

V.3 SKLOP, STRUKTURE I TEKSTURE MAGMATSKIH STENA

UVOD

Hlađenjem magme stvara se stena sa određenim rasporedom i međusobnim odnosom minerala koji su kristalisali iz rastopa.

Poput mineralnog i hemijskog sastava magmatskih stena, sklop (struktura i tekstura) obuhvata širok spektar svojstava i „pruža” bogate petrološke informacije, važan zapis uslova kristalizacije, sastava, očvršćavanja magme i njenog mesta i načina smeštaja.

Sklop stene određen je međusobnim odnosom minerala, tj. načinom njihovog sra-
stanja, veličinom i rasporedom u prostoru. Ova svojstva čine strukturu i teksturu stene.

U sklopu stene su „zabeleženi” svi kinetički procesi na isti način kao i mine-
rali u hemijskim i termodinamičkim složenim sistemima. Neke strukture i tekstu-
re daju relativno „jednostavan” proces stvaranja stena, kao staklasta (hijalinska)
struktura nastala naglim pothlađivanjem rastopa, magme. Druge obuhvataju slo-
žene procese koji deluju istovremeno ili u bliskom redosledu, kao što je umereno
brza kristalizacija i odlazak fluida (gasova), kada nastaje vezikularna tekstura.

Određena svojstva stena, kao što je veličina zrna, ukazuju na više procesa:
kristalizaciju, redosled, ravnotežna stanja, brzinu hlađenja itd.

Sklop stena koji obuhvata strukturu i teksturu nije direktno vezan sa njiho-
vim hemijskim i mineralnim sastavom. Jedna stena može imati više od jedne struk-
ture koja je „odgovorna” za višestruke (viševremenske, polifazne) procese koji su
omogućili njeno stvaranje. U nekim slučajevima ne postoji „oštra” razlika između
strukture i teksture, kada se osmatra celi masiv kao genetski entitet, tok lave od
izvora do kraja itd.

Sklop stene je odraz toka kristalizacije magme i uslova pod kojima je stena
hlađena i obuhvata niz karakteristika:

1. stepen kristaliniteta magme (odnos kristala i stakla, mikrolita itd.);
2. uzajamne odnose minerala;
3. veličinu i oblik minerala i
4. raspored, ispunjenost minerala u prostoru.

Fizički opis izgleda i sklopa stene je prvi korak u bilo kojoj petrološkoj studiji.

Dobar petrografski opis stene treba da pruži jasnu sliku kako ona izgleda.
Takođe je korisno, pa i neophodno sve opservacije na terenu beležiti, crtati, skici-

rati, slikati izdanke, praviti mikrofotografije itd. Tipični petrografski opis počinje s identifikacijom glavnih minerala koji su najviše zastupljeni i određivanjem sklopa stene, strukturom i teksturom. Sledeći korak je vizuelna procena sadržaja minerala u steni. Za tačnije određivanje može se koristiti brojanje tačaka ili analiza mikrosnimaka uz odgovarajući kompjuterski program i na kraju skenirajući elektronski mikroskop. Za rutinske opise dovoljna je vizuelna procena sadržaja minerala.

Određivanje sklopa, teksture i tekture je iterativni proces. Nije dovoljno jednom pogledati uzorak stene ili petrografski preparat u mikroskopu i dati naziv, ime stene. Potrebno je (i korisno) sagledati i preispitati sve informacije, svojstva uočena na terenu, uzorku ili petrografskom preparatu u smislu najopštijih atributa, kao što su boja, kristalinitet, količina i međusobni odnos sastavnih i feromagnezijskih minerala, njihova veličina i oblik zrna itd., da bi se odredila „prava” struktura i tekstura.

Nastanak i rast kristala, minerala iz rastopa (opisali smo ih u odeljku Magma), njihov sastav, veličina i međusobni odnos definišu sklop (strukturu i teksturu) stene i uključuju dva „glavna” procesa:

1. nukleaciju minerala i
2. rast minerala, i difuziju hemijskih komponenti (i toplote) kroz rastop do površine rastućeg minerala.

NUKLEACIJA, RAST KRISTALA MINERALA

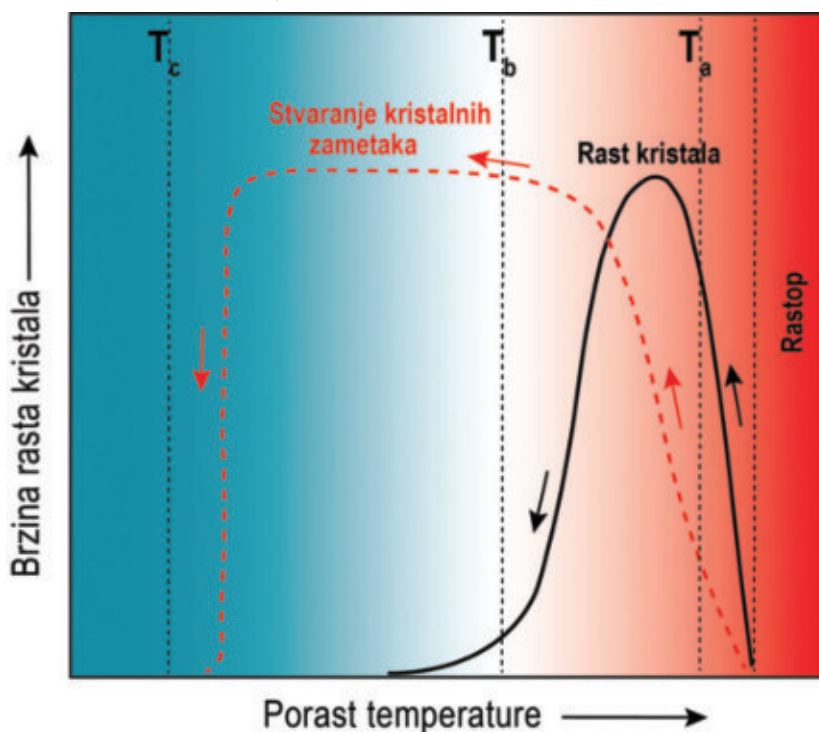
Nukleacija je početak stvaranja kristala minerala. Opisali smo je zajedno s brzinom rasta kristala u poglavlju Magma, a ovde ćemo je vezati za sklop magmat-skih stena.

Pre nego što dođe do kristalizacije, mora se formirati „embrionski klaster” kritične veličine ili „kristalno jezgro” sa dovoljnom unutrašnjom zapreminom pot-puno vezanih jona, da bi se „prevazišla” nestabilnost, što zahteva određeni stepen pothlađivanja ispod linije likvidusa (ispod temperature kristalizacije minerala).

Prvonastali, prvoformirani embrion kristala minerala nastaje prezasićenjem dovoljnog broja jona koji se grupišu zajedno („homogena nukleacija”) ili „seme” istog minerala raste sa drugim mineralom slične strukture („heterogena nukleacija”).

Stopa nukleacije (i rasta) varira s površinskom energijom minerala i njegovom kristalnom strukturom, stepenom pothlađivanja itd. Nijedna nukleacija neće se javiti na istoj temperaturi kristalizacije, zato što ona zahteva „neku” energiju. Rastop mora biti donekle pothlađen (ispod temperature ravnotežne kristalizacije) pre nego što kristali minerala počinju da se stvaraju. Što je temperatura rastopa više ispod temperature ravnotežne kristalizacije, veća je i brža nukleacija. Ako je hlađenje sporo, održava se ravnoteža ili su uslovi blizu ravnoteže. Ako je hlađenje brzo, „malo je vremena” za nukleaciju, rast ili difuziju. Brzina hlađenja utiče i na niz drugih procesa nastanka kristala i minerala. U početku, pothlađenjem se

povećava nukleacija i brzina rasta, ali sa daljim hlađenjem smanjuje se kinetika i povećava viskoznost, „sprečavajući” pomenute procese (slika 258). Maksimalna stopa rasta je generalno na višoj temperaturi nego što je maksimalna brzina nukleacije, jer je lakše da se doda atom s visokom kinetičkom energijom na postojeću kristalnu rešetku nego da „slučajno” nađe nekoliko takvih atoma odjednom da bi se formirao embrionski klaster, kristalni zametak minerala.



Slika 258. Idealne stope kristalizacije i rasta minerala

Pogledajmo sliku 258 da bismo razumeli zašto brzina hlađenja značajno utiče na veličinu zrna minerala, tj. stene. Na njoj su prikazane idealizovane stope kristalne nukleacije i rasta kao funkcija temperature ispod tačke topljenja. Sporo hlađenje rezultira manjim pothlađenjem (T_a), te rast malog broja nukleusa, kada nastaju grubozrne stene. S bržim hlađenjem je veće pothlađenje (T_b), kada je sporiji rast, ali brza nukleacija kristala, kada nastaju sitnozrne stene. Veoma brzo hlađenje uključuje vrlo malu nukleaciju i rast kristala (T_c), kada nastaju vulkanska stakla.

Dvostepenim hlađenjem stvara se bimodalni raspored veličina zrna, a nastaje porfirna struktura (detaljnije u poglavlju Porfirna struktura).

Nukleacija i rast kristala minerala su egzotermni procesi koji oslobađaju energiju u obliku toplote. Magma s niskim viskozitetom pomaže rastu kristala minerala povećavajući brzinu kojom se nastala toplota može „raspršiti” dalje od površine kristala minerala koji raste. Ovo omogućava da se mineral dovoljno „ohladi”, pa se može dogoditi i dodatni rast. Stope rasta minerala opadaju sa snižavanjem temperature i sporijom difuzijom jona, što uzrokuje i porast viskoznosti. Brzina hlađenja magme je važna varijabla koja kontroliše veličinu minerala u ma-

gmatskim stenama. U lagano hlađenoj magmi, koja će formirati plutonsku stenu, nukleacija je spora i hemijske komponente će imati dovoljno vremena za migraciju kroz rastop kako bi se razvili veliki (do centimetra) kristali minerala. Stvorena stena ima zrnastu, faneritsku (engl. *phaneritic*) strukturu. Ako se magma brzo ohladi u plitko smeštenoj magmatskoj komori ili se izlije na površinu (lava), nukleacija (stvaranje kristalizacionih zametaka minerala) biće brza, ali će zbog povećane viskoznosti, očvršćavanja minerali biti „sprečeni” da rastu pa će stena biti sitnozrnasta. U nekim vulkanskim stenama naglo hlađenje uzrokuje „sprečavanje” rasta kristala pa nastaje vulkansko staklo.

Pojedine eksperimentalne studije ukazuju na to da minerali sa jednostavnim strukturama imaju tendenciju da se lakše razviju nego oni sa složenijim strukturama. Oksidi (kao što su magnetit ili ilmenit) obično lakše nukleiraju (s manje pothlađivanja) nego olivin, praćeni piroksenom, plagioklasom i alkalnim feldspatom.

BRZINA RASTA KRISTALA MINERALA I DIFUZIJA

Brzina rasta je povećanje veličine kristala minerala u jedinici vremena. Obično se definiše u centimetrima u sekundi (cm/s). Stope nukleacije i stope rasta su dva nezavisna procesa koja zajedno određuju broj i veličinu iskristalisalih minerala. Rast zavisi i od brzine pothlađivanja, dostupnosti i migracije elemenata, sastava magme, viskoziteta, prisustva fluida itd.

U „normalnim” magmama, brzina formiranja kristalnih zametaka varira za svaki mineral, zavisi i od površinske energije kristala i brzine difuzije. „Normalno” se očekuje da će brzina nukleacije dostići maksimum pri temperaturi likvidusa, ali u „stvarnosti” ona je na znatno nižoj temperaturi zbog pothlađivanja i ispod temperature likvidusa, kada se stvaraju i rastu prvi nukleusi kristala minerala (*Brandeis i dr., 1984*).

Za konstantnu brzinu hlađenja, najveći kristali su oni sa najvećom ili najbržom difuzijom.

Magme sa malim stepenom pothlađivanja zadržavaju se na temperaturama malo ispod temperature likvidusa, kada je brzina nukleacije mala, a brzina rasta kristala velika. Stvara se mali broj velikih, krupnih kristala koji rastu „slobodni i neopterećeni” u rastopu i imaju tendenciju da budu potpuno razvijeni, euhedralni, idiomorfni (*Swanson, 1977*). Nastale stene imaju zrnastu (faneritsku), porfiroidnu ili pegmatitsku strukturu (biće prikazane kasnije).

Magme sa velikim pothlađivanjem, koje su znatno ispod temperature likvidusa, imaju višu stopu nukleacije i nižu stopu rasta jer se povećava viskoznost magme koja „ometa” njihovo stvaranje i rast. Kristali minerala sporije i ograničeno rastu, zbog čega su delimično pravilnih (hipidiomorfni) do nepravilnih (alotriomorfni) oblika (*Swanson, 1977*). Stvara se veliki broj malih, sitnih kristala, a stena ima sitnozrnu do afanatičnu strukturu. Neki od minerala mogu biti „nagriženi” ili dendritični. Veoma brzo snižavanje temperature, pothlađivanje sprečava rast embriona kristala, nastaje vulkansko staklo, koje često sadrži sferulite.

Rast minerala podrazumeva „dodavanje” jona iz rastopa u kristale minerala. Površinska energija na različitim stranama kristala može se menjati, zbog čega se menja i oblik određenog minerala od jedne stene do druge. U većini situacija, sastav rastućeg kristala se značajno razlikuje od sastava rastopa. U opštem slučaju, rast minerala će postepeno „istrošiti” rastop u komponentama od kojih je izgrađen. Da bi rastao, novi materijal (joni) moraju da difunduju kroz rastop, prolaze kroz osiromašenu zonu i dopru do površine kristala. Pored toga, stvaranje kristala iz rastopa proizvodi toplotu (latentnu toplotu kristalizacije), koja je suprotna od latentne toplote fuzije. Ova toplota „mora” biti u stanju da difunduje dalje od kristala, ili temperatura na rastućoj površini može postati previsoka za nastavak kristalizacije itd.

Pojedini joni mogu da „popune” (zauzmu mesto drugih) na određenim mestima u strukturi kristalne rešetke minerala. Ako su „pogodni” (odgovarajući radijus, naelektrisanje itd.), joni „lako” migriraju na određeno mesto u rešetki i povećavaju rast minerala. Ako nisu, stvaraju se sitniji minerali. Kristali apatita i cirkona obično su mali, čak i unutar granitnih pegmatita, jer im je stopa rasta minerala ometana zbog ograničene „dostupnosti” fosfora i cirkonijuma. Osim navedenih procesa, na stvaranje nukleusa i rast kristala minerala utiču i viskozitet rastopa i sadržaj fluida.

Veći viskozitet smanjuje brzinu stvaranja i rasta kristala jer sprečava kretanje jona. Manji viskozitet ima suprotan efekat. Viskoizitet je u velikoj meri određen sadržajem SiO_2 . Kako većina magmi sadrži oko polovine do dve trećine silicije (SiO_2), one su uglavnom viskozne, čime se određuje molekularna povezanost u magmi (stepen polimerizacije). U većini slučajeva, magme bogate silicijom (SiO_2) imaju veći viskoizitet od magmi siromašnijih SiO_2 . Elementi poput magnezijuma i gvožđa nazivaju se modifikatori mreže koji smanjuju viskoizitet. Temperatura je obrnuto proporcionalna viskoiznosti i molekularnom vezivanju. Sa povećanjem temperature, molekularne vibracije rastu, veze se delimično „prekidaju” smanjujući viskoizitet.

Fluidi (gasovi) smanjuju silu vezivanja molekula, kada magma ima značajno manji viskoizitet. Povećava se brzina difuzije elemenata i brzina rasta, što omogućava lakši rast kristala, koji ponekad mogu biti veoma krupni. Magme bogate silicijom (> 66% SiO_2) imaju veliku sposobnost rastvaranja fluida, čime se povećava brzina difuzije i brzina rasta, stvarajući relativno malo krupnih kristala (*Wallace i Anderson, 2000*). Alkali je imaju sličan efekat. Veoma krupna zrna minerala u pegmatitima su zbog velike pokretljivosti jona u rastopu bogatom H_2O , a ne zbog ekstremno sporog hlađenja. Iznenadni gubitak fluida iz rastopa brzo podiže temperaturu kristalizacije, kada dolazi do ponovnog stapanja pojedinih iskristalish minerala ili promena strukture u nekim plutonskim stenama.

V.3.1 KRITERIJUMI ZA PODELU SKLOPA MAGMATSKIH STENA

Redosled kristalizacije minerala zavisi od sastava magme, brzine hlađenja, „prostora” između likvidusa i solidusa magme, količine i sastava fluida, posebno vode. Vrlo je korisno da „brzim i praktičnim” metodama (posmatranjem uzorka na terenu, preparata u polarizacionom mikroskopu itd.) što je moguće tačnije odredimo redosled i karakter, način kristalizacije glavnih minerala. Tu se pre svega misli na određivanje sklopa stene, tj. strukturu i teksturu koja zavisi od pomenutih parametara i procesa.

U literaturi vlada šarenolikost, ponekad i nedoslednost u klasifikaciji, podelama, vrstama tekstura i struktura stena. Jasan je i uticaj različitih „škola” (engleske, francuske, nemačke, ruske itd.), u kojima su ponekad „izmešani” termini struktura i tekstura.

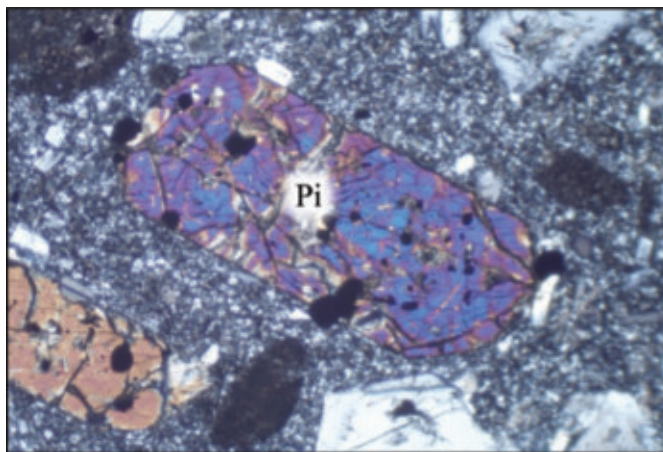
Prikažaćemo najčešće korištene kriterijume klasifikacije sklopa stene iz različitih izvora kako bismo bolje objasnili i predložili „opšteprihvaćene”. To su oblik (pravilnost) i veličina kristala, stepen iskristalisanosti stene (prisustvo stakla) itd.

V.3.1.1 OBLIK, PRAVILNOST KRISTALA

Pravilnost pojavljivanja, odnosno „kompletnost” oblika kristala minerala, prema većini autora, jeste važan kriterijum za podelu sklopa magmatskih stena.

Pogledajmo neki petrografski preparat u mikroskopu i utvrdimo, između ostalog, i „pravilnost” kristala. Razlikujemo tri grupe: euhedralne, subhedralne i anhedralne.

Euhedralni (idiomorfni, potpuno razvijeni) kristali minerala imaju razvijene sve kristalne oblike (ravni, pljosni, ivice, roglove itd.; slika 259). Znamo da je



Slika 259. Idiomorfno zrno piroksena Pi (fenokristal) u andezitu; N+, 20x; Veliki Krivelj

izraz, termin *euhedralan* sinonim za *idiomorfan* (od grčke reči, u značenju „vlastiti oblik”). Najčešće nastaju u ravnotežnim uslovima pri malom stepenu pothlađenja (sporo hlađenje), obično u „ranoj fazi kristalizacije magme”, kada minerali imaju „dovoljno” slobodnog prostora i vremena za „kompletan” rast, odnosno idiomorfan oblik. Kada je hlađenje brže, minerali su manje idiomorfni.

Olivin i pirokseni imaju tendenciju da budu više euhedralni nego kvarc ili feldspat. Stvaranje euhedralnih kristala zavisi i od površinske energije.

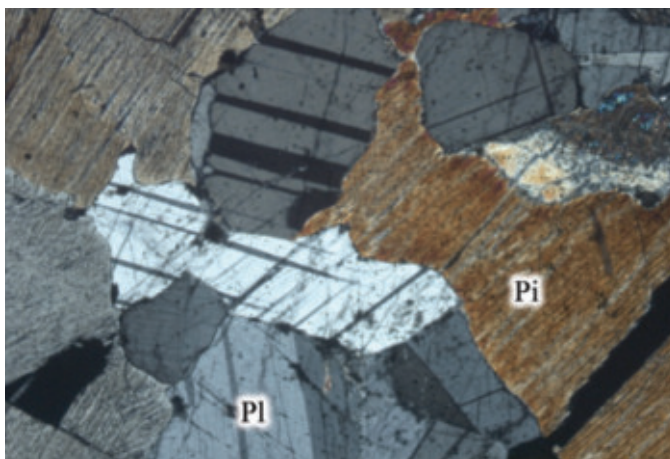
Minerali sa određenom površinskom energijom mogu da formiraju euhedralne kristale čak i u metamorfnim stenama, gde su svi rastući kristali nužno u kontaktu sa susednim zrnima. Granat i staurolit su, na primer, skoro uvek euhedralni u jako metamorfisanim stenama itd.

Smatra se da su veliki, euhedralni kristali K-feldspata (nazivaju se i megakristali), koji se nalaze u mnogim granitima, nastali u kasnoj fazi kristalizacije. Obično uklapaju druge minerale, što je indikacija kasnog nastajanja i formiranja, uz stvaranje pojkilitske strukture, o kojoj će biti reči kasnije. Kod ove konstatacije treba biti obazriv jer mineral koji je okružen drugim može biti uzdignut iznad ili ispod ravni preseka (sečenja stene kada se pravio petrografski preparat), pa se posmatranjem u mikroskopu stiče utisak da su međusobno uklopljeni.

Euhedralni kristali se mogu javiti i kao „izolovani fenokristali” u sitnozrnoj (afanitičkoj) do staklastoj osnovnoj masi, stvarajući porfirsku strukturu (o kojoj će detaljnije biti reči u drugom delu ovog poglavlja). U bazaltima su kao fenokristali česta idiomorfna zrna olivina, piroksena i bazaltnog plagioklasa.

Ako mineral kristališe dok se lava izliva, on može uklopiti drugi mineral, ali i samu lavu u kojoj se nalazi. Neke inkluzije, uklopci, imaju obrnutu kristalografsku orijentaciju od kristala domaćina s kojim su u ravnoteži, što je neka vrsta „negativnog kristala”.

Subhedralni (hipidiomorfni) kristali su delimično pravilni, pojedini kristalni oblici minerala nisu razvijeni (slika 260). Ponekad se opisuju i kao prizmatični,

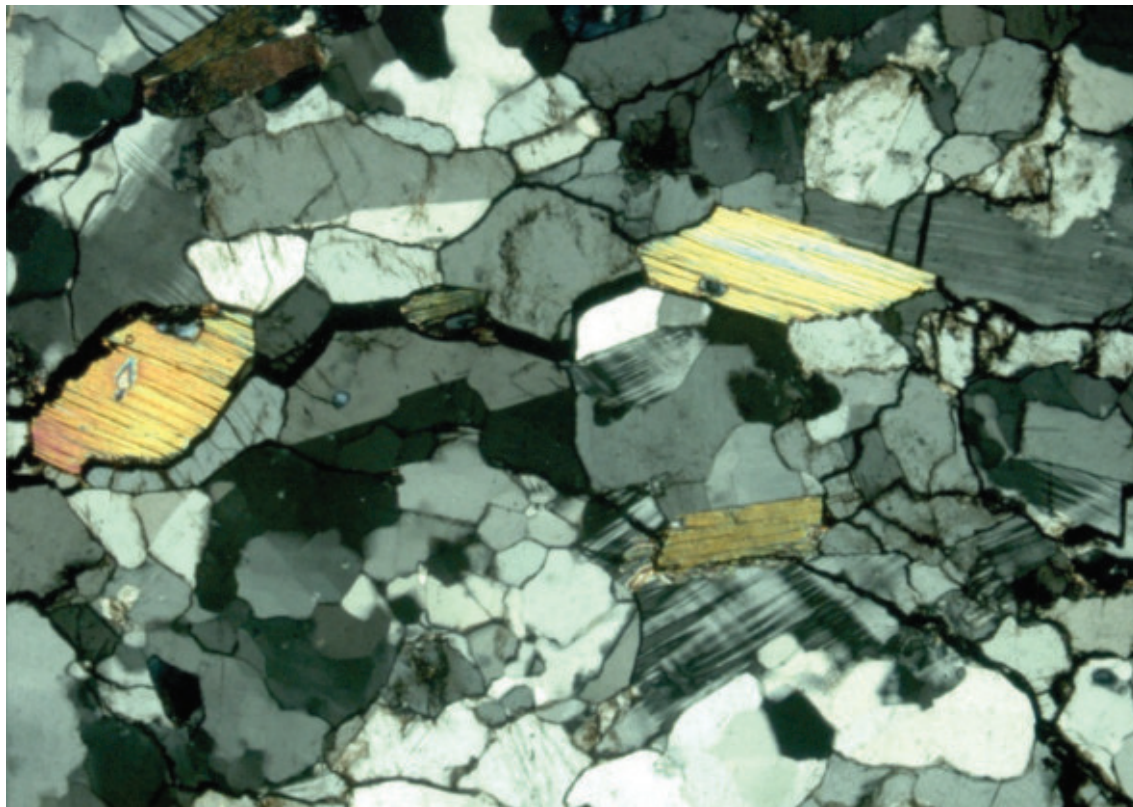


Slika 260. Hipidiomorfna zrna plagioklasa (Pl) i piroksena (Pi) u gabru; N+, 10x; Deli Jovan

ni, subprizmatični, tabličasti, igličasti, listasti itd. Subhedralni (hipidiomorfni) kristali minerala obično su kristalisali „kasnije” od prethodno pomenutih, pri bržem hlađenju (kristalizaciji), nemaju kompletno razvijen kristalni oblik.

Anhedralni (alotriomorfni) kristali nemaju razvijene kristalne oblike jer „nisu imali vremena” da formiraju razvije-

ne kristale (slika 261). Umesto njih javljaju se u zrnima, lepezama, dendritima itd., koji su obično optički diskontinuirani. Nastaju brzim hlađenjem, uglavnom u završnoj fazi kristalizacije magme, zbog čega su sitnozrni ili neiskristalisani (uglavnom u lavama) i stvaraju i vulkansko staklo.



*Slika 261. Alotriomorfna zrna alkalnog feldspata
i kvarca u granitu; N+, 20x; Gorjane*

V.3.1.2 VELIČINA ZRNA U MAGMATSKIM STENAMA

Veličina zrna u magmatskim stenama zavisi od stepena i brzine hlađenja magme.

Krupnije zrnaste stene se javljaju uglavnom u unutrašnjosti većeg magmatiskog masiva, dok su po obodu, posebno kada je intruziv smešten na maloj dubini, gde je hlađenje brže, znatno sitnozrnije. Mala, tanka magmatska tela (dajk, sil i slično) brzo se hlade, zbog čega su uglavnom sitnozrnasta.

Na veličinu zrna, osim hlađenja, utiču i drugi faktori. Na marginama, obodima pojedinih mafitskih (bazičnih) intruzija, sreću se brojne žice gabro pegmatita, u kojima kristali mogu porasti do 15 mm ili više, i znatno su veći od istog minerala u steni domaćinu, gabru. Smatra se da su nastali usled infiltracije fluida (vode) iz okolnih stena. Oni snižavaju temperaturu rastopa i solidusa i olakšavaju, povećavaju difuziju pojedinih katjona (oksida) u rastopu, što podstiče brži rast kristala.

Druga mogućnost je da „pridošla” voda uzrokuje ponovno stapanje već iskristalisalog gabra da bi se formirala krupnozrnija stena (gabro pegmatit).

Za određivanje veličine zrna minerala u stenama „uopšteno” se koriste termini:

1. krupnozrni (> 5 mm);
2. srednjezrni (1–5 mm) i
3. sitnozrni (< 1 mm) (slika 262).



Slika 262. Krupnozrna (a), srednjezrna (b) i sitnozrna (c) stena

U slučaju vrlo krupnih zrna, obično kristala preko 10 cm i više, koristi se izraz „pegmatitski”.

Napomena: pomenute granice i nazivi za veličinu zrna se u postojećoj literaturi, pre svega udžbenicima iz petrologije (geologije), razlikuju pa je potrebno da u vašem radu, prikazu, citirate autora ili literaturu iz koje ste navedene granice preuzeli.

ZAKLJUČIMO! Sklop stene uključuje strukturu i teksturu stene. Struktura se odnosi uglavnom na „izgled” stene u „maloj” razmeri jer se najvećim delom određuje na uzorku ili petrografskom preparatu. Tekstura stene se odnosi na svojstva „većih” razmera koja se utvrđuju i prepoznaju na terenu, pre svega prema položaju minerala u prostoru. Podsetimo, u nekim udžbenicima i knjigama se struktura i tekstura stene „preklapaju” ili imaju „obrnute” definicije, stoga obratite pažnju na to.

V.3.2 STRUKTURE MAGMATSKIH STENA

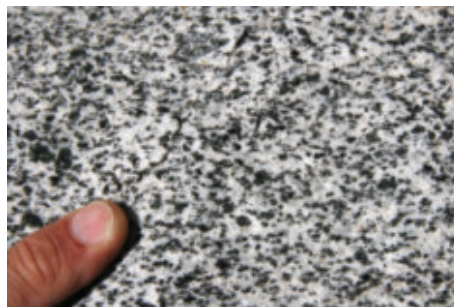
Najviše prihvaćena definicija strukture stene je sledeća:

Strukturu stene određuju oblik, pravilnost, veličina i način srastanja minerala koji su posledica toka kristalizacije magme.

Kod magmatskih stena razlikujemo dve osnovne vrste struktura, zrnastu i porfirsku. Svaka od njih odražava specifičan tok hlađenja magme.

1. **ZRNASTA STRUKTURA** nastaje laganim hlađenjem magme u dubljim delovima Zemlje (plutonske stene), gde je **kristalizacija tekla sporo, na jednom mestu, pri sličnim uslovima pritiska i temperature**, tako da su svi minerali iskristalisali u zrnima približno iste veličine (slika 263).

2. **PORFIRSKU STRUKTURU** imaju stene koje su **nastale izlivanjem magme, lave na površini Zemlje**, u kojoj se javljaju **dve faze minerala koje su kristalisale u različitim uslovima** (slika 264). **Fenokristali**, minerali koji su nastali laganom kristalizacijom u dubini Zemlje, obično su krupni i idiomorfni, dok su drugi, mlađi minerali kristalisali brzo usled naglog hlađenja lave na površini i grade **osnovnu masu**, koja može da sadrži vulkansko staklo (neiskristalisale minerale) ili, retko, da bude samo od njega izgrađena.



Slika 263. Zrnasta struktura, uzorak stene, Jošanica



Slika 264. Porfirska struktura, uzorak kvarclatita, Srbovac

V.3.2.1 ZRNASTA (FANERITSKA) STRUKTURA

Zrnasta (faneritska) struktura javlja se u stenama u kojima su minerali dovoljno veliki da se mogu videti golim okom (slika 265). Manji **Fe-Ti** oksidi i sporedni minerali, kao što su cirkon i apatit, obično nisu vidljivi bez mikroskopa. Zrnaste (faneritske) strukture su vezane za dubinske, intruzivne stene i ukazuju na sporu kristalizaciju sa malim stepenom pothlađivanja. Za ovu strukturu sreće se i izraz **ekvigranularna struktura** (od engleske reči *equigranular*), jer ima ujed-



Slika 265. Zrnasta struktura, uzorak stene, Boranja

načenu veličinu zrna. Magmatske intruzije različitog sastava praktično na celoj planeti imaju „ograničen” opseg veličina zrna, uglavnom 1–30 mm. Ovaj raspon dimenzija ukazuje na to da se stope nukleacije i rasta minerala ne razlikuju značajno u magmama različitog sastava pri malom stepenu pothlađivanja (laganom hlađenju) i da se proces kristalizacije minerala i stvaranje zrnaste strukture odvija u relativno sličnim „uskim” intervalima pritiska i temperature. Zrnaste (faneritske) stene imaju sličnu, ujednačenu veličinu zrna, koja ukazuje na to da je svaka kristalna faza (mineral) imala slične stope nukleacije i rasta minerala, mada mogu biti i različitih veličina, kada nastaje porfiroidna struktura, varijetet ili vrsta zrnaste strukture, koja će kasnije biti prikazana.

Zrnasta struktura se na osnovu stepena razvijenosti kristala minerala, tj. njihovog oblika, deli na:

1. **panidiomorfno zrnastu**, gde se svi kristali minerala u steni javljaju u potpuno razvijenim, pravilnim, idiomorfnim oblicima (euhedralni); ova struktura je retka;
2. **hipidiomorfno zrnastu**, gde su neki kristali minerala u steni delom razvijeni, hipidiomorfni (subhedralni); ovo je česta struktura u magmatskim dubinskim stenama i
3. **alotriomorfno zrnastu**, u kojoj se minerali u steni javljaju uglavnom u zrnastim agregatima alotriomorfni (anhedralni).

Navedimo neke „klasične” primere. U granodioritima, **Fe-Ti** oksidi, hornblenda, biotit i plagioklasi imaju tendenciju da budu euhedralni do subhedralni (idiomorfni do hipidiomorfni), dok su kvarc i alkalni feldspat obično alotriomorfni, odnosno anhedralni.

Pomenimo da se kod **granita, diorita, gabrova** itd., koji imaju zrnastu (faneritsku) strukturu, **ne dodaje prefiks „zrnasti” (faneritski) u ime stene**. Ne piše se „zrnasti” (faneritski) granit, već jednostavno „granit”. U žičnim stenama, aplitima, minerali, kvarc i alkalni feldspati su hipidiomorfni do alotriomorfni (subhedralni do anhedralni), ujednačene veličine, ali sitniji od dubinskih stena.

Na osnovu toga se može zaključiti da je hlađenje bilo brže, ali da su minerali istovremeno kristalisali u podjednakim uslovima.

Pojedini autori zrnaste strukture dele i prema veličini zrna (minerala) na:

1. **fino zrnaste** (ispod 1 mm u prečniku);
2. **srednje zrnaste** (1–5 mm);
3. **krupnozrnaste** (preko 5 mm).

Pomenute granice i nazivi za veličinu zrna se u postojećoj literaturi, pre svega u udžbenicima iz petrologije (geologije), razlikuju. Zato je potrebno da citirate autora ili literaturu iz koje ste preuzeli navedene granice.

PORFIROIDNA STRUKTURA

U pojedinim stenama, najčešće kiselog do intermedijarnog sastava, koje imaju zrnastu strukturu, sreću se zrna nekih minerala krupnija u odnosu na „okolne” minerale kada stena ima **porfiroidnu strukturu**. Najčešći krupni minerali su alkalni feldspati, koji su uglavnom idiomorfni i „leže” u sitnozrnijoj masi stene (slika 266). Razlika u veličini minerala može postojati i zbog različite stope nukleacije i brzine rasta. Veliki, krupni alkalni feldspati izazvali su značajne debate o njihovom poreklu i nastanku. Smatra se da kisele magme dostižu zasićenje alkalnim feldspatom i kvarcom u samo nekoliko desetina stepeni iznad temperature solidusa. Zbog toga „rastući” alkalni feldspati imaju dovoljno prostora da „proizvedu” velike kristale. Eksperimenti ukazuju na to da alkalni feldspati sporije rastu od kvarca i plagioklasa u granitnim magmama.



Slika 266. Porfiroidna struktura; uzorak granita, Golija

Porfiroidna struktura se može razviti i u plitkoj granitnoj intruziji koja „dovodi” izotermno smanjenje pritiska vode. Smatra se da nastaje kroz dva „nivoa” sadržaja fluida. Inicijalna nukleacija i rast kristala plagioklasa i drugih visokotemperaturnih minerala podstiče povećan sadržaj fluida u ostatku preostalog rastopa. Ako fluidi naglo „pobegnu” iz sistema usled „pucanja” krovine, ostatak rastopa postaje prezasićen manje topljivim kristalnim fazama (koje kristališu na nižim temperaturama), pri čemu njihovom kristalizacijom nastaju sitnija zrna. Podsetimo da je i Bouen (**Bowen, 1914**) istakao da kontinuirano „jednolično” (postepeno) hlađenje nekih rastopa može dati porfiroidnu strukturu usled različite brzine rasta kristala i broja stvorenih zametaka, embriona.

U okviru ove strukture je i **serijatna struktura**, u kojoj se veličina zrna kontinuirano (postepeno) povećava.

U grupu „grubozrnih” (krupnozrnih) struktura spada i **pegmatitska struktura**, gde su minerali, u proseku, krupniji od 30 mm. Najčešće se javlja u pegmatitima (biće detaljno opisana u posebnom poglavlju), gde su magme iz kojih su nastali bogate fluidima. Mogu biti različitog sastava, od granita preko granodiorita do gabrova.

Zbog velikih, dobro razvijenih kristalnih oblika, pegmatiti granitskog sastava su izvor mnogih dragulja, poput smaragda, safira i topaza, kao i nekih metala. U nazivu stene sa pegmatitskom strukturom treba da bude uključen i naziv stene: pegmatitski granit, pegmatitski granodiorit, pegmatitski gabro itd.

V.3.2.2 STRUKTURE KOJE SE ODNOSJE NA RAVNOTEŽU MINERALA U RASTOPU

U lagano hlađenim sistemima magme, strukturna ravnoteža može modifikovati veličinu i oblik zrna nakon početne faze kristalizacije. Ona je verovatnija na visokim temperaturama kada kretanje atoma minimizira slobodnu površinsku energiju kristala.

GRAFITNA STRUKTURA

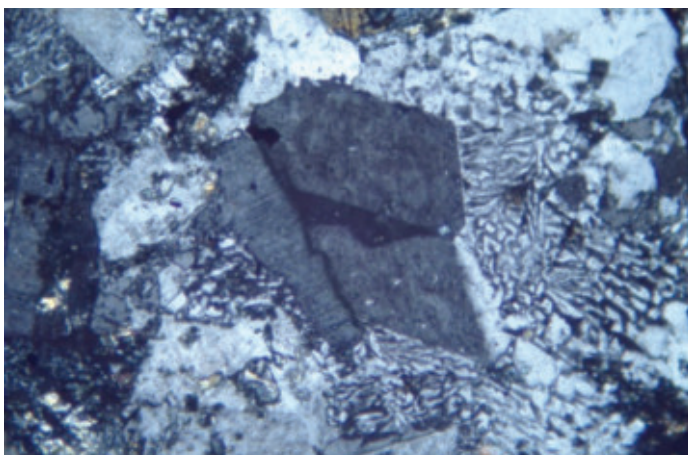
Zbunjujuće „razmnožavanje” kvarcnih zrna u domaćinu, alkalnom feldspatu, naziva se **grafitna struktura** (slika 267). Nastala je međusobnim prorastanjem pomenutih minerala i podseća na drevno klinasto pismo. Prisutna je i kod nekih granitskih pegmatita. Potvrđena je i eksperimentalno. Pomenimo i slične strukture (npr. pisanogranitska itd.) nastale pri istim uslovima koje se međusobno „teško” razlikuju.



Slika 267. Grafitna struktura; uzorak stene 10 cm

GRANOFIRSKA STRUKTURA

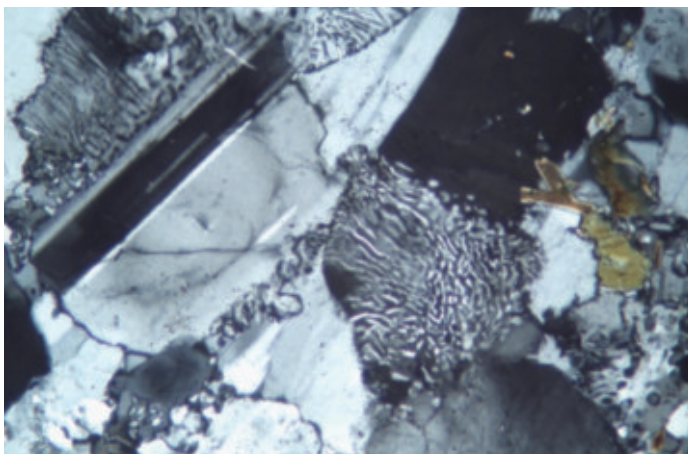
Smatra se da granofirska (pisanogranitska) struktura (slika 268) nastaje istovremenom kristalizacijom kvarca i feldspata iz granitskog rastopa, što je i eksperimentalno potvrđeno (*Fenn, 1986* i *MacLellan i Trembath, 1991*). Kada fluidi (H_2O) „iznenada” odu, tačka topljenja brzo raste i pri ovim „novim” uslovima alkalni feldspat i kvarc „nemaju vremena” da formiraju nezavisne kristale. Stvaraju se „složeni” skeletni oblici, granofiri, tj. granofirska struktura. *Granofirski* se obično dodaje kao prefiks na ime stene, npr. granofirski granit. Struktura može biti slična mikrografitskoj koja se sreće u pegmatitima. Smatra se da je granofirska struktura vezana za plitko smeštene intruzije, uglavnom granitskog sastava.



Slika 268. Granofirska struktura; N+, 10x; Milatkoviće

MIRMEKITSKA STRUKTURA

Mirmekitska struktura je definisana prorastanjem vermikularnog („crvolikog”) kvarca u domaćinu od alkalnog feldspata (slika 269), što se genetski vezuje (prema pojedinim autorima) za istovremenu kristalizaciju ova dva minerala ili subsolidusno mešanje feldspata uz višak silicije (SiO_2). Struktura je specifična za kisele stene, granit i pegmatit.

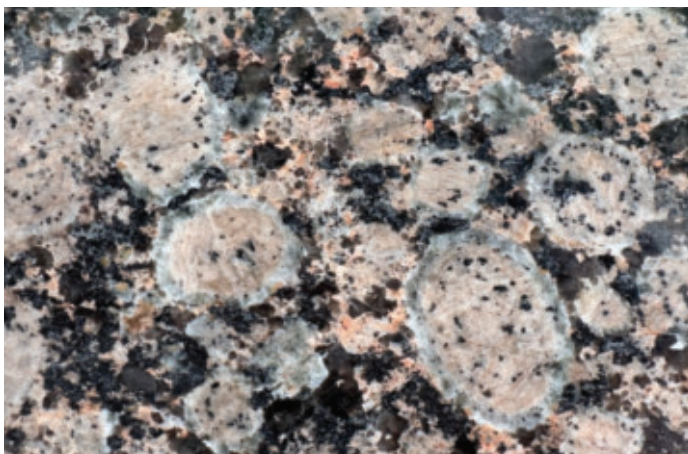


Slika 269. Mirmekitska struktura, N+, 50x; Cer

RAPAKIVI STRUKTURA

Rapakivi struktura sadrži krupne (par centimetara) ovalne, okrugle kristale ortoklasa koji su obavijeni plagioklasom varijabilnog sastava (slika 270). Pojedini autori smatraju da ova struktura nastaje mešanjem magme (*Stimac i Wark, 1992*).

Druga mogućnost je dekompresija magme tokom intruzije, kada plagioklas oblaže alkalne feldspate (*Nekvasil, 1991*). Postoje i pojave da su u nekim plagioklasima pojedine zone „prepune” nepravilno rasutih sitnih zrna minerala sličnih onima koji grade osnovnu masu kod porfirskih struktura. Često se svrstava i u tekture. Naziv je finskog porekla. Ovu strukturu je prvi opisao finški petrolog Jakob Sederholm (*Sederholm, 1891*) za rapakivi granite u Finskoj, koji se smatraju tipičnim lokalitetom za ove stene.



Slika 270. Rapakivi struktura, uzorak stene 10 cm, Finska

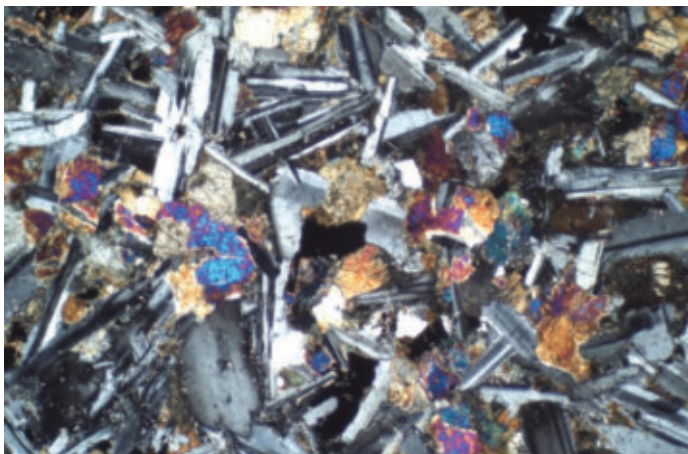
ORBIKULARNA STRUKTURA je slična rapakivi strukturi. Definisana je obično deformisanim orbikulama, okruglastim, jajolikim, sfernim zonarnim nagomilanjima feldspata i kvarca (ima ga manje) veličine par centimetara. Smatra se da su nastale rastom oko već iskristalisalog zrna minerala u „rashlađenoj” magmatskoj komori usled naglih promena uslova kristalizacije. Uglavnom je vezana za granitoide. Najveći broj stena sa orbikularnom strukturom vezan je za granite u Finskoj.

OFITSKA STRUKTURA

Ofitska struktura je definisana izukrštanim prizmama plagioklasa čiji su međuprostori zapunjeni klinopiroksenom (slika 271). Uglavnom se javlja u bazičnim stinama, dijabazima, i sreće se u nekim gabrovima. Pomenimo da se dijabazi, posebno kad su krupnozrniji, u nekim evropskim, američkim i azijskim publikacijama i udžbenicima nazivaju i doleriti.

Smatra se da je plagioklas kristalisao prvi, nakon toga se pridružio klinopiroksen. Pojedini autori, među njima i Makbirni i Nojes (*McBirney i Noyes, 1979*) ukazuju na to da su plagioklas i klinopiroksen kristalilisali istovremeno. Klinopiroksen stvara manji broj embriona koji brzo rastu i obuhvataju manje plagioklase. Kasnije, tokom kristalizacije, pojedina zrna plagioklasa nastavljaju sa kristalizacijom i postaju veća (duža), a prostori između njih zapunjavaju se piroksenom.

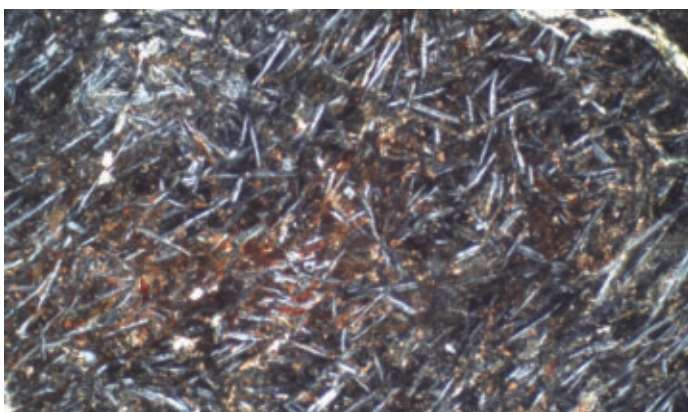
Početni sastav rastopa i položaj eutektičke tačke „određuju” i redosled kristalizacije navedenih minerala. Ako je na „strani” piroksena, prvo će on kristalisati, a nakon njega plagioklas. Ako je na strani plagioklasa, prvo kristališe ovaj mineral. Postoje mišljenja da je sastav rastopa koji kristališe često u eutektičkoj tački, kada ova dva minerala počinju kristalizaciju istovremeno, ali većina petrologa smatra da je piroksen kristalisao kao „drugi” mineral, što se relativno „lako” uočava u mikroskopskom preparatu dijabaza. Kad nije izražena, naziva se **subofitska struktura**.



Slika 271. Ofitska struktura, N+, 20x; Deli Jovan

INTERSETALNA STRUKTURA

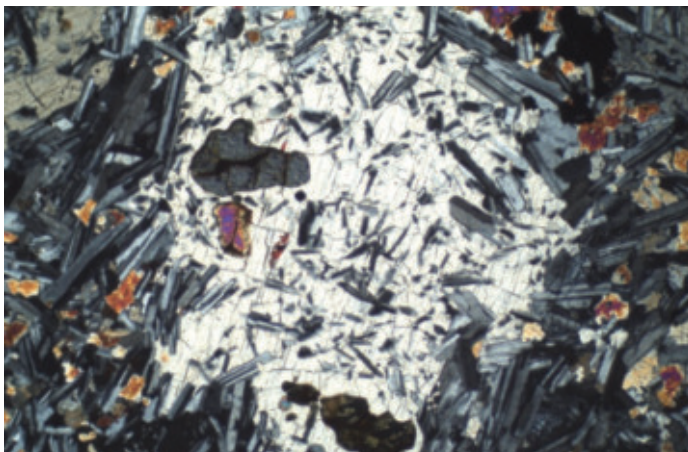
Intersertalna struktura je „varijetet” ofitske. Prostor između zrna, prizmi plagioklasa i/ili piroksena je izgrađen (zapunjen) od sitnih kristala (mikrolita), obično plagioklasa i stakla, koje je obično alterisano (slika 272). Pojedini autori ovu strukturu vezuju za dijabaze i spilite. Ako staklo ima „dovoljno” vremena da rekristališe, stvaraju se sitnozrni agregati plagioklasa, piroksena, magnetita, ilmenita, apatita itd., stena dobija **intergranularnu strukturu**.



Slika 272. Intersertalna struktura; N+, 80x, spilit, Nova Varoš

POJKILITSKA STRUKTURA

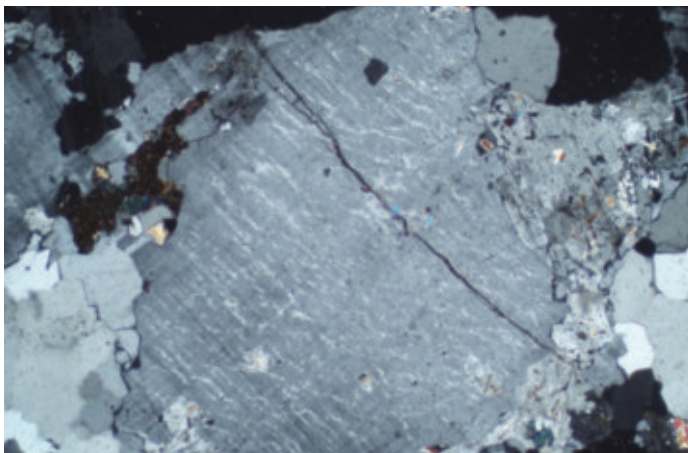
Pojkilitska struktura je struktura u kojoj krupni, veći kristali minerala uklapaju manja zrna koja su ranije kristalisala (naziva se i struktura gosta i domaćina). Javlja se u širokom rasponu sastava magme. U ultrabazičnim stenama, pirokseni, koji mogu biti prečnika i nekoliko centimetara, uklapaju (obuhvataju) plagioklase, olivine i druge „starije” minerale koji su sitniji (slika 273). U nekim granitima, alkalni feldspat uklapa minerale koji su kristalisali pre njega na višim temperaturama (biotit, hornblenda, plagioklas itd.). Veliki krupni kristali minerala koji uklapaju druge nazivaju se i **oikokristali**.



Slika 273. Zrno piroksena sa uklopljenim prtkama plagioklasa i zrnima olivina; N+, 80x, gabro, Priboj

PERTITSKA STRUKTURA

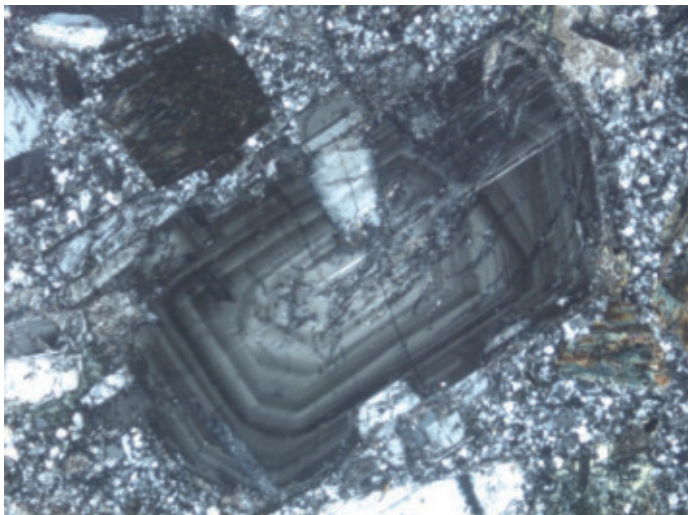
Eksolucija, struktura izdvajanja, jeste hemijsko izdvajanje usled ograničenog mešanja nekih minerala koji su čvrsti rastvori. Najčešće se javlja u lagano hlađenim plutonima različitih sastava. „Najrasprostranjenija” eksolucija je **pertit** (slika 274). Alkalni feldspat koji je kristalisao na visokoj temperaturi „ugradio” je deo albita, koji se sa laganim hlađenjem, nižom temperaturom, iz njega izdvaja zbog nemogućnosti daljeg mešanja. U kristalima alkalnog feldspata ovim procesom se stvaraju izdužena nepravilna nagomilanja, lamelle. Minerali su kristalografski usaglašeni i orijentisani. Kada se u alkalnom feldspatu javlja izdvojeni albit, naziva se **pertit**, a ako je u albitu izdvojen alkalni feldspat, naziva se **antipertit**. Eksolucija se takođe javlja i u gabrovima, gde se pirokseni (kao čvrsti rastvori) razlažu i stvaraju karakteristične lamelle koje se optički „lako” prepoznaju.



Slika 274. Pertit, izdvajanje albita u ortoklasu; N+, 20x, granit Bukulja

ZONARNOST

Zonarnost nastaje usled promene hemijskog sastava minerala koja se javlja tokom njegove kristalizacije i snižavanja temperature (hlađenja). Zonarnost se „lako” uočava u mikroskopskom preparatu, posebno kod plagioklasa, gde ugao pomračenja zavisi od sastava ovog minerala, kada se javljaju koncentrične trake, zone, različite jačine (boje, intenziteta) u polarizovanoj svetlosti (pri ukrštenim nikolima; slika 275). Ako postoji ravnoteža između kristala i rastopa, sastav minerala će se prilagoditi snižavanju temperature, stvarajući kompoziciono homogeni kristal. Ako ravnoteže nema, uglavnom zbog brzog hlađenja, rastop reaguje samo sa rubnim delovima kristala, zbog čega dolazi do promene sastava, tj. zonarnosti samo u tom delu. Ona je koncentrična, gde sadržaj anortitske komponente opada ka ivici zrna. To je „zapis” o nepotpunim kontinuiranim odnosima reakcije između rastopa i iskristalisalog minerala koji su se menjali „brže” nego što je potrebno da bi se mogla održati ravnoteža. Sreće se i oscilatorno, dok je reverzno zoniranje kod ovog minerala retko.



*Slika 275. Zonarni plagioklas u andezitu;
N+, 60x, andezit Bor*

Kompoziciona ravnoteža u plagioklasu zahteva razmenu **Si-Al**, a to je teško zbog čvrstih veza **Si-O** i **Al-O**. Difuzija **Al** je takođe spora, zbog čega je zonarnost ovog minerala česta. Pojedini autori smatraju da zonarnost nastaje zbog „slabe” kinetike rasta kristala usled naglih promena uslova u magmatskoj komori, ubrizgavanja novih količina magme (rastopa), sadržaja fluida, konvekcionih strujanja, termo strujanja itd.

Drugi minerali (pirokseni, amfiboli) takođe mogu biti zonarni, ponekad i sektorski, ali su manjeg obima i intenziteta od plagioklasa.

KUMULATNA STRUKTURA

Kumulatnu strukturu opisali smo u odeljku Magma. Ovde ćemo o njoj govoriti sa „više strukturnih” detalja. Ona ukazuje na nastanak stene akumulacijom kristala izdvojenih iz magme gravitacionim tonjenjem. U idealnom slučaju, rano formirani kristali jednog minerala se akumuliraju kao zrna, dok preostali rastop „zausima” prostor između kristala. Važno je utvrditi stepen kristalizacije rano formiranih kristala i odnos sastava intersticijske faze koja je kasnije nastala (kristalisala). Ova „mlađa” faza (adkumulati) ima drugačiji sastav od starijih akumuliranih kristala,

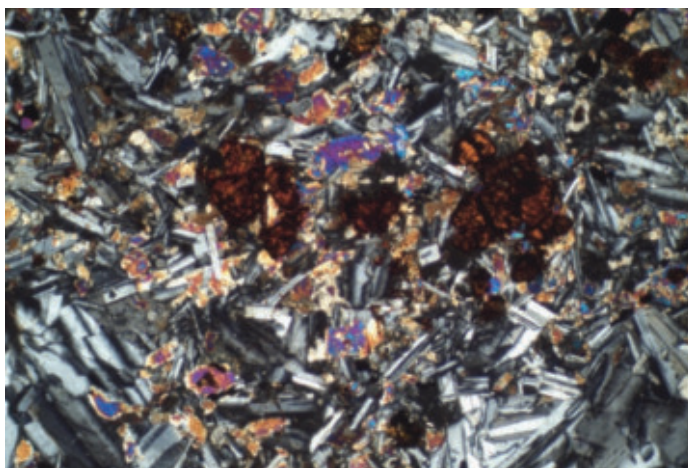
jer je većina magmi hemijski „složenija” od bilo kojeg pojedinačnog minerala.

Mikroskopskim proučavanjem nekih stena uočeno je da može „postojati i skroman” dodatni rast već nastalih, formiranih kumulata zajedno sa stvaranjem, kristalizacijom minerala u međuprostorima, kada strukturu nazivamo **ortokumulatna struktura**. Ako intersticijski rastop izmeni sastav sa rastopom iz glavne komore (difuzijom i/ili konvekcijom), kumulatni minerali mogu nastaviti da rastu, stvarajući adkumulatnu strukturu. Mezokumulat je termin koji se primenjuje na kumulatne strukture koje su prelaz između orto i adkumulatne strukture.

Struktura *crescumulate* (engl. naziv, nepreveden) slična je pomenutoj. Nastaje kristalizacijom izduženih zrna olivina, piroksena, feldspata ili kristala kvarca koji „rastu” na zidu (obodu plutona) i mogu biti veličine do nekoliko centimetara. Struktura *crescumulate* se često javlja u mafičnim plutonima (gde se može pojaviti u više slojeva) ili na rubovima, obodima granita.

POSTMAGMATSKE STRUKTURE

Neke strukture u plutonskim stenama nastaju u završnoj fazi kristalizacije, tj. rekristalizacije, odnosno **alteracije** postojećih minerala. Dobar primer je serpentinizacija olivina, kada dolazi do povećanja volumena stene, svojstvo koje je važno imati u vidu pri gradnji puteva, tunela ili rudnika koji se nalaze u stenama koje sadrže ovaj mineral kao bitan sastojak (ultrabazične stene). Olivini u bazičnim slojevima su obrubljeni, delom ili potpuno, sa crveno-smeđim „**indiksitom**”, koji je kriptokristalna mešavina oksida gvožđa i filosilikata (slika 276).



Slika 276. Indiksit (mrko) u masi stene; N+,
80x; dijabaz, Novi Pazar

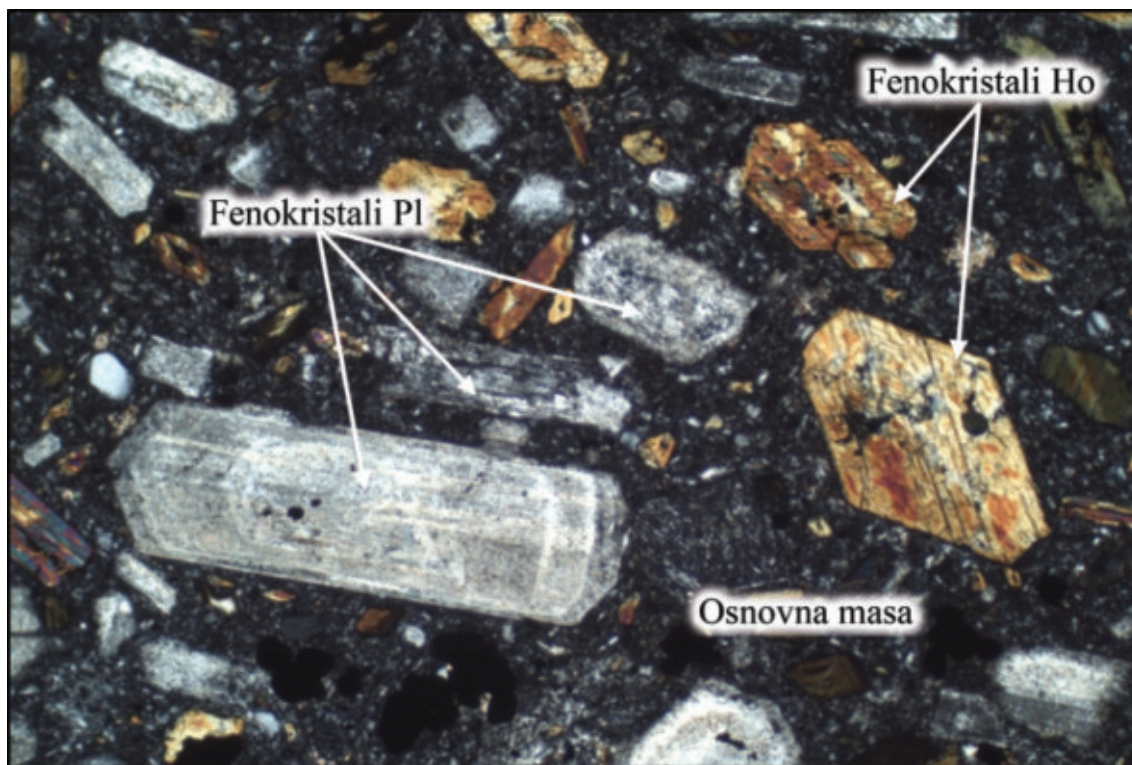
V.3.2.3 PORFIRSKA STRUKTURA

Porfiriska struktura javlja se kod stena koje su kristalisale u subvulkanskim i vulkanskim nivoima, tj. kada su izlivene na površinu. Kod ovih stena minerali su kristalisali u dve faze, u različitim vremenima i uslovima hlađenja magme, tj. lave.

Prva, „starija” generacija su veliki, krupni, obično idiomorfni **fenokristali** minerala koji su nastali „sporom” kristalizacijom na velikoj dubini, odnosno pre erupcije ili izlivanja lave (slika 277). Hlađenje je bilo sporo (malo pothlađenje), odmah „ispod” temperature likvidusa u toplotno „izolovanom okruženju” u dubini Zemlje.

Pojedini autori prave razliku između megakristala, fenokristala i mikrofenokristala, zavisno od toga da li su vidljivi u uzorku stene ili samo pod mikroskopom (mikrofenokristali). Koristi se i izraz **kšenokristali**, koji se odnosi na kristale koji su došli sa strane i „uklopljeni” u lavu, ili u magmu u kojoj se nalaze.

Fenokristali retko grade više od 50% mase vulkanske stene. Pomenimo da njihovo prisustvo „imobilizuje”, usporava tok izlivanja lave. Neke lave mogu biti i bez fenokristala, **afiritske**. U petrologiji, proučavanje ovih stena je važno jer ukazuje na primaran, nediferenciran tip magme, rastopa.



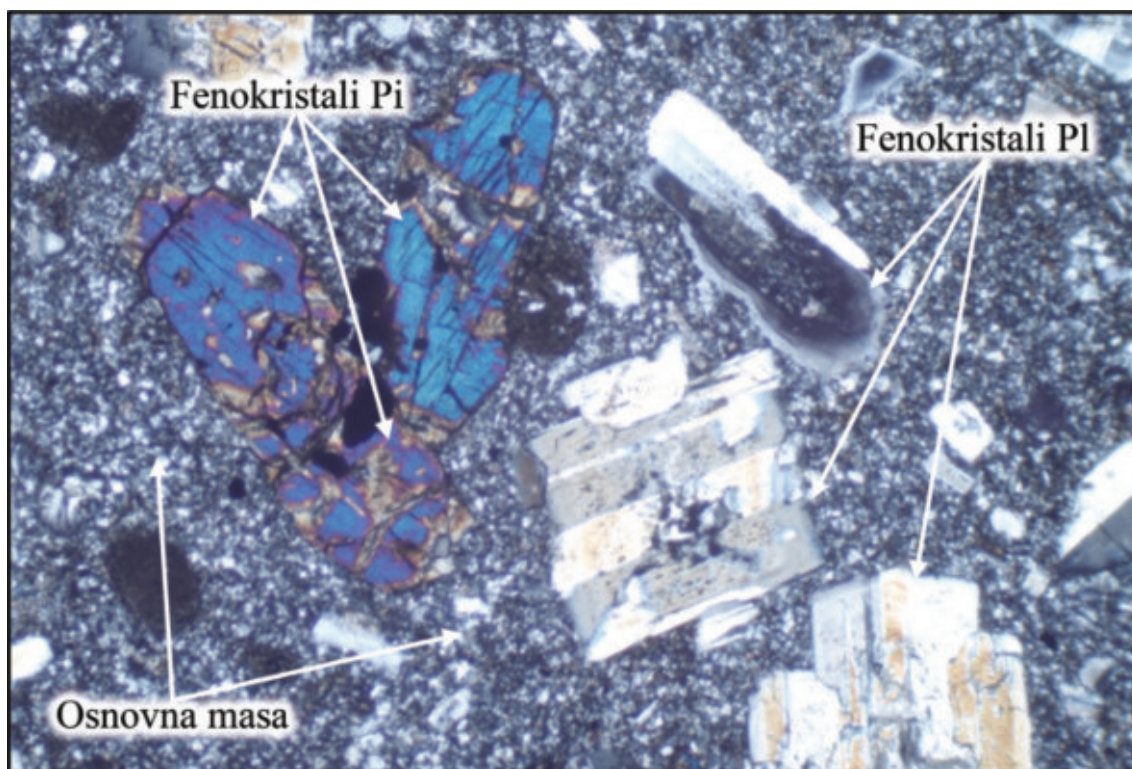
Slika 277. Porfiriska struktura; N+, 60x; Veliki Krivelj

Druga, mlada generacija (faza) gradi **osnovnu masu stene** u kojoj se nalaze „plivajući” fenokristali (slika 277). Minerali koji grade osnovnu masu su kristalisali blizu površine ili na površini, kada dolazi do brzog gubitka toplote (brzo hlađenje), zbog čega su obično sitnozrni. Nekada je osnovna masa izgrađena samo od stakla i neiskristalisalih minerala.

Porfirska struktura se deli prema **sadržaju stakla u osnovnoj masi** na holokristalasto porfirsku, hipokristalasto porfirsku i hijalinsko porfirsku.

HOLOKRISTALASTO PORFIRSKA STRUKTURA

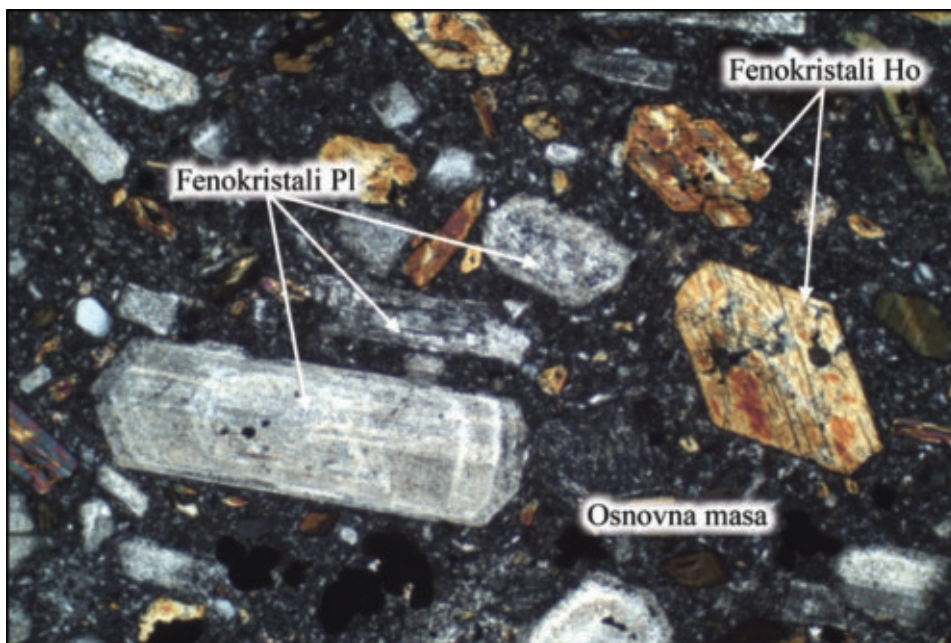
Kod ove strukture je osnovna masa vulkanske stene izgrađena samo od iskristalisalih minerala, koji su obično sitni, često prizmatičnog oblika (mikroliti) i ne sadrže stakla (slika 278).



Slika 278. Holokristalasto porfirsku struktura; N+, 50x; Veliki Krivelj

HIPOKRISTALASTO PORFIRSKA STRUKTURA

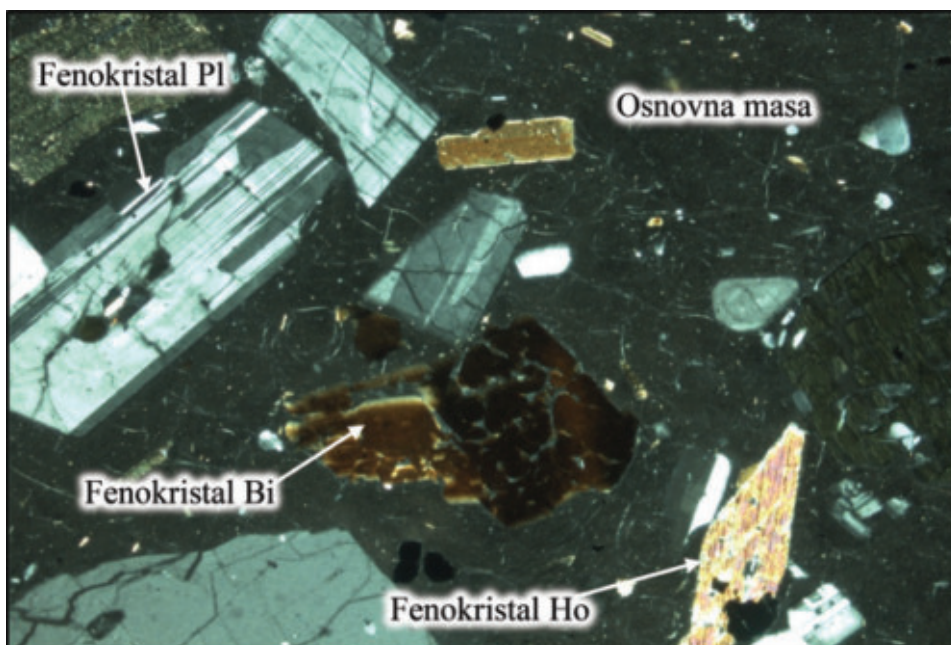
Kod ove strukture u osnovnoj masi ima „finih” sitnih zrna, mikrolita, i „malo” stakla (slika 279).



Slika 279. Hipokristalasto-porfirska struktura; N+, 60x; Šumnik

HIJALINSKO PORFIRSKA STRUKTURA

Kod ove strukture je osnovna masa izgrađena samo od stakla (slika 280). Ovu strukturu imaju **vitrofiri** koji sadrže prepoznatljive fenokristale u staklenoj osnovnoj masi, pa se u nekim udžbenicima sreće i izraz **vitrofirska struktura**.



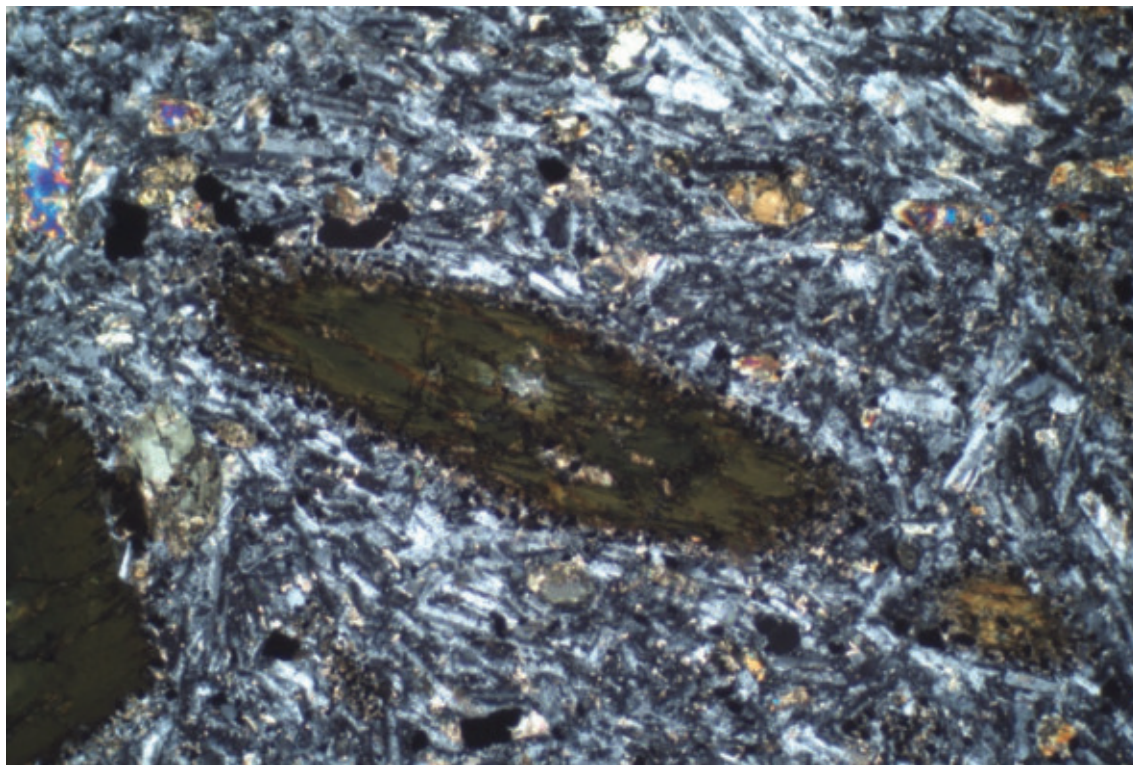
Slika 280. Hijalinsko-porfirska struktura; N+, 60x; Brestovac

Prema veličini zrna minerala u osnovnoj masi, sreću se izrazi **mikrokristalasta osnovna masa**, gde su **zrna** dovoljno velika da se mogu utvrditi i **identifikovati polarizacionim mikroskopom**. Ova struktura je izgrađena od mikrolita feldspata u kojima se uočava optička dvolomnost, u polarizovanoj svetlosti, kao i sitnih zrna kvarca i bojenih minerala. Sreće se kod andezita i nekih bazalta. U oba slučaja, feldspat je plagioklas.

Ako su mikroliti feldspata orijentisani u istom pravcu, struktura se naziva **trahitska**.

ŠTA SU MIKROLITI?

Mikroliti su početna „jezgra” kristala feldspata (uglavnom plagioklasa) koji se nalaze u osnovnoj masi (slika 281). Morfološki, to su pritke ili „mikrofenokristali” nastali nakon izlivanja lave na površinu, sa većim odnosom brzine rasta prema stopi nukleacije nego kod fenokristala. Bazalti imaju porfirsku strukturu, često sa osnovnom masom izgrađenom od mikrolita plagioklasa i sitnih, zrnastih agregata piroksena, ponekad sadrže i stakla. Pomenimo da je količina stakla u ovim stenama generalno manja nego u silicijumom bogatim vulkanitima, mada kod bazalta može značajno varirati, od vrlo male količine (ponekad i bez) stakla do osnovne mase pa i cele stene (retko) izgrađene samo od stakla. Ako je osnovna masa vulkanske stene veoma sitna, gde se minerali ne mogu utvrditi ni u polarizacionom mikroskopu, naziva se kriptokristalasta ili afanatična. Ove strukture su najvećim delom vezane za vulkanske stene koje nastaju brzim, naglim hlađenjem magme (lave) na površi-



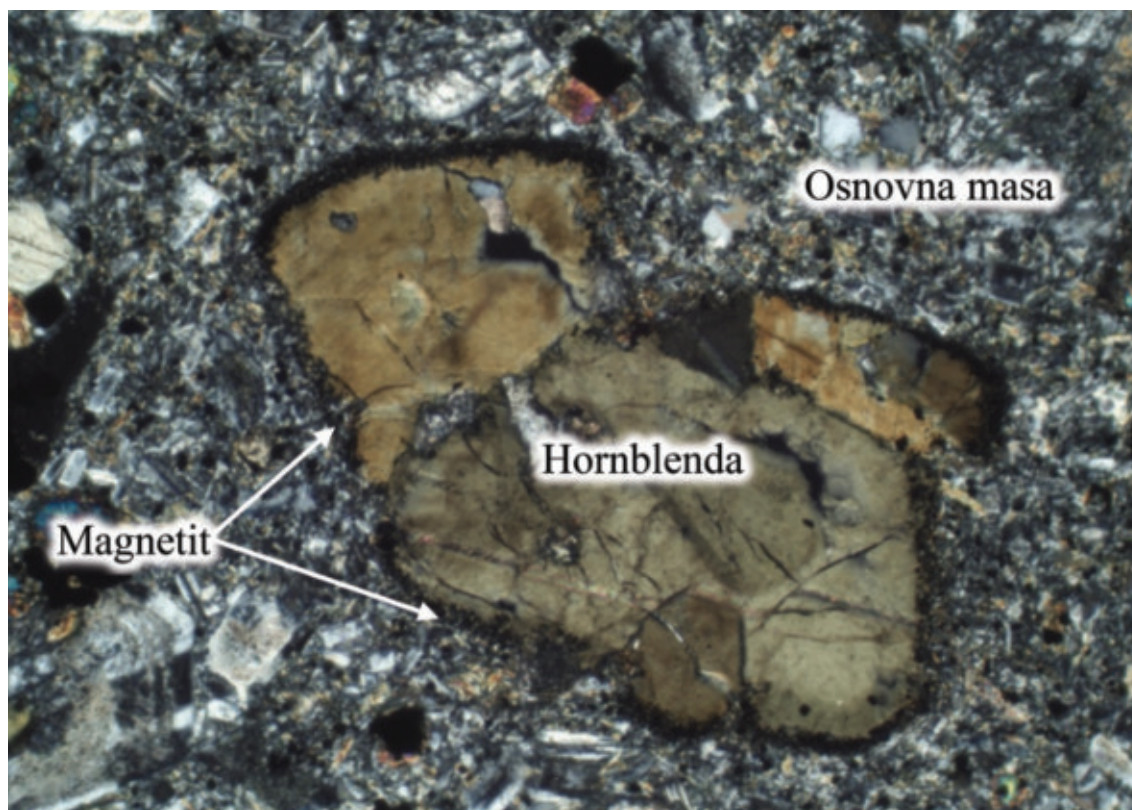
Slika 281. Mikroliti Pl (sive pritke) u osnovnoj masi vulkanske stene; N+, 40x; latit, Zlot

ni Zemlje. **Porfirska struktura sa afanatičnom (kriptokristalastom) osnovnom masom** sastoji se od fenokristala koji leže u sitnozrnoj osnovnoj masi, mozaiku sitnih kristala koji su premali da bi bili „prepoznatljivi” golim okom ili mikroskopom, ali su „vidljivi” elektronskim mikroskopom, i mogu se identifikovati rendgenskom analizom. Neki rioliti, andeziti i bazalti imaju afaničnu osnovnu masu, ali se ona ne dodaje kao prefiks – afanatični riolit, afanatični bazalt, već se jednostavno koristi naziv riolit ili bazalt. Pomenimo još neke strukture vulkanskih stena.

V.3.2.4 REAKCIONE STRUKTURE

OPACITSKA STRUKTURA

Opacitska struktura nastaje brzim uzdizanjem magme ka površini ili izlivanjem lave, kada se usled naglog pada pritiska oslobađaju fluidi. Minerali koji sadrže vodu (kao što su hornblenda, biotit itd.) koji su već iskristalisali ili kristališu gubitkom vode postaju nestabilni i „dehidriraju i oksidiraju”, obično po obodu zrna, stvarajući „oreole” od minerala bez vode, sitnozrnog, praškastog magnetita i piroksena, ponekad i feldspata (slika 282). Delimičan ili potpun gubitak (odlazak) vode iz minerala u vulkanitima se uglavnom dešava u gornjem delu sliva. Zame-na može biti delimična, a sa vremenom i potpuna, kada se javlja i pseudomorfo-

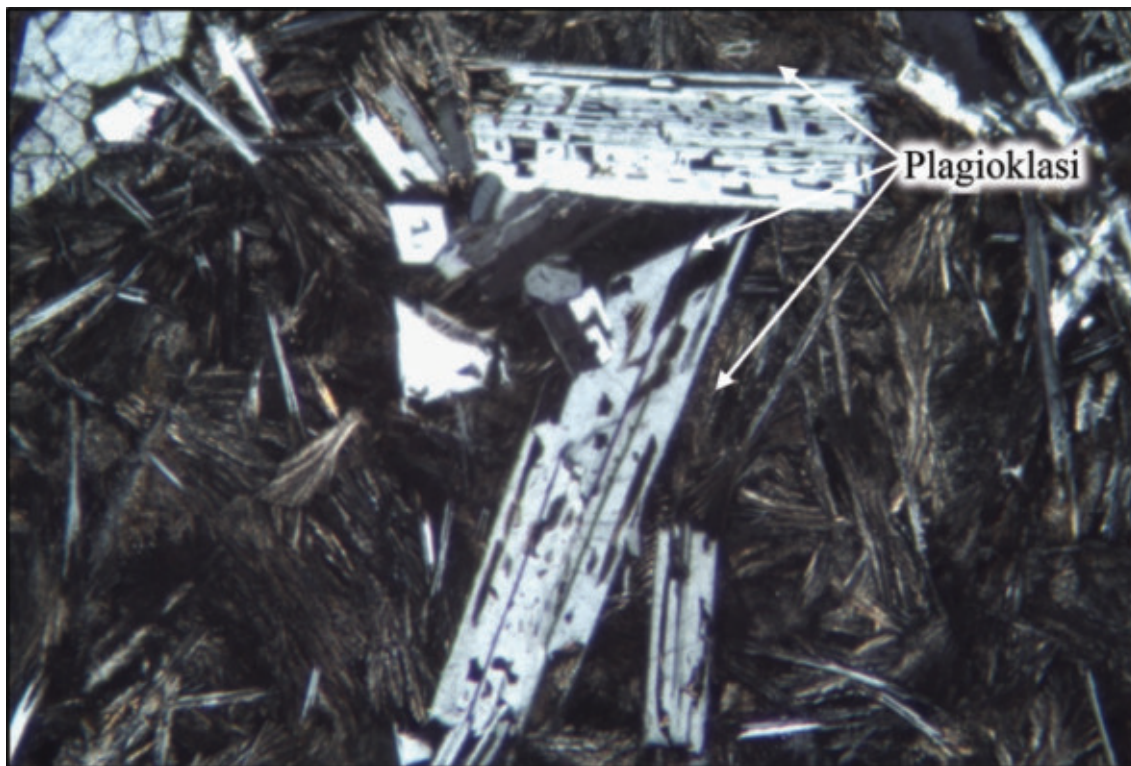


Slika 282. Opacitska struktura; rub magnetita (crno) oko fenokristala hornblende; N+, 60x, andezit, Bor

za, uglavnom sa sitnozrnim, praškastim magnetitom. Kada su uslovi kristalizacije „sporiji”, reakcioni rubovi su veći, širi, intenzivniji. Pomenimo i ksenokristale kvarca koji su uklopljeni u bazaltnu magmu i koji reaguju sa rastopom nezasićenim silicijumom (SiO_2), stvarajući rub od sitnih zrna klinopiroksena. Ova struktura se sreće i oko ksenolita, tj. fragmenata zarobljenih okolnih stena u magmi. Pomenimo i reakcione strukture gabra. U lagano hlađenim magmama bazičnog sastava, reakcija se može desiti između susednih minerala čak i nakon potpune kristalizacije. Stvaraju se oreoli, korone oko „prvo” iskristalisalih minerala na granici, kontaktu sa drugim mineralom.

SITASTA STRUKTURA

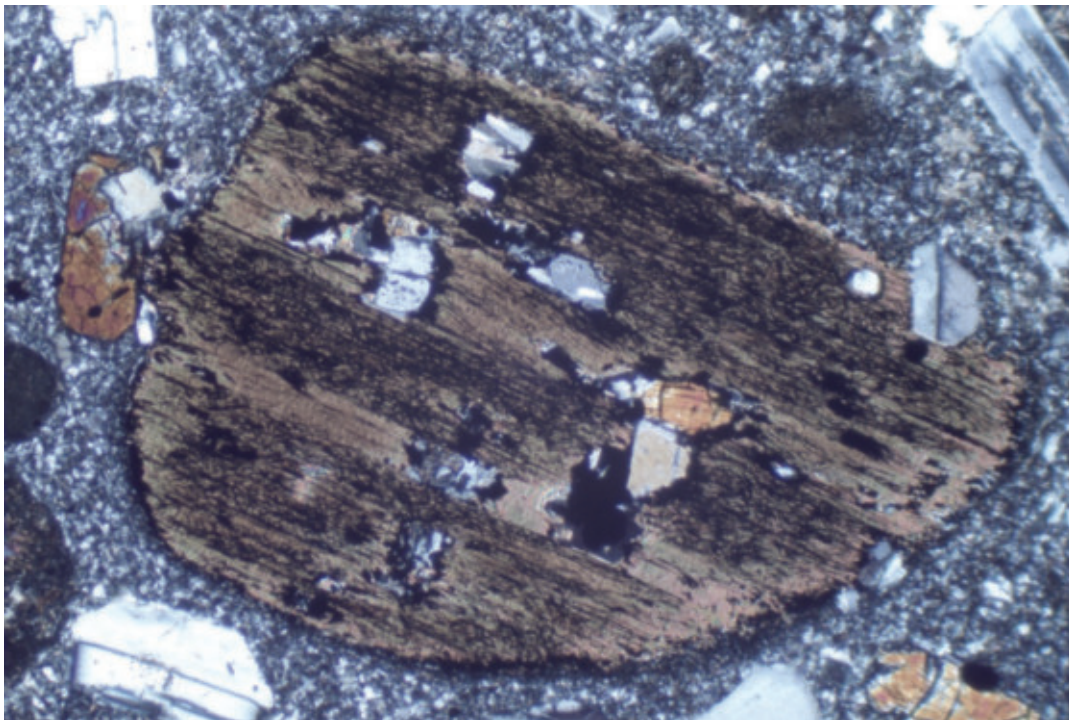
Uglavnom se javlja u vulkanskim ili subvulkanskim stenama. Sitasta struktura (*sieve* struktura) odnosi se na kristale plagioklasa sa brojnim inkluzijama stakla koje daju izgled „sita”, po čemu je i dobila ime (slika 283). **Resorpcija** je izraz koji se uglavnom odnosi na proces vraćanja minerala u rastop iz kojeg su formirani.



Slika 283. Sitasta struktura; uklopci stakla (crne „fleke”) u plagioklasu; N+, 80x, bazalti Pacifik

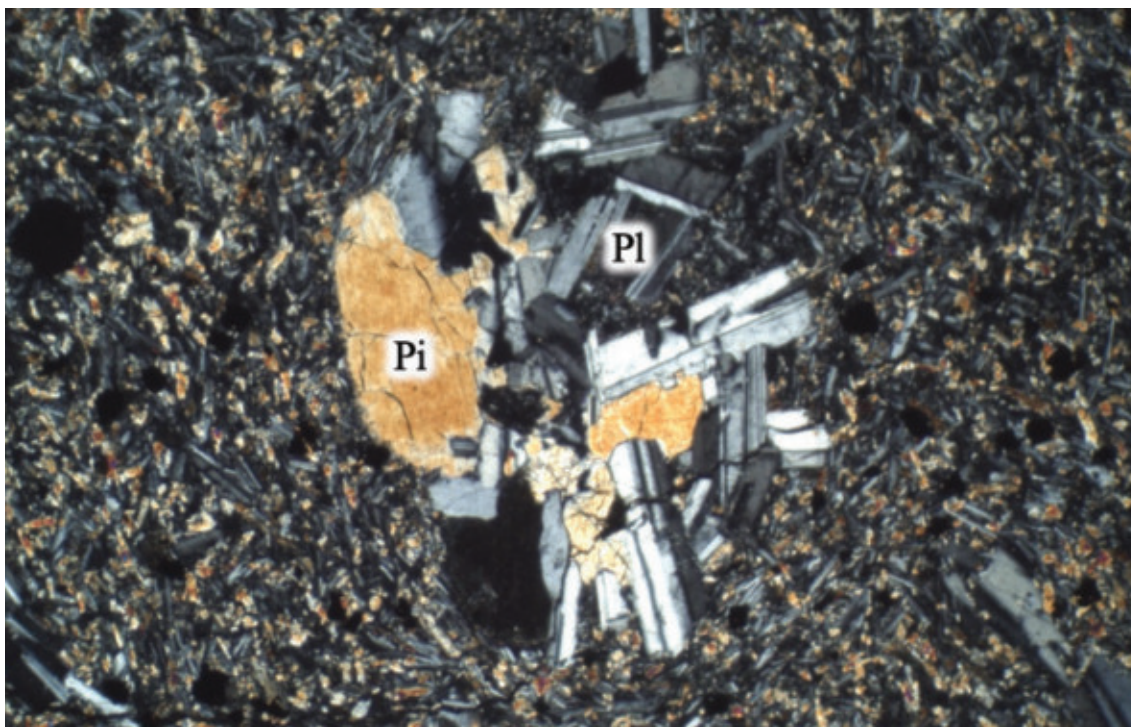
POJKILITSKA TEKSTURA

Pojkilitska tekstura (opisana kod zrnaste strukture) odnosi se na strukturu u kojoj su sitniji kristali uklopljeni u veće kristale (slika 284), a izraz subpoikilitska se koristi kada je uklapanje delimično.



Slika 284. Pojkilitska struktura; uklopljena Ho i Pl u Bi, N+, 30x, Bor

OIKOKRIST je posebno veliki tip kristala koji raste kasno iz magme i „zatvara” (uklapa) veliki broj kristala. Kada se fenokristali javljaju u grupama, klasterima, naziva se **glomeroporfirna struktura** (slika 285).



Slika 285. Glomeroporfirna struktura; nagomilanja fenokristala plagoklasa ((Pl) i piroksena (Pi) u bazaltu; N+, 60x; Pacifik

V.3.2.5 STAKLASTE STRUKTURE

Vulkansko staklo, opsidijan, sadrži preko 90% stakla (biće detaljno prikazano u posebnom poglavlju, Vulkanska stakla). To je amorfna, očvršnula lava koja ponekad sadrži veoma malo mikrokristala, zbog čega pojedini autori daju naziv **oligofirska struktura**.

Vulkansko staklo kiselog, rioritskog sastava je obično tamne do crne boje (slika 286). U suštini, to je visoko viskozna tečnost, izgrađena od polimerizovanog silikatnog rastopa koji se veoma brzo hladio, zbog čega nije došlo do kristalizacije minerala. U prirodi, međutim, malo je stakla koje nema kristale (bez kristala). Nakon nekog vremena, vulkansko staklo obično rekristališe, devitrifikuje. Iako je bazaltni rastop mnogo manje viskozan od granitskog i on se „stvrđnjava” pri naglom i brzom hlađenju, posebno na obodnim delovima pillow lava koji se izlivaju na okeanskom dnu ili u tankim izlivima na površini. U petrografskom preparatu, bazaltno staklo je uglavnom izotropno, od narandžaste do smeđe boje, sa koncentričnim nagomilanjima (slika 287). Komadi bazaltne lave izbačeni iz havajskih vulkana takođe sadrže staklo.

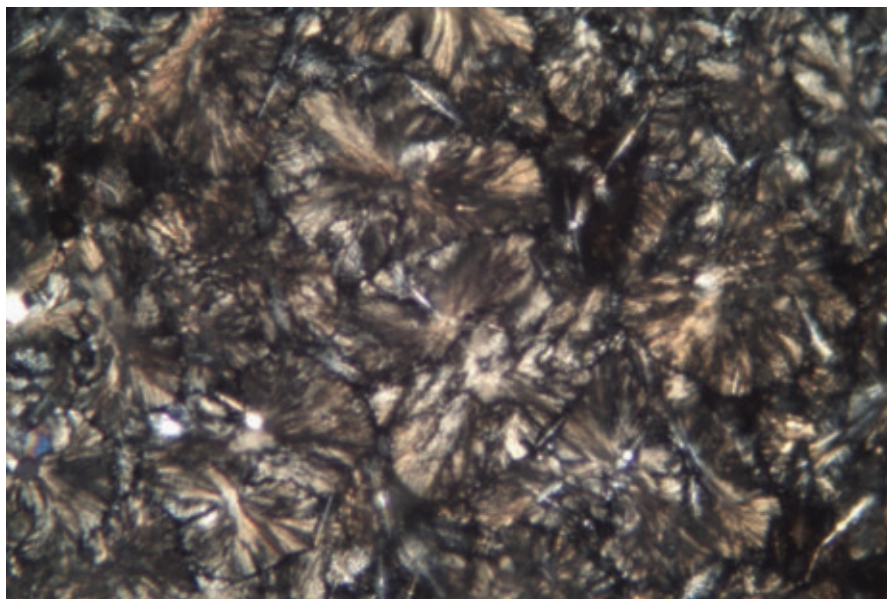
Tanki (male debljine) dijapiri i margine debljih dijapira širokog opsega sastava takođe ponekad sadrže stakla. Sva stakla su metastabilna, devitrifikuju (rekristališu), primaju vodu (hidrataciju), ali su „podložna” i drugim vrstama alteracije. Pomenimo da su hidratacija i devitrifikacija kinetički procesi koji zavise od difuzije molekula vode, kao i od nukleacije i rasta kristala u staklu. Devitrifikacija i alteracija (hidratacija) stakla su obično istovremeni procesi. U bazaltnom staklu nastaje **palagonit**, složena mešavina minerala glina, zeolita i hidratisanog feri oksida (limonita). Smatra se da je hidratacija „brža” od devitrifikacije u kiselijim staklima. Neka masivna stakla koja imaju 6–16 mas. % vode nazivaju se **pitchstone**.

Izotopski sastav vode ukazuje na to da je, po poreklu, meteorska, ne magmatska. S druge strane, opsidijan obično ima oko 1 tež.% H_2O „magnatske” vode, koja je bila u rastopu pre očvršćavanja. Ona je deo „atomske” strukture stakla.

Pomenimo da staklo u silicijumom bogatim lavama nije nužno uzrokovano vrlo brzim hlađenjem, jer su neki izlivi opsidijana previše debeli da bi se



Slika 286. Vulkansko staklo, liparit, uzorak 10 cm



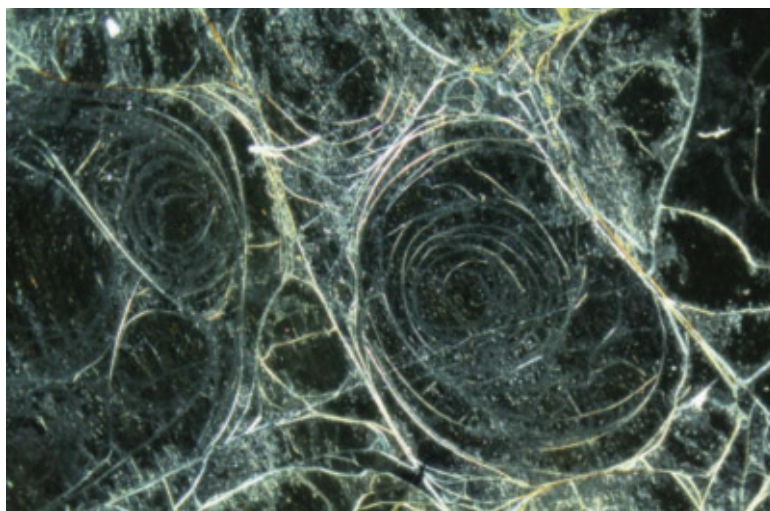
Slika 287. Bazaltno staklo, N+, 100x; bazalt Pacifik

unutrašnjost tako brzo ohladila. Kretanje i/ili karakteristično spora difuzija i nukleacija visoko polimerizovanih i viskoznih silicijumskih tokova mogu ometati kristalizaciju i proizvesti veliku količinu stakla.

PERLITSKA STRUKTURA

Perlitska struktura (slika 288) nastaje hidratacijom opsidijana na površinama loma koje su izložene vlazi u atmosferi ili meteorskoj (podzemnoj) vodi. Kada spoljašnji deo hidrira, on se širi i razdvaja duž pukotina iz nehidratiziranog dela. Unutrašnje ponavljanje ovog procesa stvara niz koncentričnih perlitskih pukotina koje reflektuju svetlost, stvarajući karakterističnu biserno-sivu boju.

Perlit je hidratizano silikatno staklo koje se javlja u subaerskim sredinama. Ima više vode od opsidijana. Sive je boje, može biti zeleno, crveno ili smeđe. Po-

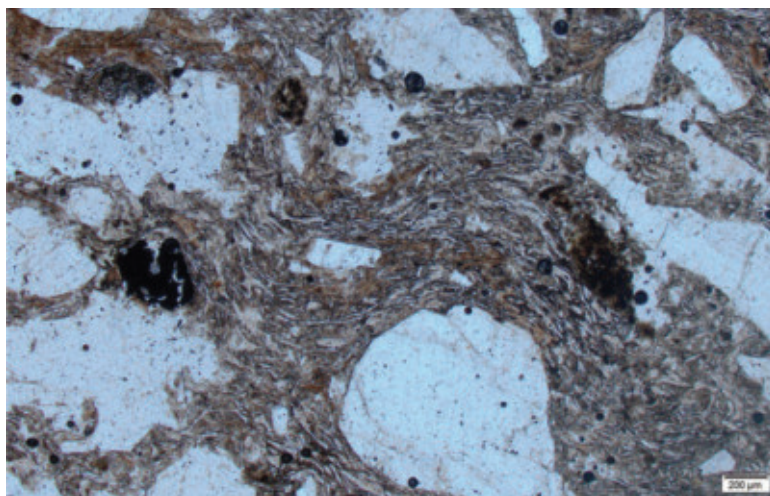


Slika 288. Perlitska struktura; N+ (autor Alex Strekeisen)

kazuje perlitsku strukturu koju karakterišu zamućen izgled i zakrivljene ili subsferične pukotine hlađenja koje se nazivaju perlitske pukotine.

EUTAKSITNA STRUKTURA

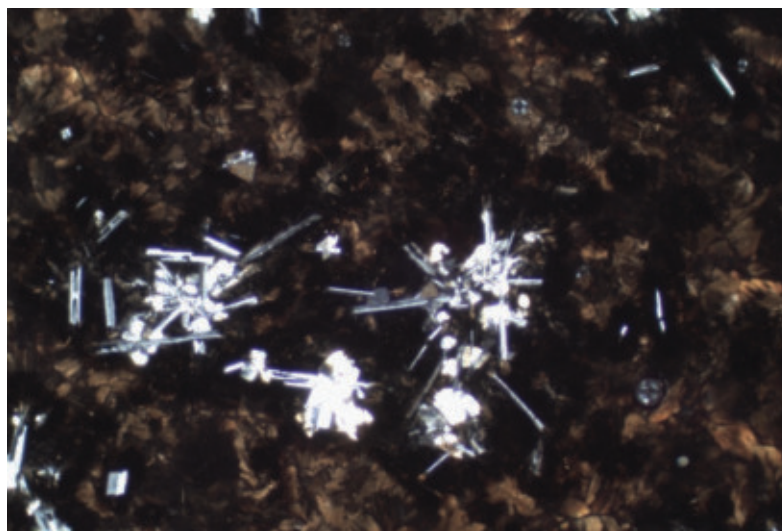
Eutaksitna (engl. *eutaxitic*) struktura je definisana slojevima, trakama u vulkanskim eksplozivnim stenama (slika 289). Smatra se da nastaje sabijanjem odlomaka (krhotina) stakla oko nedeformisanih fenokristala minerala (česta je u ignimbritima).



Slika 289. Eutaksitna struktura, N|| (autor Alex Strekeisen)

KVENČ STRUKTURA

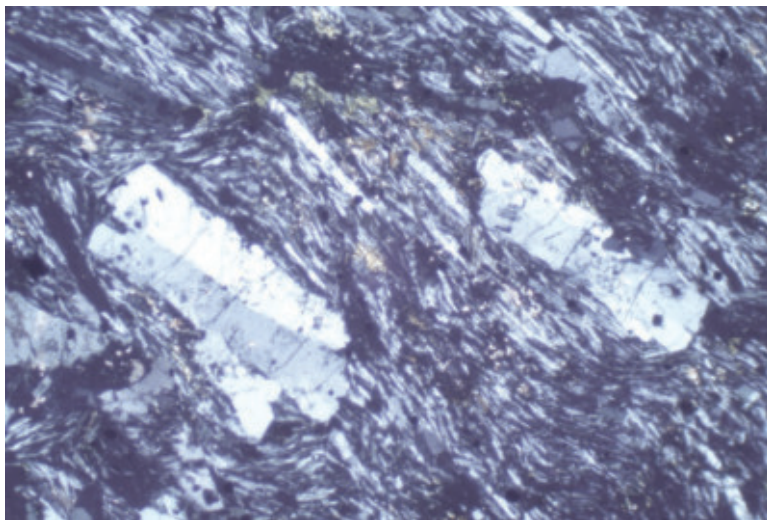
Kvenč (engl. *quench*) struktura (pojedini autori nazivaju je i afanitična struktura) javlja se kod vrlo sitnozrnih (staklastih) vulkanskih stena (slika 290) nastalih brzim hlađenjem. Izgrađena je od sitnih fenokristala plagioklasa, piroksena itd. koji leže u staklastoj osnovnoj masi. Uglavnom je vezana za vulkanska stakla bazaltnog sastava.



Slika 290. Kvenč struktura u bazaltu, N+, 60x; bazalt Pacifik

STRUKTURA TEČENJA

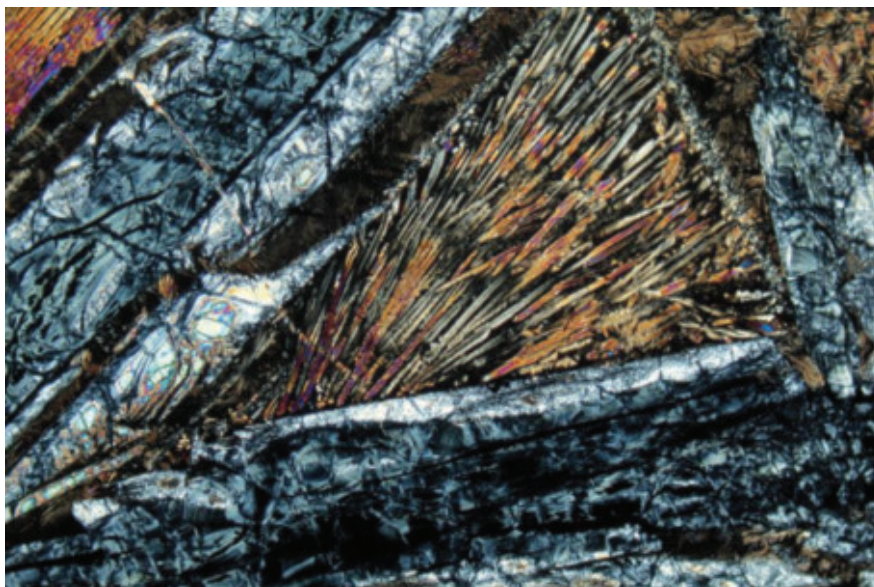
Struktura tečenja (trahitska struktura), koju smo već spomenuli, nastaje tokom „strujanja”, kretanja lave, kada pojedini pritkasti minerali (feldspati) imaju izraženu orijentaciju (slika 291). Sreće se kod trahita, gde orijentisani sanidini „plivaju” u osnovnoj masi pa se u literaturi sreće i naziv trahitska struktura.



Slika 291. Struktura tečenja, N+, 60x; latit Zlot

SPINIFEK STRUKTURA

Spinifek struktura je karakteristična za ultrabazične lave arhajske starosti. U njima se javljaju veliki (nekoliko cm), diskontinuirani, skeletni kristali olivina koji su ubrzano rasli prema unutrašnjosti toka lave (slika 292). Termin *spinifek* potiče iz naziva trave koja „živi” u južnoj Africi.



Slika 292. Spinifek struktura; N+; skeletni kristali olivina (serpentinisani) u osnovnoj masi skeletnih piroksena; Aleko komatit, Kanada (autor Alex Strekeisen)

V.3.3 TEKSTURE MAGMATSKIH STENA

Tekstura stene je prostorni raspored minerala unutar magmatske mase i nije posledica procesa kristalizacije minerala, već hlađenja i geoloških procesa koji su omogućili njihov smeštaj.

Teksture magmatskih stena se dele prema rasporedu, položaju minerala i ispunjenosti prostora.

MASIVNA STRUKTURA

Masivna ili homogena tekstura je tekstura kod koje su minerali ravnomerno raspoređeni u svim pravcima u masi stene (slika 293).



Slika 293. Masivna tekstura, granodiorit Boranja

PLANPARALELNA TEKSTURA

Planparalelna tekstura nastaje termo strujanjem u magmi ili usled uticaja slabih usmerenih pritisaka pri očvršćavanju magme. Prizmatični i pritkasti minerali u steni su orijentisani ili grupisani, gradeći trake i nizove širine nekoliko centimetara, retko i više (slika 294).



Slika 294. Planparalelna tekstura u granodioritu Jošanice (Kopaonik)

ŠKRILJAVA TEKSTURA

Škriljava tekstura nastaje dejstvom spoljašnjih usmerenih pritisaka pri kristalizaciji ili na već iskristalisalu stenu, kada se prizmatični i igličasti minerali paralelno orijentišu u ravni upravnoj na smer pritisaka.

BREČASTA TEKSTURA

Brečasta tekstura je tekstura kod koje su odlomci okolnih stena „zaliveni” magmom ili masom lave. Nastaje tokom intruzije ili izlivanja kada magma ili lava, na svom perifernom delu, zahvata komade stena (slika 295).



Slika 295. Lavo breča, Šumnik

ŠLIRASTA TEKSTURA

Šlirasta tekstura je tekstura u kojoj su nagomilane šlire bojenih minerala u masi stene (slika 296). Ovakve teksture su veličine od nekoliko centimetara do (retko) nekoliko desetina centimetara. Uglavnom nastaju akumulacijom prvo kristalizacionih minerala, hornblende, biotita itd., koji su gravitacionom i frakcionom kristalizacijom i termodifuzijom stvorili tamnija nagomilanja gnezda ili izdužena sočiva bez oštrih granica prema okolnoj masi stene u kojoj se nalaze. Šlirasta tekstura nastaje i asimilacijom, tj. „svarivanjem” manjih komada okolnih stena (anklava) koji su zahvaćeni tokom intrudovanja magme u stene ili termo strujanjima ili promenom sastava magme tokom njene kristalizacije.



Slika 296. Šlirasta tekstura; granodiorit Jošanice (Kopaonik)

TEKSTURA TEČENJA

Tekstura tečenja je tekstura u kojoj su kristali feldspata, pre svega plagioklasa, ali i drugih minerala, orijentisani paralelno toku kretanja lave (slika 297). Česta je kod trahita, ali se sreće i u drugim vulkanskim stenama, slivovima. Pojedini autori je nazivaju i **trahitska** struktura, koju smo opisali.



Slika 297. Tekstura tečenja; latit Fruška Gora

OCELARNA TEKSTURA

Ocelarna (engl. *ocelar*) tekstura javlja se u lamprofirima. Sastoji se od koncentrično vezanih sfera u kojima se nalaze naizmenične trake minerala svetle i tamne boje. Za razliku od sferulita, nastaje mešanjem magmi ili nemešljivošću rastopa ili kasnijim stapanjem rastopa u gasne šupljine.

VEZIKULARNA TEKSTURA

Vezikularna tekstura sadrži okruglaste, sferne do elipsoidne prazne prostore – šupljine, koje nazivamo vezikule, a kada su veće (iznad 5 mm) mehuri, kada stena ima **mehurastu** (šupljikavu, šljakastu) **teksturu**. (slika 298). Nastaju izdizanjem magme u niže nivoe, kada se u lavi, usled manje rastvorljivosti, izdvajaju fluidi (gasovi) na nižim pritiscima tokom njenog hlađenja.

Gasovi mogu biti lako isparljiva komponenta koja je primarno bila u magmi ili zahvaćena morska voda u toku submarinskih erupcija.



Slika 298. Mehurasta tekstura u bazaltima, Libija

Model razvoja vezikuliranih tekstura prikazan je na slici 220 u poglavlju Stvaranje vezikula i mandola.

Na dubini koja se naziva „nivo” rastvaranja, fluidi „napuštaju” magmu i odlaze kao nezavisna faza. Lava se brzo hladi, stvaraju se mali mehuri u procesu koji se naziva vezikulacija.

Sa izlaskom magme (lave) na površinu, rastvorljivost fluida (gasova) se smanjuje, a broj i veličina mehurića gasa povećavaju, smanjujući gustinu magme. Zbog ovog procesa dolazi do naglog povećanja volumena magme (lave) i ona se raspršava. Kada se izlije na površinu sa 70–80% fluida (gasova), ona prelazi u „burnu” mešavinu stvarajući eksplozivnu erupciju. Ako mehuri ostanu „zarobljeni” u lavi, stvara se vezikularna tekstura.

Zbog male viskoznosti lave, mehuri imaju tendenciju da rastu, da se spajaju, koncentrišu, posebno blizu površine toka. U nekim izlivima postoji gradacija sadržaja, od podine bez šupljina do gornjeg dela sliva, kada je stena bogata šupljinama. Vezikule u bazaltnim lavama su obično veće, krupnije (čak i do 10 cm) nego u kiselim lavama, ne zbog većeg prisustva fluida, već zbog manje viskoznosti, koja omogućava brže oslobađanje i međusobno spajanje.

VEZIKULARNE (šupljikave, **šljakaste**) stene mogu da sadrže i više od 30% zapremine stene. Kada ih ima više, stena ima malu specifičnu težinu i može plivati po vodi. Visoko, vezikularno (šupljikavo) kiselo (bogato silicijumom) vulkansko staklo naziva se **plovućac** (slika 299).

Detaljnije informacije o ovoj teksturi mogu se pronaći u odeljku o piroklastičnim stenama.



Slika 299. Naslage plovućca, Lipari, Italija

MANDOLASTA TEKSTURA

Mandolasta tekstura nastaje kada se mehuri, šipkice i vezikule popune kasnijim procesima stvaranja sekundarnih minerala (zeolita, kalcita, hlorita, opala, epitota itd.), pri čemu se stvaraju amigdale (vezikule) veličine od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara, a ponekad i veće (slika 300).

U pojedinim udžbenicima ova stena naziva se i **amigdaloidna** tekstura. Stene koje sadrže između 5% i 30% vezikula mogu se imenovati kao modifikatori, na primer: vezikularni bazalt, vezikularni andezit itd.

Pomenimo i **variolitsku teksturu**, koju pojedini autori povezuju sa bazičnim vulkanskim stenama (bazaltima) koji sadrže sferične ili globularne šupljine veličine nekoliko centimetara zapunjene tzv. variolama, koje se nalaze u fino-zrnim osnovnim masama. Stena obično ima pegav izgled. Naziv je dobila od latinske reči variola, što znači „male boginje”.

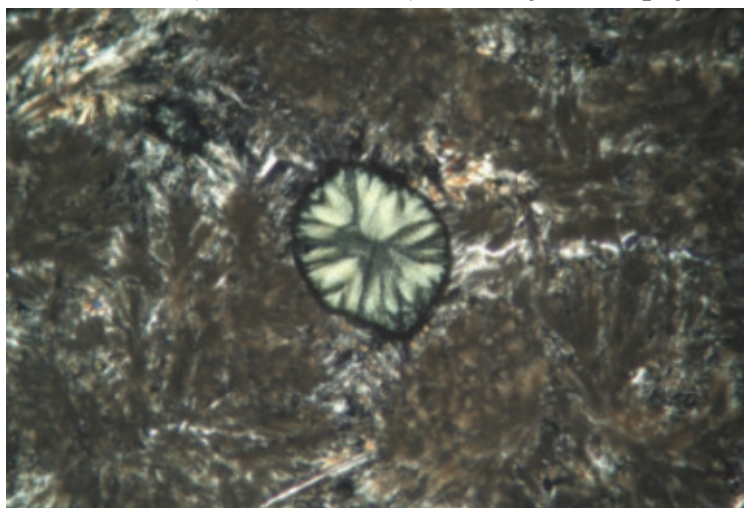


Slika 300. Mandolasta tekstura, bazalti Libija

U geološkoj literaturi, upotreba termina *variola* je nedosledna i zbunjujuća. U početku su ove stene definisane kao sferne mase koje mogu, ali i ne moraju biti sferuliti, primećene na površinama nekih bazalta i dijabaza koji su pod uticajem atmosferilija. U nekim udžbenicima se definišu kao vrsta sferulita u bazičnoj lavi sa zrakastim mineralima itd. Preporučuje se korišćenje izraza *variolitska* kako je prvobitno definisan.

SFERULITSKA TEKSTURA

Sferulitska tekstura uglavnom se javlja u silikatnim vulkanitima. To su okrugla do gnezdasta nakupljanja u kojima zrna kvarca, feldspata, zeolita, hlorita itd., rastu radijalno iz zajedničkog centra (slika 301). Ova i variolitska struktura radijalnih agregata plagioklasa u nekim bazaltima verovatno su rezultat nukleacije kasnijih minerala. Smatra se da nastaju i usled devitrifikacije stakla. Nukleacija minerala na zidovima žica (ili čak vezikula) takođe je česta pojava.



Slika 301. Sferulitska tekstura sa radijalnim hloritom u bazaltu, Pacifik; mikrosnimak, N+, 80x

Rast izduženih kristala (uglavnom kvarca), sa c osama normalnim na zidove žica, rezultira strukturom koja se naziva „struktura češlja”.

VUGGY TEKSTURA

Vuggy tekstura javlja se u jako silicijumskim magmama koje su „napustile” fluide. Kada se između kristala stvaraju šupljine, po njihovim zidovima kristališe uglavnom kvarc koji „raste” ka centru šupljine. Vag (engl. *vug*) jeste mala do srednje velika šupljina unutar stene. Pojedini autori smatraju da nastaje usled tektonskih procesa ili rastvaranja postojećih minerala u steni usled erozije, ostavljajući za sobom nepravilne praznine, koje se često popunjavaju sitnijom kristalnom drušinom. Termin *vag* se ne primenjuje na potpuno popunjene žice. Pomenimo i izraz **geode**, koji je obično rezervisan za veće šupljine obložene kristalima u sedimentnim, ali i u magmatskim stenama.

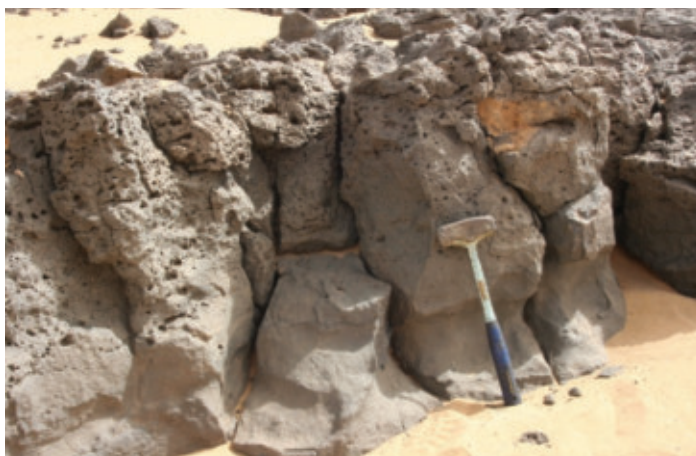
Takođe postoje i **mijarolitske** (engl. *miarolitic*) **šupljine** u faneritskim (krupnozrnim) stenama, posebno u granitoidima, koje su široko razmaknute. Po njihovom obodu često se sreću i krupna idiomorfna zrna sekundarnih minerala.

LITOFIZALNA TEKSTURA

Litofizalna (engl. *lithophysal*) tekstura javlja se u riolitским lavama i pojedinim tufovima istog sastava. To su šupljine prečnika oko nekoliko centimetara, izgrađene od sferulitskih (okruglastih) nagomilanja minerala. Smatra se da nastaju usled širenja fluida u plićim nivoima (zbog gubitka pritiska), kada se stvaraju pukotine i šupljine koje se zapunjavaju sekundarnim, zrakastim mineralima.

ANIZOTROPNE TEKSTURE

Anizotropne tekture javljaju se samo u delovima masiva, izliva pa čak i u dajku ili žici, zbog čega se u pojedinim udžbenicima nazivaju anizotropne tekture. Ova nehomogenost, odnosno heterogenost, zavisi i od područja posmatranja. Na primer, afanatični holokristalasti bazalt izgleda homogen u uzorku stene, ali u mikroskopu često izgleda drugačije zbog različitog sadržaja pritki plagioklasa, zrna piroksena itd., zbog čega je u ovoj razmeri posmatranja heterogen. Pomenimo da bazalti mogu biti vezikularni (šupljikavi) u gornjem delu sliva, ali u donjem su homogeni, pa se zaključuje da je u ovom području, u ovoj razmeri posmatranja, takođe heterogen (slika 302).



Slika 302. Anizotropna struktura; donji deo izliva bazalta je homogen, gornji šupljikav; Libija

Pojedine anizotropne teksture nastaju i usled specifičnih geoloških procesa. Evo detalja.

ORIJENTACIJA TOKA I USLOJAVANJE

Orijentaciju toka i uslojavanje (engl. *layering*) – „slojevitost” smo prikazali u poglavlju Magma. Ovde, u okviru anizotropnih tekstura, o njima ćemo ukratko. Brzina protoka je najsporija duž ivice intruzije, dajka, sila, vulkanskog toka lave, ali se može povećati prema središnjem delu, stvarajući gradijent brzine protoka, što uzrokuje i stvaranje anizotropne strukture i teksture. „Kruti” kristali, mehuri fluida mogu biti „markeri” kretanja u magmi ili lavi. Pritkasti minerali (plagioklasi, amfiboli, pirokseni itd.) kretanjem magme se „usmeravaju”, postaju paralelni slično rečnim klastičnim sedimentima, stvarajući linearni i folijativni sklop (slika 303). Kisele, viskozne lave obično imaju slojevito strujanje koje uzrokuje stvaranje orijentisanih pritkih minerala (fenokristala) pojedinih minerala (ponekad i vezikula), koji su usmereni u pravcu kretanja toka lave. Nastaje fluidalna tekstura. Terenska proučavanja (kartiranje) anizotropnih „markera” protoka u magmatskim telima daju važne informacije o kretanju i viskozitetu magme, odnosno lave. Treba biti obazriv jer postoji više načina (razloga) za nastanak orijentisanih minerala koji se mogu vezati i za metamorfne procese ili kasnije faze soldifikacije. Tako, na primer, skoro iskristalisala magma na margini plutona može se „istisnuti” dodatnom magmom ili „sama” krenuti ka središnjem delu magmatske komore itd.

Ako veće čestice potonu brže od manjih čestica u rastopu pod uticajem gravitacije, onda se „očekuje” da će gušće čestice potonuti brže od manje gustih čestica. Trebalo bi da zrna hromita potonu brže nego manje gusti olivini iste veličine. Mnogi petrolozi interpretiraju slojevitost u magmatskim stenama u smislu takvog gravitacionog sortiranja.



Slika 303. Slojevitost u gabru, Povlen

Mogući mehanizmi uključuju protok magme, taloženje kristala u rastopu, nisku viskoznost i kristalizaciju koja se kontroliše različitom „lakoćom” nukleacije različitih minerala itd.

Za slojevite gabro intruzije, gravitaciono sortiranje i „taloženje” kristala različitih gustina smatra se da je „u vezi” s konvekcijom kretanjem rastopa u magmatskoj komori. Bilo je i mišljenja da svaki „sloj” potiče od „upada” nove magme, ali takve mogućnosti danas se smatraju malo verovatnim.

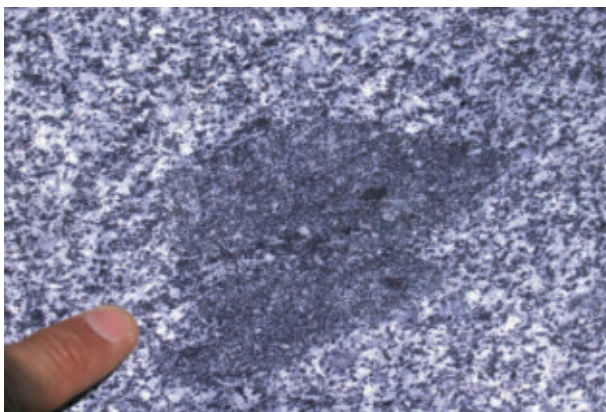
U literaturi se sreće i izraz **magmatski tok**, koji se definiše kao kretanje, protok, premeštanje rastopa s čestom rotacijom kristala, ali bez deformacije minerala (*Paterson i dr., 1989*). Submagmaški tok je „kretanje” na maloj dubini i može uzrokovati plastične deformacije, posebno u odmakloj fazi kristalizacije (više od 50%).

Najbolji kriterijum, način za prepoznavanje magmatskog toka su idiomorfni, posebno tabličasti, listasti, pritkasti ili igličasti oblici kristala minerala koji nisu deformisani. To su obično pritke feldspata, liske biotita, muskovita, pritke amfibola itd. Pomenimo da magmatska folijacija ne odražava uvek magmatske tokove, već i metamorfne deformacije.

Orijentacija izduženih pritki plagioklasa nazvana „popločavanje” ukazuje na to da je u vulkanskom toku bilo dovoljno rastopa između pritki da bi se one mogle rotirati, orijentisati, bez plastične deformacije. Međutim, neki autori smatraju da ova tekstura nije dovoljno pouzdana jer se može formirati i u krupnozrnoj, homogenoj osnovnoj masi bez kretanja i orijentacije minerala.

ANKLAVE

Anklave (nazivaju ih i enklave) jesu komadi stena, obično bazičnog sastava, koje se kao uklopici sreću u granitoidima. Veličine su od nekoliko milimetara do nekoliko desetina centimetara, retko i veće (slika 304). Pojedini autori smatraju da mafične anklave mogu biti bazičniji delovi iste matične intruzije ili čak delovi magme koja se utisnula u intruziv. U svakoj od pomenutih hipoteza smatra se da „magmaški uslovi” nisu pogodovali za potpunu asimilaciju mafičnog dela koji se javlja u intruzivu. Pomenimo da pojedini autori koriste termin *anklava* ako nije jasno da li je uklopak magmaški ili iz okolne stene.



Slika 304. Anklava u granodioritu Boranje

KSENOLITI

Ksenoliti su strana tela, fragmenti, odlomci okolnih stena koje je zahvatila magma ili lava. Veličine su, kao i anklave, od nekoliko milimetara do nekoliko desetina centimetara, retko i veće. U okviru proučavanja plutinskih stena, sastav ksenolita ukazuje na vrstu stena u kojima je smešten ili kod vulkanita sastav stena kroz koje je prošla lava.

Ksenoliti se najčešće nalaze blizu margina magmatskih tela ili izliva i obično su paralelni sa njima. U pojedinim slučajevima ksenoliti mogu doći i sa znatno većih dubina, kada daju važne podatke o dubokim delovima podine, podloge.

Pomenimo kimberlite, koji obično sadrže ksenolite iz omotača, uključujući i dijamante koji su stabilni na dubinama od oko 150 km, što ukazuje na to da dolaze iz gornjih delova gornjeg omotača. Pojedini autori „ne razlikuju” ksenolite od anklava, već ih zajednički smatraju stranim telima zahvaćenim magmom ili lavom. Pomenimo i **ksenokristale**, odlomke kristala koji su zahvaćeni iz okolnih stena. Postoji mišljenje da su magmatskog porekla, iz korenih delova, ili su „došli” mešanjem magmi

V.3.4 LUČENJE MAGMATSKIH STENA

Magmatska tela su u prirodi često izdeljena, raščlanjena na manje delove različitog oblika.

Lučenje su pukotine u stenama nastale hlađenjem magme ili lave. Sa padom temperature zbog kristalizacije i hlađenja, volumen magme ili lave se smanjuje, skuplja (steže), što uzrokuje kontrakciju (izdvajanje, deljenje) i stvaranje sistema pukotina koje se nazivaju lučenje. Toplotna kontrakcija (skupljanje) stvara naprezanja na istezanje koja prevazilaze „krhku” snagu krutog magmatskog tela, zbog čega se ono „izdeljuje” na stubove, ploče i banke. Stvaraju se ekstenzione pukotine sa centrima na više ili manje jednako udaljenim tačkama na podini ili površini pločastog magmatskog tela. Na svakoj od tačaka su orijentisane planarne pukotine koje su suštinski izotermalne površine. U prostoru, pukotine čine skupove sa dva do tri pravca pružanja, sa poligonalnim poprečnim presecima sa četiri, pet ili šest površina, a dominantni su petostrani i šestostrani.

Pukotine se na površini retko razvijaju, jer se tenzija u vertikalnoj dimenziji prilagođava smanjenjem debljine protoka.

Vrsta lučenja, tj. izdvojeni oblici (blokovi) zavise od centara hlađenja i položaja kontrakcije, odnosno prostornog položaja magme i okolnih stena. Ako su centri hlađenja nepravilno raspoređeni, stvaraju se nepravilno izdvojeni blokovi do kuglasta tela.

U pravilno raspoređenim centrima hlađenja (obično su u nizu), stvaraju se stubičasta ili pločasta tela debljine od nekoliko centimetara do nekoliko desetina metara. Sličan fenomen se često uočava u sušenju blata (pukotine sušenja), kada se njegov volumen smanjuje zbog isparavanja vode.

Tokovi lave obično pokazuju različite vrste lučenja. Od podine ka površini obično razlikujemo lučenje kada se stvaraju stubovi upravni na površinu hlađenja i variraju od jednog do nekoliko metara sa prečnikom manjim od jednog metra. U poprečnom preseku izlučena lava je obično heksagonalna i omeđena sa 4–8 ravni lučenja.

Vratimo se „pravom” lučenju.

STUBASTO LUČENJE

Stubasto lučenje je često kod vulkanskih stena (slika 305). Obično se javlja upravno na površine konstantne temperature koje su uglavnom paralelne sa površinama toka (tj. horizontalne). Često je kod slivova bazičnih stena, pri čemu stubovi stoje upravno na površinu sliva, tj. površinu hlađenja. Obično imaju heksagonalni oblik, retko petostran, četvorostran ili nepravilan oblik.



Slika 305. Stubasto lučenje; crvenim strelicama označeni su pravci kontrakcije (skupljanja usled hlađenja) lave na nekim stubovima

Stubovi na terenu izgledaju impresivno (slika 306). Važni su, da podsetimo, jer nastaju vertikalno na izotermalne „hladne” površine, na osnovu kojih se može zaključiti o položaju tela, sliva u nizu, seriji vulkanskih izliva itd.



Slika 306. Stubasto lučenje, andeziti, Šumnik

PLOČASTO ILI BANKOVITO LUČENJE

Pločasto ili bankovito (zavisno od debljine ploča) lučenje (slika 307) nastaje kada se izdvajaju ploče, debljine do desetak centimetara, ili banke, debljine do par metara. Položaj ploča ili banaka zavisi od sistema pukotina lučenja i obično je paralelan sa granicom kontakta masiva i okolnih stena.

U masivnim, dubinskim stenama, granitoidima, lučenjem se stvara set obično horizontalnih i set vertikalnih pukotina ili pukotina pod uglom, kada se izdvajaju manja tela koja prema obliku definišu nekoliko vrsta lučenja.



Slika 307. Pločasto lučenje, granodiorit Boranje

PARALELOPIPEDSKO ILI PRIZMATIČNO LUČENJE

Paralelopipedsko ili prizmatično lučenje nastaje usled sistema pukotina hlađenja koje su međusobno upravne. Stvaraju se prizmatična tela različitih dimenzija.

NEPRAVILNO ILI POLIEDARSKO LUČENJE

Nepravilno ili poliedarsko lučenje se javlja kada se sistemi pukotina hlađenja ukrštaju ili stoje pod kosim uglom. Ovako lučene stene se dejstvom egzogenih sila (sunce, voda, sneg, vetar) raspadaju se u uglaste odlomke različitih dimenzija. Nepravilno lučenje je „teže” objasniti, uglavnom na osnovu „poremećenih” rashladnih površina, deformacija tokom hlađenja itd.

KUGLASTO LUČENJE

Kuglasto lučenje je relativno često. Pojedini autori ga svrstavaju i u **kuglastu teksturu**. Karakteristično je za izlivne stene i plíce, periferne delove intruzija. Izdvojeni komadi imaju oblike koncentrično građenih kugli. Ovo lučenje je teško primetiti kada je stena sveža.

Ako je stena duže vremena izložena uticaju atmosfere, kuglasto lučenje je jasnije, sa karakterističnim ljuspastim raspadanjem (slika 308).



Slika 308. Kuglasto lučenje, bazalti, Libija

PILLOW LAVE

Slične kuglastom lučenju, po svom obliku pojavljivanja, jesu i ***pillow lave*** (slika 309). One se, međutim, jasno razlikuju od kuglastog lučenja jer su periferni delovi staklaste lave, često mehuraste građe, ili su šupljine nastale odlaskom gasova, zapunjene sekundarnim mineralima. *Pillow lave* su koncentrične građe i u njima se često uočavaju i diferencijacioni procesi (detaljnije u poglavlju Bazalti).

Lučenje je važno i za hemijsku i fizičku stabilnost stena jer je to najveća „slabost“, položaj gde voda „najlakše“ ulazi. Zависи od orijentacije, položaja pukotina lučenja stena, kosine itd. Gusto lučenje će ubrzati hemijsko raspadanje, kretanje, nestabilnost, uzrokujući klizišta itd.

Lučenje stena je od velikog značaja kod eksploatacije kamena, tj. za njegovu obradu u građevinske svrhe (izradu kocki, ivičnjaka, spomenika, oblaganje itd.). Dobro lučen kamen je mnogo pogodniji za eksploataciju. Najpovoljnijim se smatraju prizmatična i paralelopipedna lučenja, a nepovoljnim kuglasta i poliedarska. Stubasto lučenje može biti povoljno kada su stubovi deblji i većih dimenzija.

Ali, ako su pukotine lučenja kose i na nagibu terena, mogu uzrokovati i klizišta jer stvaraju površinu duž koje deo masiva može da krene i uzrokuje značajnu materijalnu štetu.



Slika 309. Pillow lave Bistrice, kod Prijepolja