

V.8 GRANITOIDI

UVOD

Granitoidi su grubozrne i/ili srednjezrne kisele magmatske plutonske (dubinske) stene sa vidljivim feldspatima, kvarcom, bojenim mineralima biotitom i/ili hornblendom (slika 535).



Slika 535. Granit, Brajkovac

Ova jednostavna definicija nije u skladu sa njihovom raznolikošću u strukturi, teksturi, mineralnom i hemijskom sastavu, nastanku itd. Pojam *granitoid* se koristi za široku lepezu sastava silicijom bogatih magmatskih stena. Granit, sensu stricto, jeste naziv za stenu definisanu odnosom sadržaja minerala kvarcplagioklas – alkalni feldspat u IUGS klasifikaciji, što je veoma široko i može biti i zbunjujuće. Zbog toga pojedini istraživači, nezavisno od pomenute klasifikacije, koriste širi naziv **granitoidi** (sensu lato), koji ćemo i mi koristiti.

Granitoidi i njihovi ekstruzivni (vulkanski) ekvivalenti (daciti, andeziti, rioliti itd.), uz sedimentne i metamorfne stene granitnog sastava (peščare, gnajseve itd.), najzastupljenije su stene gornjeg dela kontinentalne kore. To je širok spektar kiselih magmatskih stena (bogatih silicijom) sa različitim uslovima nastanka, koje nisu ograničene samo na zone subdukcije, tj. vulkanske lukove.

Granitoida ima na svim kontinentima i javljaju se (i nastaju) u svim tektonskim sredinama, zbog čega se rezultati njihovih proučavanja koriste i za rekon-

strukciju tektonskog razvoja proučavanog prostora, posebno drevnih (starih) orogenskih pojaseva. Pomenimo da sačuvane (erozijom otkrivene), krovne (povlatne) zone pojedinih granitoidnih plutona imaju i vulkansku sukcesiju sličnog do identičnog sastava (andeziti, daciti, rioliti itd.), na primer, u Andima.

Zbog svoje raznolikosti, granitoidi su predmet značajnih proučavanja, ali i kontroverzi već više od dve stotine godina. Pomenimo citat Josefa Jukesa, direktora Irskog geološkog zavoda, koji je 1863. godine, posle burne rasprave o poreklu granita, rekao: „Granit nije stena koja je jednostavna po poreklu, već se može proizvesti (nastati) na više načina.”

Tu je i „pogrešna” teorija o frakcionoj kristalizaciji – diferencijaciji bazalta Bouena (**Bowen, 1914, 1922, 1928**), koja je objasnila nastanak granitoida samo od bazičnih stena, što je u neskladu sa terenskim dokazima i obiljem granitoida koji se javljaju na našoj planeti. Bouenova šema će biti i ostati temelj petrologije magmatskih stena. Na sastav kiselih stena nastalih iz bazaltne magme utiču i stepen parcijalnog stapanja, dubina na kojoj se proces odvija, utiskivanje stvorene magme u okolne stene, asimilacija kontaminacija itd. To je aktuelno i danas.

Sa pojavom tektonike ploča, nastanak granitoida postavljen je u širi geodinamički okvir, kada su uslovi i načini nastanka, njihov hemijski sastav, kristalizacija, kretanje, smeštaj itd. postali merljivi i vidljivi.

Granitoidi su, kako smo pomenuli, najzastupljenije plutonske stene u gornjem delu kontinentalne kore. Prosečan sastav kontinentalne kore je granodioritski (**Clarke, 1992**). U nekim orogenim pojasevima, ove stene grade i do 30% njihovog volumena. Obično se javljaju u manjim telima, masama, koje grade zone dužine i nekoliko stotina kilometara.

Između 1929. i 1969. godine, uz magmatsko poreklo, znatan broj geologa je smatrao da granitoidi nastaju i metasomatskim procesima koje su definisali, opisali kao granitizaciju. Pretpostavljalo se da sedimentne ili druge negranitske stene, uz prinos pojedinih komponenti (uglavnom **K** i **Na**), mogu preći u granite bez prolaska kroz stopljeno stanje. Pomenuta hipoteza je napuštena nakon eksperimentalnih proučavanja granita, kada je utvrđeno da graniti nastaju i parcijalnim stapanjem sedimentnih ili metamorfnih stena ili diferencijacijom bazaltne ili andezitske magme.

Granitoidi su „zahtevne” stene za rad jer se ne javljaju kao definisani oblici u prostoru, već imaju složen odnos sa okolnim stenama. Većina njih nema vidljivu podinu, zbog čega se čitav niz geoloških (geomorfoloških) osobina (kontakti, položaj u odnosu na okolne stene, veličina, način smeštaja itd.) mora tačno odrediti i zabeležiti.

Usled erozije (grusifikacije) duž pukotina lučenja i raseda, granitoidi su na terenu obično zaobljeni brežuljci, sa velikim okruglim ili dugolikim formama.

Za ispitivanje granitoida koristi se i veliki broj analitičkih podataka (hemija, izotopi, eksperimenti itd.), koji su integrisani u rezultate ispitivanja radi „istine” o nastanku, sastavu i načinu smeštaja ovih stena.

Proučavanja, ne samo granitoida, pokazala su da geološke fenomene, odnos sa okolnim stenama, način pojavljivanja, teksturna i strukturna svojstva itd., tre-

ba osmatrati na regionalnom (širem) prostoru, po potrebi i uz primenu satelitskih snimaka itd. Uz dobijene analitičke podatke sastava stene, minerala, izotopa, neophodan je i detaljan terenski rad kako bi rezultati naših ispitivanja bili tačniji, verovatniji, verodostojniji. To je zahtevan i naporan posao, ali daje najbolje rezultate. Geološki fenomeni mogu biti beskonačni, složeni, pa treba napraviti izbor na osnovu najbolje odabranih profila, izdanaka, kontakata sa okolnim stenama, kako bi se dobio razuman okvir proučavanja i zaključaka. Rezultati ponekad vode i do kontroverzi, različitih mišljenja i to i jeste lepota geološkog rada.

Na prostoru Srbije, udeo granitoida u geološkoj građi naše zemlje je veliki. Različite su starosti, svojstva od paleozoika do neogena (Gorjane, Cer, Boranja, Kopaonik, Jastrebac itd.). Njihovo proučavanje je zahtevno, ali i inspirativno za rešavanje velikog broja geoloških procesa koji su omogućili njihovo stvaranje i smeštaj.

NASTANAK GRANITOIDA

Granitoidi su „uobičajene” stene sličnog izgleda i sastava, što često predstavlja iluziju „jednostavne” geneze. Dobro nam je poznata misao (rečenica) „postoje graniti i graniti”, koja govori da ove stene nastaju različitim i složenim geološkim procesima, o kojima se raspravljalo i raspravlja. Poslednjih decenija brojne studije pokušale su da utvrde izvore granitoidnih magmi na osnovu njihovog mineralnog i hemijskog sastava, sadržaja izotopa, odnosa sa okolnim stenama itd. Analizom i interpretacijom podataka stvaraju se hipoteze i modeli koji se testiraju daljim opservacijama ili eksperimentima. Pomenuto omogućava bolje razumevanje procesa i posmatranih fenomena.

Navedimo nekoliko „širokih” mišljenja (opšteprihvaćenih) o nastanku granitoida:

1. Većina granitoida, smatra se, nastaje u zonama subdukcije (vulkanski ili magmatski lukovi). Deo ovih stena javlja se i u kolizionim zonama, sudarima kontinentalnih ploča, litosfere.
2. Za nastanak granitoida potrebni su parcijalno stapanje i izvor (prinos) toplote, verovatno iz toplih stena omotača. Voda, fluidi predstavljaju važan sastojak za delimično stapanje kore. Mogu doći iz „spoljašnjih izvora”, sedimenata ili kristalizacijom magmi bez vode ili sa njom.
3. Pojedini istraživači smatraju da granitoidi najvećim delom nastaju anateksisom (parcijalnim stapanjem) u gornjem delu kontinentalne kore, tj. od „postojećih” stena bogatih silicijumom, aluminijumom i alkalijama. Kontinentalna kora se verovatno stvarala, razvijala, narastala epizodno (u više faza). Najveći deo, smatra se, nastao je tokom arheana i proterozoika. Hemijske varijacije ukazuju na to da **in situ stapanje** (na mestu, bez kretanja) kontinentalne kore uključuje istovremeno stapanje i kristalizaciju u regionu izvora. Stvoreni rastop (magma) uglavnom ostaje na mestu stvaranja.

4. Granitoidi mogu nastati frakcionom kristalizacijom bazaltne magme izvedene iz omotača.
5. Granitoidi mogu nastati kontaminacijom, mešanjem magmi različitog porekla i sastava i asimilacijom sa okolnim stenama itd.

Uz gore navedeno, proučavanje nastanka i smeštaja granitoida često uključuje i „dodatne” procese.

GRANITOIDI I PARCIJALNO STAPANJE

Većina petrologa (geologa) slaže se da je za stvaranje granitoida „neophodno” parcijalno stapanje.

Kompletno stapanje (palingeneza) stena je petrološka retkost, u prirodi se uglavnom javlja parcijalno stapanje, anateksis. Prema većini autora, anateksis se dešava na dubinama od 30 km do 100 km. Stvoreni granitoidni rastop (magma) je bogatiji silicijom (SiO_2) i alkalijama u poređenju sa stenom koja se stapa.

Stvorene magme se uglavnom utiskuju u gornji deo kontinentalne kore, formirajući granitoidne plutone, dok se na površini izlivaju dajući dacite, andezite, riolite itd. Stvaranju magme „pogoduju” povoljni uglovi subdukcije od oko 25° , pomenuti anateksis (parcijalno stapanje) i „debela” (preko 25 km) kontinentalna kora itd.

Parcijalnim stapanjem pod uticajem fluida stvaraju se granitoidne magme, koje imaju ograničenu „vertikalnu” pokretljivost. Količinu nastale granitoidne magme kontrolišu fluidi i minerali s vodom koji učestvuju u stapanju. Na najnižoj temperaturi (manje od 700°C), parcijalnim stapanjem klastičnih sedimenata nastaju peraluminijski granitoidni rastopi.

Pojedini minerali koji se javljaju u granitoidima (kordijerit, granati itd.) tipični su za metamorfne stene više nego za magmatske. Većina njih ima visoke temperature kristalizacije (topljenja) i mogu predstavljati minerale koji nisu stopljeni (rezistenti) tokom parcijalnog stapanja.

Vinkler (*Winkler, 1974*) eksperimentalno je pokazao da se rastop granitoidnog sastava može stvoriti parcijalnim stapanjem sedimentnih stena kao što su glinci i grauvake, koje počinje na oko $650\text{--}700^\circ\text{C}$, zavisno od njihovog sastava, pritiska i prisustva vode. Pojedini autori se slažu da se granitski ili granodioritski rastopi mogu stvoriti i od sitnozrnih klastičnih stena, uz pretpostavku da se sedimenti stapaju samo ako ima dovoljno vode za „zasićenje” novostvorenog granitoidnog rastopa. „Višak” vode kasnije ulazi u pegmatitski rastop ili se stvaraju hidrotermalni rastvori.

Podsetimo se da je sastav granitoida i njihovih vulkanskih ekvivalenata približan prosečnom sastavu kontinentalne kore, što ukazuje na to da su procesi u zonama subdukcije igrali značajnu ulogu u njenom stvaranju (*Hawkesworth i Kemp, 2006*). Mnogi modeli za formiranje i rast kontinenata „pozivaju” se na nastanak andezita i dacita na konvergentnim marginama, što je poznato kao andezitski model kontinentalnog rasta. Kontinentalna kora je verovatno nastajala u više

vremenskih intervala. Njen najveći deo je, smatra se, stvoren tokom arheanske i proterozojske periode. Sadašnja brzina formiranja kore približno je jednaka njenoj destrukciji, što rezultira gotovo ustaljenim stanjem. Postoje i drugačija mišljenja. Laboratorijski eksperimenti pokazuju da delimičnim parcijalnim stapanjem vlažne okeanske kore može nastati i andezitska magma. Znamo, naravno, da je okeanska kora suva, ali nakon izlivanja na okeansko dno ona reaguje sa morskom vodom. Sa njom su i sedimenti „puni” (zasićeni) vodom. Slažemo se, navedeni opisani način nastanka granitoida od bazaltnih lava je manjeg značaja od prvobitno pomenutog.

Vratimo se parcijalnom stapanju kontinentalne kore, kada nastaju, smatra se, najveće mase granitoidne magme različitog sastava. Sa porastom stepena parcijalnog stapanja, granitoidi postaju bogatiji feldspatima, a dodavanjem asimiliranog materijala sa strane, u njima se mogu javiti hornblenda i plagioklasi, što dovodi do formiranja granodiorita i kvarcdiorita.

Stepen stapanja kontinentalne kore zavisi od:

1. debljine kontinentalne kore;
2. geotermalnog gradijenta;
3. utiskivanja većih masa bazaltnih magmi u ili kroz kontinentalnu koru i
4. prisustva fluida.

Temperatura u prosečnoj kontinentalnoj kori na dubini od 35 km, smatra se, iznosi oko 500 °C, što podrazumeva gradijent od oko 15 °C/km. Za pojavu anateksisa (parcijalnog stapanja) na manjim dubinama (plićim nivoima) potreban je visok geotermalni gradijent, veći od oko 40 °C/km. Za donji deo kontinentalne kore nema geofizičkih dokaza da se ona parcijalno stapa, što ukazuje na to da je ona izgrađena od „vatrostalnih” granulita, eklogita itd., ili da je geotermalni gradijent nizak. Modeliranje pokazuje da se temperature za parcijalno stapanje mogu postići i internim radioaktivnim zagrevanjem i toplotnom relaksacijom koja je povezana sa zadebljanjem kore. U odsustvu vode, potrebne su više temperature za stapanje. Dehidratacija se može postići samo značajnim unošenjem toplote u koru iz omotača, na primer, direktnim utiskivanjem vrelih (više od 1000 °C) bazaltnih magmi. Pod ovim okolnostima, čini se neizbežnim da bazaltne magme takođe fizički reaguju sa korom i doprinose stvaranju granitoidnih magmi. To potvrđuje nekoliko dokaza: mešanje granitoidne i mafične, bazaltne magme, eksperimentalni podaci itd. Pojedini istraživači smatraju da je za stapanje stena potreban povećan unos toplote iz omotača. „Najjednostavniji” način za povećanje protoka toplote je površinska erozija i odgovarajuća izostazija.

Ako su stene u podini blizu solidusa, može doći do parcijalnog stapanja usled adijabatske dekompresije. Temperature treba da budu dovoljno visoke i značajno prekoračuju solidus stena kore kako bi se formirala značajna količina rastopa, više od 25%. O izvoru, stvaranju toplote i njenoj ulozi, osim subdukcionih procesa, za stvaranje granitoida postoji više hipoteza. Evo nekoliko objašnjenja:

1. **Zadebljana kora** obično nastaje u završnim fazama subdukcije, kada dolazi do međusobnog sudara ploča (sutur zona) i stvaranja debele kontinentalne kore. Ovaj proces omogućava zagrevanje koje uzrokuje parcijalno stapanje kao odgovor na toplotnu relaksaciju nakon sudara.

2. **Radioaktivno zračenje** može proizvesti toplotu koja će dovesti do porasta geotermalnog gradijenta za više od 30 °C i podići temperaturu dovoljno visoko da izazove anateksis u srednjim i gornjim nivoima kontinentalne kore. Količina proizvedene toplote zavisi i od sadržaja i vrste radioaktivnih izotopa koji generišu toplotu, pre svega **K**, **Th** i **U**. Brojni istraživači su predložili da stene obogaćene radioaktivnim elementima mogu dostići dovoljno visoku temperaturu za pojavu anateksisa (parcijalnog stapanja). Proračuni Čejmberlena i Sondera (**Chamberlain i Sonder 1990**) pokazuju da temperature mogu biti dovoljno visoke (> 700 °C) da bi proizvele značajne količine granitoidnih rastopa na relativno maloj (plitkoj) dubini.

3. **Zagrevanje zbog smicanja** zahteva da stene imaju „dovoljnu snagu” da se zagreju dok se deformišu. Problem sa zagrevanjem usled smicanja je vreme trajanja procesa i koliko se toplota zadržava. Nakon što započne stapanje, očekuje se da će zagrevanje smanjiti temperaturu i time ograničiti formiranje rastopa. Međutim, stapanje će se dešavati u različitim vremenima (kada se javlja smicanje) i u različitim područjima smicanja. To znači da količina i brzina stapanja variraju vertikalno i horizontalno i održavaju određeni nivo za određeno vreme, zavisno i od sastava protolita (stena koje se smiču).

4. **Razmicanje ploča, adijabatska dekompresija** jeste stanjivanje litosfere u zonama riftinga (širenja, razmicanja), što omogućava parcijalno stapanje adijabatskom dekompresijom. Granica litosfere i astenosfere je predstavljena izotermom od 1200 °C. Sa smanjenjem pritiska, ona se povećava i rezultira direktnim povećanjem temperature.

Ovim procesom uzrokuje se značajno zagrevanje, sa toplotnom anomalijom koja se širi prema gore u srednji i gornji deo kore, obično u riftnim zonama. Dobijeni visoki toplotni protok može proizvesti temperature od 700–900 °C na dubini od 30 km ili pliće, što rezultira metamorfnim procesima, parcijalnim stapanjem i stvaranjem granitoidnih rastopa. Ispod aktivnih riftnih zona je područje anomalno niske seizmičke brzine i prigušenje seizmičkih talasa, koje ukazuje na vrlo visoke temperature i parcijalno stapanje. Ovo se manifestuje visokim protokom toplote i, u mnogim slučajevima, magmatskom i geotermalnom aktivnošću (Istočnoafrički rift).

5. **Utiskivanje bazične magme** može biti važan izvor toplote za stapanje kontinentalne kore. Koliko magme koja dolazi iz omotača doprinosi stvaranju granitoida? Da li samo doprinosi toploti, materijalu ili oboje? Ovo pitanje je važno jer, prema nekim mišljenjima, kontinentalna kora se uglavnom reciklira, ako je jedini doprinos toplote iz omotača. U slučaju plagiogranita i drugih okeanskih granitoida, smatra se da omotač pruža i jedno i drugo.

U kontinentalnoj kori, uloga materijala iz omotača je promenljivija i predmet rasprave. U orogenima, omotač može davati normalnu toplotu, u nekim situacija-

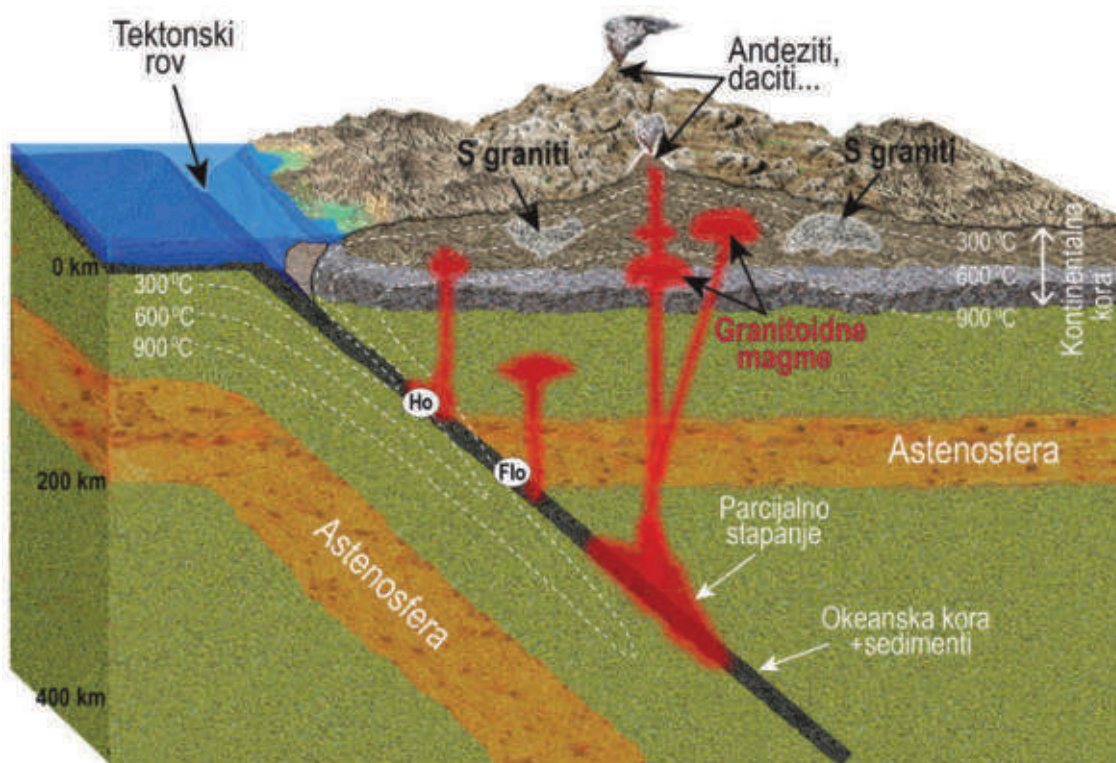
ma dovoljnu za parcijalno stapanje. Brzina seizmičkih talasa u mladim orogenim pojasevima snažno ukazuje na prisustvo rastopa, magme (Himalaji, Andi itd.). Toplota može poticati iz astenosfere ili usled adijabatske dekompresije, posebno u baznom delu (podini) kontinentalne litosfere.

Na kraju, omotač može snabdevati kontinentalnu koru (litosferu) magmom u obliku parcijalnog rastopa, koji često reaguje, asimilira ili se meša sa postojećim rastopima. Smatra se da su granitoidi **M tipa** (koji će biti objašnjeni kasnije) frakcionisani rastopi koji dolaze iz omotača. Hupert i Sparks (*Huppert i Sparks, 1988 a i b*) smatraju da ubrizgavanje bazalta iz omotača u kontinentalnu koru stvara kisele stene, a deo njih asimilira. Doprinos materijala se razlikuje od područja do područja. Sadržaj izotopa je dovoljno prepoznatljiv da pruži važne kriterijume za procenu doprinosa omotača. Međutim, neki rezervoari su dovoljno složeni (posebno u orogenim područjima), pa je njihovo određivanje i međusobno razlikovanje teško i zahtevno, ponekad i dvosmisleno. U kasnijim fazama velika granitoidna tela magme mogu se izdizati do plitkih nivoa, kada dolazi i do vulkanizma, stvaranja kaldera, eksplozivnih erupcija itd. Debata o doprinosu omotača i magmatizmu vezana je i za nastanak bazičnog dela (obično podinskog) kontinentalne kore. Ovaj proces je intenzivniji u zonama subdukcije, mada se materijal iz omotača može dodati i postorogenim i anorogenim procesima.

Parcijalnim stapanjem stena ne može nastati dovoljna količina granitoidske magme za formiranje batolita, ako nema konvekcije unutar područja parcijalnog stapanja. Da bi se to dogodilo, neophodan je neprekidni priliv toplote za formiranje i evoluciju granitoidne magme. Merenja površinskog toplotnog toka pokazuju da su temperature kore kontinentalnog ruba snažno narušene konvergencijom ploča.

Analize subdukcionih zona su pokazale da se njihova termalna struktura kontroliše brzinom konvergencije, geometrijom subdukcione ploče, brzinom smicanja, geometrijom i brzinom protoka toplote u klinu omotača iznad zone subdukcije. Opšteprihvaćena termička struktura subdukcione zone (*Oxburgh i Turcotte, 1970; Minear i Toksoz, 1970; Turcotte i Schubert, 1982*) potvrđena je na mnogim poznatim (klasičnim) mestima (slika 536) Na kontinentalnoj margini, temperatura je viša od temperature na istom nivou dubine u okeanskoj ploči.

Toplota se, u odnosu na okolne stene, uglavnom kreće kroz zonu subdukcije. Smatra se da je veća brzina subdukcije povezana s većom deformacijom izotermi na obe strane ravni subdukcije. Kompresivna deformacija i izdizanje centralnih Anda dogodili su se u neogenu i poklapaju se s glavnom vulkanskom fazom, u kojoj su izlivani daciti, andeziti, ignimbriti itd. Nastanak vulkanske aktivnosti posledica je značajne promene temperature u kontinentalnoj kori. Na dubini od 15–30 km u Andima javlja se zona niskih brzina seizmičkih talasa (**VZ**), koja se smatra najvećim poznatim geološkim telom parcijalno stopljenih stena. Njen vrh se nalazi na dubini od oko 15–25 km i predstavlja gornju granicu vertikalne migracije granitnog rastopa. Prosečan sadržaj granitnog rastopa unutar nje je, smatra se, oko 20% volumena (*Schilling i Partzsch, 2001*), a minimalni volumen mase iznosi oko 18.000 km³.



Slika 536. Termalna struktura vulkanskog luka, sinteza podataka više autora;
Ho i Flo je termalna stabilnost hornblende (Ho) i flogopita (Flo)

Debata o stvarnom doprinosu omotača još uvek je živa i raznolika, posebno kada je reč o stvaranju stare kontinentalne kore.

Gravitaciona diferencijacija ostatka rastopa omogućava formiranje magmat-skih slojeva i inicira konvekciona strujanja koja menjaju termičku strukturu siste-ma. Slojevi i kumulati u granitoidima ipak su retki jer su ove magme viskozne. U prisustvu fluida, može se javiti transport termodifuzijom, što može dovesti do formiranja slojevitih tekstura.

Utiskivanje bazične magme s temperaturom od 1200 °C u okolne stene može uzrokovati brzo stapanje (*Huppert i Sparks, 1988 a i b*). Međutim, Tom-son (*Thompson, 1999*) smatra da bi se temperatura okolnih stena podigla na oko 800°C i „izazvalo” parcijalno stapanje, masa bazične magme mora biti ogromna, debljine od 10 km do 60 km i smeštena na maloj dubini, od 25 km do 35 km. Nema geoloških dokaza koji potvrđuju ovo. Pojedini autori smatraju da velika tela bazal-tne magme imaju ograničen toplotni uticaj na okolne stene (*Barboza i dr., 2000*) i da ima malo dokaza o značajnom stapanju koje je direktno povezano.

Potencijalno važan mehanizam stapanja kore u području ispod vulkanskog luka (magmatskog luka) jeste kretanje bazične magme prema višim nivoima, od-nosno njeno uzdizanje. Toplota i oslobođeni fluidi iz okolnih stena povećavaju anateksis i formiranje granitoidnih magmi. Ovaj proces se pojačava frakcionom kristalizacijom, brzinom kretanja, asimilacijom itd., što rezultira velikim brojem varijeteta granitoida. Promene u mineralnom sastavu se odražavaju na povećanje

sadržaja bojenog minerala (biotita, hornblende) i obogaćivanje plagioklasa kalcijumom, dok se smanjuje sadržaj kvarca.

6. Dijapirska dekompresija, odnosno ekshumacija (izlazak, kretanje nago-re) duboko smeštenih magmatskih stena, može uzrokovati parcijalno stapanje. Dijapirizam se ponekad opisuje analogno kao grubo kružni presek, korišćenjem analogije s oblikom dijapira soli (*Bateman, 1985*). Neki autori smatraju da se kretanje granitoidnih dijapira odvija preko dajkova i silova, jer se oni suočavaju s većim termičkim i mehaničkim izazovima koje treba savladati da bi došlo do kretanja veće količine magme na više nivoe.

Možda najslabiji deo hipoteze o kretanju i utiskivanju granitoidne magme na više nivoe jeste mehanizam koji joj omogućava da „pobegne” iz svog izvornog (dubljeg) područja, odnosno mesta gde je nastala. Ovo uključuje sastav magme, stepen kristalizacije, prisustvo fluida, razliku u gustini u odnosu na okolne stene, brzinu kretanja itd.

Dobili smo toplotu iz različitih izvora i procesa, koji često istovremeno deluju u prirodi i uzrokuju parcijalno stapanje. U rastop (magmu) prvo ulaze minerali sa najnižom temperaturom kristalizacije u steni, poput kvarca, zatim alkalnih feldspata, muskovita, biotita itd. Nestopljivi deo (rezidum) obično sadrži metamorfne minerale poput granata, kordijerita, aluminijumskih polimorfa, ortopiroksena, dela feldspata itd. Jedan čest primer reziduma je cirkon, koji se obično javlja kao akcesorni mineral u granitoidima. Veliki broj istraživača proučava ovaj mineral radi određivanja starosti (izotopi **U-Pb**), ali često se suočavaju s njegovom zonarnom građom, koja može ukazivati na važne geološke procese tokom njegove istorije formiranja, rasta tokom magmatskih i metamorfnih procesa.

Smatra se da kombinacija nekoliko međusobno povezanih procesa može značajno povećati geotermalni gradijent prema površini, stvarajući toplotnu antiformu koja generiše visoke temperature. Ova područja koja uzrokuju anateksis (parcijalno stapanje) dobila su značajnu pažnju tokom poslednjih 30 godina.

Parcijalno stapanje granitoida sa fluidima koji imaju važnu ulogu i njihovom stvaranju. Prisustvo minerala s vodom, poput hornblende i biotita, ukazuje na to da su magme iz kojih su kristalisali sadržale više od 3% **H₂O**. Smatra se da su prvo stvoreni granitoidni rastopi (magma) zasićeni fluidima (vodom), ali u malim količinama. Zato je za stvaranje značajnih količina granitoida potrebno da postoji spoljni izvor fluida. On je, naravno u kontinentalnoj kori. Obično se nalaze kao „slobodna” voda (molekuli), koja se javlja duž granica mineralnih zrna, pora, fraktura, tečnih inkluzija ili je strukturno vezana kao **OH** jon u filosilikatima, inosilikatima, epidotu itd. Voda se kontinuirano stvara (oslobađa) i tokom metamorfizma (reakcije dehidratizacije).

NAČIN SMEŠTAJA GRANITOIDA

Jedan od „otvorenih” problema je način smeštaja granitoidnih magmi zbog njihove ogromne veličine koja treba da se utisne u čvrstu koru. Sve je više dokaza da se segregacija minerala u magmi, njeno kretanje, uspon i smeštaj javljaju u vremenskim skalama od nekoliko stotina ili hiljada, umesto, kako se smatralo, miliona godina. Podaci su dobijeni na osnovu proučavanja cirkona i monacita u nekim granitoidima. Računanja ukazuju na to da su neki himalajski leukogranitoidi „izvučeni” iz njihovih izvora za manje od 150 godina. Ostaje da se utvrdi da li su ove stope ekstrakcije primenljive na granitoidne magme nastale iz različitih izvornih stena u drugim tektonskim sredinama.

Vremenske skale kristalizacije kiselih magmi su delom „ograničene” na istraživanja radiogenih izotopa u vulkanskim stenama bogatim silicijom koja „potiče” iz granitoidnih intruziva. Za peraluminijske riolite Istočnoafričkog rifta, na osnovu izotopa **Rb-Sr** i **U-Th**, utvrđeno je da su kristali feldspata nastali „samo” pre oko 15.000 godina pre erupcije. Slični rezultati dobijeni su na istim mineralima iz riolita u Dugoj dolini (Long Valley, Kalifornija). Nasuprot tome, analizom cirkona iz vulkanita Taupo (Novi Zeland), dobijeno je znatno duže vreme kristalizacije od 300.000 godina pre erupcije, što ukazuje na značajno vreme boravka u komori magme.

Mehanizam smeštaja „zahteva” vertikalni prenos granitoidnog rastopa (magne) nagore, jer je lakši i topliji. Koncept magmatskog „zaustavljanja” je razvijen naročito u Kordiljerima, gde se vulkanske stene sa porastom dubine, po pojedinim autorima, postepeno „raspršuju” i prelaze u plutone.

Tektonikom ploča stvaraju se velike strukture, koje omogućavaju stvaranje i smeštaj granitoidnih magmi (**Hutton, 1988**). One mogu obuhvatiti i celu kontinentalnu koru, kada nastaju kompresiona i tenziona okruženja koja pružaju povoljne uslove za nastanak i smeštaj granitoida. Uprkos velikoj raspravi, još uvek nema konsenzusa o tome kako nastaje prostor za smeštaj granitoidnih magmi u kontinentalnoj kori (**Haerderle i Atherton, 2002**).

Velike intruzije granitoida moraju „zauzeti” mesto ekvivalentnog volumena prethodno postojeće stene. Gde su one uklonjene? Ako je nešto pre bilo „ovde”, gde je sada? U literaturi postoje dva modela smeštaja: formiranje granitoida na mestu, **in situ**, i **model intrudovanja i kretanja**.

FORMIRANJE GRANITOIDA IN SITU

Jedno od objašnjenja nastanka granitoida in situ (na mestu) jeste pretpostavka da granitoidna magma nije uopšte intruzivna već se nalazi u području gde je i nastala. Francuski geolozi su još u devetnaestom veku razvili pojam „granitizacija”, koji je ostao popularan tokom 30-ih i 40-ih godina 20. veka, kada su smatrali da se čvrste stene odgovarajućim metamorfnim procesima „pretvaraju” u stene granitoidnog sastava bez prelaska (bolje reći prolaska) kroz magmatsku fazu i njenog kretanja.

Migmatiti daju „direktne” dokaze da se granitoidi mogu formirati in situ, bez kretanja. Migmatiti (detaljnije u poglavlju Metamorfne stene) jesu „mešavina” dve

vrste stena: gnajseva koji su „preživeli” parcijalno stapanje (paleosoma) i granitoida, obično leukokratnog (kiselog) dela nastalog stapanjem usled metamorfnih procesa (neosoma).

Da li migmatiti mogu biti izvor granitoida? Oni ukazuju na početnu fazu procesa (parcijalno stapanje, anateksis) koja se dešava u dubljem delu kontinentalne kore, kada se stvara granitoidni rastop, magma. Pojedini autori smatraju da stvorena magma odmah očvrsne, bez daljeg kretanja. Međutim, većina granitoidnih plutona nema tragova „pratećih” migmatita, na osnovu čega se može zaključiti da je magma transportovana na način koji predstavlja problem prilikom objašnjenja gde se sada nalazi (ne može se „lako” objasniti). Treba napomenuti da se kod plitko smeštenih plutona mogu uočiti „podignute” stene (lakoliti) koje ukazuju na kretanje magme.

MODEL INTRUDOVANJA, KRETANJA

Usled tektonskih procesa, rastopi mogu da „napuste” mesto stvaranja i uglavnom se kreću ka gore, uz dominantni mehanizam razdvajanja čvrstog nestopljenog dela (rezistata) i magme koja se istiskuje. Kako? Zašto? Dva su procesa koja pomenuto objašnjavaju: dijapirsko uzdizanje i baloniranje.

Dijapirsko uzdizanje smo već pomenuli i delom opisali. U dubljim i toplijim delovima kore, razlika u gustini, viskoznosti i duktilnosti između viskozne magme i čvrste okolne stene je manja nego na površini. Pojedini autori smatraju da je ona ipak dovoljno velika da se granitoidna magma ponaša kao dijapir, odnosno kreće kao kupola soli. Ovaj mehanizam je eksperimentalno potvrđen. Treba napomenuti da je dijapirsko kretanje granitoidne magme bilo predmet kontroverzi u proteklih 20 godina.

Baloniranje podrazumeva proces u kojem se magma kreće kroz koru, postaje hladnija i viskoznija, što dovodi do zaustavljanja njenog kretanja. Međutim, dublji delovi magme zadržavaju višu temperaturu i nastavljaju se podizati i „ulaziti” u hladnu masu iznad. Ovaj proces se naziva baloniranje. Smatra se da uzrokuje „koncentričnu” folijaciju posebno u spoljašnjim delovima plutona, što se dokazuje i prisustvom ksenolita. Pojam baloniranja ostaje kontroverzan jer se dijapirizam i baloniranje klasifikuju kao „snažni” mehanizmi kretanja. Postoje otvorena pitanja o tome kako se magma transportuje od izvora do gornjeg nivoa plutona i kako se stvara prostor za smeštaj magme koja je napunila pluton. Postoje i mišljenja da granitoidne magme „uskaču” kroz koru, ne kao klasični cilindrični dijapiri, već koristeći postojeće rasede putem sistema dajkova.

Mnogi andski batoliti leže blizu ili su podređeni velikim sistemima raseda, a gravitacione studije sugerišu da batolit Perua, na primer, ima usku, strmiju stranu, „korensku zonu”, koja se proteže na najmanje 10 km dubine duž njegove zapadne margine i izgleda da predstavlja dajkni *feeder* sistem (objašnjeno u poglavlju o teksturi vulkanskih stena).

Braun (*Brown, 2007*) tvrdi da podizanje krova dominira u plitko smeštenim plutonima, dok u dubljim delovima kore, zbog većih pritisaka, takvo kretanje ne postoji.

ZAKLJUČIMO! Osnovni način pojavljivanja granitoida u dubokim delovima kontinentalne kore uglavnom je formiranje **plutona**. To je veliko (ogromno) geološko telo različitog oblika, opisali smo ga kao okruglo, ovalno, lentikularno (sočivasto), pločasto itd. Sastav granitoida u plutonu se menja tokom različitih faza utiskivanja magme, od kvarcdiorita, obično na obodu, preko granodiorita do granita u centralnim delovima. Smatra se da su promene u sastavu nastale pre potpunog očvršćavanja (kristalizacije) plutona. Neki plutoni su raspoređeni u „pravilnim” razmacima, slično položaju vulkanskih centara koji su vezani za subdukcione zone i vulkanske lukove. Smatra se da se ispod vulkanskih centara, na relativno maloj dubini, od 5 km do oko 20 km, nalazi ogromna količina uglavnom mezozojskih i tercijarnih intruziva, odnosno plutona. Prostorna i vremenska međusobna povezanost ukazuje na „isti” magmatski i orogeni proces. Istraživanja su pokazala da su plutoni velika kompozitna tela koja se sastoje od stotina ili čak hiljada pojedinačnih intruziva, koji su vremenski „dugo” stvarani i hemijski se menjali. Njihova hemijska (pre svega geohemijska) sličnost s vulkanitima iznad ukazuje na to da su plutoni sistemi koji „hrane” vulkanske kontinentalne lukove.

Trodimenzijski oblik plutona teško je odrediti. Badinton (*Buddington, 1959*), na osnovu dubine smeštaja, „prepoznao” je tri klase ili zone plutona: epi (dubina smeštaja 0–5 km), mezo (~5–10 km) i kata (> ~10 km).

Epi plutoni imaju „oštre”, neskladne (diskordantne) kontakte s okolnim stenama, intenzivne hidrotermalne promene (često sa rudnom mineralizacijom) i slab kontaktni metamorfizam.

U **mezo** zoni je smeštena većina granitoida koja često ima zonarnu građu.

Kata plutoni su okruženi metamorfnim stenama s difuznim kontaktima uz česte migmatitske žice.

Ako je pluton izgrađen samo od jedne vrste stena, kao što je tonalit, granodiorit ili moncogranit, naziva se „jednostavan” pluton. Ako se sastoji od više vrsta granitoida, pluton je kompozitan, odnosno složen pluton. Obično imaju zonarnu građu s bazičnijim delom na margini tela i kiselijim u središnjem delu. Kada se veći broj plutona poveže, nastaju „mozaici” (grupe), koje pojedini autori nazivaju **batolitima**. To su velika geološka tela koja pokrivaju površine od više stotina kvadratnih kilometara u kontinentalnim lukovima, kolizionim zonama. Obično ih grade linearni nizovi plutona koji su stvoreni u režimu „ekstenzije” (širenja).

Primeri složenih batolita su u Kaledonidima Britanije i Norveške, Lahlanovom pojasu jugoistočne Australije, istočnoj provinciji Tin pojasa u jugoistočnoj Aziji itd.

Međutim, u praksi se pojam *batolit* ponekad koristi na „nesistematičan” na-

čin za „bilo” koje veće telo granitoida, ali i za povezane ili „nepovezane” plutone.

U okviru naših istraživanja uglavnom se fokusiramo na pojedinačna tela, plutone granitoida, što predstavlja samo „vrh ledenog brega” u odnosu na problem u celini. Razumevanje geologije granitoida zahteva sveobuhvatniju sliku ovih stena, koje grade veći deo kontinentalne kore.

Plutonske stene granitoida po sastavu su dioriti, kvarcdioriti, tonaliti, granodioriti, graniti itd. U tekstu koji sledi prikazaćemo njihov mineralni sastav, sklop, strukturu i teksturu.

V.8.1 KLASIFIKACIJA GRANITOIDA

Maksima „postoje graniti i graniti” koju je skovao Rid (*Read, 1948*) i danas je aktuelna. Stene „porodice” granitoida pokazuju kontinuitet sastava odražavajući stvaranje iz raznovrsnih izvora, omotača, kontinentalne kore ili kombinovano. Zato je „pametno” klasifikovati granitoidne stene prema parametrima koji se direktno mogu posmatrati i meriti, kao što su modalni mineralni sastav, hemijski sastav, koji uključuje sadržaj glavnih oksida, pojedinih mikroelemenata, izotopa itd. Zbog toga postoji veliki broj podela granitoida prema različitim kriterijumima.

„Potreba” za klasifikacijom je odlika prirodnih nauka jer omogućava uspostavljanje „reda” usled našeg nedovoljnog razumevanja geoloških procesa. Dobra klasifikacija stena treba da bude jednostavna, „objektivno” zasnovana i da odražava geološku „stvarnost”.

Zbog složenosti procesa kojima se stvaraju granitoidi, bitno je da „prava” klasifikacija ovih stena bude „razumljiva” i lako primenljiva. To znači da se još na terenu treba fokusirati na identifikaciju i opis glavnih minerala, strukturu, teksturu, karakter kontakta sa okolnim stenama itd. Nakon toga sledi odabir reprezentativnih uzoraka za mikroskopske i hemijske analize, sadržaj izotopa ili neka druga ispitivanja.

Granitoidi su, podsetimo se, najzastupljenije stene kontinentalne kore.

Postoji veliki broj klasifikacija granitoida koje se baziraju na različitim kriterijumima. Pomenimo najčešće:

1. mineraloška klasifikacija;
2. hemijska klasifikacija;
2. genetske klasifikacije „abecede” na osnovu porekla granitoida;
3. klasifikacija prema tektonskoj sredini stvaranja itd.

Pomenute klasifikacije često se koriste i kombinuju sa „petrografskim” svojstvima (strukture, teksture), sagledavanjem opšte geološke građe u kojoj se granitoidi nalaze itd.

V.8.1.1 MINERALOŠKA KLASIFIKACIJA

Mineraloška klasifikacija je „najjednostavnija” klasifikacija granitoida, koja se bazira na odnosu modalnog sadržaja alkalnog feldspata i prelaznog plagioklasa (oligoklas, andezin) i kvarca, koji se mogu odrediti u uzorku stene, tačnije u mikroskopskom preparatu.

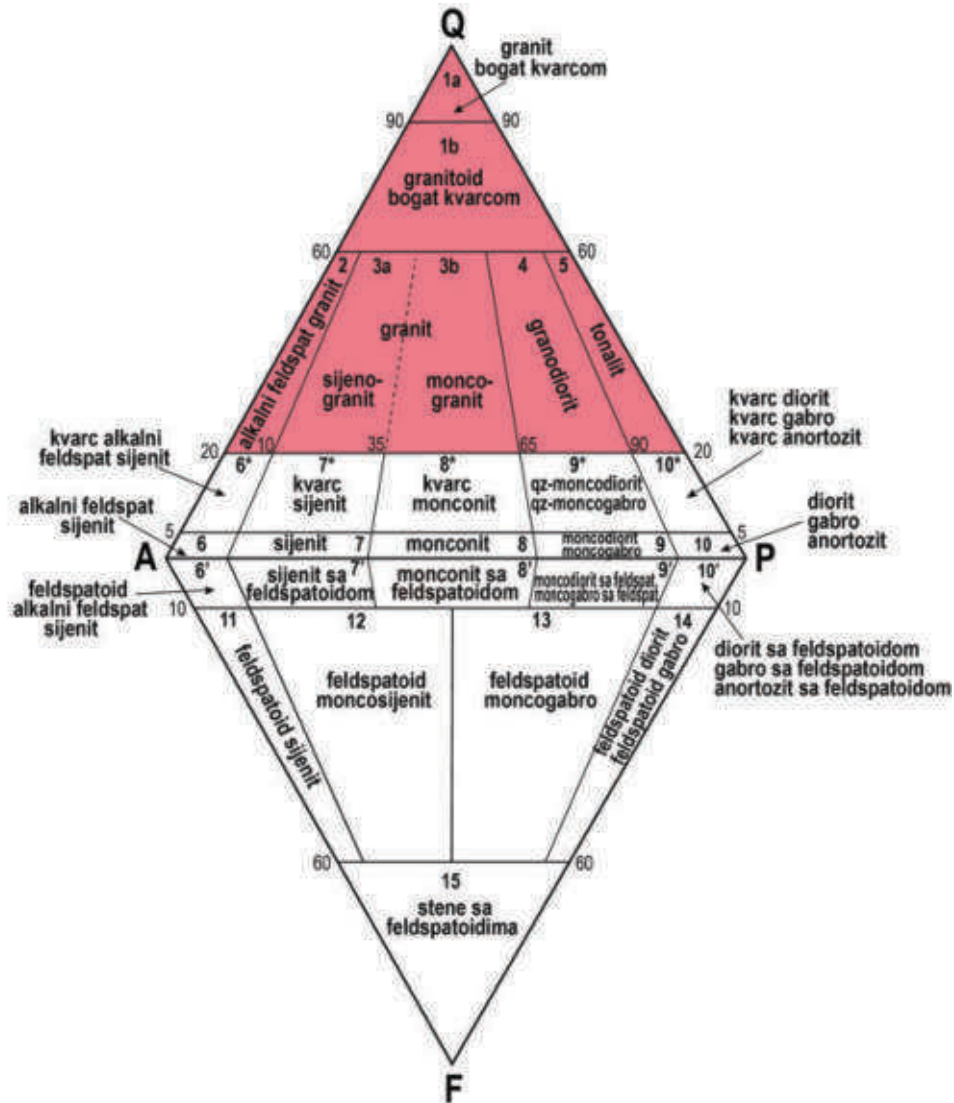
Jedna od najpopularnijih i često korišćenih mineraloških klasifikacija je **QAP** trokomponentni dijagram (*Streckeisen i dr., 1976a i b, 1979*), na kojem je dat odnos sadržaja kvarca (**Q**), plagioklasa (**P**), alkalnih feldspata (**A**) i feldspatoida (**F**) prikazanih još u klasifikaciji magmatskih stena.

Prednost ove klasifikacije je što se „lako” primenjuje na terenu i jednostavna je za upotrebu. Nedostatak je „zanemarivanje” modalnog sastava bojenih minerala i plagioklasa (polje **P**), koji nisu definisani prema hemizmu (sadržaju anortitske komponente), zbog čega mafične (bazične) i felsitske (kisele, svetle) stene padaju u isto polje, iako se hemijski značajno razlikuju (diorit, gabro itd.).

QAP KLASIFIKACIJA DUBINSKIH GRANITOIDNIH STENA

Analizirajmo i prodiskutujmo klasifikaciju **UIGS**-a u okviru granitoida (slika 537). Granit (polje 3a) jeste plutonska stena sa 20–60% kvarca, do 35% plagioklasa i 90% alkalnih feldspata. Sa povećanjem sadržaja plagioklasa (polje 3b) stena je moncogranit. Polje 4, granodiorit, jeste „najrasprostranjenija” stena. „Obično” sadrže plagioklas (oligoklas ili andezin), ali na dijagramu postoji samo tačka **P** (plagioklas) bez odrednice njegovog sastava, što je, po većini autora, veliki „nedostatak” ove klasifikacije. Stoga je „preporučljivo” dodati „uslov” da prosečni sastav plagioklasa treba da bude An_{0-50} , kako bi se razlikovali „zajednički” granodioriti od dioritgabra ili gabra u kojem je plagioklas sastava An_{50-100} . Polje 5 je tonalit. Koren naziva tonalit treba da se koristi bez obzira na to da li je hornblenda prisutna ili ne. Trondhjemit i plagiogranit mogu se koristiti kao leukokratni tonalit ($M < 10\%$). Granitoidi se graniče sa kvarcsijenitom, kvarcmonconitom i kvarcmoncodioritom (označeni brojevima 6 do 10 sa zvezdicom u indeksu). To su prelazni tipovi stena između granitoida i njima analognih zasićenih SiO_2 ili nezasićenih SiO_2 (nemaju slobodnog kvarca) alkalnih stena – sijenita, monconita i moncodiorita. Ovde je i deo odgovora zašto koristimo termin, naziv stene *granitoid*, koji obuhvata „veliki” broj stena.

Polje 9 su moncodiorit, moncogabro. Ova dva korenska imena su odvojena prema prosečnom sastavu njihovih plagioklasa – moncodiorit (plagioklasi An_{0-50} , moncogabro (plagioklasi An_{50-100}). Izrazi *sijenodiorit* i *sijenogabro* mogu se koristiti kao sveobuhvatna imena za stene između sijenita i diorita/gabrova, tj. za monconite (polje 8) i moncodiorit/moncogabro. Polje 10 su diorit, gabro, anortozit. Tri korenska imena u ovoj oblasti su odvojena prema kolor indeksu i prosečnom sastavu plagioklasa – anortozit ($M < 10\%$), diorit ($M > 10\%$, plagioklasi An_{0-50} , gabro ($M > 10\%$, plagioklasi An_{50-100}).



Slika 537. Klasifikacija IUGS-a za granitoide

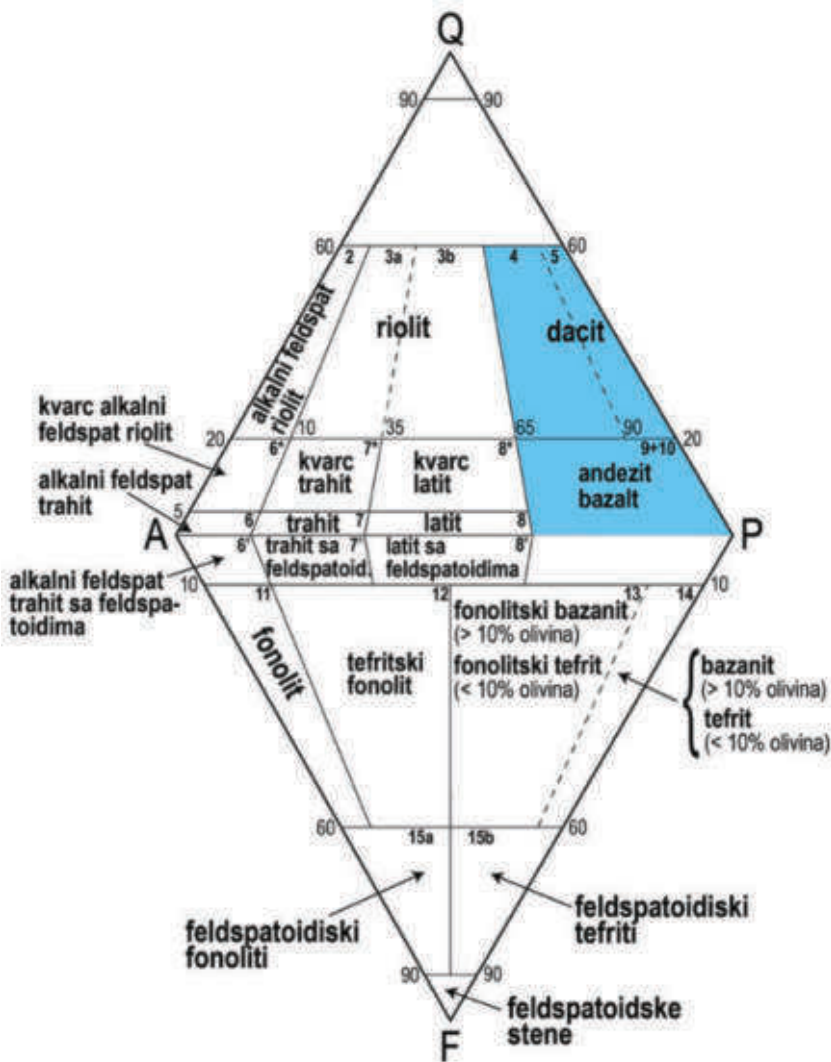
Pomenimo i čarnokite, u kojima često ima različitih tipova pertita. Potkomisija je preporučila da se u čarnokitima pertitski feldspat raspoređuje između **A** i **P** na sledeći način: Pertit – dodeliti **A** kao glavnu komponentu alkalnog feldspata. Mezopertit – jednako se dodeljuje između **A** i **P**, jer su količine alkalnog feldspata i plagioklasa (obično oligoklas ili andezin) približno iste. Antiperitit – dodeliti **P** kao glavnu komponentu andezina sa malo albita. Da bi se razlikovale ove čarnokitske stene koje sadrže mezoperit, predloženo je da se može koristiti prefiks „m”, koji je skraćenica za mezoperit, npr. m-čarnokit.

Petrolozi često koriste pridev *granitoidni* šire nego imenicu *granit*, i tu uključuju kvarcdiorit, diorit, kvarcmonconit, granodiorit itd. Za razliku od njihovih vulkanskih „kolega”, u kojima je deo minerala „sakriven” (staklo) ili su vrlo sitni, u granitima su minerali dovoljno krupni da se identifikuju i makroskopski (golim okom) na uzorku stene. Shodno tome, Međunarodna unija za geološke nauke

(IUGS) preporučuje „čisto” modalnu (petrografsku) osnovu za nomenklaturu granitoida, a ne na osnovu odnosa sadržaja silicija i ukupnih alkaliya, TAS dijagram, koji će biti prikazan u poglavlju Hemijska klasifikacija granitoida.

QAP KLASIFIKACIJA VULKANSKIH GRANITOIDNIH STENA

Analizirajmo deo vulkanskih granitoidnih stena na slici 538. Ponovimo! Klasifikaciju „polja” vulkanskih stena *treba koristiti samo kao „privremenu” podelu kada nije poznat mineralni sastav ili nema hemijske analize.*



Slika 538. QAPF klasifikacija vulkanskih stena

Polja 4 i 5 su dacit. Stene u oba polja su pokriven nazivom *dacit* u širem smislu. Za polje 5 koriste se pojmovi kao što su *plagiodacit* i *kvarcni andesit*, a često se opisuju i kao dacit, što je preporučeni naziv.

Polja 9 i 10 (bazalt, andezit) sadrže veliku većinu vulkanskih stena. Bazalt i andezit se okvirno odvajaju korišćenjem kolor indeksa na granici od 40 tež% ili 35 vol% i 52% SiO_2 .

Sastav plagioklasa (na granici An_{50}) „manje je pogodan” za razlikovanje bazalta i andezita, jer mnogi andeziti obično sadrže „fenokristale” labradora ili bitovnita. Pomenuti kriterijum ne zadovoljava klasifikaciju ovih stena, pa se preporučuje TAS dijagram (biće prikazan u poglavlju Hemijska klasifikacija granitoida). Pošto je brojanje tačaka radi tačnog dobijanja sadržaja i međusobnog odnosa glavnih minerala „težak”, mukotrpan (u stvari „dosadan”) posao, uobičajena praksa određivanja glavnih minerala je da se normativni sadržaji minerala (dobijeni iz hemijske analize) direktno nanose na QAP trokomponentni dijagram Štrekajzena (Streckeisen).

V.8.1.2 PETROGRAFIJA GRANITOIDA

UVOD

Petrografija, određivanje glavnih minerala i sklopa, strukture i teksture granitoida, počinje na terenu, gde posmatramo stene na izdanku ili profilu.

Uzimamo uzorke na kojima određujemo vrste minerala, njihov sadržaj, međusobni odnos, strukturu itd. Za pomenuto treba iskustvo i osnovno znanje iz mineralogije silikata. Moje iskustvo nakon pola veka rada je da je svaki „novi” uzeti uzorak stene, čak i sa istog profila, izdanka, nekako drugačiji, ponekad „čudan” (nepoznat), ali se sve na kraju dobro završi. Stena se opisuje, dobija ime, obeležava i stavlja u ranac. Sledeća faza obično je izrada petrografskog preparata za mikroskopski pregled u polarizacionom mikroskopu, gde su rezultati bolji i tačniji.

Pregledom petrografskog preparata određujemo vrstu minerala, njihov sadržaj i međusobni odnos, strukturu i na kraju definišemo stenu. Nakon optičkih ispitivanja obično vršimo odabir uzoraka za naredna, hemijska ispitivanja. Kod određivanja stene treba biti obazriv, posebno kada su stene krupnozrne, a vidno polje u mikroskopu obuhvata samo par kvadratnih centimetara. Vidimo „mali” deo, ponekad samo jedno zrno minerala, ali zaključujemo „mnogo” – sastav glavnih minerala, strukturu, na osnovu čega se određuje vrsta stene itd.

Granitoidi su „prirodno” srednjezrne do krupnozrne stene koje ukazuju na to da su nastale sporim hlađenjem magme u dubini kore (litosfere), obično uz prisustvo fluida, posebno H_2O , koja „olakšava” rast minerala. Među geolozima se koristi širok pojam *granitoidi* (umesto granita) za plutonske (dubinske, intruzivne) krupnozrne magmatske stene koje su izgrađene od plagioklasa (prelazni, oligoklas, andezin), alkalnog feldspata, kvarca i bojenih minerala – hornblende i biotit dominiraju, dok su piroksen i muskovit retki. Od akcesornih minerala prisutni su cirkon, sfen, apatit itd.

Prelazni plagioklasi (oligoklas, andezin) obično se javljaju kao euhedralni (idiomorfni), prizmatični kristali koji su „neorijentisani”, dajući steni masivnu teksturu. Od bojenih minerala, najčešća je hornblenda, koja je prizmatična, listasti biotit, dok je piroksen redak.

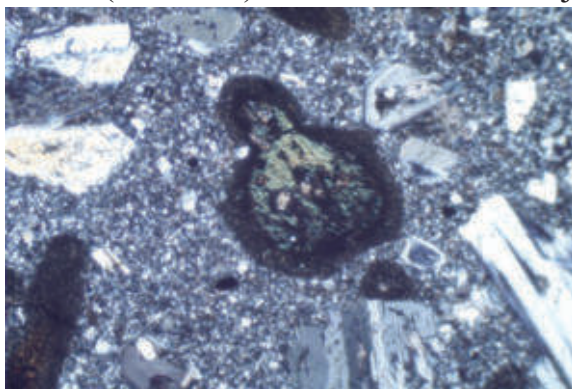
Alkalni feldspati i kvarc obično kristališu poslednji, zbog čega se javljaju kao alotriomorfni, zrnasti agregati, često kao intersticijska faza, kada zapunjavaju prostor između krupnih kristala plagioklasa i bojenih minerala. Ponekad se u granitoidima javljaju krupniji kristali **K**-feldspata u odnosu na ostale minerale (porfiroidna struktura), koji često pravilno uklapaju listke biotita, zrna kvarca, prizmatične plagioklase, pa čak i druge, starije, alkalne feldspate. U granitoidima sa alotriomorfnom strukturom obično preovlađuju salski minerali. U ovim stenama, osim pomenutih zrnastih struktura, prema međusobnom odnosu minerala (uklapanja, prorastanja, izdvajanja itd.), koje se uglavnom uočavaju u mikroskopu, tj. petrografskom preparatu, javljaju se granofirska, mirmekitska, pisano granitska, rapakivi, orbikularna tekstura, koje odražavaju kokristalizaciju, eutektičku kristalizaciju kvarca i alkalnih feldspata i ukazuju na značajne informacije o **PT** uslovima kristalizacije magme i redosledu i načinu kristalizacije minerala, sastavu itd. Prikazali smo ih u poglavljima o magmi, strukturi i teksturi magmatskih stena. Ovde ćemo se podsetiti na neke od njih, sa više „novih” detalja.

Strukture granitoida se, prema načinu i vremenu kristalizacije minerala, dele na dve „glavne” vrste:

1. **ravnotežna** (neprekidna, ekvilibrijska) kristalizacija i
2. **neravnotežna** (engl. *disequilibrium*) struktura.

Ravnotežna (ekvilibrijska) struktura nastaje „direktnom” kristalizacijom minerala iz magme i često se naziva i primarnom granitoidnom strukturom. Prema obliku i pravilnosti zrna kristala glavnih minerala, pojedini autori je dele na podgrupe: panidiomorfnu, hipidiomorfnu i alotriomorfnu.

Neravnotežna struktura, sa druge strane, nastaje kada je proces kristalizacije prekinut, na primer usled gubitka pritiska (odlaska) fluida, što dovodi do promene redosleda kristalizacije. Ako se događaj „rano” dogodio, kristali su generalno euhedralni i resorbovani po ivicama (opacitska struktura), što dovodi do heterogenog izgleda stene (slika 539). Ove strukture ukazuju na postojanje više



Slika 539. Neravnotežna struktura; oreol sitnih zrna magnetita oko fenokristala hornblende (opacitska struktura); andezit, Lisina, N+, 40x

faza kristalizacije minerala, što se odražava i na njihova geohemijska svojstva.

U ovoj grupi je i **porfiroidna struktura** (prikazana), kada se u steni javljaju znatno krupnija zrna alkalnog feldspata u odnosu na ostale glavne minerale. Krupni kristali alkalnih feldspata, veličine od 2 cm do 5 cm, ponekad i do „neverovatnih 20 cm, smatraju se nastalim postmagmatskim procesom metasomatoze (slika 540).



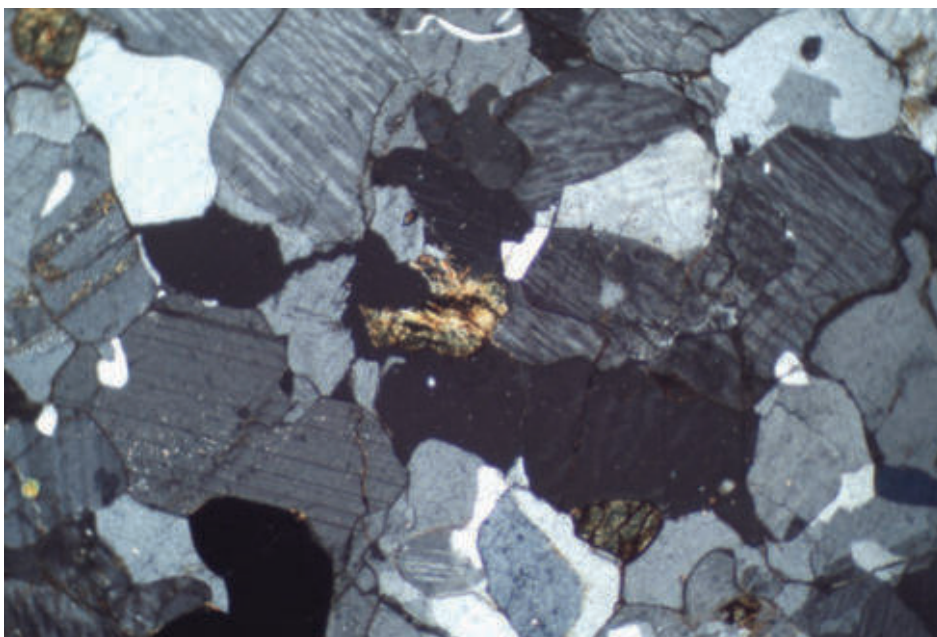
Slika 540. Porfiroidna struktura; krupnija zrna ortoklasa (sivo) u kvarcmonconitu sa Kopaonika

Postoje mišljenja da je uzrok i nukleacija. Vernon (**Vernon, 1986**) smatra da su krupni megakristali alkalnih feldspata (ortoklasa, mikrokлина) nastali zbog visoke stope rasta u kombinaciji sa niskom nukleacijom (malim brojem kristalizacionih zametaka), što uzrokuje „efikasan” rast nekoliko centara (kristalizacionih zametaka) gde je nukleacija „uspela”, što pak dovodi do formiranja vrlo krupnih kristala. Dokaz su krupni kristali alkalnog feldspata koji često sadrže uklopke, inkluzije drugih minerala, kao što su biotit, kvarc itd., koji su uglavnom paralelni sa rastom kristala. Prema eksperimentalnim podacima, u granitoidnim rastopima **K**-feldspat počinje kristalizaciju odmah nakon mafičnih minerala i plagioklasa.

Postoji i podela granitoida na osnovu sadržaja samo jednog feldspata (npr. alkalni feldspat, obično ortoklas) ili dva feldspata (alkalni feldspat i albit), gde razlikujemo **hipersolvus** i **subsolvus** granitoide.

U plitko smeštenim granitoidnim plutonima, odnosno na malim dubinama (5–10 km), hlađenje je brzo, zbog čega kristališe jedan feldspat, ortoklas i/ili albit, kada stena pripada hipersolvus (sreće se i izraz hipersolidus) granitoidima. To su kristali mešanci. Ortoklas u sebi sadrži deo albanske komponente, a albit deo ortoklasne komponente. Sa padom temperature, zbog nemogućnosti daljeg mešanja pomenutih minerala, postaju nestabilni. U ortoklasu se izdvaja albanska kompo-

nenta, kada stena zadobija pertitsku strukturu (slika 541), ili se izdvaja ortoklasna komponenta u albitu, kada nastaje antipertitska struktura (takođe opisano u odeljku Strukture magmatskih stena).

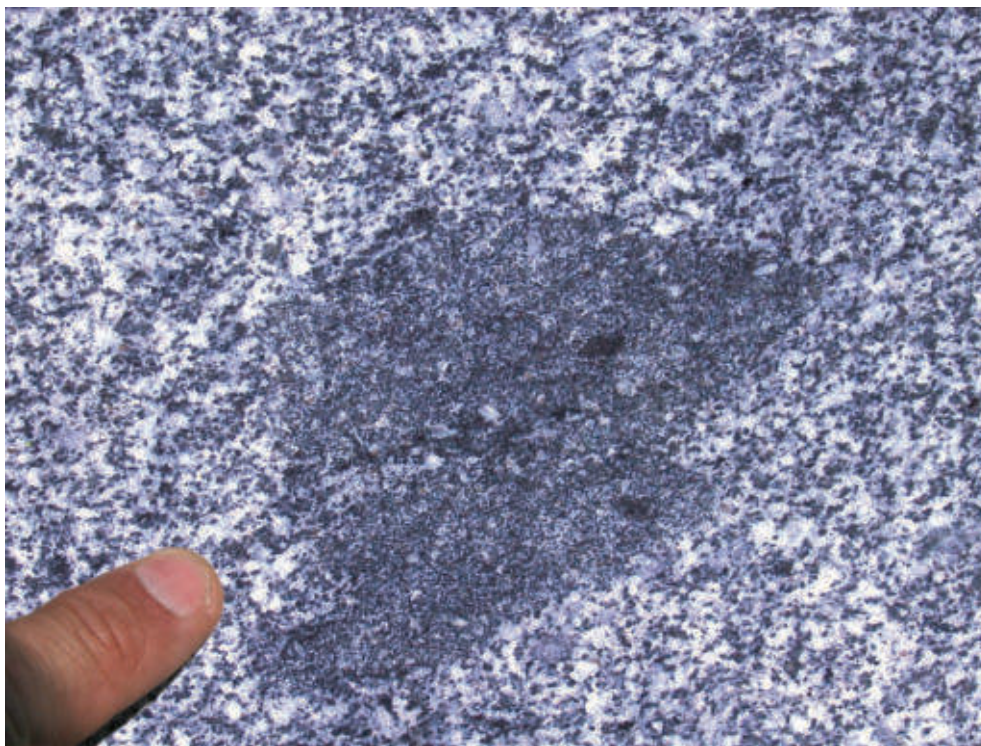


Slika 541. Pertitska izdvajanja albita u ortoklasu, granit Bukulja; N+, 50x

Subsolvus (sreće se i izraz **subsolidus**) **granitoidi** se javljaju na **većim dubinama**, gde je sporije hlađenje, viši pritisak itd. Ovde kristališu „čisti” ortoklasi sa vrlo malo albanske komponente i albit sa vrlo malo ortoklasne komponente. Imajte u vidu i način pojavljivanja alkalnog feldspata, koji daje informacije o uslovima kristalizacije magme. Navedena dubina smeštaja i brzina hlađenja određuju ove strukture. Takođe, treba napomenuti, da se sastav feldspata koristi i kao termometar za procenu temperature hlađenja granitoida i dubine gde granitoid očvršćava (kristališe). Iako kasnija tektonika uz eroziju može „podići” granitoid na površinu, sastavi feldspata se neće promeniti zbog izuzetno male kinetike, te dugo ostaju stabilni.

Na svom putu ka površini graniti često uzimaju, zahvataju komade stena sa okolnih zidova, **anklave** (u pojedinim udžbenicima sreće se i izraz **enklave**), koje takođe daju značajne podatke o steni (granitu) u kojoj se nalaze (slika 542). Najvećim delom „dolaze” iz krovnih delova magmatske komore. Veličine su najčešće između nekoliko centimetara (ima i sitnijih) pa do nekoliko desetina centimetara, retko i metara.

Proučavanjima je utvrđeno da anklave imaju različit mineralni sastav i strukturu. Po sastavu mogu biti magmatske, sedimentne i metamorfne. Najlakše se uočavaju kada se razlikuju u boji u odnosu na granitoide u kojima se javljaju, strukturi, pa i teksturi. Anklave pružaju informacije o vrstama stena kroz koje je magma prošla. Njihov mineralni sastav može ukazivati na temperaturu granitske magme, vrstu i intenzitet hemijskih reakcija itd. Terenska istraživanja su pokazala da se anklave obično javljaju na margini plutona.



Slika 542. Anklava u granodioritu iz Jošanice (Kopaonik)

Pomenimo da se neke anklave u granitima S-tipa tumače i kao rezistati, nestopljivi delovi pelitskih (sedimentnih) stena. Ponekad sadrže silimanit, kordijerit i granat. Mafične (bogate bojenim mineralima) sitnozrne anklave su obično okrugle ili ovalne, dioritskog sastava, i često se sreću u I i S tipu granitoida.

Postoje različita mišljenja o njihovom nastanku. Neki autori smatraju da su nastale mešanjem magmi, dok drugi tvrde da su „razbijeni” bazični blokovi različitih veličina. U nekim granitoidima koji su smešteni u sedimentima, postoje mafične anklave koje se razlikuju po sastavu od okolnih stena, zbog čega pojedini autori smatraju da su inkorporirane (uhvaćene) granitskom magmom. Čapel i Vajt (*Chappell i White, 1991*) razvili su hipotezu da su mafične anklave u granitoidima ostatak (rezistat) materijala (stene) iz izvornog regiona tokom procesa delimičnog stapanja ili palingeneze. Stoga ove procese treba pažljivo razmotriti, posebno sa aspekta njihovog nastanka i porekla.

Granitoidi su uglavnom homogene građe, zbog čega imaju **masivnu teksturu** (detaljnije opisana u poglavlju o strukturi i teksturi magmatskih stena). U ovim stenama se takođe javlja trakasta tekstura (pseudoslojevitost), koja se smatra rezultatom promene temperature (termalnih strujanja unutar magme), koja utiče na viskoznost, brzinu rasta i vreme kristalizacije glavnih minerala. Ovaj proces se može ponavljati kada se formiraju serije magmatskih „slojeva”.

Lučenje granita je pločasto, bankovito do nepravilno. Ovo je veoma važno za eksploataciju granitoida kao arhitektonskog ili tehničkog kamena.

NOMENKLATURA GRANITOIDA

Naziv stene, tj. nomenklatura granitoida u okviru petrografskih proučavanja bazira se na **modalnom sastavu i međusobnom odnosu prelaznog plagioklasa (oligoklasa i andezina), alkalnih feldspata (ortoklasa i mikroklin)** i kvarca, koji su dominantne faze glavnih, salskih minerala u većini granitoida, mada neki od njih mogu i da „izostanu”.

Sadržaj bojenih minerala, pre svega hornblende i biotita, manje piroksena i muskovita, varira, obično se povećava sa većom količinom plagioklasa i ne „utiče” na naziv stene.

Nomenklatura granitoida bazira se na opisanoj i objašnjenjnoj **QAPF** klasifikaciji koja se zasniva na modalnom sadržaju pomenutih salskih minerala i „najjednostavnija” je negenetska podela granitoida, koja se nalazi u većini „petrografskih” udžbenika.

Za naziv (nomenklaturu) granitoida neophodna je **QAPF** klasifikacija, određivanje strukture (zrnasta, porfirska) kao i Rozenbušova klasifikacija, gde se, sećate se, sve magmatske stene, prema načinu pojavljivanja i mestu smeštaja, dele na dubinske žične i izlivne.

U tekstu koji sledi, prema pomenutim kriterijumima u okviru „petrografskih” svojstava, granitoide delimo na sledeće grupe:

1. **dioritska** grupa, izgrađena od prelaznog plagioklasa, oligoklasa, andezina i bojenih minerala: hornblende, biotita, retko piroksena i olivina;
2. **kvarcdioritska** grupa, izgrađena od prelaznog plagioklasa, oligoklasa, andezina, kvarca i bojenih minerala: hornblende, biotita, retko piroksena;
3. **granodioritska** grupa, izgrađena od prelaznog (intermedijarnog) plagioklasa, oligoklasa, andezina i alkalnog feldspata (ortoklasa, mikroklin), koji je manje zastupljen, zatim kvarca i bojenih minerala, najčešće biotita i hornblende;
4. **monconitska** grupa, u kojoj su podjednako zastupljeni prelazni plagioklasi i alkalni feldspati, zatim bojeni minerali, uglavnom biotit i hornblenda;
5. **kvarcmonconitska** grupa, u kojoj su podjednako zastupljeni prelazni plagioklasi i alkalni feldspati, zatim kvarc i bojeni minerali, uglavnom biotit i hornblenda;
6. **sijenitska** grupa, izgrađena od alkalnog feldspata, malo albita i bojenih minerala kao što su, biotit, hornblenda itd. i
7. **granitska** grupa, izgrađena od alkalnog feldspata, malo albita, kvarca i bojenih minerala, kao što su, biotit, hornblenda, muskovit itd.

Svaka navedena grupa predstavljena je dubinskim, žičnim i izlivnim stenama sa određenom strukturom i pomenutim sastavom.

V.8.2. DIORITSKA GRUPA

V.8.2.1 DUBINSKE STENE DIORITSKE GRUPE

DIORIT

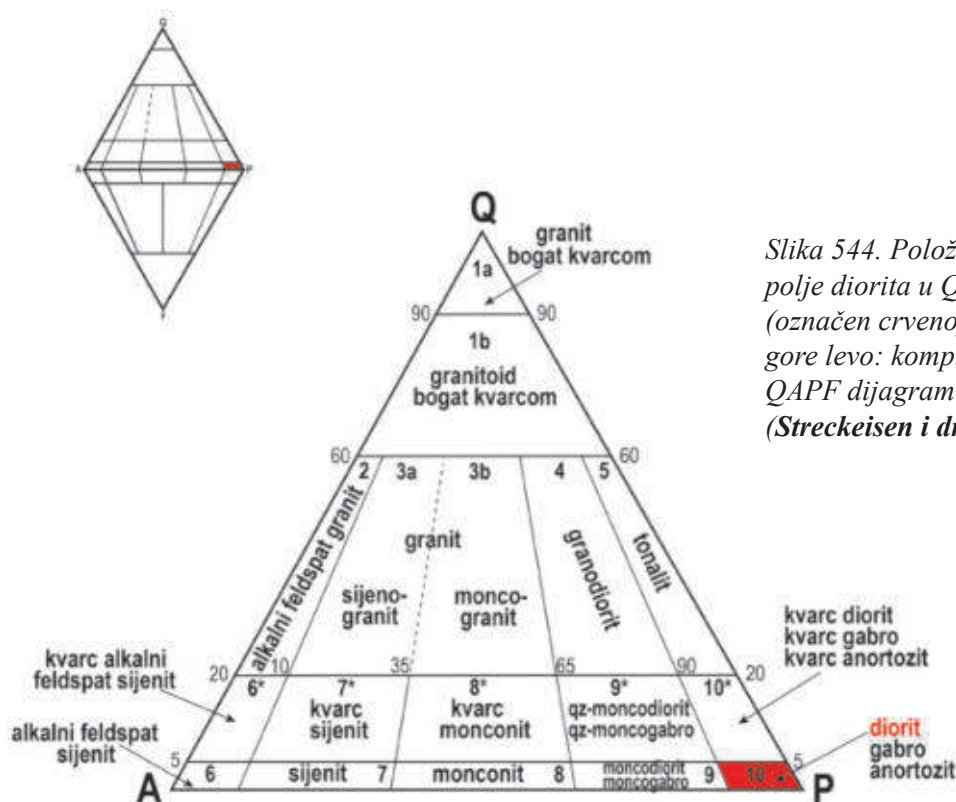
Diorit je dubinska, zrnasta, intermedijarna magmatska stena (sadrži između 66% i 55% SiO_2). Izgrađena je od intermedijarnog plagioklasa (andezina ili oligoklasa), vrlo malo alkalnih feldspata (ispod 10%) i bojenih minerala – hornblende, augita, biotita i, retko, hiperstena (slika 543).

Ne sadrži slobodni kvarc (ispod 5%) (slika 544). Podsetimo se da komponenta P, plagioklas nije definisan po sastavu (kiseli, prelazni, bazični) zbog čega se u polju diorita nalaze gabrovi i anortoziti.

Od sporednih sastojaka najčešći su apatit, magnetit, sfen i ponekad cirkon.

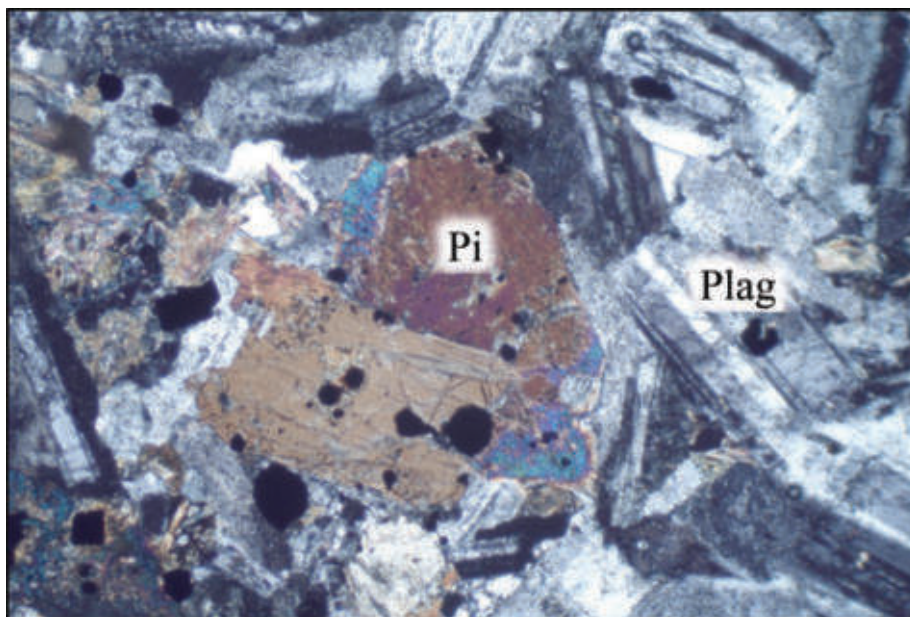


Slika 543. Uzorak diorita veličine 10 cm



Slika 544. Položaj, polje diorita u QAP dijagramu (označen crveno);
gore levo: kompletan QAPF dijagram (Streckeisen i dr., 1973)

Svetli minerali (plagioklasi) i tamni minerali (bojeni, hornblenda, biotit, piroksen) zastupljeni su u približno jednakim količinama. Ime dobijaju prema najzastupljenijem bojenom mineralu: augitski diorit, hiperstenski diorit, biotitski diorit itd. **Strukture su zrnaste, najčešće hipidiomorfno zrnaste**, ponekad i porfiroidne (slika 545). Krupnoća zrna varira kao i kod granodiorita.



Slika 545. Mikrosnimak diorita, Boljevac; Plag = plagioklas, Pi = piroksen; N+, 40x

Tekstura stene je uglavnom **masivna**, raspadanje i grus kao kod granita.

To su stene tamnosive, sivozelene, zelene, ponekad i tamnozeleno boje, masivne teksture.

Lučenje i način pojavljivanja su isti kao kod granita, kvarcmonconita i granodiorita. Dioriti se retko javljaju kao samostalni masivi. **Obično su facije (zone) po obodu granodiorita**, sa malom količinom alkalnog feldspata. Smatra se da su nastali desilikacijom granodioritske magme, najčešće zbog asimilacije sa okolnim stenama, kada je došlo do „gubitka” slobodnog silicijuma (kvarca) i oslobađanja lako isparljive komponente. Tokom ovih procesa, temperatura magme na obodu se povećala, što je dovelo do kristalizacije minerala stabilnih na višim temperaturama, intermedijarnog plagioklasa i bojenih minerala – biotita, hornblende i piroksena.

Dioriti se javljaju **i kao kiseliji diferencijati** (bogatiji silicijumom) **gabra**, sa kojim pokazuju i postupne prelaze, kada stene nazivamo gabrodioritima. Lučenje i način pojavljivanja, raspadanje, tehnička svojstva i primena su isti kao kod ostalih granitoida. Sitnozrnasti varijeteti lepih boja se koriste kao dekorativni kamen za oblaganje. Dioriti su u Srbiji retke stene. Ima ih uz gabrove Deli Jovana i kod Boljevca u Istočnoj Srbiji, kao i na Staroj planini.

V.8.2.2 ŽIČNE STENE DIORITSKE GRUPE

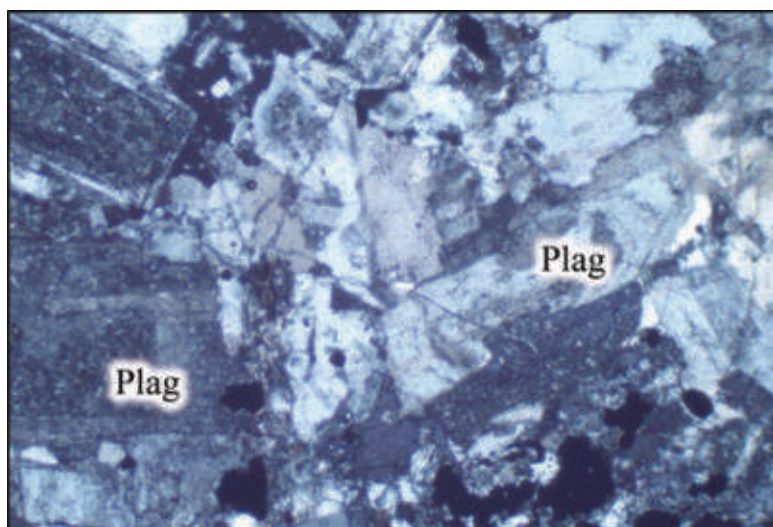
DIORITPORFIRIT

Dioritporfirit je ašistna žična stena diorita. Dioritporfiriti se javljaju u žicama, debljine od nekoliko desetina centimetara do nekoliko metara, koje su utisnute u matične stene – diorite ili u okolne stene (slika 546).



Slika 546. Žica dioritporfirita, površinski kop Veliki Krivelj; gore levo: uzorak stene

Strukture su zrnaste, porfiroidne do porfirske, zavisno od stepena iskristalisanosti magme i brzine hlađenja (slika 547).



Slika 547. Mikrosnimak dioritporfirita, ista lokalnost; Plag=plagioklas: N+, 40x

Izgrađen je od intermedijarnog plagioklasa, andezina i bojenih minerala: biotita, hornblende ili piroksena, koji su obično manje zastupljeni. Nemaju ekonomskog značaja.

APLIT

Aplit je žična, diašistna stena aplitskog niza. Sastoji se od salskog minerala, koji ulazi u sastav diorita, intermedijarnog plagioklasa, andezina. Strukture su zrnaste, porfiroidne ili porfirske, ako je ostatak rastopa brzo hlađen. Nemaju praktičnog značaja.

PEGMATIT

Pegmatit je veoma retka stena u dioritima, jer se nakon diferencijacije magme, u ostatku magmatskog rastopa obogaćenog lako isparljivom komponentom, obično javlja i kvarc, koje ove stene nemaju.

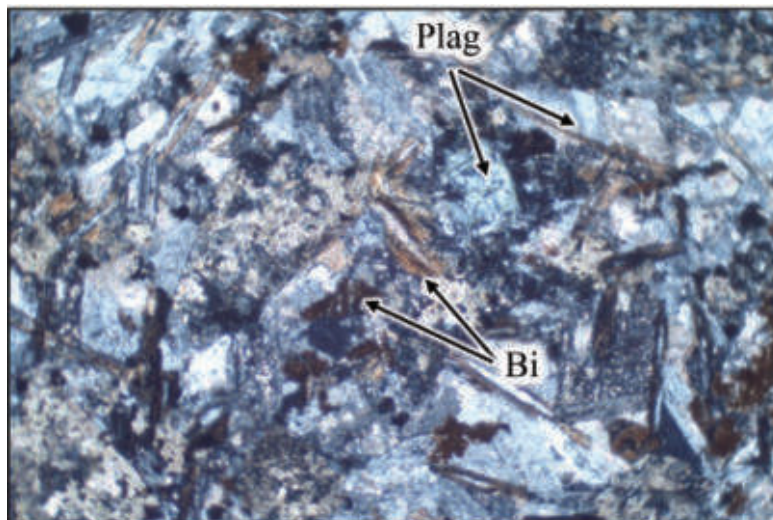
KERSANTIT

Kersantit je žična stena lamprofirskog niza i ima više bojenih minerala od matične stene diorita. Boje je tamnozelene do sivozelene, masivne teksture, u kojoj se makroskopski lako raspoznaju biotit i feldspati. Javlja se u žicama debljine i do preko desetak metara, retko gradi manje mase (slika 548). Izgrađen je od intermedijarnog plagioklasa, andezina i biotita (slika 549).



Slika 548. Izdanak kersantita, Ripanj; gore levo uzorak stene

Uz biotit se često javlja i augit, a katkad i hornblenda i olivin. Ako se umesto biotita pojavi **hornblenda**, stenu nazivamo **spesartit**. Strukture su zrnaste. Kao i kersantit, i spesartit, usled velikog sadržaja bojenih minerala koji su nestabilni, lako podleže površinskom raspadanju. Ove stene biće opisane i u okviru poglavlja Lamprofiri.



Slika 549. Mikrosnimak kersantita, Ripanj; Plag=plagioklas, Bi=biotit; N+, 40x

V.8.2.3 VULKANSKE STENE DIORITSKE GRUPE

ANDEZIT

Andeziti su, nakon bazalta, najzastupljenije vulkanske stene. Kada su manje diferencirani i siromašniji silicijom (SiO_2 komponentom), „teško” se razlikuju od bazalta, obično po zonarnim fenokristalima plagioklasa i retko značajnim količinama ortopiroksena. Na **QAPF** dijagramu padaju u polja 9 i 10 (slika 550).

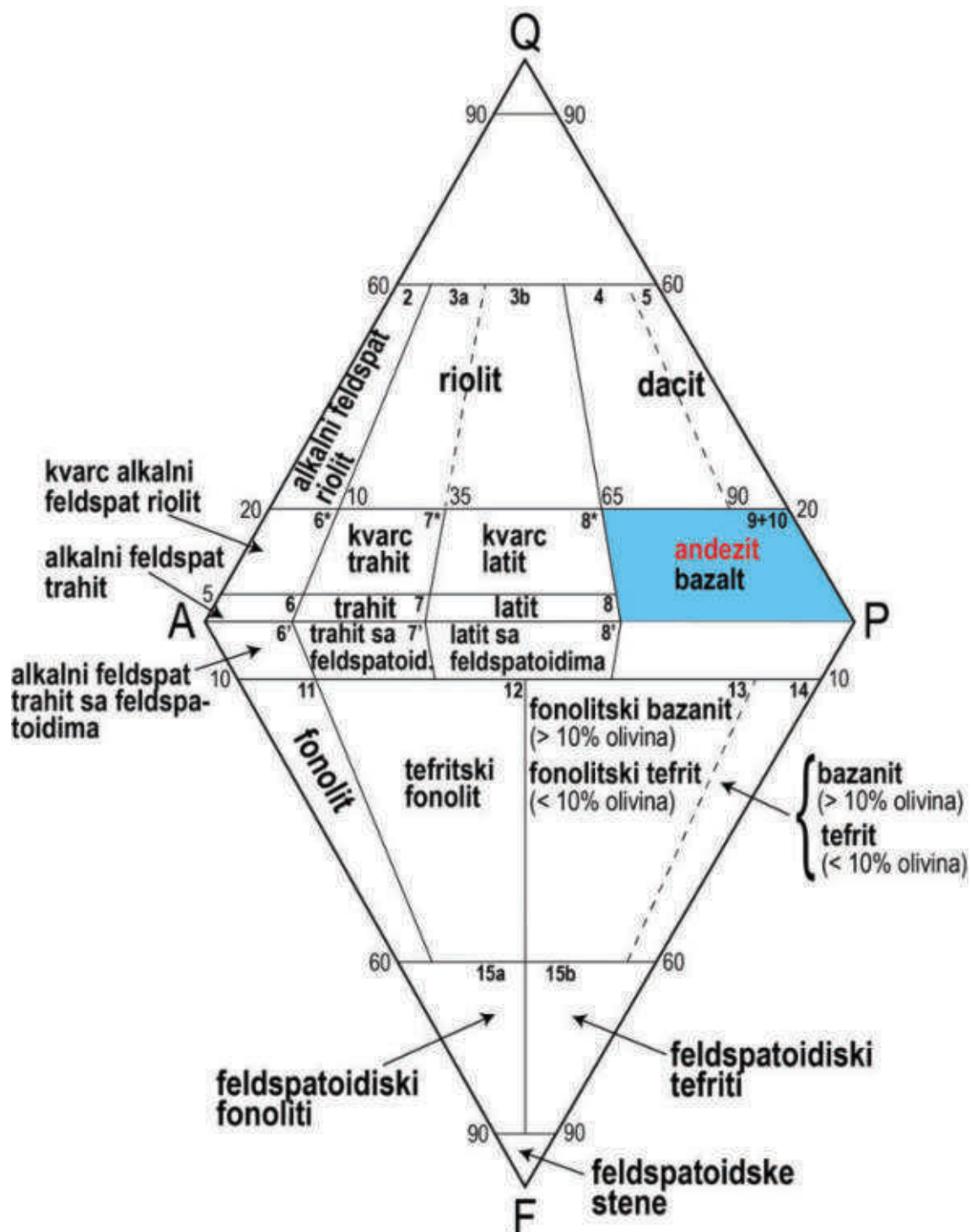
Andezitske magme imaju niže solidus temperature, što sa vodom stvara hornblendu, ponekad i biotit umesto piroksena.

Andezit je ekstruzivna, izlivna mlađa (kenozojska) vulkanska stena od diorita.

Strukture su porfirske, izgrađene od fenokristala intermedijarnog plagioklasa (andezina), koji je obično zonirane građe, i bojenih minerala: hornblende, biotita, augita, hiperstena, ponekad ima i olivina, koji leže u mikro-kristalastoj, kriptokristalastoj ili staklastoj osnovnoj masi. Ne sadrže slobodni kvarc kao fenokristal (slika 551).

Od akcesornih minerala sreću se **Fe-Ti oksid, apatit**, retko sfen.

To su intermedijarne stene, tamnosive, tamnozeleno ili sivozelene boje, koje pri raspadanju, uglavnom oksidacijom, postaju sivo-žute, sivo-zelene do sivo-crvene. **Teksture su masivne**, ponekad i fluidalne. Javljaju se kao veliki izlivi, često sa stubastim i bankovitim lučenjem.



Slika 550. Položaj andezita (i bazalta) na *QAPF* dijagramu (Streckeisen i dr., 1979)



Slika 551. Mikrosnimak andezita iz Velikog Krivelja; Plag = fenokristali plagioklasa, Ho=fenokristali hornblende; N+, 50x

Najveće mase andezita nastaju **iznad zone subdukcije**, gde se **okeanska litosfera podvukla ispod kontinentalne litosfere (područja aktivnih kontinentalnu margina)**, tj. za **vulkanski odnosno magmatski luk** (detaljnije u poglavlju Granitoidi u aktivnim kontinentalnim marginama).

Naziv *andezit* je dao Buh (Buch), početkom devetnaestog veka, po Andima (i prelazni plagioklas andezin takođe je dobio ime po Andima).

U andezitima se retko mogu sresti i granati, koji „odslikavaju” anateksis kontinentalne kore. Podela andezita je izvršena prema vodećem bojenom mineralu, kao i kod dacita, pa tako razlikujemo augitski, biotitski, amfibolski andezit itd.

Sa pojavom kvarca iznad oko 5% volumena stene, andeziti prelaze ka dacitima (dacito-andeziti), a sa pojavom alkalnog feldspata (sanidina) u latite. Sa porastom sadržaja bazničnijeg plagioklasa i bojenih minerala, ove stene prelaze ka bazaltima (andezit-bazalti).

Andezitske lave po morfologiji sliva liče na bazaltne lave, ali imaju i „jasne” razlike. Zbog većeg sadržaja SiO_2 od bazalta, imaju veći viskozitet i često su više iskristalisale, tj. imaju veći sadržaj fenokristala.

Andezitske lave se ne javljaju kao pahoehoe izlivi, već se sreću kao „**A-a**” izlivi. Zbog „dovoljne” viskoznosti, formiraju vulkanske kupe umesto ravne (pločaste) izlive. Ovi vulkanski oblici su karakteristični i za dacite i riolite.

Andeziti su kod nas rasprostranjene stene. Najveće mase ovih stena se nalaze u Timočkom magmatskom kompleksu u Istočnoj Srbiji, koji je gornjokredne starosti (slika 552).

Andeziti obično sadrže krupne, idiomorfne fenokristale hornblende, veličine i preko 10 cm, piroksena i biotita. U ovim stenama se javljaju i značajna ležišta bakra, u Boru i Majdanpeku. Andeziti su takođe nosioci mnogih sulfidnih mineralizacija. Osim pomenutog bakra i zlata, javljaju se olovo, cink, srebro, antimon, arsen, živa itd.

Sulfidne mineralizacije sa rudnjenjima bakra, olova, cinka, zlata, srebra itd. koje se javljaju u dacitima i andezitima pokazuju specifičan tip izmena koji se definiše kao **propilitizacija**. Evo detalja.



Slika 552. Izdanak andezita, Veliki Krivelj; gore desno: uzorak stene

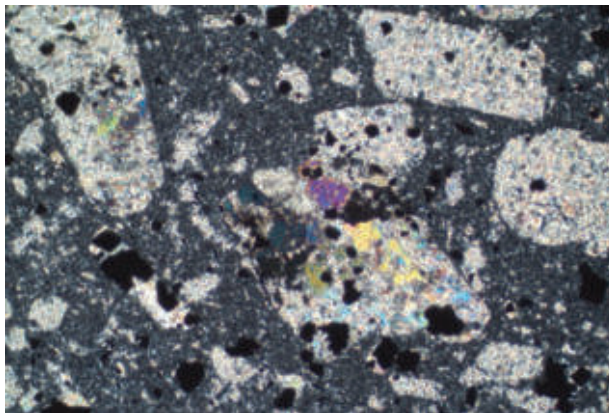
Daciti i andeziti su u početnoj fazi promena zelene do tamnozelene, vrlo jedre i kompaktne stene. Plagioklasi su još uvek sveži i staklasti, a redovno su impregnirani piritom i drugim sulfidima, a bojeni minerali su hloritisani i epidotisani (slike 553 i 554).



Slika 553. Hidrotermalno promenjeni andeziti, Lipa; gore desno: detalj stene

Promene su hidrotermalne, predstavljaju autometamorfozu, s obzirom na to da njihove izmene vrše hidrotermalni rastvori koji su ostali nakon kristalizacije i konsolidacije magme iz koje su nastale pomenute stene. U daljoj fazi, dejstvom atmosferilija, sulfidi se oksidišu i stvara se sumporna kiselina, koja razara postojeće minerale: plagioklase

i osnovnu masu koju kaolinitiče, sericitiče, a bojeni minerali se „izbeljuju”, tako da tokom vremena stena prelazi u trošnu beličastu masu. Propilitisane stene mogu poslužiti i kao regionalni putokaz i prospekcijski kriterijum za pronalaženje novih pojava mineralizacije bakra i drugih metala. Propiliti su konstatovani u blizini skoro svih naših sulfidnih mineralizacija, u Trepči, Novom brdu, Ajvaliji, Timoćkom magmatskom kompleksu itd. Ako su sveži, sitnozrni i povoljno lučeni, andeziti se koriste kao građevinski kamen. Andezita ima i u okolini Trepče, Ljubovije, u zapadnoj Srbiji, na Rudniku, Kopaoniku itd.



Slika 554. Mikrosnimak hidrotermalno promenjenog andezita, Lipa, N+, 50x

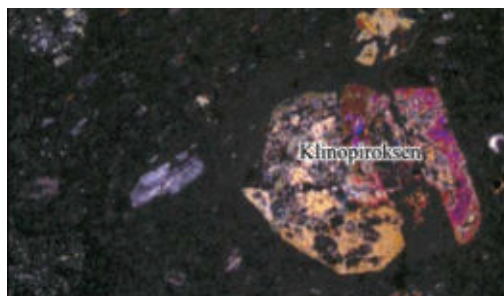
BONINIT

Boninit smo pomenuli kod bazalta, ali se, prema nekim autorima, svrstava u grupu andezita (slika 555). To je fino zrna vulkanska stena koja je **izgrađena domi-**



Slika 555. Boninitske pillow lave, ostrvo Bonin, Japan; dužina izdanka oko 3 m; gore levo: uzorak stene

nantno od fenokristala olivina, ortopiroksena, klinopiroksena i vrlo malo plagioklasa, koji leže u staklastoj osnovnoj masi (slika 556). Neka zrna ortopiroksena imaju oreole od klinopiroksena. Budući da ne sadrži plagioklas kao bitan mineral (mora biti prisutan u više od 5% zapremine stene), boninit „ne ispunjava” nijedan od klasičnih petrografskih



Slika 556. Mikrosnimak boninita, N+, 50x.

kriterijuma. **Definiše se na osnovu sadržaja SiO_2 od 57,6%,** zbog čega se svrstava unutar andezitskog polja na TAS dijagramu. Stene sličnog sastava, ali sa višim sadržajem alkalija, svrstavaju se u trahandesite i trahidacite, dok su iznad njih rioliti. Detaljnije o boninitima u poglavlju o hemijskoj klasifikaciji granitoida.

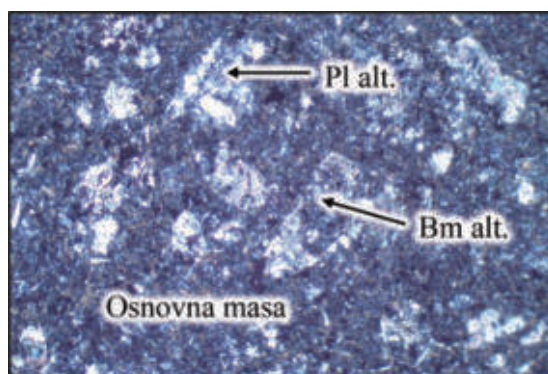
PORFIRIT

Porfirit je starija (paleotipna) vulkanska stena diorita. Porfiriti su najčešće izlivani **submarinski** i članovi su **spilit keratofirske asocijacije** koja je nastala u **srednjem trijasu** (slika 557).



Slika 557. Izdanak porfirit, Lastra; gore desno: uzorak stene

Strukture su **porfirske**, izgrađene od **intermedijarnog plagioklasa, andezina** i bojenog minerala: **biotita, hornblende** ili **piroksena**, koji leže u **holokristalastoj, hipokristalastoj**, retko hijalinskoj **osnovnoj masi** (slika 558). Često su alterisane, hloritisane, epidotisane, kalcitisane, zbog čega su karakteristične zelene ili sivo-zelene boje. Za ove stene vezuju se i hidrotermalna ležišta olova i cinka.



Slika 558. Mikrosnimak porfirit, Lastra; Pl alt = alterisani fenokristal plagioklasa, Bm alt. = alterisani fenokristal bojenog minerala; N+, 40x

V.8.3 KVARCDIORITSKA GRUPA

V.8.3.1 DUBINSKE STENE KVARCDIORITSKE GRUPE

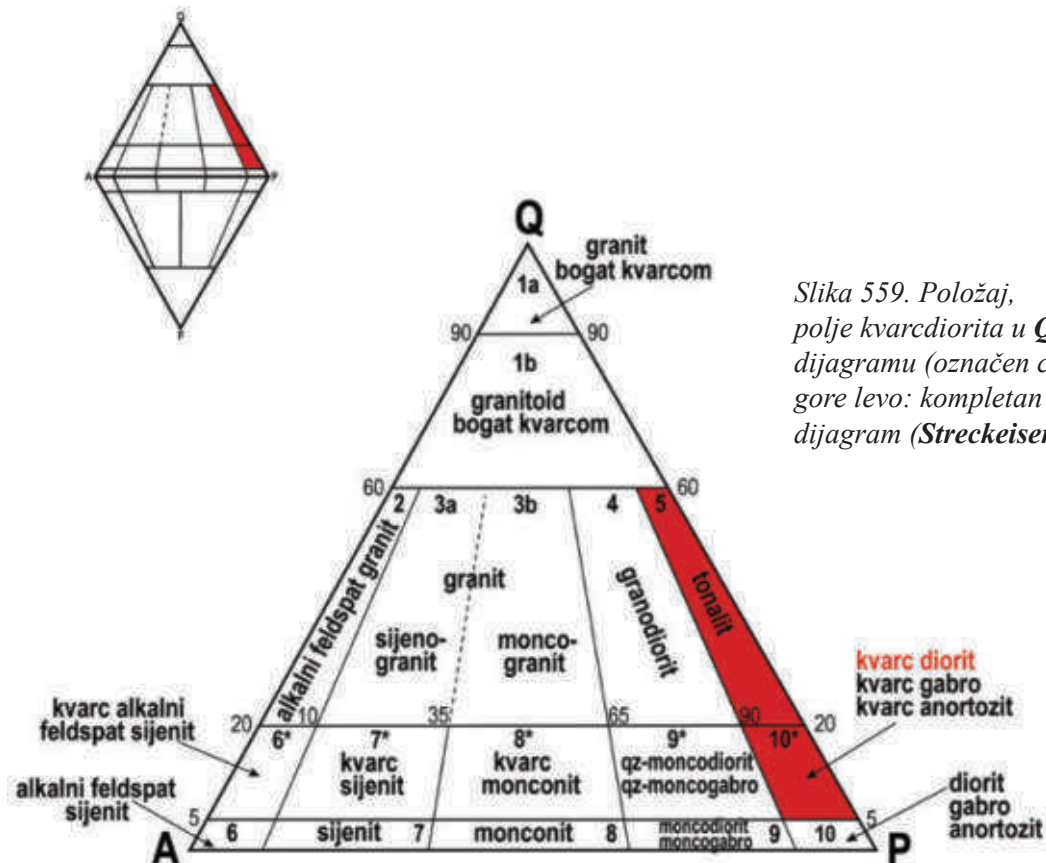
KVARCDIORIT

Kvarcdiorit je dubinska (intruzivna) intermedijarna stena (slika 559), izgrađena od intermedijarnog plagioklasa (oligoklasa ili andezina), bojenih minerala poput hornblende, biotita i augita i kvarca (slika 560).

Od sporednih minerala, javljaju se **sfen, ortit, cirkon, apatit** i drugi, dok su sericit, kalcit, hlorit, epidot, limonit i drugi prisutni kao sekundarni minerali.

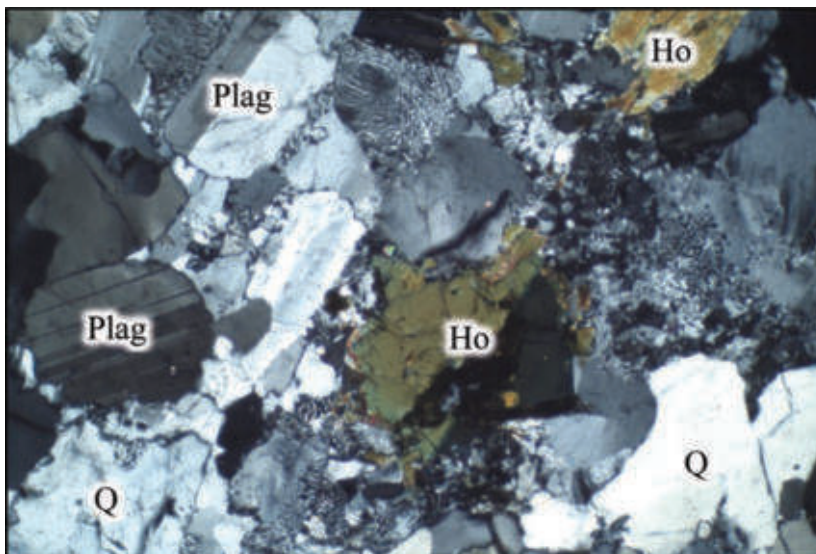
Ove stene, poput granita, kvarcmonconita i granodiorita, otporne su na površinsko raspadanje, ali dugotrajnim razaranjem prelaze u grus. Zbog svojih dobrih mehaničkih karakteristika, koriste se kao tehnički kamen, posebno ako su dobro lomljeni i sitnog do srednjeg zrna (slika 561). Upotrebljavaju se za izradu kocki, ivičnjaka, ploča, tucanika itd. Sitnozrnaste varijante ovih stena koriste se i kao dekorativni kamen.

Kvarcdiorit se ponekad javlja i kao marginalna facija duž oboda granitoidnih masiva, zbog bržeg hlađenja u odnosu na središnji deo magme u komori. Primeri su oko granodiorita Surdulice, Boranje, Besne Kobile itd. U nekim udž-



Slika 559. Položaj, polje kvarcdiorita u QAPF dijagramu (označen crveno); gore levo: kompletan QAPF dijagram (Streckeisen, 1973)

benicima, ovu stenu poistovećuju sa **tonalitom**, koji je prvi put opisan na planini Monte Adamello u blizini Tonale u istočnim Alpima. To je grubozrna, mezokratna ili leukokratna stena sa zrnastom strukturom. Sastoji se od prelaznog plagioklasa (uglavnom andezina), kvarca i jednog ili dva bojena minerala, biotita i/ili hornblende. Po sastavu odgovara kvarcdioritu, ali je, prema **QAPF** klasifikaciji, bogatija kvarcom, a siromašnija plagioklasima (slika 559).



Slika 560. Mikrosnimak kvarcdiorita sa Pohorja; skraćenice: Plag = plagioklas, Q = kvarc, Ho = hornblenda



Slika 561. Kvarcdiorit, Pohorje (Slovenija); gore desno: detalj stene

V.8.3.2 ŽIČNE STENE KVARCDIORITSKE GRUPE

KVARCDIORITPORFIRIT

Kvarcdioritporfir je ašistna žična stena koja se, u odnosu na matičnu stenu kvarcdiorit, razlikuje po načinu pojavljivanja i porfirskoj do porfirdnoj strukturi, dok im je mineralni sastav isti. **Javljaju se kao žice debljine do 1 m**, ali nemaju praktičan značaj (slika 562).



Slika 562. Žica kvarcdioritporfirita u kvarcdioritu sa Pohorja presečena mlađom pegmatitskom žicom

APLIT

Aplit je žična diašistna stena koja pripada kvarcdioritu. Izgrađena je od salskih minerala koji su prisutni i u matičnoj steni kvarcdioritu, kao što su **kvarc** i **intermedijarni plagioklas** koji je bogatiji albitskom komponentom u odnosu na matičnu stenu. Javljaju se kao žice debljine do 1 m, obično nekoliko do desetak centimetara (slika 563). Strukture su zrnaste, porfiroidne i porfirske, zavisno od brzine hlađenja ostatka rastopa koji je bio siromašan lako isparljivom komponentom. Nemaju ekonomskog značaja.



Slika 563. Žice aplita u kvarcdioritu sa Pohorja

PEGMATIT

Pegmatit je žična stena, izgrađena od kvarca, intermedijarnog do kiselog plagioklasa, muskovita, biotita, turmalina, granata itd. (slika 564). Stene su zrnaste strukture, sa krupnim kristalima navedenih minerala. Mogu biti ekonomski interesantne. U odnosu na pegmatite koji se javljaju u prethodno opisanim stenama sa kvarcom, granite, kvarcmonconite i granodiorite, znatno su manje zastupljeni.



Slika 564. Žica pegmatita u kvarcdioritu sa Pohorja

V.8.3.3 VULKANSKE STENE KVARCDIORITSKE GRUPE

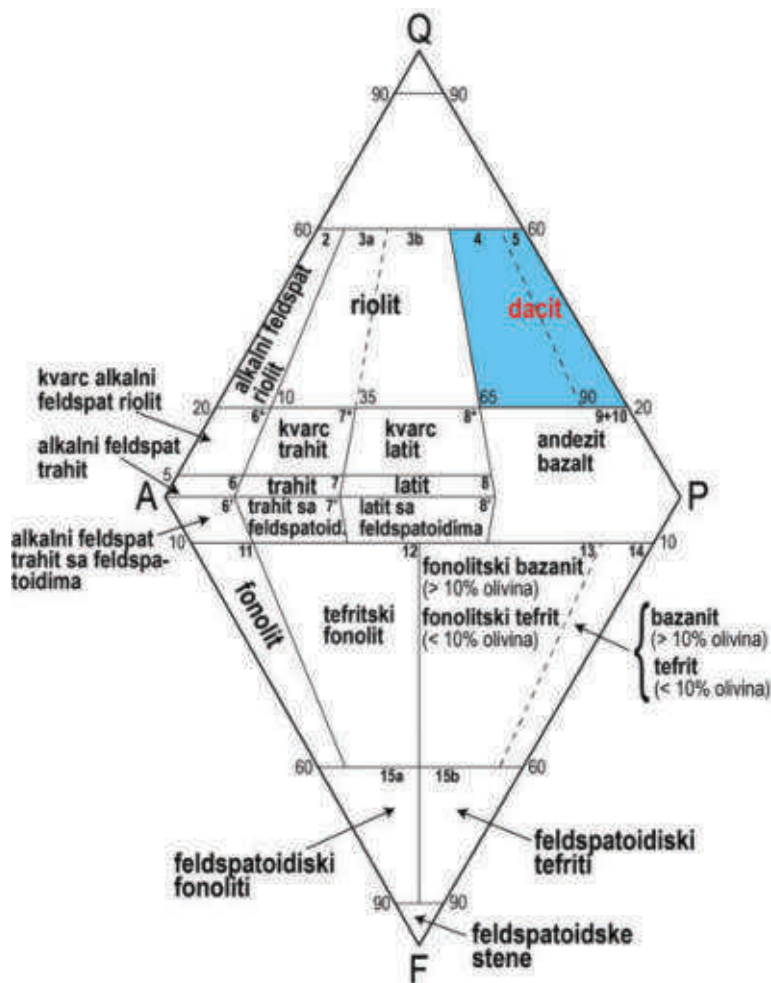
DACIT

Dacit je mlađa (kenozojska) izlivna stena koja pripada kvarcdioritu. Ime je dobila po Daciji, starom nazivu za Rumuniju, gde su dosta zastupljene.

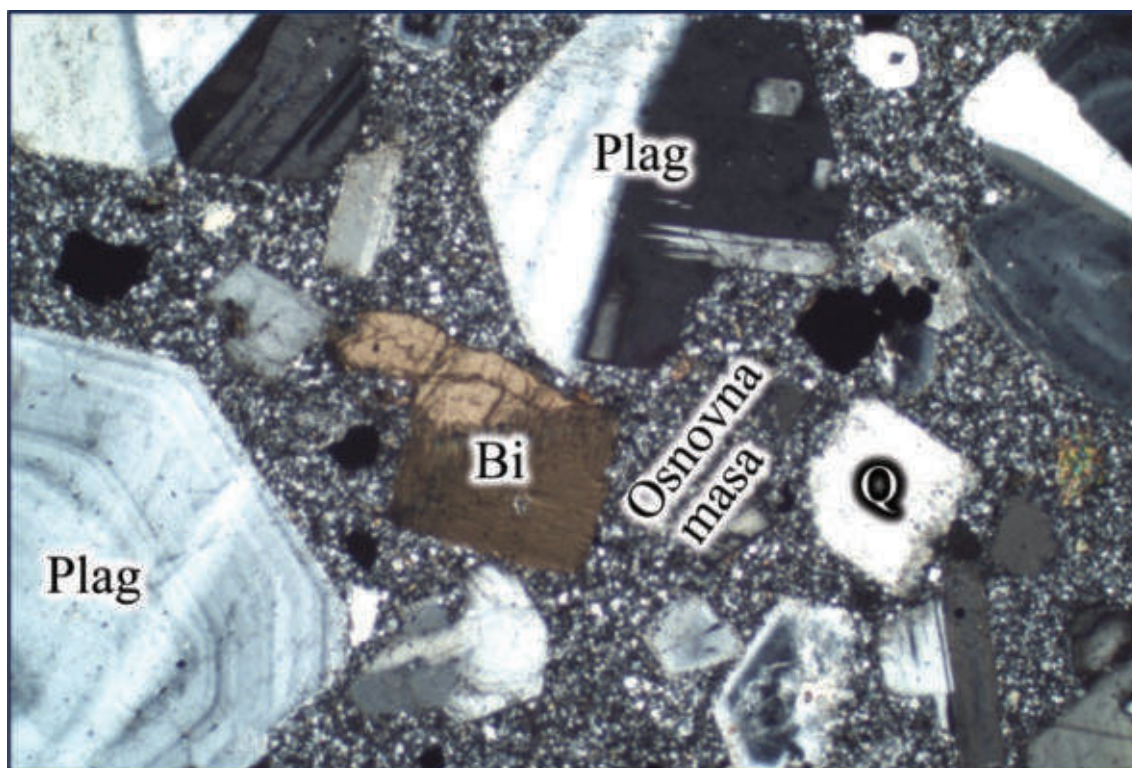
To su stene **izražene porfirske strukture** i često imaju fluidalnu teksturu. Kao **fenokristali** javljaju se **intermedijarni plagioklasi (oligoklas, andezin)**, bojeni minerali poput **biotita, hornblende, piroksena i kvarca**, koji se nalaze u **holokristalnoj do vitrofirskoj osnovnoj masi** (slike 565 i 566).

Alkalni feldspat je redak i čini manje od 5% modalnog sastava, pa ne ulazi u definiciju vrste stene. Varijeteti ove stene su izdvojeni na osnovu vodećeg bojenog minerala, kao što su biotitski dacit, amfibolski dacit itd. Lučenje dacita je pločasto i stubasto. Boja varira; uglavnom su sive do tamne, zavisno od vrste i količine bojenog minerala, kao i kristaliniteta osnovne mase. Smanjenjem količine kvarca, ove stene prelaze u andezite, gradeći **dacito-andezite**, dok sa povećanjem sadržaja kalijevog feldspata prelaze u kvarclatite. Najveća nalazišta ovih stena nalaze se na Rudniku, kod Slavkoviće, na zapadnim padinama Kopaonika, u Ibarskoj dolini i kod Surdulice.

Daciti se koriste za izradu kocki, ivičnjaka, tucanika, lomljenog kamena itd. Najveći kamenolomi nalaze se u Slavkoviću (slika 567), Kadinoj Luci, Zagrađu, okolini Surdulice i Džepu (Momin Kamen).



Slika 565. Položaj dacita na QAPF dijagramu
(Streckeisen i dr., 1979)



Slika 566. Mikrosnimak dacita iz Slavkovice; Plag = plagioklas, Bi = biotit, Q = kvarc. Nikoli+, 50x



Slika 567. Daciti iz Slavkovice sa pločastim lučenjem; gore desno: detalj stene

KVARCPORFIRIT

Kvarcporfirit je starija (paleotipska) izlivna stena koja pripada kvarcdioritu. Smatra se da je nastao uglavnom subaerski i submarinski. Obično gradi pločaste izlive, ponekad se javlja i kao *pillow* lava, ako je izlivan u moru (slika 568).



Slika 568. Kvarcporfirit, severno od Bara (Crna Gora), gore levo: uzorak stene

Strukture su porfirske i izgrađeni od fenokristala intermedijarnog plagioklasa (uglavnom andezina) i bojenih minerala, biotita, hornblende, piroksena i kvarca, koji se nalaze u holokristalastoj do hipokristalastoj osnovnoj masi izgrađenoj od istih minerala.

Fenokristali često imaju resorbovane ivice, plagioklas je sericitisan, epidotisan, katkad i albitisan, dok su bojeni minerali najčešće hloritisani. U osnovnoj masi od sekundarnih minerala dominiraju sericit, hlorit, epidot, kalcit i limonit.

Boje su zelene, sivozelene, tamnosive, mrke ili crveno-mrke.

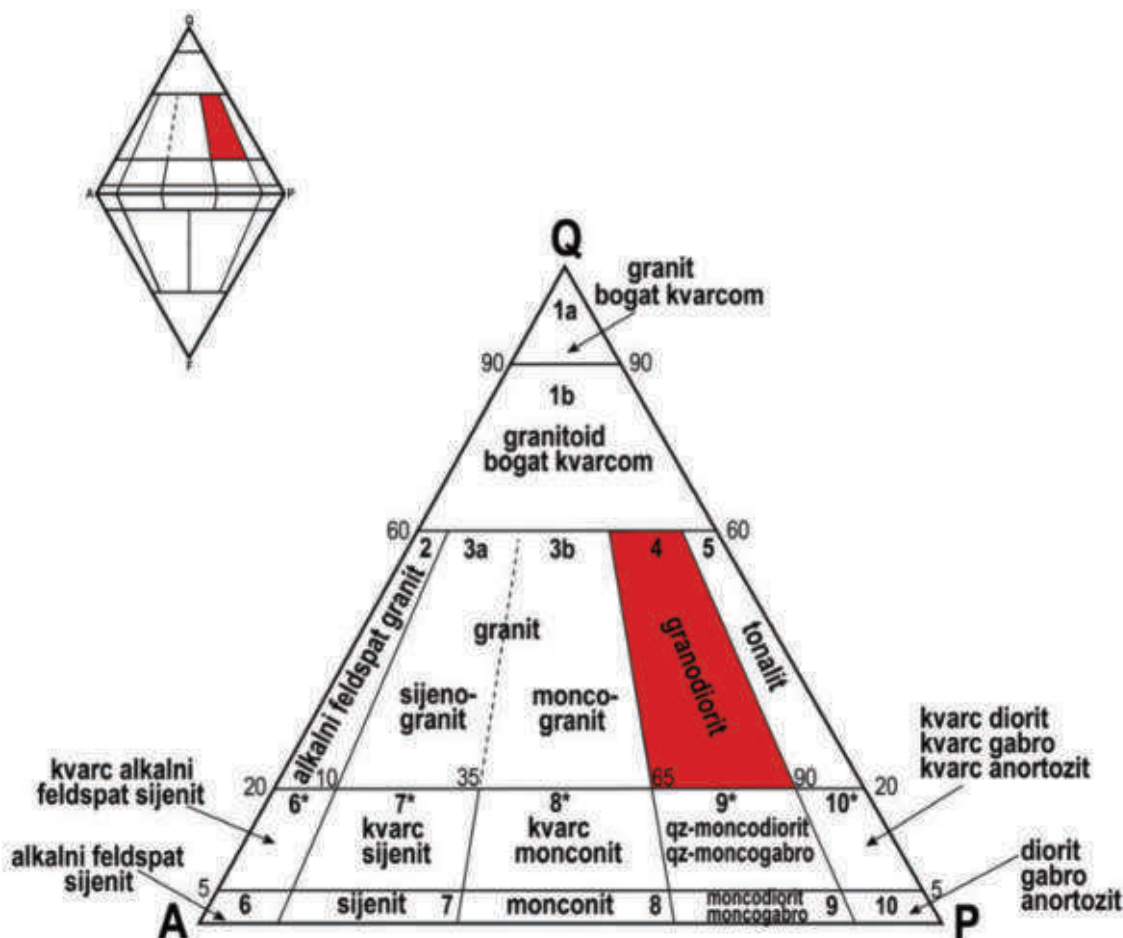
Vulkanska faza koja je donela najveću količinu ovih stena na našem prostoru odvijala se u srednjem trijasu i to pretežno submarinski. Često su udruženi sa keratofirima i kvarckeratofirima (Dinaridi). Praktičnu primenu nemaju zbog male svežine i nepovoljnog lučenja.

V.8.4 GRANODIORITSKA GRUPA

V.8.4.1 DUBINSKE STENE GRANODIORITSKE GRUPE

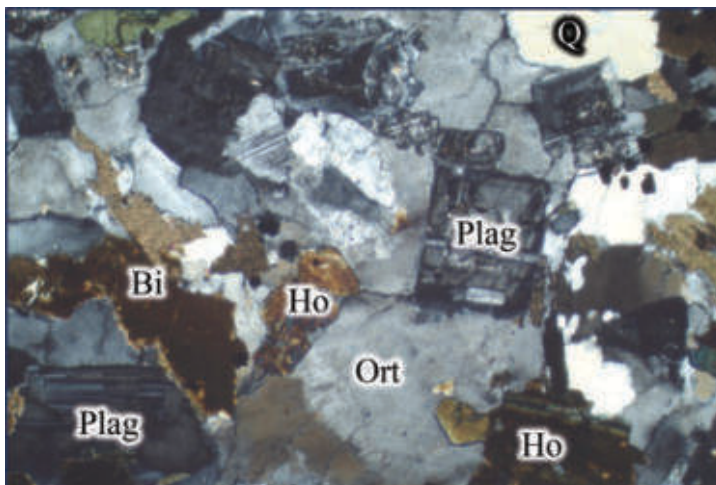
GRANODIORIT

Granodiorit je intruzivna, dubinska magmatska stena, izgrađena od **intermedijarnog plagioklasa** (oligoklasa i andezina), koji **dominira nad alkalnim feldspatom** (ortoklasom, mikroklinom), bojenih minerala: **biotita, hornblende, monokliničnog piroksena i kvarca**. (slike 569 i 570). Od sporednih minerala javljaju se: sfen, ortit, cirkon, apatit itd.



Slika 569. Položaj, polje kvarc diorita u **QAP** dijagramu (označen crveno);
gore levo: kompletan **QAPF** dijagram (Streckeisen, 1973)

Od sekundarnih minerala prisutni su sericit, kalcit, hlorit, epidot, limonit i drugi. Uz granodiorit, po obodu masiva, mogu se javiti kvarcmonconiti i kvarcdioriti.



Slika 570. Mikrosnimak granodiorita sa Boranje; Plag = plagioklas, Ort = ortoklas, Bi = biotit, Ho = hornblenda, Q = kvarc; N+, 60x

Strukture je zrnaste, uglavnom **hipidiomorfno zrnaste**, retko panidiomorfno zrnaste, sreće se i porfiroidna struktura. Fizičko-mehanička svojstva i način raspadaanja su kao i kod prethodno opisanih granita i kvarcmonconita. Lučenje je **pločasto, planparalelno**, nekada i nepravilno. Granodioriti su česte stene. Javljaju se na Boranji, u zapadnoj Srbiji (slika 571), Željnu, Gorjanu, Kopaoniku, Surdulici, Besnoj Kobili itd.



Slika 571. Granodiorit sa Boranje; gore levo: uzorak stene

Na većini pomenutih lokaliteta vrši se eksploatacija granodiorita, uglavnom kao arhitektonskog kamena za vertikalna i horizontalna oblaganja. Najveći kamenolomi su na Boranji (Radalj) i na području Surdulice. Od granodiorita Boranje sagrađena je glavna pošta u Beogradu (slika 572).



Slika 572. Glavna pošta u Beogradu, izgrađena od granodiorita sa Boranje

V.8.4.2 ŽIČNE STENE GRANODIORITSKE GRUPE

GRANODIORITPORFIRIT

Granodioritporfirit je ašistna žična stena granodiorita (slika 573). Strukture je porfirске i/ili porfiroidne, istog mineralnog sastava kao i granodioriti: kvarc, in-



Slika 573. Žica granodioritporfirita utisnuta u kredni fliš, Rudnik

termedijarni plagioklas, koji dominira nad alkalnim feldspatom, i bojeni minerali, uglavnom hornblenda i biotit. Javljaju se u žicama debljine do nekoliko metara, koje su najčešće utisnute u matične ili okolne stene blizu matičnog plutona. Zbog male debljine žica. pomenute stene nemaju ekonomskog značaja.

APLIT

Aplit je **diašistna žična stena**, aplitskog niza. Nastaje u završnoj fazi kristalizacije granodioritske magme siromašne lako isparljivom komponentom. Apliti su sitnozrne bele stene izgrađene od salskih minerala koji se javljaju u matičnoj steni, granodioritu: kvarca, intermedijarnog do kiselog plagioklasa, koji dominiraju ili su podjednako zastupljeni kao i alkalni feldspati. Strukture su znaste, do porfiroidne. Javljaju se u žicama debljine od nekoliko centimetara, pa do najviše jedan metar (slika 574). Nemaju ekonomski značaj.



Slika 574. Žice aplita (debljine oko 5 cm) u granodioritu Jošanice

PEGMATIT

Pegmatit je, po načinu pojavljivanja, mineralnom sastavu i strukturi identičan do sličan u granodioritima, kvarcmonconitima i granitima (slika 575). To su grubozrne stene sa krupnim feldspatima, liskunima i kvarcom. Ponekad sadrže i egzotične minerale, beril, turmalin, granate itd.

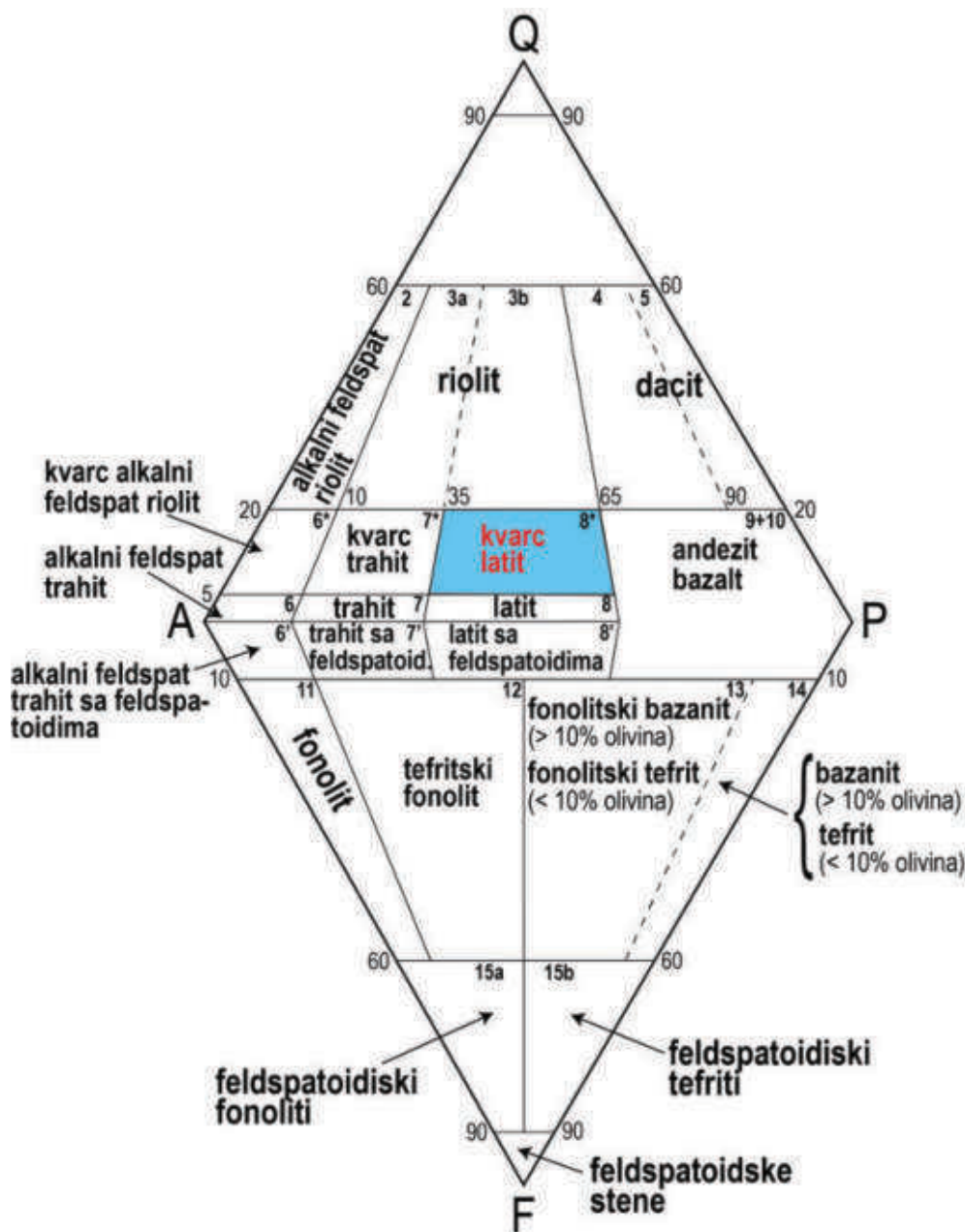


Slika 575. Žica pegmatita u granodioritu iz Jošanice

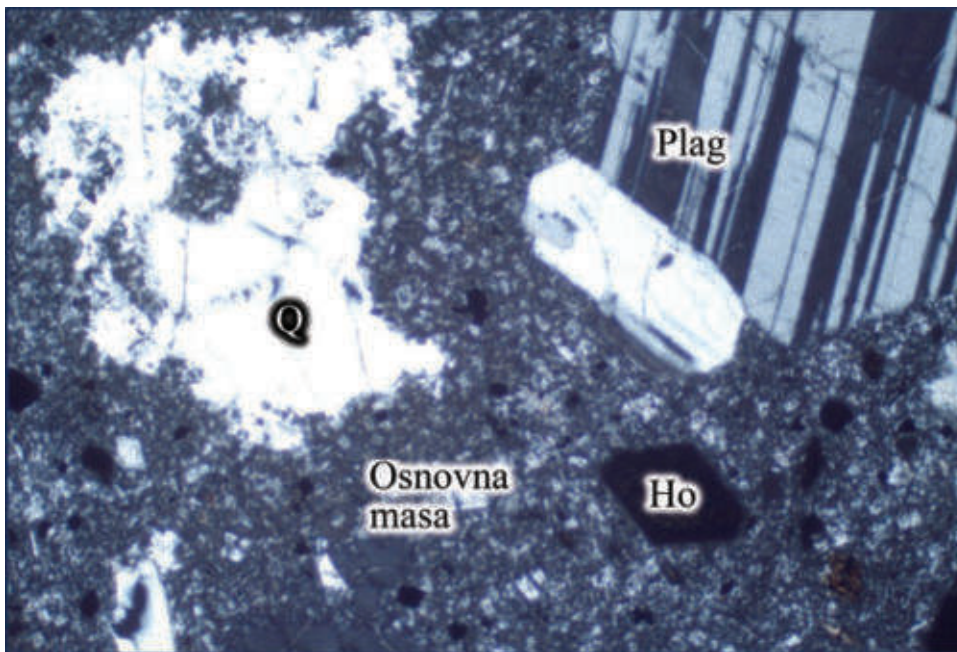
V.8.4.3 VULKANSKE STENE GRANODIORITSKE GRUPE

KVARCLATIT

Kvarclatit je **mlađa (kenozojska) vulkanska stena** granodiorita. Po mineralnom sastavu, strukturi i načinu pojavljivanja identična je **istoimenoj** mlađoj izlivnoj (vulkanskoj) steni kvarcmonconita, koja će biti opisana u okviru te grupe stena. Struktura je „izraženo” porfirske, sa krupnim fenokristalima sanidina, zatim prelaznog plagioklasa, bojenog minerala (uglavnom biotita) i kvarca, koji obično leže u hipokristalastoj osnovnoj masi (slike 576 i 577).



Slika 576. Položaj kvarclatita na **QAPF** dijagramu (Streckeisen i dr., 1979)



*Slika 577. Mikrosnimak kvarclatita iz Srbovca; Plag = plagioklas,
Ho = hornblenda, Q = kvarc; N+, 40x*

Prema modalnom sastavu, ovaj kvarclatit ima malo veći sadržaj plagioklasa u odnosu na istoimenu stenu iz grupe kvarcmonconita. Nemaju praktičnog značaja zbog krupnih fenokristala sanidina, koji lako „ispadaju” iz stene (slika 578). U kvarclatitima se sreću mineralizacije i rudna ležišta sa olovom i cinkom.

Starijih vulkanskih stena iz grupe granodiorita nema jer su ove stene stvarane u kenozoiku.



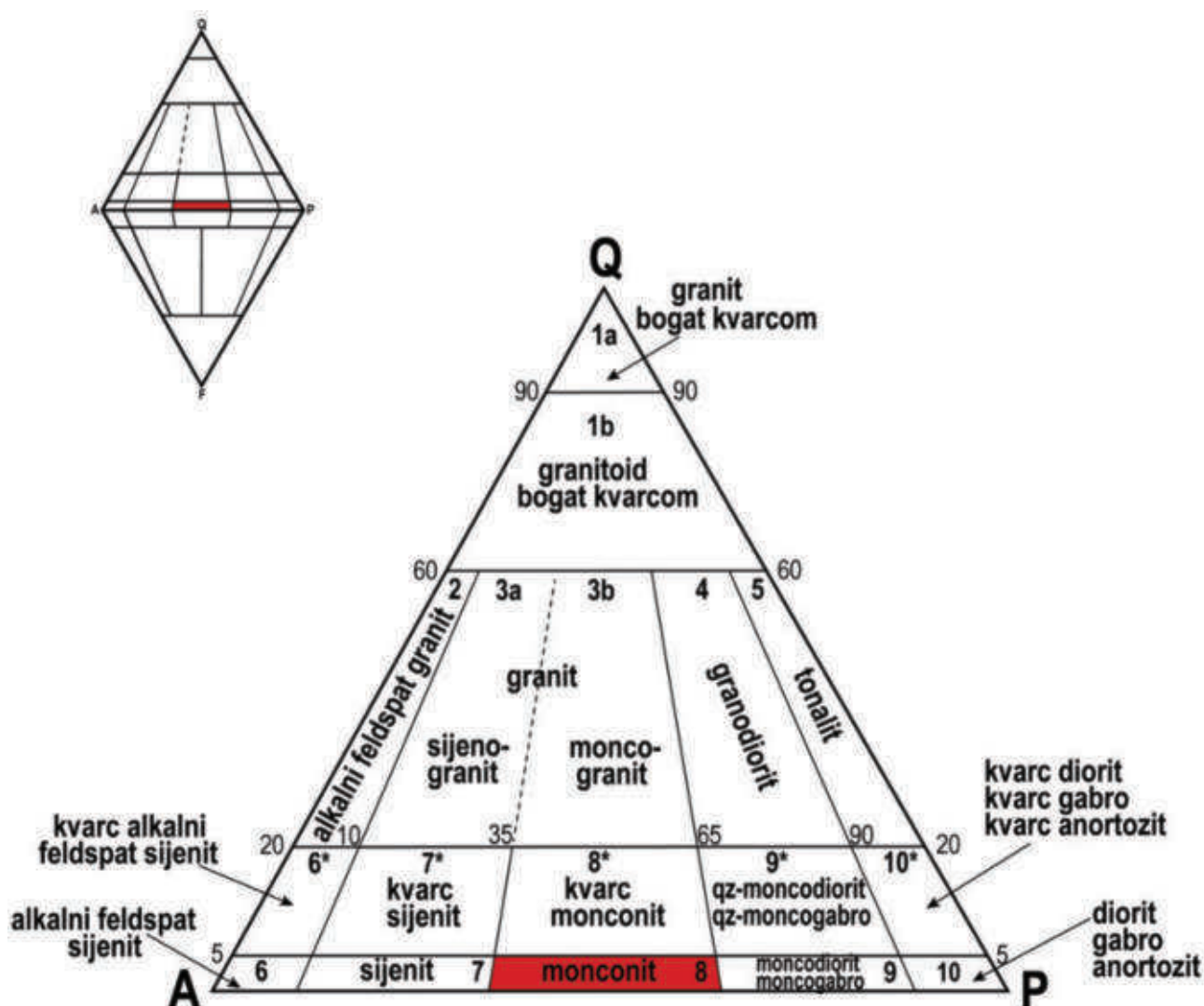
Slika 578. Krupni fenokristali sanidina u kvarclatitu iz Srbovca

V.8.5 MONCONITSKA GRUPA

V.8.5.1 DUBINSKE STENE MONCONITSKE GRUPE

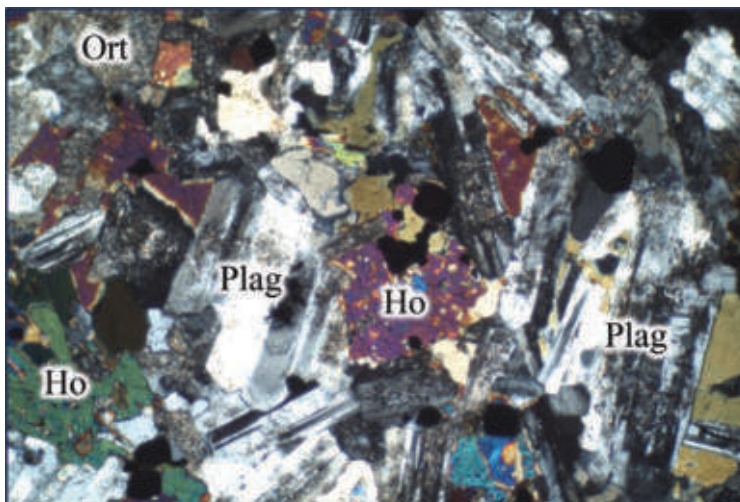
MONCONIT

Monconit je dubinska intruzivna stena izgrađena od približno jednake količine kalijskog feldspata (ortoklasa ili mikrokлина) i intermedijarnog plagioklasa (oligoklasa i andezina) i bojениh minerala – biotita, hornblende, retko piroksena i bez slobodnog kvarca (slika 579). Od sporednih sastojaka najčešći su apatit, magnetit i sfen. Strukture su zrnaste, najčešće hipidiomorfno zrnaste, ponekad i



Slika 579. Položaj, polje monconita u *QAP* dijagramu (označeno crveno);
gore levo: kompletan *QAPF* dijagram (Streckeisen, 1973)

porfiroidne, sa krupnim kristalima alkalnog feldspata (slika 580). Ime su dobili po planini Monconi u Tirolu. Način pojavljivanja i strukturnoteksturane karakteristike slične su kao i kod kvarcmonconita. Sa povlačenjem plagioklasa, monconiti prelaze u sijenite, a sa povlačenjem alkalnog feldspata u diorite.



Slika 580. Mikrosnimak monconita, Valja Strž; Plag = plagioklas, Ho = hornblenda, Ort = ortoklas; N+, 40x

U našoj zemlji monconiti se javljaju u Istočnoj Srbiji (masiv Valja Strž; slika 581), a ima i nekoliko drugih, manjih pojava.



Slika 581. Monconit, Valja Strž, Istočna Srbija; gore desno: detalj stene

V.8.5.2 ŽIČNE STENE MONCONITSKE GRUPE

MONCONITPORFIRIT

Monconitporfirit je žična ašistna stena, istog mineralnog sastava kao i monconiti. Monconitporfiriti su strukture zrnaste ili porfiroide, ako su nastali brzim hlađenjem magme, a aporfirske ako imaju krupne fenokristale. Javljaju se kao žice, debljine do nekoliko metara, u matičnoj steni ili su utisnute u okolne stene.

Nemaju ekonomskog značaja.

APLIT

Aplit je žična, dijašistna stena **aplitiskog niza**. Izgrađena je od salskih minerala koji ulaze u sastav monconita, približno podjednake količine alkalnih feldspata, ortoklasa ili mikrolina, kao i intermedijarnih plagioklasa, oligoklasa i andezina. Apliti su strukture najčešće zrnaste, mogu biti porfiroidne ili porfirske, ako je ostatak rastopa brzo hlađen. Nemaju praktičnog značaja.

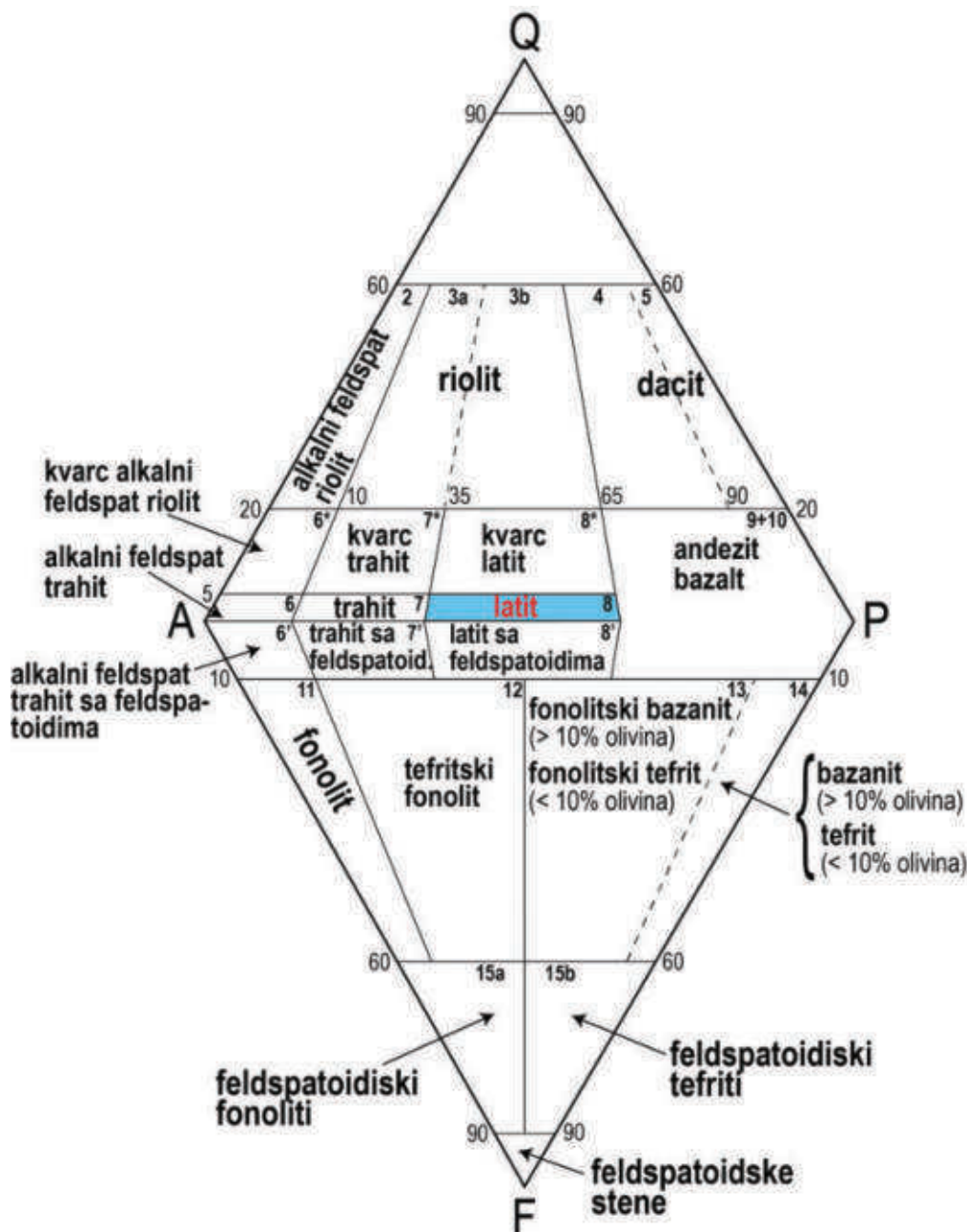
PEGMATIT

Pegmatit je veoma retka stena u monconitima jer se u ostatku magmatskog rastopa obogaćenog lako isparljivom komponentom sa alkalnim feldspatima i intermedijarnim plagioklasima, uglavnom javlja i kvarc, koji ove stene svrstava u pegmatite koji vode poreklo iz granitskih rastopa.

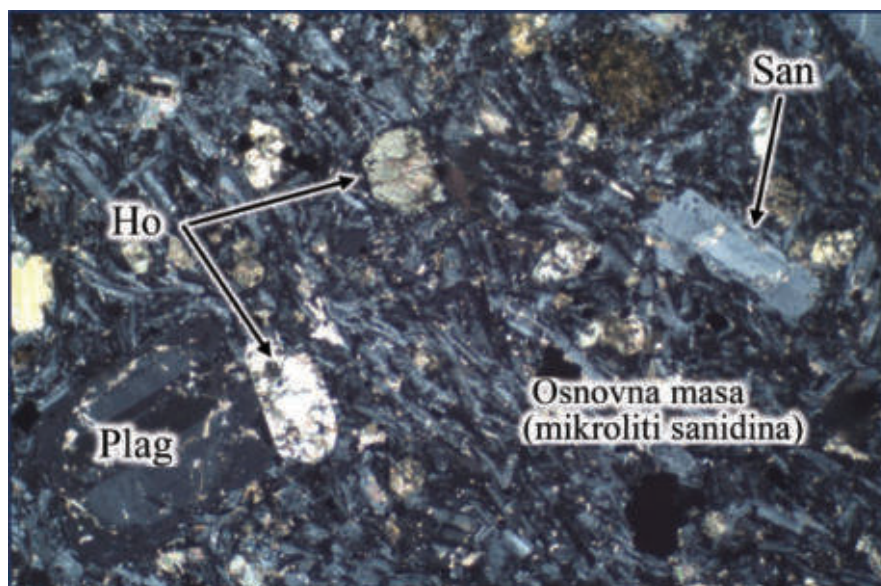
V.8.5.3 VULKANSKE STENE MONCONITSKE GRUPE

LATIT

Latit je **mlađa (kenozojska) vulkanska stena** monconita (slika 582). Struktura je porfirne, izgrađena od **fenokristala sanidina, andezina**, koji su međusobno podjednako zastupljeni, i bojениh minerala: **biotita, hornblende i piroksena**, koji leže u holokristalnoj, hipokristalnoj, retko staklastoj osnovnoj masi (slika 583).



Slika 582. Položaj latita na *QAPF* dijagramu
(Streckeisen i dr, 1979)



Slika 583. Mikrosnimak latita sa Fruške gore; fenokristali Plag (plagioklasa), Ho (hornblende) i San (sanidina) leže u mikrolitskoj osnovnoj masi; N+, 50x

Način pojavljivanja ovih stena i opšte karakteristike sklopa su kao kod kvarc-latita.

U našoj zemlji latiti su konstatovani uz kvarc-latite Kopaonika, u Istočnoj Srbiji, na Zlotu i na Fruškoj gori (slika 584).



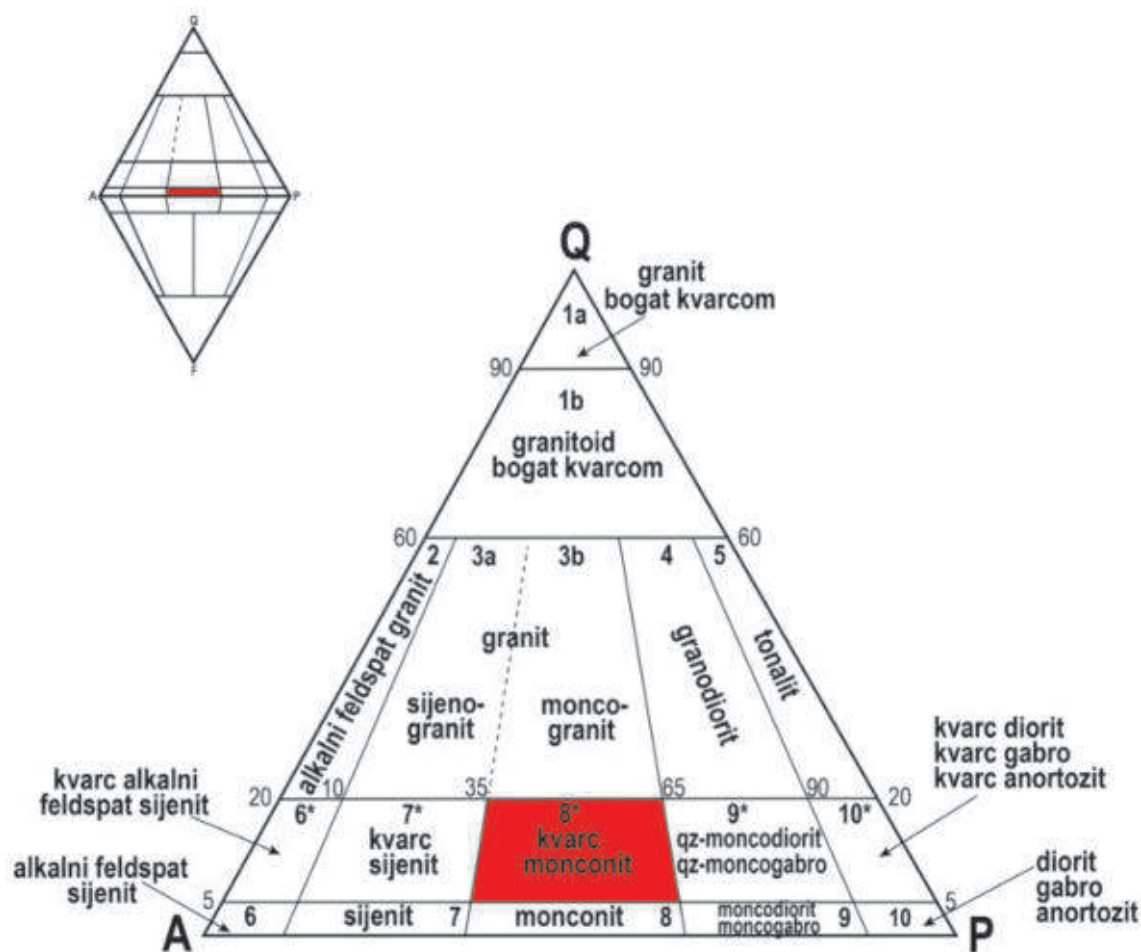
Slika 584. Majdan u latitima na Fruškoj gori; gore desno: uzorak stene

V.8.6 KVARCMONCONITSKA GRUPA

V.8.6.1 DUBINSKE STENE KVARCMONCONITSKE GRUPE

KVARCMONCONIT

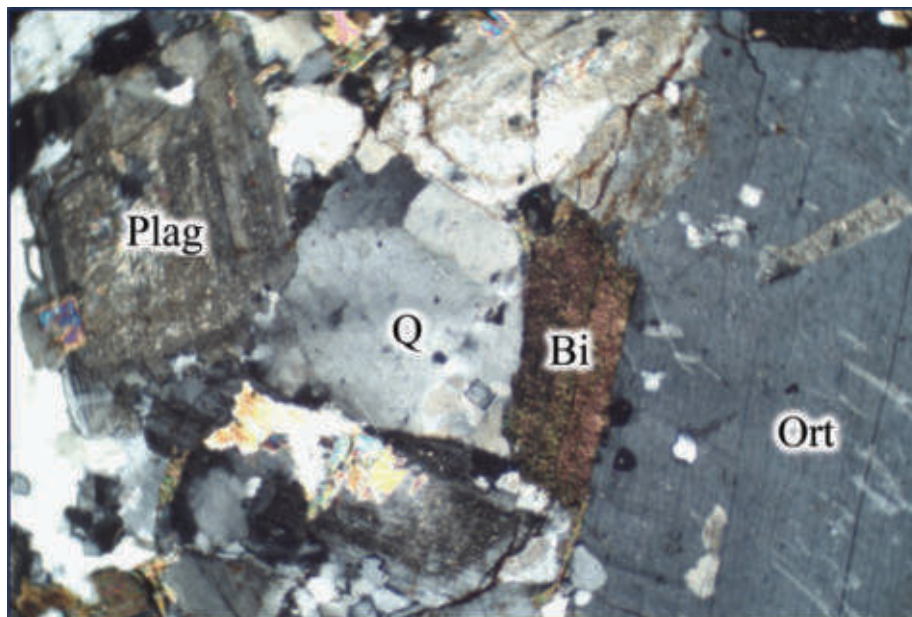
Kvarcmonconit je dubinska, intruzivna stena. Najčešće je svetlosive do tamnosive boje, katkad zeleno-siva i crvenkasta, zbog prisustva pojedinih varijeteta alkalnih feldspata (slika 585). Javlja se kao batolit, lakolit, štokovi krupnih dimenzija itd.



Slika 585. Položaj, polje kvarcmonconita u *QAP* dijagramu (označeno crveno); gore levo: kompletan *QAPF* dijagram (Streckeisen, 1973)

Strukture su zrnaste, veličina zrna varira kao kod granita. Po pravilnosti oblika zrna, najčešći su kvarcmonconiti hipidiomorfno zrnaste strukture. Sreću se i porfiroidni varijeteti, sa krupnijim, idiomorfnim zrnima alkalnog feldspata, ortoklasa ili mikrokлина. **Kvarcmonconiti su izgrađeni od kvarca, podjednake količine alkalnog feldspata, ortoklasa i mikrokлина, intermedijarnog plagiokla-**

sa, oligoklasa ili andezina i bojjenih minerala, najčešće biotita ili hornblende. Od sporednih minerala u ovim stenama javljaju se cirkon, apatit i sfen (slika 586).



Slika 586. Mikrosnimak kvarcmonconita sa Cera; Plag = plagioklas, Ort = ortoklas, Bi = biotit, Q = kvarc; N+, 30x

Teksture su masivne, zatim planparalelne, škriljave, šliraste, retko kuglaste itd. Najčešće lučenje kvarcmonconita je pločasto i bankovito, retko kuglasto, što se javlja u perifernim delovima intruzije (slika 587).



Slika 587. Izdanak kvarcmonconita na Ceru; gore desno: detalj stene

Kvarcmonconiti su, kao i graniti, otporni na površinsko raspadanje, ali pri dugotrajnom površinskom razaranju (uticaju atmosferilija) prelaze u grus.

Zbog svojih dobrih mehaničkih svojstava koriste se kao tehnički kamen i arhitektonski kamen, naročito ako je povoljno lučen, srednjeg i sitnog zrna. Upotrebljavaju se za izradu kocki, ivičnjaka, ploča, za horizontalno i vertikalno oblaganje itd.

Najveća masa kvarcmonconita je na planini Cer, gde je polifazno utiskivan. Masiv gradi prostrani lakolit i prati ga veliki broj aplitskih i pegmatitskih žica.

V.8.6.2 ŽIČNE STENE KVARCMONCONITSKE GRUPE

KVARCMONCONITPORFIRIT

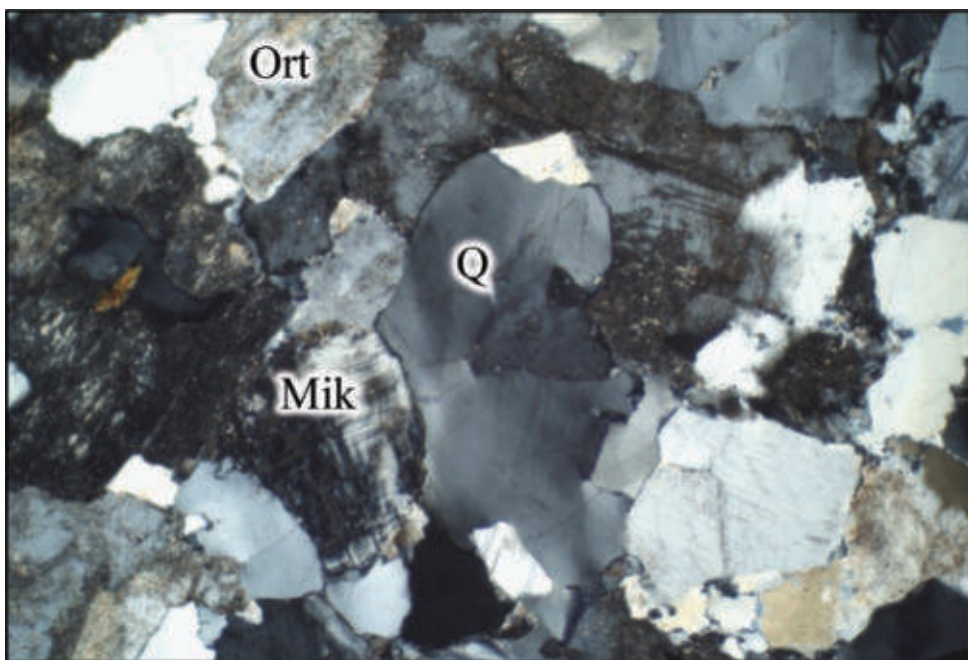
Kvarcmonconitporfirit je žična ašistna stena kvarcmonconita. Ima isti mineralni sastav kao i matična stena, kvarcmonconit: kvarc, podjednaku količinu alkalnog feldspata i intermedijarnog plagioklasa i bojene minerale, najčešće biotit i hornblendu.

Javlja se u žicama, debljine do nekoliko metara, koje su utisnute u matične, a ponekad i u okolne stene.

Strukture je zrnaste, porfiroidne, retko porfirske, zavisno od brzine hlađenja magme i stepena njene iskristalisalosti. Za ove stene koristi se i **sinonim, mikro-kvarcmonconit**. Nemaju ekonomskog značaja.

APLIT

Aplit je diašistna žična stena, aplitskog niza (slika 588). Nastaje u završnoj fazi kristalizacije magme koja je siromašna lakoisparljivom komponentom.



Slika 588. Mikrosnimak aplita sa Cera; Mik = mikroklin, Ort = ortoklas, Q = kvarc; N+, 30x

Apliti su sitnozrne bele stene izgrađene od silikatnih minerala koji se javljaju u matičnoj steni, kvarcmonconitu: kvarca, intermedijarnog do kiselog plagioklasa i alkalnih feldspata, koji su podjednako zastupljeni.

Strukture su zrnaste, do porfiroidne. Javljaju se u žicama debljine od nekoliko centimetara do najviše jednog metra. Nemaju ekonomskog značaja.

Iako imaju isti naziv kao apliti koji se javljaju u granitima, drugačijeg su mineralnog sastava jer su izgrađeni, kako je pomenuto, samo od silikatnih minerala matične stene odakle potiču (slika 589).



Slika 589. Žica aplita u kvarcmonconitu sa Cera

PEGMATIT

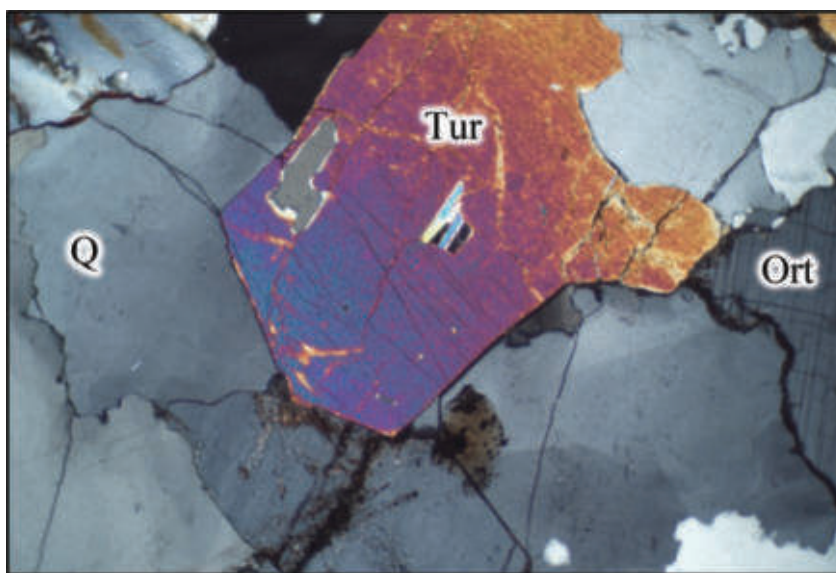
Pegmatit nastaje, što naravno znamo, od **ostatka granitoidnog rastopa, obogaćenog lakoisparljivim komponentama**. Pegmatiti se javljaju kao žice, a mogu obrazovati i intruzivna tela sočivastog do nepravilnog oblika. Strukture su zrnaste, često sa vrlo krupnim mineralima, po čemu se lako raspoznaju od drugih stena (slika 590).

Mineralni sastav je sličan granitima, osim što se u ovim stenama javljaju i kiseli do intermedijarni plagioklasi.

Pegmatiti sadrže **korisne mineralne sirovine** za dobijanje liskuna, feldspata, berila, turmalina, kvarca itd. (slika 591). Kod proučavanja pegmatita, slično aplitima, mora se naglasiti iz koje matične grupe ove stene potiču.



*Slika 590. Žica pegmatita u kvarcmonconitu sa Cera;
gore desno: zrno berila*

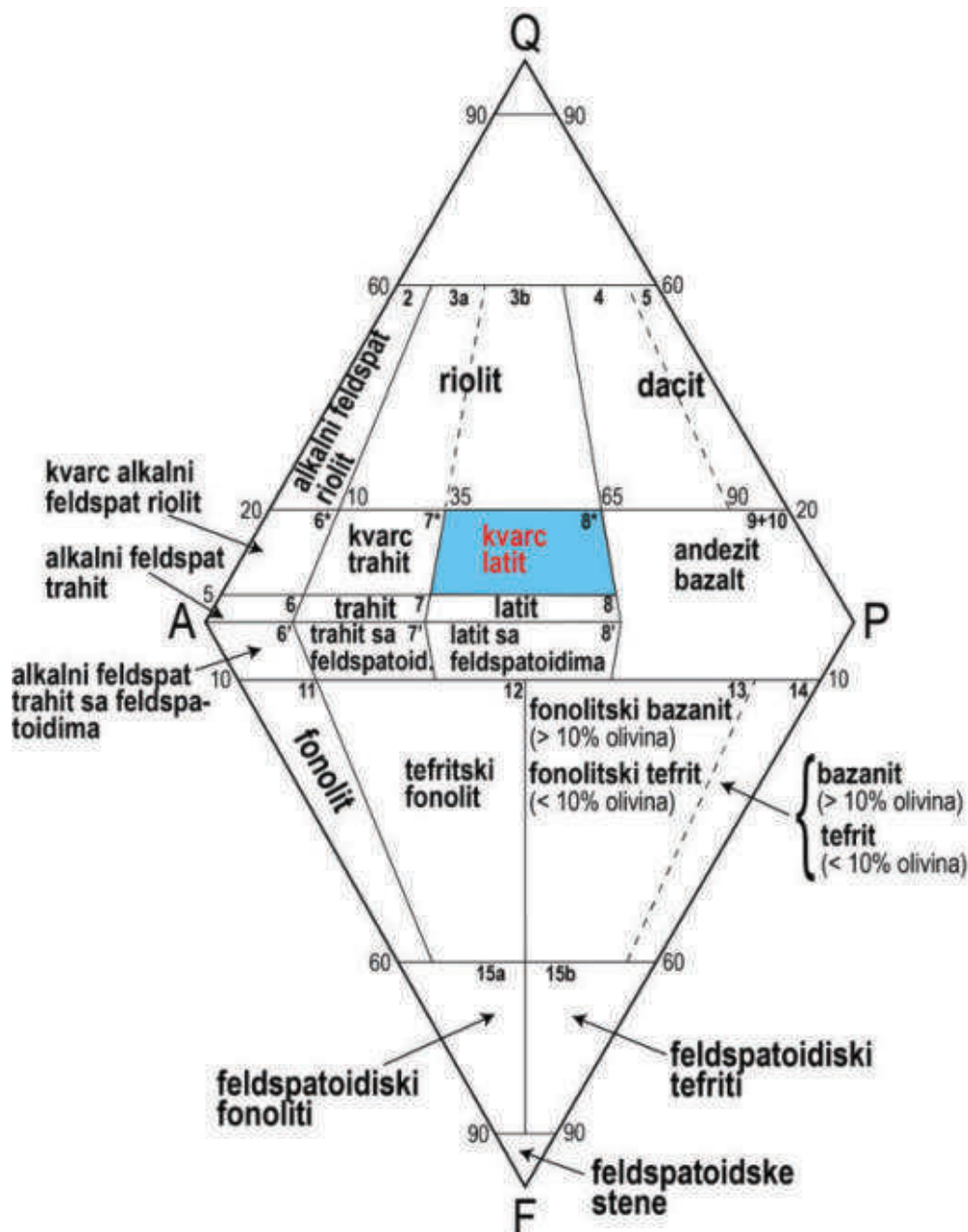


*Slika 591. Mikrosnimak pegmatita sa Cera; Tur = turmalin,
Q = kvarc, Ort = ortoklas; N+, 30x*

V.8.6.3 IZLIVNE STENE KVARCMONCONITSKE GRUPE

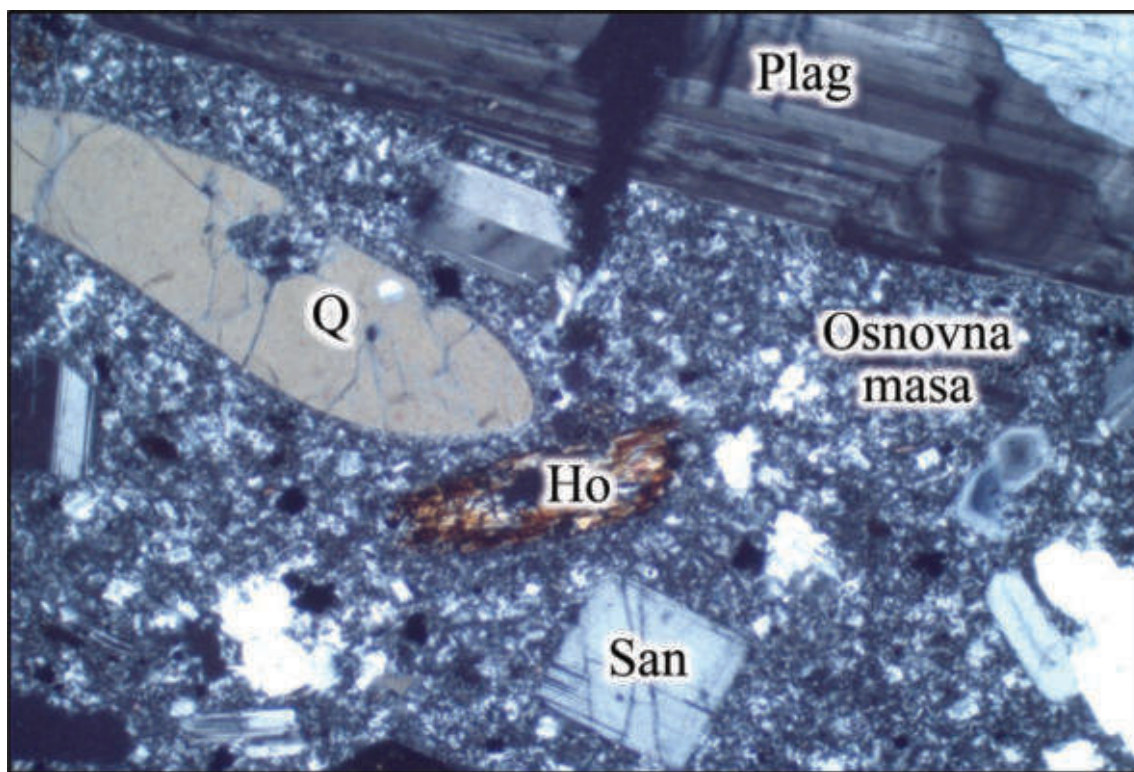
KVARCLATIT

Kvarclatit je mlađa (kenozojska) vulkanska stena kvarcmonconita (i granodiorita; slika 592). Javlja se u većim masama, izlivima, kupama ili konkordantnim pločama nastalim i u subvulkanskom nivou. U pojedinim udžbenicima ova stena naziva se riodacit.



Slika 592. Položaj kvarclatita na *QAPF* dijagramu
(Streckeisen i dr., 1979)

Stenu sa istim nazivom kvarclatit opisali smo kod grupe granodiorita. U čemu je razlika? Istog su do sličnog mineralnog sastava, strukture, teksture i načina pojavljivanja. Za određivanje da li kvarclatit pripada granodioritu ili kvarcmonconitu najbolje je sagledati „direktnu” vezu na terenu sa pomenutim intruzivima (dubinskim stenama). Ako je nema, zaključuje se da kvarclatit odgovara mlađoj vulkanskoj steni koja, po poreklu, može biti od granodiorita ili kvarcmonconita. Kvarclatiti su obično praćeni piroklastičnim stenama, vulkanskim aglomeratima i vulkanskim brečama istog ili sličnog sastava. Kvarclatiti su stene sive boje i izrazito porfirske strukture. Naročito su karakteristični krupni fenokristali sanidina, veličine do 10 cm. Osim sanidina kao fenokristali, javljaju se kvarc, intermedijarni plagioklas (oligoklas ili andezin), biotit, hornblenda ili augit. Ove stene imaju približno podjednaku količinu fenokristala alkalnog feldspata (sanidina) i intermedijarnog plagioklasa (oligoklas, andezin, koji je obično sitniji) i bojene minerale, uglavnom biotit, hornblendu i, naravno, fenokristale kvarca (slika 593).



Slika 593. Mikrosnimak kvarclatita sa Rudnika; Plag = plagioklas, San = sanidin, Q = kvarc, Ho = hornblenda; N+, 40x

Kao sporedni sastojci sreću se sfen, apatit i cirkon. **Pomenuti minerali leže u sitnozrnoj osnovnoj masi**, koja može biti holokristalasta, hipokristalasta i staklasta.

Lučenje kvarclatita je najčešće **stubasto**, kada se obrazuju stubovi različitih dimenzija i oblika, koji stoje upravno na površinu hlađenja stene (slika 594).

Kvarclatiti se javljaju na Rudniku, Rogozni, južnom Kopaoniku, oko Trepče,

Zvečana i Sokolice, Srbovcu, na Kotleniku, Fruškoj gori itd. Zbog izrazito porfir-ske strukture, krupnih fenokristala sanidina, kvarclatiti imaju ograničenu upotrebu kao građevinski kamen. **Lako podležu raspadanju**, pri čemu fenokristali sanidina „ispadaju” iz mase stene. Kvarclatiti se lako lome u nepravilne komade, teško se obrađuju, pa se, ako su sveži, uglavnom koriste za nasipanje puteva. **Nema starijih vulkanskih stena iz grupe kvarcmonconita**. Kvarclatiti su izliveni u kenozoiku.



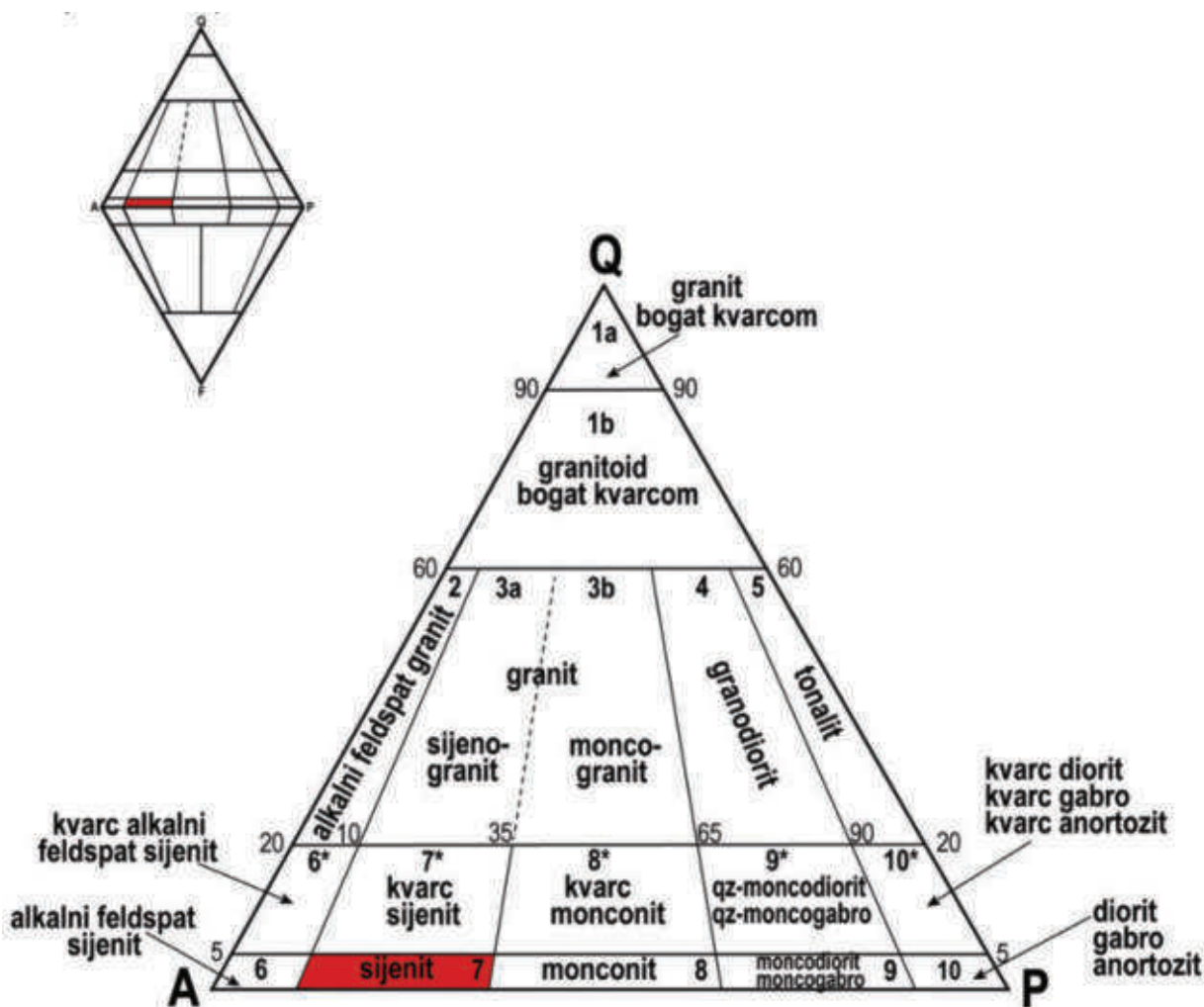
Slika 594. Kvarclatit na Rudniku; gore desno: uzorak stene

V.8.7 SIJENITSKA GRUPA

V.8.7.1 DUBINSKE STENE SIJENITSKE GRUPE

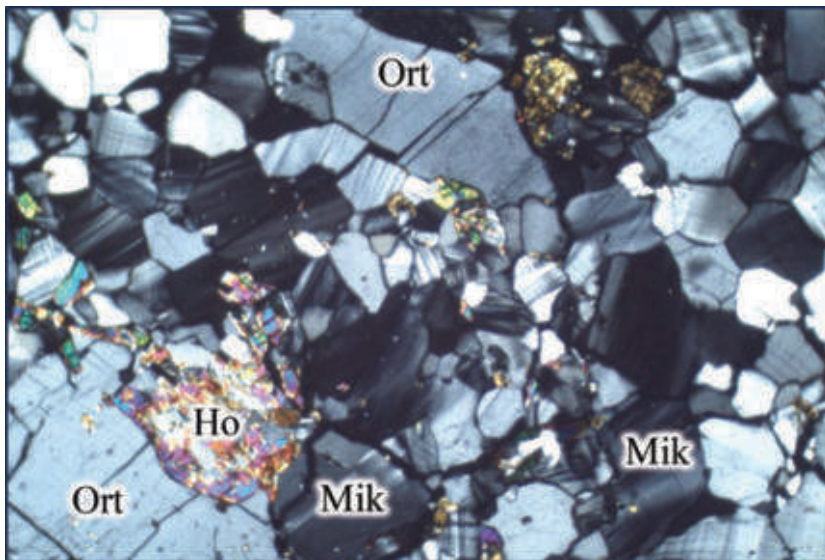
SIJENIT

Sijenit je dubinska, intruzivna, intermedijarna stena zrnaste strukture. Izgrađena je od **alkalnog feldspata, ortoklasa ili mikroklina**, retko albita, i **bojenih minerala, najčešće hornblende**, zatim **biotita i augita**, koji određuju varijetet stene. Kao **sporedni sastojci** javljaju se **magnetit, apatit, titanit i cirkon**. **Za razliku od granita, ne sadrži slobodni kvarc.** Sa pojavom i porastom sadržaja intermedijarnog plagioklasa (oligoklasa, andezina), sieniti prelaze u monconite (slika 595).



Slika 595. Položaj, polje sienita u **QAP** dijagramu (označen crveno);
gore levo: kompletan **QAPF** dijagram (Streckeisen, 1973)

Strukture su zrnaste, uglavnom hipidiomorfno zrnaste, katkad porfiroidne (slika 596). Krupnoća zrna varira, kao kod granita. Teksture su masivne. To su svetlosive, sive ili crvenkaste stene koje grade manje mase ili bezkvarcne facije po obodima granitoidnih masiva, granita, kvarcmonconita, granodiorita ili diorita.



Slika 596. Mikrosnimak sijenita iz Tande; Ort = ortoklas, Mik = mikroclin, Ho = hornblenda; N+, 40x

Lučenje sijenita najčešće je **pločasto**, bankovito, ponekad i kuglasto, što je nepovoljno za eksploataciju.

Primena sijenita je ista kao i kod granita.

U našoj zemlji, sijeniti ne grade samostalne masive već se javljaju kao marginalne facije (po obodu) u granitnim masivima. Najveća pojava sijenita je kod Tande u Istočnoj Srbiji, gde se sijenit javlja kao bočna facija hercinskog gorjanskog granita (slika 597).



Slika 597. Izdanak Sijenita kod Tande; gore levo: uzorak stene

Na ovom lokalitetu sijeniti su crvene boje usled primesa feri gvožđa, koje pigmentira ortoklas (avanturin). Veličina zrna i povoljno lučenje omogućavaju eksploataciju, te se ovaj kamen zbog lepog izgleda koristio za oblaganje i popločavanje trgova. Kao bezkvarčna faza, sijenit se javlja i uz granite Stare planine.

Ako se u sijenitima, pored alkalnih feldspata, **javljaju i feldspatoidi** (nefelin ili leucit), kao i **alkalni amfiboli** (ribekit, krosit, barkevikit) ili **alkalni pirokseni** (jadeit) kao bojeni minerali, stene pripadaju grupi **alkalnih sijenita**. Napomena: alkalne stene će biti prikazane u poglavlju Alkalne stene.

V.8.7.2 ŽIČNE STENE SIJENITSKE GRUPE

SIJENITPORFIR

Sijenitporfir je žična ašistna stena sijenita. Ima isti mineralni sastav kao i **matična stena**, sijeniti, ali je struktura uglavnom porfiroidna, sa krupnijim zrnima alkalnog feldspata. Ove stene nazivaju se i **mikrosijeniti**. Javljaju se u žicama, debljine do 1 m, koje presecaju sijenite ili stene oko sijenitskih plutona.

Kao i granitporfiri, zbog male debljine žica, sienitporfiri nemaju praktičnog značaja.

APLIT

Aplit je žična diašistna stena sijenita. Izgrađena je od sastojaka koji grade sijenite – alkalnih feldspata, ortoklasa, mikrokлина i malo albita. Veoma retko se javlja u sijenitima. Ostala svojstva su slična kao kod prethodno opisanih žičnih stena aplitskog niza.

PEGMATIT

Pegmatiti su veoma retke stene u sijenitima, jer se u ostatku magmatskog rastopa sa alkalnim feldspatima, obogaćenog lako isparljivom komponentom, javlja i kvarc. To ove stene svrstava u pegmatite koji potiču iz granitskih rastopa.

MINETA

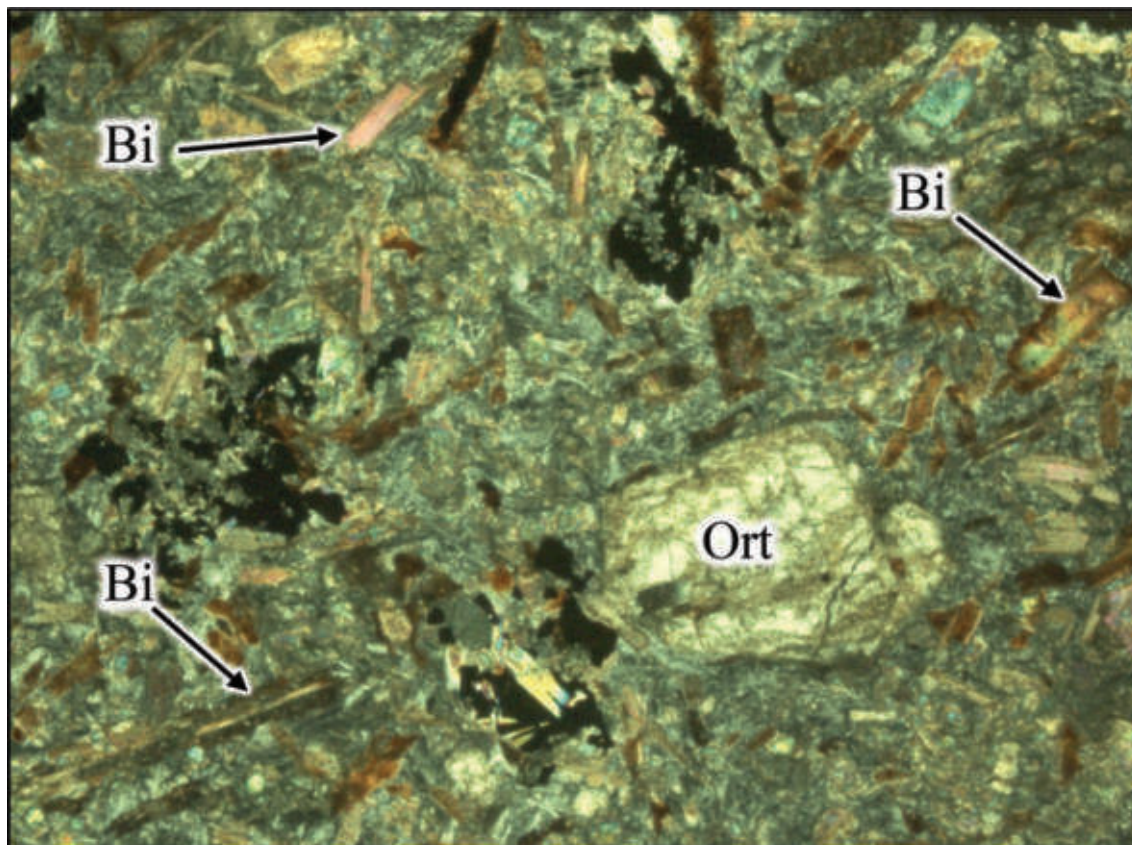
Mineta je dijašistna žična stena, lamprofirskog niza, tj. ima više bojenih minerala od matične stene.

Izgrađena je od **ortoklasa i biotita**. Javlja se u žicama debljine do 1 m i obično je alterisana zbog biotita, koji nije stabilan na uticaj atmosferilija (slika 598). Ako se **umesto biotita javi hornblenda**, stena se naziva **spesartit**.

Mineta je tamnomrke ili zeleno-mrke boje. Ako se umesto biotita javi augit, stenu nazivamo **augitska mineta**.

Mineta može imati porfiroidnu ili zrnastu strukturu, sa kristalima biotita u kristalastoj osnovi izgrađenoj od mikrolita alkalnog feldspata.

Geneza minete, odnosno lamprofira, veoma je specifična. Nastaje iz **rastopa bogatih vodom ili asimilacijom magme** i okolnih sedimenata bogatih vodom i



Slika 598. Mikrosnimak minete; Bi = biotit, Ort = ortoklas; N+, 50x

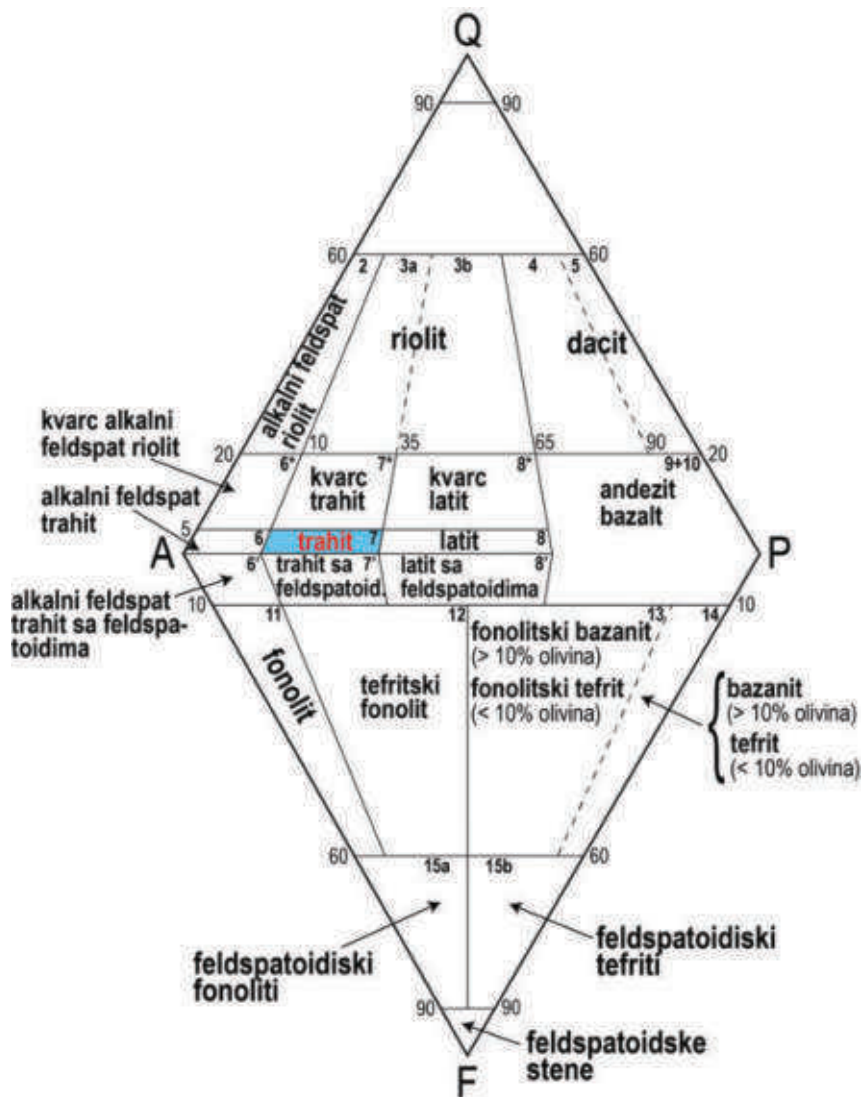
alkalijama. Smatra se da lamprofiri, kojima pripada i mineta, nastaju iz rastopa koji potiču iz donjih delova gornjeg omotača, koji su stvoreni malim stepenom parcijalnog stapanja.

Mineta je neotporna prema uticaju atmosferilija, te brzo prelazi u rastresitu trošnu masu. Ovih stena ima na Kosmaju, Rudniku i kod Zvornika. Žice su male debljine. Nemaju praktičnog značaja. Napomena: lamprofiri će detaljnije biti prikazani u poglavlju Alkalne stene.

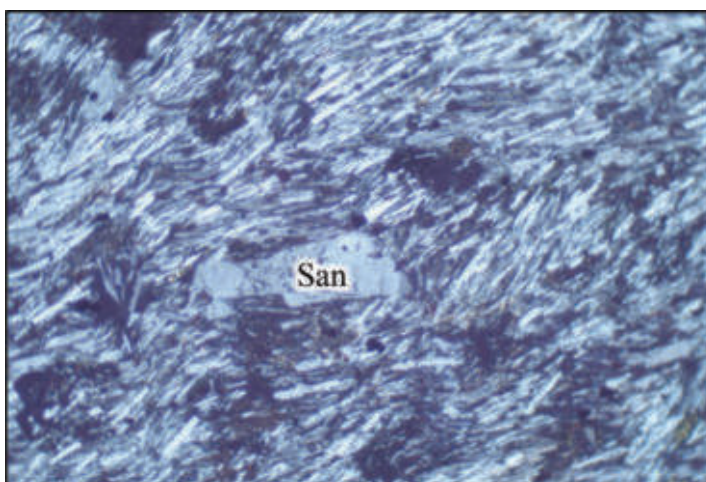
V.8.7.3 VULKANSKE STENE SIJENITSKE GRUPE

TRAHIT

Trahit je mlada, kenozojska, izlivna stena sijenita (slika 599). Trahiti su sive, sivkasto-bele do bele boje. **Strukture su porfirske sa fenokristalima sanidina i bojenih minerala, biotita, hornblende i augita, koji leže u mikrokristalnoj, kriptokristalnoj do staklastoj osnovnoj masi.** Od **sporednih minerala** sreću se **magnetit, apatit i cirkon**. Pomenimo da su **pritke sanidina** u ovoj steni često **međusobno orijentisane**, dajući steni **trahitsku ili fluidalnu teksturu**, koja ukazuje na pravac kretanja toka lave (slika 600).

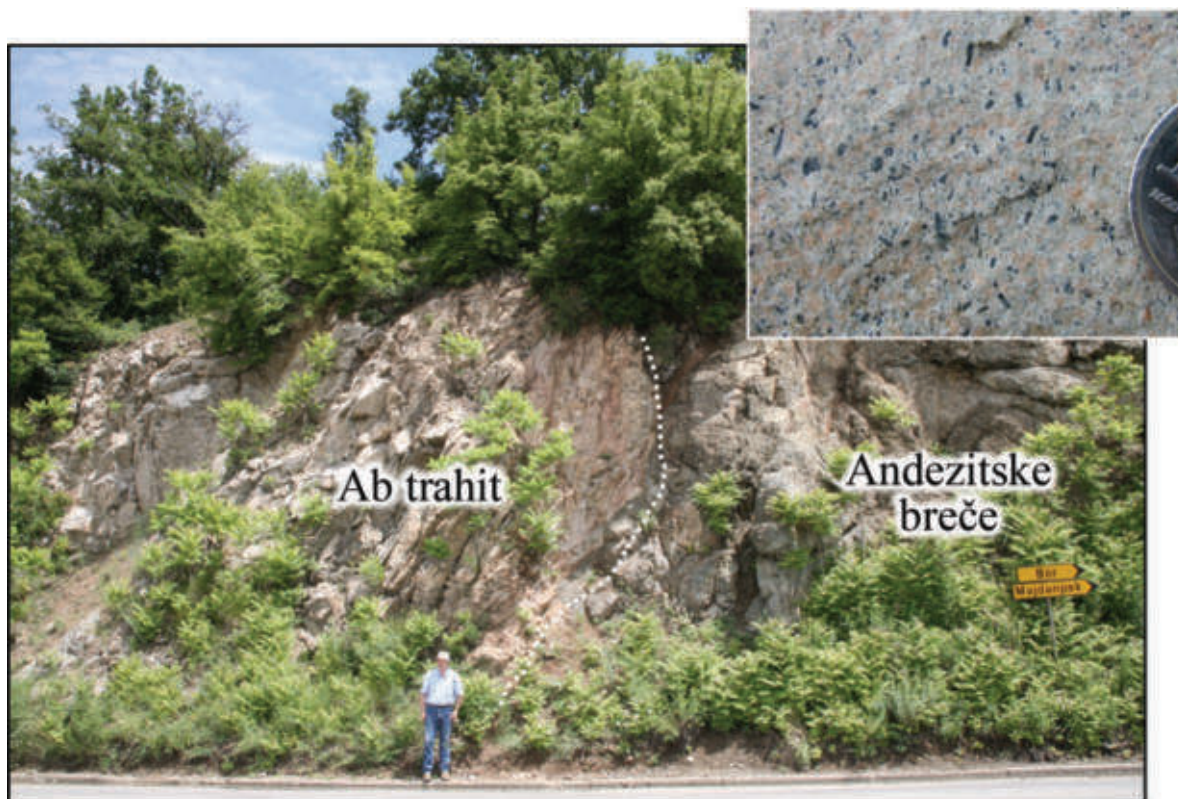


Slika 599. Položaj latita na **QAPF** dijagramu
(*Streckeisen i dr., 1979*)



Slika 600. Mikrosnimak trahita sa fluidalnom teksturom; fenokristal sanidina (San) leži u osnovi od mikrolita sanidina; N+, 60x

Sadržaj bojenih minerala u trahitima može biti mali i oni mogu izostati kada stena dobija belu boju i postaje praktično monomineralna, izgrađena samo od sanidina. Kao i kod riolita, umesto sanidina u trahitima se može, kao bitni mineral, javiti albit, kada stenu nazivamo albitski trahit. U našoj zemlji trahiti su malo zastupljeni. Albitskih trahita ima u okolini Brestovačke banje u Istočnoj Srbiji (slika 601).



Slika 601. Ab trahit, Brestovac kod Bora; gore desno: uzorak stene

PORFIR

Porfir je starija, paleotipska (prekenozojska) **izlivna stena sijenita**. Ima isti mineralni sastav i porfirsku strukturu kao i trahiti, zbog čega se u literaturi sreće i naziv **paleotrahit**. U ovim stenama se **umesto sanidina javlja ortoklas**, koji ga je vremenom zamenio kao stabilnija forma alkalnog feldspata.

Pošto su ovo stare stene, feldspat i bojeni minerali su alterisani, sericitizirani, hloritizirani, epidotizirani, limonitizirani. Javljaju se kao izlivi male debljine u paleozojskim, trijaskim i jurskim formacijama, asocijacijama stena stvorenim u određenoj tektonskoj sredini. Nemaju ekonomskog značaja.

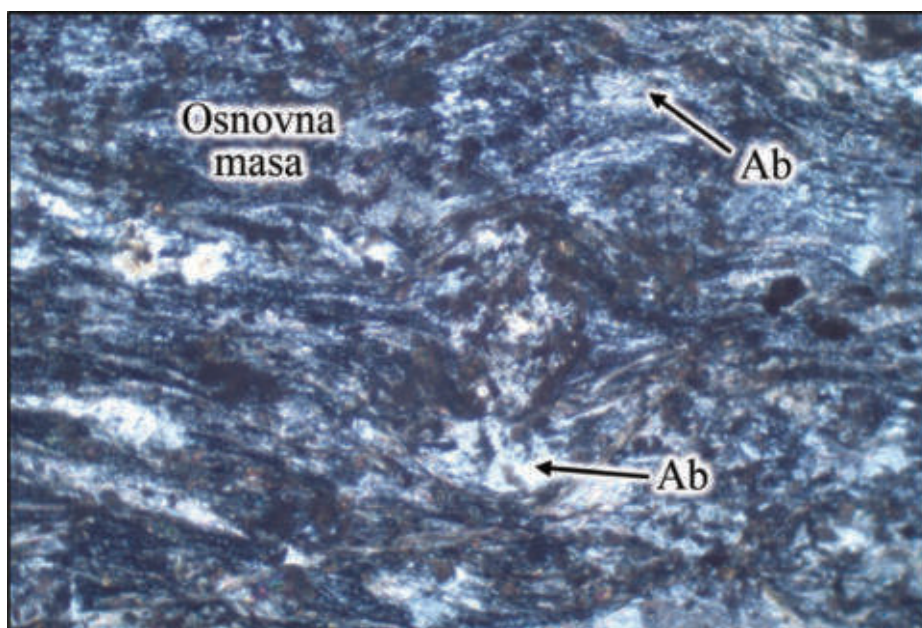
KERATOFIR

Keratofir je submarinska, starija, prekenozojska, **izlivna stena sijenita** sa **primarnom, niskotemperaturnom asocijacijom minerala**. Keratofiri su, kao i kvarceratofiri, članovi spilit-keratofirske asocijacije, koja je stvarana u trijasu i juri (slika 602). Keratofira ima i u paleozoiku, ali su često metamorfisani.



Slika 602. Izdanak trijaskih keratofira, Biogradsko jezero; gore desno: uzorak stene

Po sastavu, genezi i načinu pojavljivanja veoma su slični kvarcerkeratofirima, od kojih se jedino razlikuju po odsustvu slobodnog kvarca kao bitnog sastojka. **Strukture su porfirske, izgrađeni od fenokristala albita, hlorita i relikata bojenih minerala (najčešće piroksena), koji leže u alterisanoj osnovnoj masi izgrađenoj od hlorita, sericita, epidota, kalcita, leukoksena itd. (slika 603).**



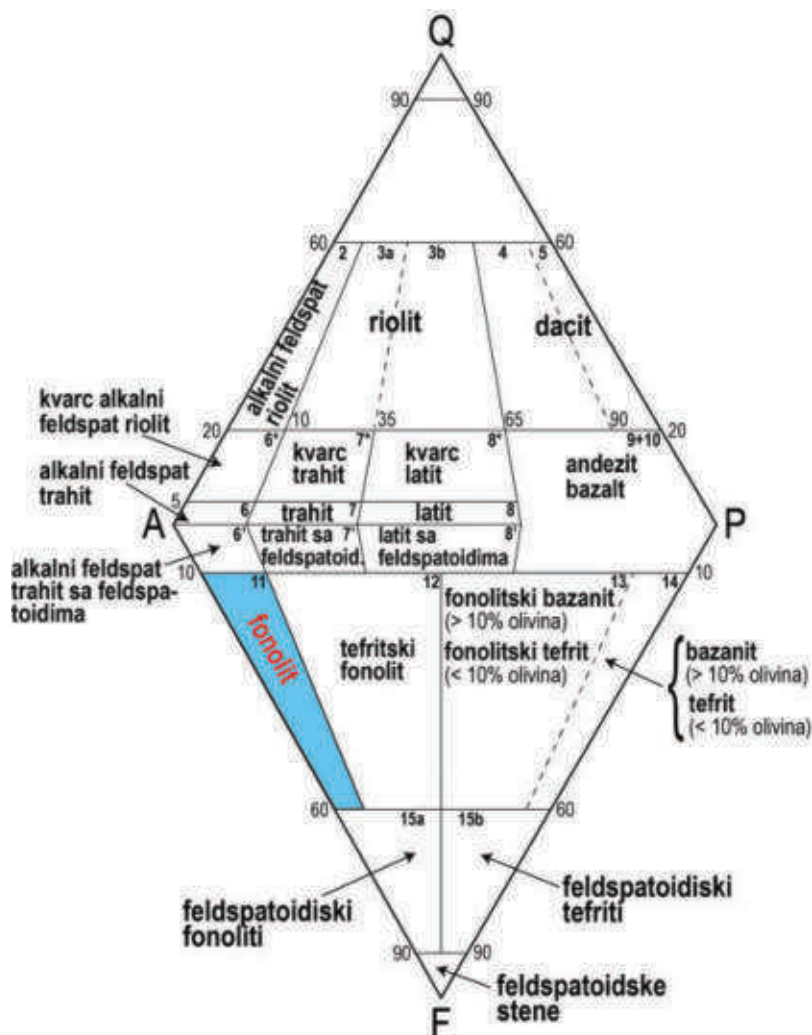
Slika 603. Mikrosnimak keratofira; osnovna masa je od hlorita, epidota i karbonata; N+, 60x

U ovim stenama sreću se pumpelit, prenit, aktinolit, zeoliti itd., važni minerali za određivanje stepena metamorfizma koje su ove stene pretrpele tokom izlivanja i smeštaja.

Keratofiri su, kao i kvarceratofiri, pomenuli smo, članovi **spilit keratofirskih asocijacija** koje su nastale submarinskim izlivanjem lave. U našoj zemlji javljaju se u paleozoiku, rifeo-kambrijumu i karbonu u okviru slabo metamorfisanih škriljaca. Ima ih u Zapadnoj Srbiji (drinski i limski paleozoik), Istočnoj i Južnoj Srbiji (Kučaj, Vlasotince itd.). U mezozoiku, javljaju se u srednjem trijasu ili u juri, kao članovi ofiolitske asocijacije stena, Dinarida i Vardarske zone.

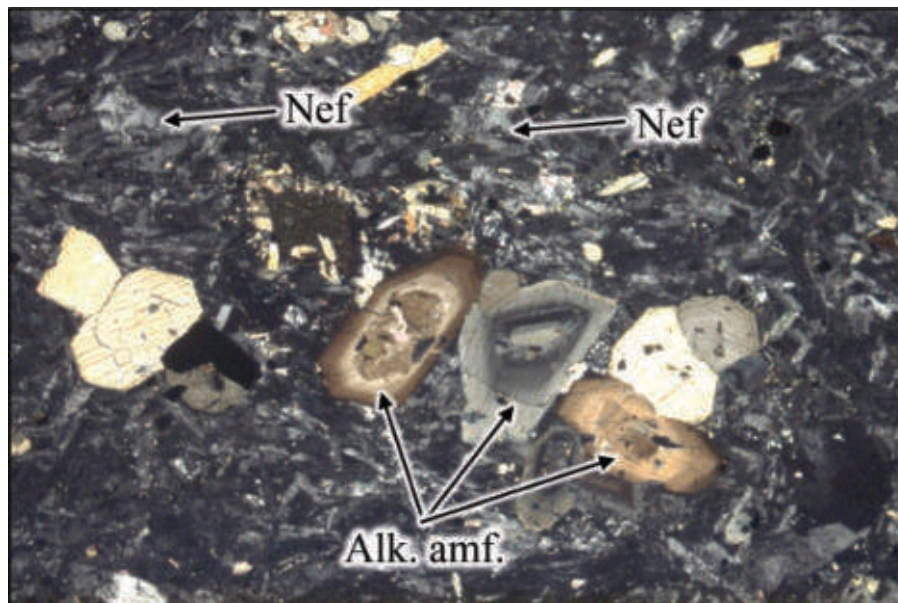
FONOLIT

Fonolit je mlada (kenozojska) vulkanska stena alkalnih sijenita (slika 604). Struktura je porfirske, izgrađena od fenokristala sanidina, nefelina, alkalnog amfibola ili piroksena, koji leže u osnovnoj masi izgrađenoj od mikrolita (sitnih kristala) istog sastava (slika 605). Ponekad sadrži i staklo. Ako ima povećan sadržaj K_2O i Na_2O , ova stena se svrstava u alkalne izlivne stene. Ako se umesto nefelina javi leucit kao bitni sastojak, stenu nazivamo leucitfonolit; ako ima nefelina i leucita zajedno, nazivamo je leucitofir. Sa iščezavanjem feldspata i porastom sadržaja nefelina, fonoliti prelaze u nefelinite, dok sa porastom sadržaja leucita, leucitfonoliti prelaze u leucitite. Fonolit je dobio ime od grčke reči „fonos”, što znači „zvuk”, jer pod udarcima čekića jasno odzvanja. Lučenje fonolita je pločasto ili stubasto (slika 606).



Slika 604. Položaj fonolita na **QAPF** dijagramu (Streckeisen i dr., 1979)

spata i porastom sadržaja nefelina, fonoliti prelaze u nefelinite, dok sa porastom sadržaja leucita, leucitfonoliti prelaze u leucitite. Fonolit je dobio ime od grčke reči „fonos”, što znači „zvuk”, jer pod udarcima čekića jasno odzvanja. Lučenje fonolita je pločasto ili stubasto (slika 606).



Slika 605. Mikrosnimak fonolita sa Banjice; Alk. amf. = alkalni amfibol, zonaran, Nef = nefelin; N+, 60x

Stene sa velikim sadržajem nefelina i leucita koriste se kao sirovine za dobijanje aluminijuma, u industriji stakla i keramičkoj industriji.

Fonolita ima na Banjici kod Beograda. Leucititi se javljaju u okolini Gnji-lana, gde su ove stene trebalo biti korišćene kao sirovina za dobijanje veštačkih đubriva. Napomena: fonoliti (alkalne stene) biće prikazane u posebnom poglavlju.



Slika 606. Fragmenti fonolita na Banjici; gore desno: uzorak stene

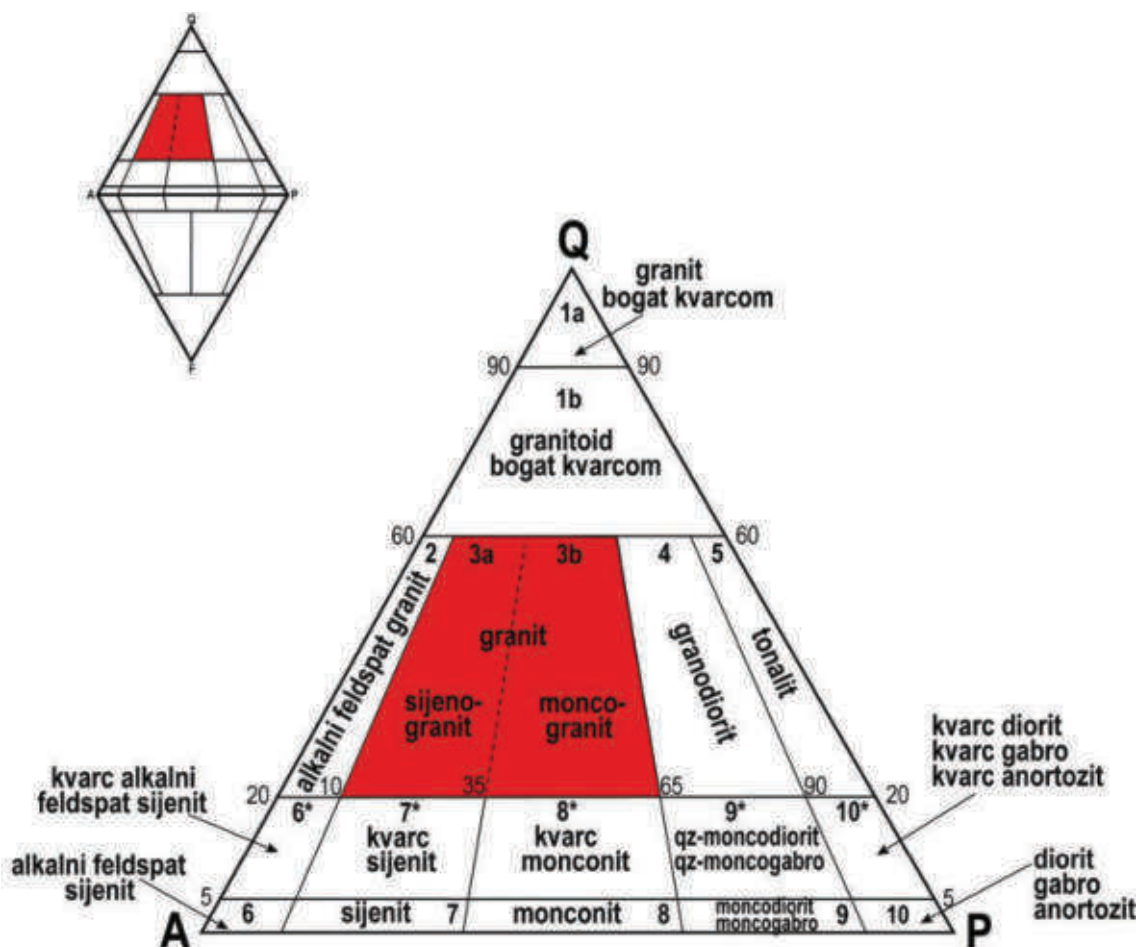
V.8.8 GRANITSKA GRUPA

V.8.8.1 DUBINSKE STENE GRANITSKE GRUPE

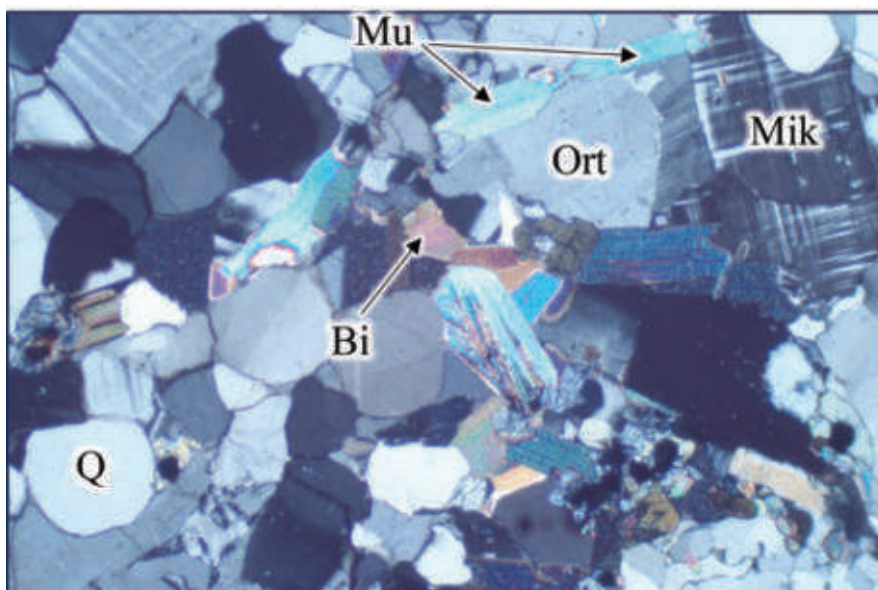
GRANIT

Granit je dubinska, intruzivna kisela stena, koja je dobila naziv po latinskoj reči **granum** („zrno”), jer se minerali koji grade ovu stenu javljaju u zrnastim agregatima. Zbog ove osobine, koja je česta u magmatskim stenama, u tehničkim priručnicima mnoge zrnaste stene različitog sastava nazivaju se graniti, posebno među kolegama građevinske struke.

Granit je izgrađen od kalijskog feldspata (ortoklasa, mikroklina), uključujući i pertit, plagioklasa (uglavnom albita), koji je manje zastupljen, i bojenih minerala, najčešće biotita, a javljaju se i hornblenda, muskovit pa čak i pirokseni (u steni koja se naziva čarnokit) i kvarc (slike 607 i 608).



Slika 607. Položaj, polje granita u **QAP** dijagramu (označen crveno);
gore levo: kompletan **QAPF** dijagram (Streckeisen, 1973)



Slika 608. Mikrosnimak granita sa Bukulje; Ort = ortoklas, Mik = mikroklin, Mu = muskovit, Bi = biotit, Q = kvarc; N+, 50x

Granit je grubozrna, leukokratska, kisela **intruzivna (dubinska)** stena zrna-
ste strukture, uglavnom hipidiomorfna, zrnasta (slika 609). Kada u steni ima **kru-
pnijih zrna alkalnog feldspata**, stena ima **porfiroidnu strukturu**. U granitima se
javljaju i mirmekitska, granofirska, pisano-granitska i pojilitiska struktura, koje
smo opisali u poglavlju o strukturi magmatskih stena.



Slika 609. Granit. Brajkovac kod Lazarevca; gore levo: detalj stene

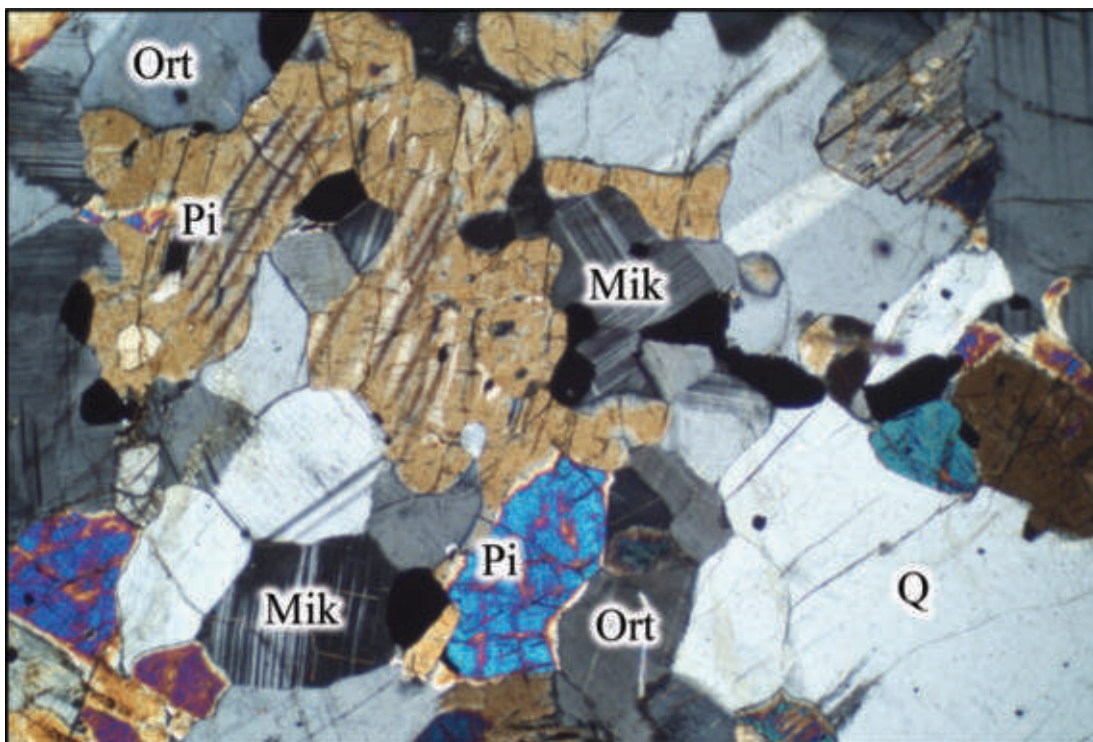
U granitima se može javiti i **pertit** (volatili u magmi deluju kao katalizatori njihovog stvaranja), koji ukazuje na uslove nastanka, kao što su brzina hlađenja i dubina na kojoj je kristalisao.

Od akcesornih minerala prisutni su **cirkon, apatit, magnetit, ilmenit, rutil i titanit**.

Ako stena **sadrži i intermedijarni plagioklas** (manje od alkalnog feldspata), nazivamo je **monconitski granit**.

Kada se u granitu javljaju alkalni pirokseni i amfiboli, stena se naziva **alkalni granit**. To je grubozrnasta, leukokratna stena izgrađena od alkalnog feldspata (uključujući i pertit), kvarca, a od bojenih minerala javljaju se alkalni pirokseni ili alkalni amfiboli.

U ovu grupu stena spadaju i čarnokiti (slika 610). To su skoro bezvodne stene, izgrađene od ortopiroksena, retko fajalita, pertita ili antipertita i kvarca (*Streckeisen, 1973, 1976a i b*). Često su genetski povezani sa noritima i anortozitima koji se javljaju uglavnom u starim, prekabrijskim terenima. Ove stene imaju i svojstva metamorfnih stena (deformacija i rekristalizacija itd.), pa ih neki autori svrstavaju i u tu kategoriju.



Slika 610. Mikrosnimak čarnokita, Mozambik; Ort = ortoklas,
Pi = piroksen, Mik = mikroklin, Q = kvarc; N+, 40x

Graniti dobijaju naziv prema vodećem bojenom ili karakterističnom mineralu: **biotitski granit, muskovitski granit, dvoliskunski granit, amfibolski granit** itd. Najčešći su dvoliskunski graniti, sa muskovitom i biotitom. U grupu granita spadaju i čarnokiti.

Graniti se prema veličini zrna dele na:

- grubozrne (veličine zrna preko 10 mm)
- krupnozrne (5–10 mm)
- srednjezrne (3–5 mm)
- sitnozrne (2–3 mm)
- vrlo sitnozrne (veličine zrna ispod 2 mm).

(NAPOMENA: u udžbenicima postoje raznoliki kriterijumi za veličinu zrna.)

Teksture su **masivne**, retko trakaste (slojevite), ponekad i uškriljene, obično po obodu masiva.

Lučenje granita je **paralelopipedno pločasto** ili **nepravilno**. Kuglasto lučeni graniti su nepovoljni za obradu.

Graniti su otporne stene, ali kada su dugo izloženi na površini usled atmosferskih uticaja, oni se fizički i hemijski razaraju. Raspadanje obično počinje fizičkom dezintegracijom i oksidacijom bojenog minerala (biotit, hornblenda), kada stena dobija mrkocrvenu boju zbog novonastalog limonita. Nakon toga, zamućuju se feldspati, koji se sericitisu, a daljom transformacijom prelaze u minerale glina, najčešće u kaolinit. Procesi počinju po obodu zrna pomenutih minerala, kada slabije kohezione sile i stenska masa se dovodi u rastresito stanje tzv. **granitski grus**. (slika 611). U masi, koja podseća na pesak, jedini minerali koji nisu podlegli raspadanju su kvarc i muskovit, ako je bio prisutan.



*Slika 611. Grusificirani granit kod Gorjana (Crnajka), Istočna Srbija;
gore levo: detalj grusa*

Graniti, kada su sveži, eksploatišu se kao arhitektonski kamen za gradnju ivičnjaka, stepenica, za horizontalno i vertikalno oblaganje, popločavanje itd. (Bukulja), ili kao tehnički drobljeni kamen, naročito ako su sitnozrni i povoljno lučeni (Bukulja, Gorjane, Jastrebac itd.). U našoj zemlji graniti su rasprostranjene stene. Ima ih u srpsko-makedonskoj masi, Surdulici, Bujanovcu, Lebanu, kod Vršca, na Staroj planini, Crnajki, u neresničkom i brnjičkom masivu itd. Monconitskih granita ima na Kosmaju, gde se javljaju kao stene porfiroidne strukture i zelenkaste boje.

TRONDHJEMIT

Trondhjemit je **dubinska**, intruzivna stena, koju nazivamo i leukotonalit. Izgrađena je od **kiselog plagioklasa (albita)**, **kvarca** sa **malo biotita**. Smatra se da su ove stene protoliti (izvorne stene) od kojih su nastali mnogi „stari” gnajsevi, jer imaju slična geohemijska svojstva sa modernim (mlađim) adakitskim vulkanitima.

Pomenimo i asocijaciju tonalita, trondjemita i granodiorita. Plutoni tonalita, trondjemita i granodiorita (**TTG**) javljaju se u „okruženju” subdukcione zone, od arhaika pa do „današnjih” dana, neogena.

Naziv stene trondhjemit je dao V. M. Goldšmit (Goldschmidt) po leukokratnim norveškim stenama obogaćenim natrijskim plagioklasom (albitom) i kvarcom, a osiromašenim biotitom i kalijevim feldspatom (**Barker, 1979**).

V.8.8.2 ŽIČNE STENE GRANITSKE GRUPE

GRANITPORFIR

Granitporfir (mikrogranit) je **ašistna žična stena** i ima **isti mineralni sastav** kao i **matična plutonska stena, granit**. Granitporfiri su uglavnom porfiroidne, zrnaste strukture, retko porfirske, sa krupnijim, idiomorfnim zrnima kalijskog feldspata, ortoklasa, mikrokлина ili albita.

Granitporfiri se javljaju u žicama, debljine od nekoliko centimetara pa do nekoliko metara, obično oko 0,5 m do 1 m, koje presecaju matični pluton ili su intrudovane u okolne stene.

Izgrađeni su od kvarca, ortoklasa ili mikrokлина, albita i bojenih minerala, uglavnom biotita i muskovita. Kristali feldspata obično su rumeni ili zelenkasti, a cela stena je sivo-zelene ili svetlocrvene (rumenkaste) boje. Raspadanje je slično kao kod granita. Nemaju ekonomski značaj. Većina granitskih plutona ima žične pratioce ašistnog sastava. Ove stene u stranoj literaturi nazivaju se i *mikrograniti*.

APLIT

Aplit je **finozrna, sitnozrna dijašistna žična stena, bogatija salskim mineralima, kvarcom i alkalnim feldspatom od matične stene, granita**.

Izgrađeni su od kvarca, alkalnog feldspata, ortoklasa i/ili mikrokлина, i vrlo male količine bojenih minerala, uglavnom muskovita, koji ponekad i izostaje. Jav-

ljaju se u žicama (slika 612) bele boje, koje se lako uočavaju u masi granita, koji često prate. Debljine su od nekoliko centimetara do pola metra, retko i više. Zrnaste su strukture, uglavnom hipidiomorfno zrnaste, ponekad panidiomorfno zrnaste, retko mogu biti i porfiroidne. Granice aplitskih žica prema okolnim stenama su oštre.



Slika 612. Žica aplita, debljine 7 cm u granitu sa Bukulje

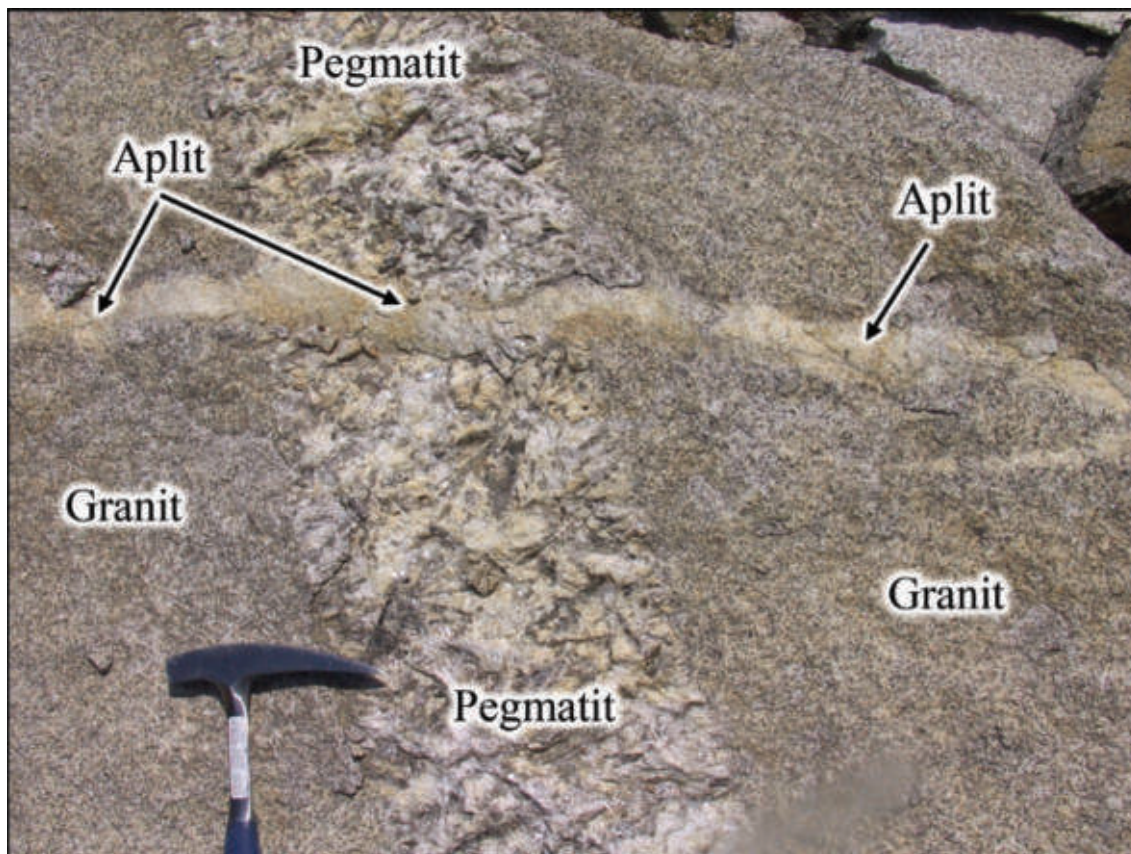
Apliti nastaju u završnoj kristalizaciji granitske magme, od ostatka rastopa siromašnog lako isparljivim komponentama koji se brzo hladi. Obično se javljaju u gornjim delovima intruzija. Pojedini autori smatraju da apliti nastaju i iz leukokratne magme siromašne vodom, zbog čega su ove stene sitnozrne i homogene.

Apliti se javljaju i u drugim granitoidnim stenama, kvarcmonconitu, granodioritu i, retko, kvarcdioritu. Njihov mineralni sastav je određen prisustvom salskih minerala (feldspata) matične stene iz koje potiču. Apliti u kvarcmonconitu, osim kvarca, sadrže ortoklas i/ili mikroklin i prelazne plagioklase (oligoklas, andezin), ali manje nego matična stena. U granodioritima takođe imaju više plagioklasa, ali manje nego matična stena itd. Apliti se javljaju i u regionalno metamorfnim stenama (često asocirani, udruženi sa pegmatitima), gde grade žice, segregate, sočiva ili nepravilna tela stvorena parcijalnim stapanjem parametamornih stena (peščara, alevrolita, glinaca itd.) pri visokom stepenu metamorfizma (ultrametamorfizmu). Najznačajnija primena aplita je u industriji porcelana i keramike. Zahtevima ove industrije odgovaraju apliti sa minimalnim količinama minerala, koji sadrže gvož-

de, po mogućnosti sa što većim sadržajem kalijskog feldspata. U našoj zemlji apliti su veoma česti, uz sve granitske masive. Većih pojava aplita ima u okolini Stalaća, na Bukulji, Kopaoniku, Ceru, Boranji itd.

PEGMATIT

Pegmatit je krupnozrnasta, grubozrna stena granitskog sastava. Većina pegmatita stena nastaje iz granitne magme bogate fluidima i obogaćene inkompatibilnim elementima koji nisu ušli u sastav glavnih minerala koji grade stenu tokom njene kristalizacije (slika 613).



Slika 613. Žica pegmatita u granitu sa Bukulje presečena mlađom žicom aplita

Javljuju se kao **žice, nepravilna sočiva**, obično duž margina batolita i plutona granitoida, ili obrazuju intruzivna tela sočivastog do nepravilnog oblika, kada se mogu smatrati i granitskom (pegmatitskom) magmom koja je kristalisala u prisustvu veće količine vode.

Pegmatiti su retki u kvarcdioritima, dioritima i gabrima zbog niskog sadržaja vode u magmama iz kojih ove stene kristališu.

Pegmatiti nisu tipične („prave”) žične stene. Ostatak kiselog rastopa, bogatog kvarcom i feldspatima i lako isparljivom komponentom, može biti ogroman. **Veliki unutrašnji pritisak, zbog visokog sadržaja lako isparljive komponente, koja gradi i do 50% magme, omogućava rastopu veliku pokretljivost i snagu intrudovanja (Milovanović i dr., 2013).**

Naveli smo da se pegmatiti javljaju i u regionalno metamorfnim stenama gde grade silove, segregate, sočiva debljine do par metara. Nastali su anaksisom, parcijalnim stapanjem sedimentnih stena (peščara, alevrolita, glinaca itd.) pri visokom stepenu metamorfizma (ultrametamorfizmu). Najčešće su izgrađeni od alkalnog feldspata (ortoklasa ili mikrokлина), muskovita i kvarca (slika 614). Ponekad se sreću i granati.



Slika 614. Žica pegmatita u metamorfnim stenama kod Prokuplja iz koje je eksploatisan muskovit; dole desno: uzorak stene

Struktura pegmatita je zrnasta, obično hipidiomorfno zrnasta, ali se sreće i panidiomorfno zrnasta i **pisano pegmatitska struktura** (koju smo opisali), i odnosi se na prorastanje kvarca i feldspata, pri čemu se dobijaju agregati slični semitskim slovima. Obično su to krupnozrne stene, po čemu se relativno lako raspoznaju od drugih stena. Većina kristala u pegmatitima je veća od 1 cm u prečniku, ponekad mogu biti i neverovatnih nekoliko metara. U jednom kristalu feldspata u Švedskoj radio je majdan nekoliko godina.

Pegmatiti su izgrađeni od **magmatskih minerala**, alkalnog feldspata, ortoklasa ili mikrokлина, retko albita, i kvarca i **pneumatolitskih minerala**, koji su nastali dejstvom lako isparljive komponente na već postojeće, pomenute, minerale, kada nastaju „novi”. Nakon kristalizacije kvarca i alkalnog feldspata, ostatak granitskog rastopa se obogaćuje fluidima (vodom, fluorom itd.) i inkompatibilnim elementima (**Li, Be, B, REE, U** itd.), što dovodi do „značajne” međusobne interakcije. Nastaju „novi” muskovit i biotit (uz postojeće, ako su bili prisutni), zatim „tek rođeni” turmalin, beril (smaragd), rubin, safir, topaz, epidot, litijski liskuni, granati itd., koji se mogu razviti u „prelepe” euhedralne kristale.

U literaturi, udžbenicima postoji više podela pegmatita. Navešćemo najčešće: „jednostavni” pegmatiti su izgrađeni od albita, kvarca, pertita sa malo muskovita, turmalina i **Fe-Mn** granata, a **složeni** (nazivaju ih i *zonarni*) pegmatiti imaju „slojevit” zonarnu građu i „bezbroy” minerala. Ima i podela na osnovu „vodećeg”, dominantnog ili značajnog minerala. Pomenućemo neke od njih:

- **liskunski pegmatiti** sadrže debele ploče liskuna, obično muskovita, koji se može eksploatisati jer se koristi kao izolator u elektroindustriji; u našoj zemlji muskovit se eksploatisao kod Prokuplja i Bujanovca;
- **feldspatski pegmatiti** su izgrađeni od alkalnog feldspata, koji dominira, i kvarca; feldspat se eksploatiše prebiranjem; naša pegmatitska ležišta feldspata su solidna sirovinska baza; eksploatisani su kod Prokuplja i Bujanovca;
- **pegmatiti sa berilom** su nosioci berila, koji se javlja u pravilnim kristalima različite veličine (ponekad veoma krupnim); berila kod nas ima u pegmatitima sa Cera, Bukulje i u okolini Bujanovca;
- **pegmatiti sa spodumenom** sadrže spodumen, koji se u ovim stenama javlja u kristalima dugim preko 15 cm, a debelim do 2 cm; u našoj zemlji najveće pojave spodumena su u pegmatitima sa Cera; na ovom lokalitetu kristali su dugi do 10 cm itd.

Alkalni feldspati, kvarc, liskuni, **Li**-pirokseni jesu važni industrijski minerali. Većina feldspata se koristi za proizvodnju keramike i stakla, ali se koristi i kao punilo u bojama i plastici, kao i abraziv u kućnim sredstvima za čišćenje. Kvarc je važan u proizvodnji svih vrsta stakla. Ako je visoke čistoće, koristi se kao punilo za visoku termičku stabilnost itd. Spodumen se koristi u keramici, ali je takođe izvor litijuma, koji je rastući metal za proizvodnju baterija. U pegmatitima se javljaju i retke zemlje, radioaktivni minerali, šelit, volfram, molibden, rutil itd. Smatra se da peraluminijски graniti koji su inkorporirali (asimilirali) metamorfne i sedimentne stene imaju tendenciju da formiraju pegmatite obogaćene **Li**, **Cs**, **Ta**, **B**, **P** i **F**. Feroan graniti su povezani sa pegmatitima bogatim elementima retkih zemalja, **Nb**, **U** i **Th**. Nasuprot tome, kordijeritski graniti (iz subdukcioni zone) nemaju značajna ležišta pegmatita. Pegmatiti se javljaju kao pratioci granita na Pasjači, Vidojevici, Željenu, Bukulji, Ceru itd.

GRAJZENI

Grajzenizacija je metasomatski proces koji nastaje diferencijacijom kiselih granitskih rastopa, kada se sa padom temperature povećava sadržaj silicije, aluminije i lako isparljive komponente bogate fluorom, borom, hlorom itd.

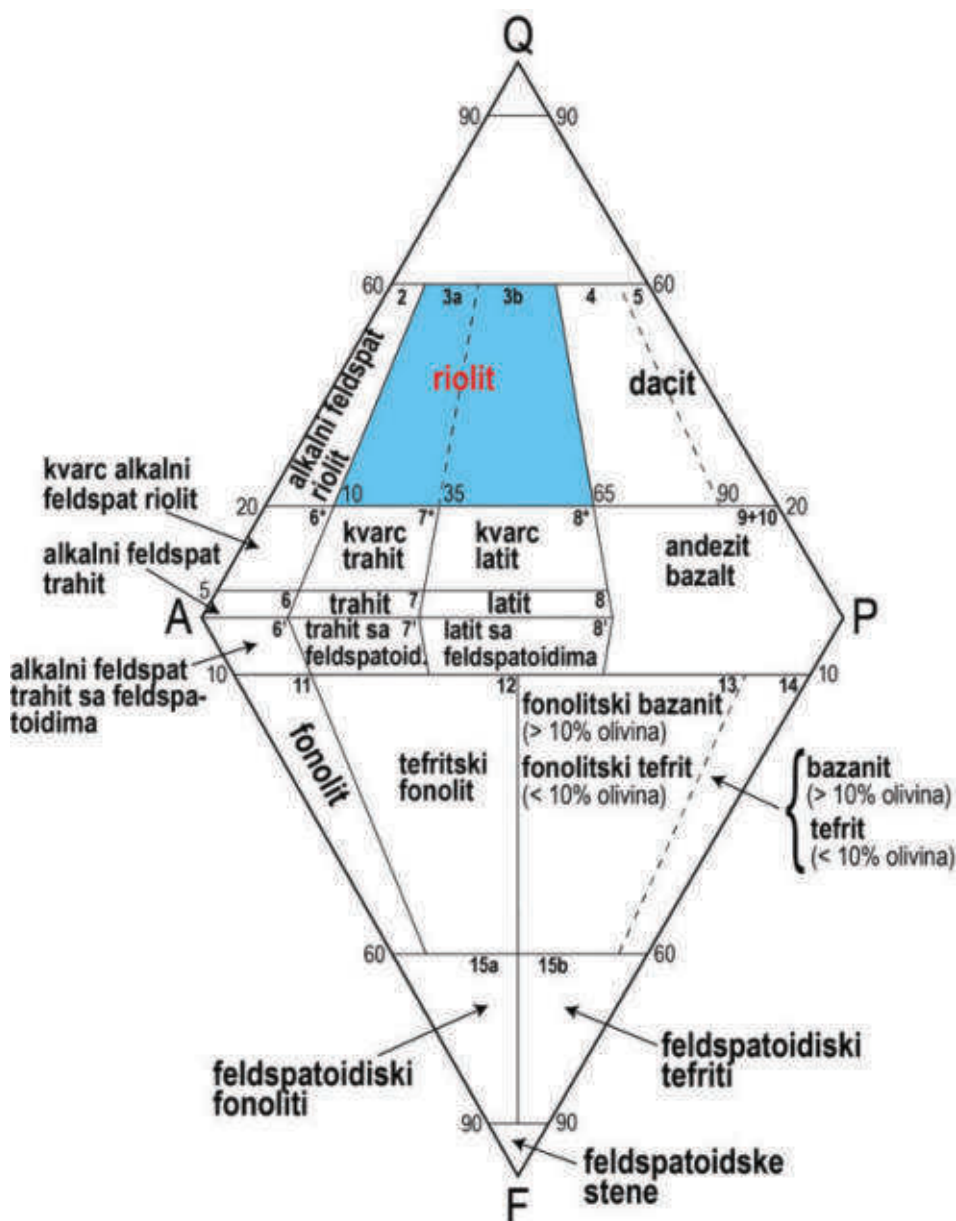
Grajzeni se najčešće sreću na kupolama granitoida ili neposredno oko njih, gde grade oreole širine i do nekoliko stotina metara. Izgrađeni su od kvarca, muskovita, turmalina, topaza, fliorita itd.

U grajzenima se često sreću ekonomski „interesantne” koncentracije volframa, molibdena, bizmuta, tantala, retkih zemalja, topaza itd. U našoj zemlji pojave grajzenizacije zapažene su na Bukulji, Ceru i Rudniku.

V.8.8.3 VULKANSKE STENE GRANITSKE GRUPE

RIOLIT

Riolit je mlada, kenozojska, vulkanska stena granitske magme (slika 615). Rioliti su sivo-bele i ružičaste boje, a struktura je porfiriska, holokristalno porfiriska ili vitrofirska.



Slika 615. Položaj riolita na *QAPF* dijagramu (Streckeisen i dr., 1979)

Sastoje se od **fenokristala sanidina, kvarca i bojenih minerala**, kao što su **biotit i hornblenda**, koji se nalaze u **osnovnoj masi mikrolita (sitnih kristala) istih minerala i/ili stakla**.

Ponekad se u njoj mogu videti pukotine i sferuliti. U ovim stenama umesto sanidina, kao fenokristal, **može se javiti albit**, što dovodi do naziva **albitski riolit**.

Sporedni (akcesorni) minerali uključuju **apatit, cirkon, sfen**, a ponekad i magnetit. Ako je osnovna masa sastavljena samo od stakla, stena dobija crvenka-sto-smeđu do gotovo crnu boju.

Tekstura riolita je masivna, ponekad čak fluidalna, a lučenje je stubasto. Ako su povoljno lučeni i ako porfirska struktura nije izražena, mogu se koristiti kao građevinski kamen.

U grupu riolita spadaju **vulkanska stakla**, neiskristalisane stene bez fenokristala. Nastale su naglim hlađenjem granitske magme na površini, gde nije došlo do kristalizacije minerala. Među njima se razlikuju opsidijan, pehštajn, bimštajn, plovućac (biće detaljnije opisani u poglavlju Vulkanska stakla). Često se za ove stene koristi naziv lipariti po Liparskim ostrvima, blizu Sicilije, gde su veoma rasprostranjene.

KVARCPORFIR (PALEORIOLIT)

Kvarcporfir ili paleoriolit, kako se u novije vreme naziva, jeste **starija vulkanska stena** granitske grupe, koja je **izlivena pre kenozoika**, u mezozoiku, paleozoiku i starijem paleozoiku (slika 616).



Slika 616. Izdanak kvarcporfira, Klokočevac; gore desno: detalj stene

To su stene **porfirske strukture** i imaju **isti mineralni sastav kao i riolit**, osim što se **umesto sanidina kao fenokristala javlja ortoklas** (nakon dugog geološkog vremena sanidin rekristališe u stabilniju modifikaciju ortoklasa).

Bojeni minerali, kao što su biotit i hornblenda, **često su promenjeni**, zamenjeni hloritom, epidotom i kalcitom, a feldspati sericitom i kaolinitom.

Kao fenokristal se javlja i **kvarc**, čije su **ivice često resorbovane** usled reakcije sa osnovnom masom, što ukazuje na neravnotežu kristala i rastopa, najčešće zbog brze kristalizacije, odnosno naglog hlađenja magme.

U osnovnoj masi, koja je sitnozrnasta, česti su sekundarni minerali poput sericita, hlorita i oksida gvožđa, što stenama daje crvenkastu ili zelenkastu boju. Kvarcporfir (paleoriolit) može se naći na Staroj planini, kod Boljetinske reke i na drugim lokacijama. Ako su sveži i povoljno lučeni, kvarcporfiri (paleorioliti) mogu se koristiti kao građevinski kamen i za nasipanje puteva.

KVARCKERATOFIR

Kvarckeratofir je „stara” (paleotipna) submarinska granitoidna stena (slika 617), koja je izlivena na okeanskom dnu. **Strukture je porfirske**, sastoji se od



Slika 617. Sil kvarckeratofira debljine 1 m) u paleozojskim stenama kod Sene; istočna Srbija

fenokristala kvarca, albita i niskotemperaturnih asocijacija bojenih minerala: hlorita, kalcita, epidota, sfena, a ponekad se mogu pronaći i relikti primarnih bojenih minerala (uglavnom piroksena) koji se nalaze u alterisanoj sitnozrnoj osnovnoj masi sa istim mineralima, često i sa hidroksidom gvožđa.

U ovim stenama mogu se javiti i **pumpelit, prenit, aktinolit, zeolit** i drugi minerali koji ukazuju na niske stepene metamorfizma (metamorfizam okeanskog dna) koje su ove stene doživele tokom izlivanja na okeansko dno.

Boje su zelene, zbog prisustva hlorita i epidota, pa sve do crveno-mrkih, zbog prisustva oksida i hidroksida gvožđa.

Tekstura je masivna, često šupljikava i mandolasta.

Kvarckeratofiri su često udruženi sa porfiritima (paleoandezitima), spilitima i dubokovodnim sedimentima, glinama, rožnacima, karbonatima, čime formiraju vulkanogeno-sedimentnu asocijaciju poznatu kao **porfirit-rožnačka formacija**, koja se formirala **u srednjem trijasu**, ili se javljaju kao deo **ofiolitskog melanža jurske ili kredne starosti**.

Kvarckeratofiri se javljaju i u paleozoiku. Kvarckeratofiri su rasprostranjene stene u našoj zemlji. Mogu se naći u Istočnoj Srbiji, kod Sene, paleozojske starosti, kod Prijepolja trijaske starosti, kao i u okviru Dinaridskog ofiolitskog pojasa i Vardarske zone.

Prikazana „negenetska” petrografska klasifikacija granitoida zadovoljava većinu petrologa, ali i ostale geologe i rudare. Ovde ćemo prikazati i dve klasifikacije na osnovu sadržaja pojedinih akcesornih minerala, magnetita, ilmenita i cirkona.