaciji.

### SASTAV PROTOLITA:

O sastavu protolita ovise kemijske reakcije koje u procesu metamorfoze mijenjaju i kemijski sastav protolita.

### VRIJEME:

Trajanje metamorfnih procesa je različito, a ovisi o brzini prijenosa topline, volumena stijenskog masiva podvrgnutog metamorfozi, vrsti stijene i osobito sadržaju fluida. U pravilu

su spori, pa se metastabilno stanje može održati dugi niz godina. Površinskom istraživanju dostupne su i metastabilne mineralne parageneze, nastale u većim dubinama pri višim temperaturama i tlakovima od površinskih.

Metamorfozu treba razlikovati od promjena nastalih pod utjecajem kemijskih ili fizikalnih uvjeta tipičnih u zoni trošenja i dijageneze. Smatra se da je donja temperaturna granica metamorfoze ovisna o vrsti stijene koja se metamorfozira. Za silikatne stijene ta temperatura je  $150 \pm 50$  °C, a obilježava je prva pojava nekog od metamorfnih minerala. Budući da takvi minerali mogu biti i detritus nekog metamorfoziranog sedimenta, potrebno je mikroskopskim istraživanjem utvrditi je li dotični mineral detritus ili je nastao procesom metamorfoze.

Gornja temperaturna granica je temperatura pri kojoj se veći dio stijene tali. Ona ovisi o tlaku, sastavu stijene i količini vode u stijeni. Smatra se da su najviše temperature metamorfnih procesa u Zemljinoj kori između 650 i 1100 °C, a u Zemljinom omotaču i 1500 °C.

Donja granica tlaka je vrlo niska, pa se neke stijene mogu metamorfozirati pri tlaku koji je gotovo jednak površinskom. Gornja granica može dosegnuti vrijednosti do 40 bara.

Iz jednog protolita određenog kemijskog i mineralnog sastava mogu nastati potpuno različite metamorfne stijene, a ishod ovisi o metamorfnim uvjetima, odnosno, o intenzitetu djelovanja navedenih čimbenika. Isto tako, iz različitih protolita u istim metamorfnim uvjetima mogu nastati slične stijene.

Metamorfoza je intenzivna na granicama tektonskih ploča, osobito na konvergentnim granicama ploča u području subdukcije, ali i na divergentnim granicama tijekom širenja oceanskog dna.

### 3. STUPNJEVI METAMORFOZE

*Stupnjevi metamorfoze* razlikuje se s obzirom na temperaturu i tlak pri kojima nastaje metamorfna stijena te dubinu. Izražavaju se indeks mineralima, mineralnim zonama, metamorfnim facijesima i metamorfnim izogradama.

S obzirom na *temperaturu*, razlikuju se četiri stupnja i to *vrlo niski*, *niski*, *srednji* i *visoki*. Definiranje metamorfnih stupnjeva ima smisla za usporedbu stijena unutar istog metamorfnog područje.

S obzirom na *tlak*, metamorfoza može biti *visokotlačna* i *niskotlačna*.

Prema *dubini*, tj. *promjeni temperature* i *tlaka*, u litosferi se, od površine prema dolje, mogu razlikovati tri zone, odnosno područja različitih metamorfnih uvjeta. U različitim zonama nastaj stijene istog kemijskog, ali različitog mineralnog sastava. Zone su nazvane *epizonom*, *mezozonom* i *katozonom* i za svaku od njih su tipični neki minerali.

*Epizona* je zona niske temperature, niže od 300 °C, i niskog tlaka, osim na mjestima gdje djeluje dinamički stres. Minerali epizone su kalcit, dolomit, aktinolit, glaukofan, talk, sericit, klorit, albit itd. Prevladava kataklastična metamorfoza i nastaju kataklastične stijene.

*Mezozona* je zona jačeg stresa, koji s dubinom prelazi u litostatički tlak, te više temperature, između 300 i 500 °C. Mehanizam metamorfoze je rekristalizacija. Minerali mezozone su granati, disten, hornblenda, muskovit, biotit, kiseli plagioklasi itd.

*Katazona* je zona jakog litostatičkog tlaka i visoke temperature, 500 do 700 °C. Nastaju bezvodni minerali veće gustoće, a stijene imaju homogenu strukturu. Minerali katazone su olivin, granati, andaluzit, silimanit, hipersten, diopsid, hornblenda, alkalijski feldspati, bazični plagioklasi itd.

*Indeks minerali* su oni koji se pri napredujućoj metamorfozi pojavljuju kao prvi koji prate povećanje stupnja metamorfoze. Ti su minerali redom klorit → biotit → granat (almandin) → staurolit → disten → silimanit.

*Mineralne zone* su područja čija je donja granica definirana prvom pojavom indeks minerala prema kojemu je zona dobila naziv, a gornja granica prvom pojavom minerala prve više zone. Zone su kloritna, biotitna, granatna, staurolitna, distenska i silimanitna.

Način definiranja stupnja metamorfoze indeks mineralima i mineralnim zonama primjenjuje se jednostavno i brzo, promatranjem mikroskopskog uzorka. Nedostatak je što se neki indeks minerali mogu u stijenama različitog sastava pojaviti pri različitom stupnju metamorfoze.

*Metamorfni facijes* je skupina metamorfnih stijena koje su nastale pri jednakim uvjetima tlaka i temperature relativno širokog raspona. Facijesi sadrže mineralne parageneze većeg broja stijena širokog područja sastava.

Facijes je definiran mineralnom paragenezom koja je stabilna samo u tom facijesu. Ako u nekom metamorfnom području nema dijagnostičke mineralne parageneze, na može se imenovati facijes.

*Metamorfne izograde* definiraju se kao linije na karti koje spajaju mjesta na Zemljinoj površini na kojima su ustanovljene pojave indeks minerala, dakle mjesta jednakog stupnja metamorfoze, odnosno jednakih mineralnih reakcija.

#### 4. VRSTE METAMORFOZE STIJENA

Prema *prevladavajućem čimbeniku* u procesu metamorfoze, tlaku ili temperaturi, razlikuju se *dinamometamorfoza* ili *kinetička metamorfoza* kod koje je prevladavajući čimbenik tlak, i *termalna metamorfoza* kod koje je prevladavajući čimbenik temperatura. Ako djeluju oba čimbenika, metamorfoza je *dinamothermalna*.

Prema *veličini prostora* u koje se zbivaju metamorfne promjene razlikuju se *lokalna metamorfoza* i *regionalna metamorfoza*.

*Lokalna metamorfoza* zbiva se na manjem prostoru, a obuhvaća različite tipove metamorfoze.

*Kontaktna metamorfoza* nastaje u stijenama koje se nalaze na kontaktu magmatskim tijelom ili u blizini takvog kontakta. Prevladava djelovanje temperature, pa je ova metamorfoza termalna. Metamorfozu uzrokuju toplina magmatskog tijela, emanacije iz prodiruće magme ili lave te deformacije zbog prodora magmatskog tijela. Najizrazitiji je utjecaj metamorfoze na sedimentne stijene, osobito šejlove i vapnence koji su nastali pri relativno niskoj temperaturi.

*Pirometamorfoza* je vrsta kontaktne metamorfoze koja se zbiva na kontaktu magme i okolnih stijena pri čemu se stijene parcijalno tale. Ovaj tip metamorfoze je prijelaz prema magmatskim procesima.

*Kataklastična metamorfoza* je kinematička metamorfoza ograničena na gornji dio litosfere u blizini rasjeda i tektonskih pokreta gdje djeluje snažni dinamički stres. Temperatura je vrlo niska. Pri malom povećanju usmjerenog tlaka pojedini se mineralni sastojci deformiraju. Pri većem usmjerenom tlaku minerali mijenjaju oblik, bilo zbog rekristalizacije, bilo zbog klizanja duž ploha kalavosti. Daljnjim porastom usmjerenog tlaka stijena sa potpuno mrvli.

*Hidrotermalna* i *pneumatolitna metamorfoza* nastaje djelovanjem vrućih vodenih otopina ili hidroterma te plinova i para koje potječu iz magme, cirkuliraju pukotinama i uzrokuju promjene mineralnog i kemijskog sastava protolita. Hidroterme su najčešće vezane uz magmatsku aktivnost, a ponekad dolaze i iz stijena koje su podvrgnute visokom stupnju metamorfoze. Proces međusobnog djelovanja mineralnih sastojaka gdje dolazi do migracije iona i mijenjanja kemijskog sastava stijene pri ovakvoj metamorfozi naziva se *metasomatoza*. Uz pneumatolitnu i hidrotermalnu metamorfozu vezana je *autometamorfoza* pri kojoj plinovi i pare, preostali nakon kristalizacije magme, djeluju na stijene nastale iz te iste magme.

*Impaktna metamorfoza* nastaje pri udaru meteorita ili drugih svemirskih tijela o Zemljinu površinu te eksplozivnim erupcijama vulkana. Vrlo je kratkog trajanja pri čemu nastaje vrlo visok tlak i temperatura, a izaziva taljenje na mjestu udara.

*Orogena metamorfoza* je dinamothermalna metamorfoza, a često se za nju primjenjuje sinonim regionalna metamorfoza. Tipična je za orogeni pojas, područja postanka planinskih lanaca duž konvergentnih rubova ploča na kojima se stijene deformiraju i rekristaliziraju. Proces je dugotrajan, a nastaju različiti minerali i različite deformacije. Litostatički tlak i stres znatno su



povišeni, a zbog magmatske aktivnosti temperatura je znatno povišena u odnosu na geometrijski gradijent.

*Plutonska metamorfoza* zbiva se u dubokim dijelovima litosfere pri vrlo visokoj temperaturi i jakom litostatičkom tlaku. U takvim uvjetima su stabilni bezvodni minerali velike gustoće. Stijene imaju granoblastičnu strukturu, dok u uvjetima metamorfoze nema jasne granice između metamorfoze i magmatizma.

*Metamorfoza oceanskog dna* zbiva se u oceanskoj kori u blizini srednjooceanskih grebena. Zbog širenja oceanskog dna stijene se pomiču bočno te prekrivaju područja oceanske kore velike i do nekoliko tisuća kvadratnih kilometara. Temperatura je niska, 150 do 500 °C, tlak približno 3 kbara. Nastale stijene su pretežno bazične i ultrabazične. Zbog reakcije stijena i morske vode intenzivna je metasomatoza, dok strukturno-teksturna obilježja stijena ostaju sačuvana.

*Metamorfoza tonjenja* je niskotemperaturna regionalna metamorfoza debelih naslaga sedimentata i s njima asociranih interstratificiranih efuzivnih stijena u prostranim sedimentacijskim bazenima u kojima velike količine naslaga tonu u velike dubine. Ovaj tip metamorfoze sličan je procesu dijageneze.

Prema *stabilnosti mineralnih parageneza* u nekoj metamorfnoj stijeni razlikuju se *progradna* i *retrogradna metamorfoza*. *Progradna metamorfoza* je endotermički proces primanja topline i mehaničke energije. Ona uključuje dehidrataciju i dekarbonatizaciju. Pri povišenju temperature i tlaka iz minerala stabilnih pri nižoj temperaturi i tlaku nastaju minerali stabilni pri nižoj temperaturi i tlaku. *Retrogradnom metamorfozom* nazivamo proces suprotan progradnoj metamorfozi. Ovakav tip metamorfoze redovit je u uvjetima pneumatolitne i hidrotermalne metamorfoze.

Prema *kemijskom sastavu* metamorfne stijene u odnosu prema protolitu, metamorfoza može biti *izokemijska* i *alokemijska*. Ako se ne mijenja kemijski sastav protolita, metamorfoza je *izokemijska*. Ona se zbiva rijetko. Kod većine metamorfnih procesa mijenja se kationski sastav protolita, pa se takva metamorfoza zove *alokemijska metamorfoza* ili *metasomatoza*.

Metamorfoza stijene može biti potpuna i tada novi minerali potpuno zamjenjuju stare. Međutim, metamorfoza može biti nepotpuna, pa u stijeni zaostaju relikti primarne stijene. Tijekom metamorfoze stijena se nalazi u nizu metastabilnih stanja s metastabilnim paragenezama koje su samo faze u evoluciji metamorfne stijene.

## 5. MINERALNI SASTAV, STRUKTURE I TEKSTURE METAMORFNIH STIJENA

*Minerali* metamorfnih stijena svrstavaju se u dvije skupine, minerali zastupljeni u svim vrstama stijena (kvarc, kalcit, dolomit, pirokseni, amfiboli, tinjci, feldspati itd.), dok drugoj skupini pripadaju minerali za čiji postanak su bitni metamorfozni uvjeti, pa su tipični za metamorfozne stijene (granat, disten, andaluzit, silimanit, coisit, jaderit, tremolit, aktinolit, glaukofan, serpentin, talk itd.).

*Strukture* metamorfnih stijena su *blastične*, *kataklastične* ili definirane tipičnim međusobnim odnosom mineralnih sastojaka. *Blastoza* je preraspodjela materijalnih čestica ili unutar kristala ili među kristalima u kontaktu, dakle rekristalizacija u nove minerale. *Blastične* strukture imaju stijene nastale rekristalizacijom i rastom minerala u metamorfnim uvjetima, tj. čvrstom stanju. Blastične strukture mogu biti *reliktne*, ako odražavaju strukturu protolita, ili *singenetske* ako su nastale tijekom metamorfoze i ne sadrže obilježja strukture protolita. Singenetske strukture mogu biti *homeoblastične*, ako su mineralni sastojci podjednake veličine, ili *heteroblastične* sa sastojcima različite veličine. *Homeoblastična* struktura može biti *granoblastična*, ako su mineralni sastojci zrnasti ili podjednakih dimenzija, *lepidoblastična*, ako stijena sadrži pretežno minerale listićastog habitusa i *nematoblastična*, ako su sastojci štapičasti, igličasti i vlasasti. *Heteroblastična* struktura je *porfiroblastična* ako su neki sastojci izrazito veći od ostalih. Ti se sastojci zovu *porfiroblasti* i nastali su rastom,

rekristalizacijom pri povišenoj temperaturi iz mineralne tvari same stijene, ili kristalizacijom između ploha škriljavosti iz mineralne tvari koja je došla otopinama izvana.

Za *kataklastičnu* strukturu tipični su deformirani minerali s anomalnim optičkim svojstvima, sekundarnim sraslačkim lamelama i pukotinama. *Milonitnu* strukturu imaju stijene koje su potpuno zdrobljene u prah, a ponekad i pretaljene u staklo. *Brečastu* ili *mortar* strukturu imaju stijene nastale u početnom stadiju kataklastične metamorfoze. Rubovi pojedinih minerala su zdrobljeni do sitnozrnastog agregata koji obrubljuje sačuvane jezgre primarnih minerala. *Porfiroklastičnu* strukturu imaju neke kataklastične stijene nastale dinamometamorfozom u kojima se veći nezdobljeni minerali (porfiroklasti) ili fragmenti stijene nalaze u sitnozdrobljenoj masi (matriksu). *Okastu* strukturu ima stijena koja sadrži lečaste porfiroklaste minerala, obično feldspata i kvarca, koji su okruženi sitnijim, listićastim sastojcima.

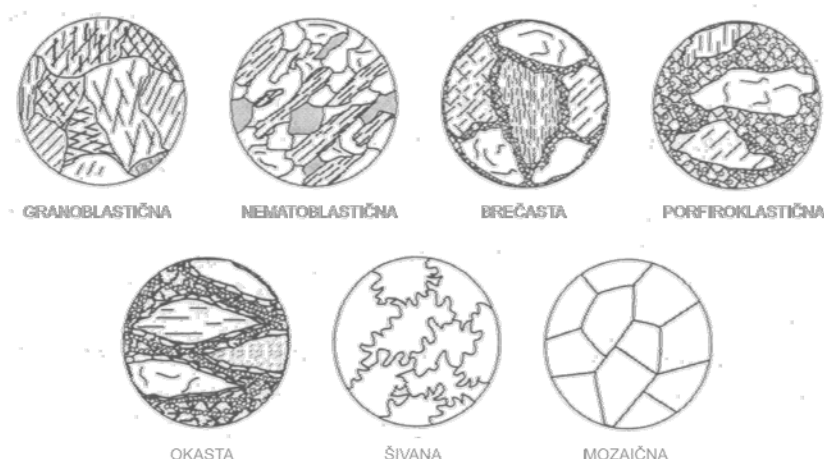
Osim navedenih struktura, postoji niz strukturnih varijeteta koji se razlikuju po međusobnom odnosu mineralnih sastojaka. Tako je često *šivana* struktura s nazubljenim kontaktima među sastojcima, zbog zupčastog prodiranja minerala pri visokoj temperaturi i tlaku. *Mozaična* struktura odlikuje se neorijentiranim, poligonalnim zrnima koja se dodiruju poput saća, po tri u jednoj točki.

*Tekstura* metamorfnihi stijena je najčešće škriljasta. Škriljavost je posljedica rekristalizacije minerala zbog stresa. Pritom se štapičasti i listićasti minerali orijentiraju paralelno s *plohom škriljavosti*, ravninom okomitom na smjer tlaka. Pri tektonskim pokretima također mogu nastati škriljaste tekture, jer minerali kristaliziraju paralelno sa ravninom po kojoj je nastalo klizanje. Udarcom po škriljastoj stijeni ona se razdvaja u tanke pločice, paralelne s plohom škriljavosti. Ako razdvajaju svjetliji od tamnijih mineralnih sastojaka, listićasti od zrnastih, krupnozrnasti od sitnozrnastih, tekstura je *paralelno-prugasta*.

Osim škriljavosti ili *folijacije*, metamorfne stijene mogu imati i *lineaciju*, paralelna orijentacija štapičastih minerala unutar ploha škriljavosti.

Kontaktnom metamorfozom pri malom tlaku i temperaturi, kao i pri visokom litostatičkom tlaku, nastaju *homogene* tekture za koje je tipičan jednoličan raspored mineralnih sastojaka bez vidljive orijentacije.

Veći minerali nastaju pri višoj temperaturi i tlaku, a orijentirani ukazuju na usmjereni tlak. Pokazatelji metamorfnihi uvjeta postanka su i *geotermometri* i *geobarometri*, minerali koji ukazuju na temperaturu, odnosno na tlak pri kojima se zbivala metamorfna promjena.



## 6. NAZIVI I KLASIFIKACIJA METAMORFNIHI STIJENA

Za nazive i klasifikaciju metamorfnihi stijena nema općeprihvaćenog načela.

Kriteriji za naziv metamorfne stijene su strukturno-teksturna svojstva, mineralni sastav te protolit, a uz to neke stijene imaju i specijalne nazive. Nazivi sadrže korijen i prefiks. Korijen

može biti neki naziv koji opisuje teksturu stijene, specijalni naziv i uvijek uključuje neko tipično strukturno svojstvo stijene ili daju dodatnu informaciju o mineralnom sastavu. Prefiks nije obavezan.

Tekstura stijene rezultat geometrijskog rasporeda minerala, mineralnih agregata nepravilnih kristalnih oblika i ostalih teksturnih odlika. Na teksturu utječu mehaničke deformacije i procesi kemijskog odlijevanja koji su redovito prisutni u metamorfoznim procesima. Deformacija i rekristalizacija su dva jednako važna aspekta metamorfoze. Posebni nazivi se koriste za metamorfne stijene nastale u uvjetima visokog tlaka.

Glavni mineralni sastojci metamorfnih stijena su oni čiji udio je veći od 5%. Naziv minerala koji je glavni sastojak može se navesti ispred naziva stijene. Ako se u nazivu stijene želi navesti njen sporedni dio, tada se iza naziva stijene pridodaje i njen sporedni dodatak. Kritični sastojci su oni čija prisutnost ukazuje na određene uvjete postanka stijene, a mogu egzistirati kao glavni ili kao sporedni.

*Meta* je prefiks koji se dodaje nazivu protolita kad se može utvrditi iz koje je ishodišne stijene nastala metamorfna stijena, a općenito označava metamorfnu stijenu.

*Orto* i *para* su prefiksi koji se dodaju nazivu metamorfne stijene da se označi magmatski (orto), odnosno sedimentni (para) postanak protolita.

Metamorfne stijene se mogu klasificirati na različite načine, prema dubini postanka u litosferi i vezano uz porast temperature i tlaka, prema strukturno-teksturnim obilježjima te stupnju folijacije ili škriljavosti, prema protolitu iz kojeg je nastala metamorfna stijena, prema mineralnoj paragenezi koja definira metamorfni facijes, prema vrsti metamorfoze.

Prema *stupnju folijacije* razlikuju se stijene *jako izražene folijacije*, stijene *slabo izražene folijacije* i stijene *bez izražene folijacije* ili s veoma slabo izraženom folijacijom.

Jednostavna klasifikacija metamorfnih stijena temelji se na prepoznavanju *protolita* iz kojeg je metamorfozom nastala nova stijena. Pritom se nazivu dodaju prefiksi *meta*, *orto* ili *para*.

Prema mineralnoj paragenezi koja definira *metamorfni facijes* stijene su svrstane u šest facijesa ili podfacijesa. *Podfacijes zelenih škriljavaca* (stijene sadrže slabo rekristalizirane zeolite), *facijes zelenih škriljavaca* (metamorfne stijene koje sadrže aktinolit, klorit, epidot, albit, kvarc, hornblendu ili granat), *amfibolitni facijes* (nazvan prema metabazitu koji sadrži plagioklas, hornblendu, kvarc, granat i monoklinski piroksen), *granulitni facijes* (facijes visokih temperatura i niskih do srednjih tlakova), *facijes glaukofanskih (plavih) škriljavaca* (nazvan prema alkalijском амфиболу i glaukofanu), *eklogitni facijes* (nazvan prema metabazitima, eklogitima te granatu).

Prema *vrsti metamorfoze* razlikuju se *stijene dinamometamorfoze*, *termalne metamorfoze* i *dinamotermalne metamorfoze* te *stijene lokalne* i *regionalne metamorfoze*.

## 7. STIJENE KONTAKTNE METAMORFOZE

*Mramor* nastaje ili kontaktnom (termalnom) ili dinamotermalnom metamorfozom vapnenca i dolomita. U pravilu je monomineralna stijena, rekristalizirani vapnenac ili dolomit, pa se razlikuje kalcitni mramor od dolomitnog. Ako je čist, bijele je boje, a s primjesama može biti jednoliko ili nejednoliko obojen, zelen, siv, crven, blijedožut itd. Ima homogenu teksturu i granoblastičnu strukturu. Ako sadrži malu količinu paralelno raspoređenog bezbojnog listićastog tinjca, slabo je škriljast. Ako je vapnenac sadržavao akcesorne silikatne minerale, kvarc ili kaolinit, pri metamorfnim uvjetima reagiraju karbonatni sastojci vapnenca sa silikatnim sastojcima i nastaje niz novih silikatnih minerala koji sadrže kalcij. U uvjetima kontaktne metamorfoze dolomit se dedolomitizira, odnosno iz dolomita, kalcijeva i magnezijeva karbonata, nastaju stabilniji kalcit i magnezijev oksid. Ako dolomit sadrži mali udio željeza i silicija, nastaje i olivin koji se lako mijenja u serpentin.

Gustoća mu je između 2.68 i 2.72 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa ne odstupa mnogo od gustoće, 2.65 do 2.71 g/cm<sup>3</sup>, poroznost je između 0.4 i 2% volumena, a upijanje vode između 0.1 i 0.3%

mase. Tlačna čvrstoća je između 80 i 160 MPa. Veoma se lako polira. Trajan je, osobito sitnozrnasti varijeteti u područjima blage klime i nezagađene atmosfere. U Hrvatskoj sivocrni mramor nalazimo kod Požege.

*Kvarcit* nastaje ili kontaktnom ili dinamotermalnom metamorfozom pješčenjaka i rožnjaka. Najčešće sadrži samo kvarc, a kontaktnometamorfni kvarcit ima homogenu teksturu i granoblastičnu strukturu. Svijetle je boje koja ovisi o sporednim sastojcima.

Gustoća kvarcita je između 2.64 i 2.7 g/cm<sup>3</sup>, prostorna masa između 2.6 i 2.65 g/cm<sup>3</sup>, poroznost između 0.4 i 2% volumena, a upijanje vode između 0.2 i 0.5% mase. Tlačna čvrstoća je između 150 i 300 MPa. Masivna je stijena, tvrda i otporna na utjecaj atmosferilija.

*Skarn* nastaje kontaktnom metamorfozom na kontaktu vapnenca i granitne magme pri čemu se vapnenac metasomatski obogaćuje silicijem, aluminijem, željezom, magnezijem i ostalim elementima koji sadrži kisela magma. To je stijena koja sadrži silikate kalcija, magnezija i željeza, najčešće hedenbergit, diopsid, tremolit, aktinolit, granate, fosterit, titanit. Uz silikatne minerale sadrži magnetit, pirohtin i sulfide bakra, ponekad u gospodarski važnim količinama. Poznata su bogata ležišta u Skandinaviji.

*Kornit* ili *hornfels* nastaje kontaktnom metamorfozom pelitnih sedimentnih stijena te tufa i slejta u uvjetima visokog stupnja metamorfoze. Nalazi se u neposrednom kontaktu s kiselim intruzivnim magmatskim stijenama te okružuje intruzivni masiv poput vijenca s postupnim prijelazom u stijene nižeg stupnja metamorfoze. Stijena je homogena, različite boje, a sadrži kvarc, feldspate, biotit, piroksen, granat, kalcit te tipične metamorfne minerale. Ima granoblastičnu mozaičnu strukturu. U Moslavačkoj gori nalazi se kornit koji je nastao na kontaktu kisele magme i šejla u koji je magma prodrla.

## 8. STIJENE KATAKLASTIČNE METAMORFOZE

*Kataklazit* je dinamometamorfna stijena koja se sastoji od oštrobriđnih fragmenata nastalih mrvljenjem stijena zbog tektonskih pokreta. Jesno se razlikuju krupniji fragmenti od fino-zrnaste osnovne mase koja ih povezuje, a manjeg je udjela od udjela fragmenata. Nastaje iz krupnozrnastih stijena i ima značajke klastične sedimentne stijene, breče. Za razliku od breče, osnovna masa u kataklazitu sastoji se od sitnih čestica same stijene, odnosno njezinih mineralnih sastojaka. Ponekad su krupniji mineralni sastojci, kvarc i feldspati, obrubljeni sitnim česticama istog zdrobljenog minerala.

*Milonit* je stijena nastala gotovo potpunim drobljenjem ishodišne stijene u prah. Sadrži između 10 i 90% fino-zrnaste osnove ili matriksa. Glavni sastojci su kvarc i feldspati. Mogu nastati i podatljivim kretanjem tijesno priljubljenih masa.

*Ultramilonit*, za razliku od milonita, sadrži vrlo malo fragmenata u fino-zrnastoj osnovi, pa je čitava stijena gusta i obično tamne boje. Na plohama jakoga trenja može doći do djelomičnog taljenja i postanka stakla.

Iz mekanih stijena kataklastičnom metamorfozom ne nastaju stijene kataklastične strukture, već se mekani minerali plastično deformiraju ili rekristaliziraju, a stijene postaju škriljaste i nastaje novi mineral.

## 9. STIJENE REGIONALNE METAMORFOZE

Produktima regionalne metamorfoze pripada velika skupina metamorfnih stijena, *kristalasti škriljavci* koji nastaju iz različitih stijena djelovanjem usmjerenog tlaka u dubljim dijelovima litosfere. Povećani stres snižava tališta minerala, pa se oni otapaju na mjestu većeg tlaka, a ponovo kristaliziraju na mjestu manjeg tlaka. Prisutnost fluida olakšava rekristalizaciju. Zbog stresa nastaju škriljaste stijene, ponekad i paralelno-prugaste. Mineralni sastav ovisi o temperaturi postanka, a budući da je temperaturni raspon velik, velika je i raznolikost stijena. Iz iste ishodišne stijene, pelitnog sedimenta, *progresivnom* metamorfozom nastaju slejt, filit, tinjčev škriljavac i gnajs, a razlikuju se po stupnju rekristalizacije i veličini sastojaka.

*Slejt* je stijena nižeg stupnja metamorfoze silita, glinjaka, šejlova i ponekad tufova. Mineralni sastojci su djelomično rekristalizirani, stijena je sitnokristalasta i mineralni sastav se može u potpunosti odrediti polarizacijskim mikroskopom. Bez sjaja je i ima izraženu škriljavost i lepidoblastičnu strukturu. Lako se kida u tanke pločice plohama škriljavosti. Mineralni sastav varira, a najčešći sastojci su kvarc, sericit i klorit. Crveni slejt sadrži hematit, zeleni klorit, a najčešće je siv ili crn zbog udjela grafita i organske tvari.

*Filit* je sličan slejtu, ali ima krupnije sastojke, pa stoga i sjaj na plohi folijacije. Nastaje napredujućom metamorfozom iz slejta pri duljoj izloženosti metamorfnim procesima, uz aktivnije sudjelovanje mineralnih otopina. Ima škriljastu teksturu i lepidoblastičnu strukturu. Glavni sastojci su kvarc i sericit s muskovitom te klorit čiji udio varira. Nalazimo ga u Banovini i na Papuku.

*Tinjčev škriljac* je stijena višeg stupnja metamorfoze pelitnih sedimenata. Mineralni sastojci u odnosu na filit su krupniji i mogu se raspoznati makroskopski. Škriljaste je teksture, a struktura je lepidoblastična, ponekad porfiroblastična. Glavni sastojci su tinjci (muskovit i biotit) i kvarc te kiseli plagioklasi i klorit.

*Gnajs* nastaje progresivnom ili progradnom metamorfozom tinjčevih škriljavaca, ali i metamorfozom arkoza, grauvara te kiselih do neutralnih magmatskih stijena. Ovisi o protolitu, razlikuje se paragnajs od ortognajsa. Ima škriljastu ili ponekad paralelno-prugastu do masivnu i okastu teksturu. Struktura može biti granoblastična, nematoblastična, lepidoblastična i ponekad porfiroblastična. Mineralni sastav je sličan granitu i prevladavaju feldspati i kvarc. Uz njih gnajs sadrži i tinjce i amfibole te niz sporednih sastojaka. Brojni varijeteti nazvani su prema obojenom mineralnom sastojku, prema ukupnom mineralnom sastavu, ili prema teksturi i strukturi. Gnajs nalazimo u slavonskim planinama.

Među ostalim kristalastim škriljalcima su *kloritni*, *zeleni* i *amfibolski škriljavac*, stijene izrazite škriljaste teksture i nematoblastične do lepidoblastične strukture. Nastaju retrogradnom metamorfozom, uz sudjelovanje mineralnih otopina iz bazičnih i neutralnih magmatskih stijena te metamorfnih stijena, amfibolita i škriljavaca, u uvjetima niskog stupnja metamorfoze. Mogu nastati i progradnom metamorfozom nekih sedimentnih stijena. Kloritni škriljavac uz klorit sadrži albit i kvarc. Zeleni škriljavac ili greenschist zadrži zelene minerale, klorit, aktinolit, žutozeleni epidot i albit. Nalazimo ih na Medvednici i Psunju. U amfibolskom škriljavcu prevladavaju amfiboli.

*Glaukofanski škriljavac* nastaje pri visokom tlaku i niskoj temperaturi iz bazičnih magmatskih, i iz nekih sedimentnih stijena, a sadrži kao bitni sastojak alkalijski amfibol glaukofan. Uz glaukofan sadrži granat, muskovit, biotit, kvarc, kalcit i albit. Nalazimo ga u Slavonskom gorju.

Ostale stijene regionalne metamorfoze su *serpentinit*, *amfibolit*, *mramor* i *kvarcit*.

*Serpentinit* je stijena zelenkaste do crne boje, škriljaste teksture i granoblastične do lepidoblastične strukture. Nastaje hidrotermalnom metamorfozom, često autometamorfozom, iz bazičnih i ultrabazičnih magmatskih stijena. Glavni mineralni sastojak je serpentin te relikti olivina, pirokseni, amfiboli, magnetit, klorit, magnezit itd.

*Amfibolit* je tamnozeleno do crna stijena koja sadrži više od 50% hornblende i više od 20% neutralnih do bazičnih plagioklaza te manji udio biotita, titanita, kvarca, granata. Ima homogenu teksturu i nematoblastičnu do granoblastičnu strukturu. U Hrvatskoj ga nalazimo kod Pakraca i Požege.

Iz karbonatnih stijena nastaju dinamometamorfnom metamorfozom *mramori* koji mogu imati slabije ili jače izraženu folijaciju, dok su mineralni sastojci izduženi.

Iz pješčenjaka nastaju regionalnom metamorfozom *kvarciti* koji imaju izrazitu škriljastu teksturu.

*Plutonskom metamorfozom* nastaju *granulit* i *eklogit*.

*Granulit* nastaje iz različitih stijena, sedimentnih pelitnih i psamitnih te magmatskih kiselih, neutralnih i bazičnih. Ima masivnu do gnajsoidnu teksturu i granoblastičnu strukturu. Sastojci su feldspati i kvarc, pirokseni te granat, disten, silimanit itd.

*Eklogit* nastaje iz stijena sastava gabra u kojima feldspati nisu stabilni. Ima granoblastičnu strukturu s dva glavna mineralna sastojka, omfacitom i ružičastim granatom. Granati su često prisutni kao porfiroblasti.

U uvjetima plutonske metamorfoze nastaju *migmatiti*, silikatne stijene u kojima se zapaža izmjena svijetlih i tamnih dijelova. Uzrok je različita taljivost mineralnih sastojaka visokometamorfne stijene. Parcijalno taljenje zahvaća lakše taljive minerale, pa iz nastale magme kristaliziraju svijetli dijelovi migmatita. Teže taljivi dijelovi zaostaju kao tamni dijelovi.

## 10. UPORABA METAMORFNIH STIJENA

Među metamorfnim stijenama samo nekoliko ih ima praktičnu primjenu. Općenita svojstva metamorfnih stijena su mala poroznost i uglavnom dobra mehanička svojstva. Mehanizam postanka metamorfnih stijena, u većini slučajeva rekristalizacija, utječe na promjenu fizikalnih i mehaničkih svojstava ishodišnih stijena, ponekad u smislu poboljšanja, a ponekad u smislu slabljenja.

Tereni izgrađeni od metamorfnih stijena nepovoljni su za izvođenje građevinskih radova. Međutim takvi radovi su mogući na terenima izgrađenim od mramora, kvarcita i škriljavca višeg stupnja kristaliteta. Još se koristi kao prirodni kamen za oblaganje podova i prozorskih okvira, kao građevni materijal ili kao sirovina za proizvodnju građevnog materijala te sirovina u raznim granama proizvodnje. Mramor je posebno cijenjen kamen u kiparstvu.