

V.5. KLASIFIKACIJA I NOMENKLATURA MAGMATSKIH STENA

UVOD

Prema opšteprihvaćenoj definiciji, **stena je prirodna zajednica jednog ili više minerala određenog načina nastanka, hemijskog i mineralnog sastava, sklopa, tj. strukture i teksture koja gradi geološka tela u zemljinoj kori, litosferi i gornjem omotaču.**

Stena može biti čvrsta (granit), nevezana (pesak) ili plastična (glina). Prema načinu nastanka, stene se dele u tri velike grupe: magmatske, koje će biti prikazane u ovom poglavlju, sedimentne i metamorfne, o kojima će biti detaljnije reči u posebnim poglavljima.

Stena izgrađena od jednog minerala naziva se **monomineralna**, a ako je izgrađena od dva ili više minerala, naziva se **polimineralna stena** (slika 383).



*Slika 383. Piroksenit (levo) koji gradi žicu u peridotitu (Maljen) izgrađen je samo od piroksena i pripada **monomineralnoj steni** (levo); granit na Bukulji (desno) izgrađen je od ortoklasa, biotita i kvarca i pripada **polimineralnoj steni** (desno); uzorak granita 10 cm*

U prirodi postoji preko 3000 minerala, ali samo oko stotinak njih gradi stene. Različitog su hemijskog sastava: silikati, karbonati, oksidi, hidroksidi.

Minerali koji grade stene su **petrogeni minerali**. Ako određuju **vrstu stene**, pripadaju grupi **bitnih** ili **glavnih** minerala. Ako njihovo prisustvo ne utiče na određivanje vrste stene, spadaju u grupu **sporednih** ili **akcesornih minerala**.

U prirodi postoje i druge mineralne asocijacije koje ne pripadaju stenama, već **mineralnim i rudnim ležištima**. U njima je sadržaj pojedinih minerala ili elemenata i do nekoliko hiljada puta veći u odnosu na prosečnu količinu u Zemljinoj kori i omotaču.

Ako mineralno ležište ima ekonomski značaj, naziva se **rudno ležište**. Ime

dobija prema vodećem korisnom mineralu ili metalu koji se iz njega dobija: ležište bakra, olova i cinka, gipsa, dijamanta itd.

Magmatske stene na prvi pogled imaju beskrajnu raznolikost modalnog, mineralnog i hemijskog sastava. U vremenu iza nas su nebrojena i često nedokučiva (nerazumljiva) imena davana različitim vrstama stena, koja su uglavnom bila deskriptivna. Pomenimo primer: čarnokit (vrsta granita sa piroksenom) dobio je ime po steni koja je na nadgrobnom spomeniku Džoba Čarnoka (Job Charnock), osnivača Kalkute (sada Kolkata) u Indiji.

Neka imena su skovana po geografskom lokalitetu, na primer, andezit po Andima, poznatom planinskom vencu u Južnoj Americi, ili dolaze iz žargona rudara itd.

U klasičnom delu Albert Johansen (*Johannsen, 1931–1938*) naveo je oko 800 naziva magmatskih stena kada je naša petrologija uglavnom bila deskriptivna (petrografija). Danas je veliki deo starih naziva stena napušten, a petrolozi barataju samo sa nekoliko desetina glavnih imena magmatskih stena (*Le Maitre, 1989*). U ovom poglavlju daćemo odgovore na pitanja podele magmatskih stena, koja obuhvataju sledeće:

- kako se klasifikuju magmatske stene;
- koji su osnovni mineralni, hemijski i teksturni parametri (kriterijumi) po kojima se stene dele, nazivaju, klasifikuju;
- koje su opšte prihvaćene šeme klasifikacije
- kako da se nosimo sa mnoštvom imena magmatskih stena koje nalazimo u literaturi.

Mineralni i hemijski sastav dobijen različitim analitičkim metodama i tehnikama osnova su za većinu klasifikacija i nomenklaturu magmatskih stena. Da bi stena dobila tačno ime i bila klasifikovana na pravi način, treba ispoštovati sve faze njenog ispitivanja, od načina odabira uzoraka na terenu do različitih analiza kako bi se odredio njen modalni, mineralni i hemijski sastav.

Ispitivanja stena na terenu, mikroskopom, hemijske analize itd. omogućila su izradu niza klasifikacija, nomenklatura i terminologije magmatskih stena koje se baziraju na različitim kriterijumima, parametrima: vrsti, sadržaju i međusobnom odnosu glavnih minerala, hemijskom sastavu, sklopu (teksturi i strukturi), mestu stvaranja itd. Svaka od njih, zavisno od cilja i obima istraživanja, ima svoje prednosti, ali i nedostatke, nedorečenosti pa čak i netačnosti koje utiču na nazive imena stena, klasifikaciju pa i na rezultate naših ispitivanja. Podela stena treba da sledi i istorijsku tradiciju kako bi postojeći termini kao što su *granit*, *bazalt*, *andezit* itd. bili zadržani (ostali).

Stene treba nazvati prema onome što imaju, a ne prema onome što bi mogle biti. Svaku kombinaciju upotrebe kriterijuma za klasifikaciju istraživač treba da opravda i objasni.

Konzistentna klasifikacija magmatskih stena je neophodna za komunikaciju sa drugim podelama, podacima, rezultatima, izvedenim zaključcima itd. Posebno

su važni nazivi stena koji treba da prenesu isto značenje svakom petrologu, geologu, istraživaču, bez obzira na njihov maternji jezik. Pored toga, klasifikacija je važno sredstvo sistematizacije podataka i informacija. Kroz odgovarajuću i relevantnu klasifikaciju mogu se uočiti smisleni, definisani termini, obrasci sastava, strukture, odnosa, uključujući i njihovo poreklo.

Imena stena se daju na osnovu postojećih korena i kvalifikacionih naziva, termina. Crtnice se koriste u nazivima stena radi jasnijeg i lakšeg pretraživanja po pisanoj ili elektronskoj dokumentaciji. Ovim pristupom stena se lako postavlja na svoje mesto uz primenu relativno malog broja naziva korena stena sa kvalifikacionim izrazima ili bez njih.

Svaka klasifikacija je rezultat ljudskog uma i deli stene na način koji ne postoji u prirodi, zbog čega je u izvesnoj meri arbitrarna i nesavršena.

Postoji veliki broj kriterijuma za klasifikaciju, shodno tome i mnogo različitih naziva za istu stenu. Svaka od njih ima svrhu i korist, ali niko ne može kombinovati zasluge svih. Steni se na terenu daje jedno ime na osnovu makroskopskog pregleda, ali će konačan, definitivan naziv dobiti nakon mikroskopskog pregleda i hemijske analize. Pomenimo da se dešava da različite klasifikacije ponekad daju drugačija imena za iste stene, o čemu će biti više reči u tekstu koji sledi.

Klasifikacija i nomenklatura magmatskih stena treba da budu pregledne, jasne, opšteprihvaćene i jednostavne za korišćenje. Postojeća imena stena se zadržavaju gde god je to moguće kako bi se izbegle drastične promene nomenklature i osigurala široka podrška.

Upotreba računara kao alata u okviru geoloških istraživanja, skladištenja podataka itd. značajno je povećala saradnju između naučnih institucija, univerziteta i geologa širom sveta. Da bi se olakšalo skladištenje, korišćenje i preuzimanje ogromnog broja geoloških podataka, neophodan je zajednički pristup klasifikaciji i imenovanju magmatskih stena (i ne samo njih), koji treba da bude praktičan, logičan, sistematski i hijerarhijski, uz jasno definisane, nedvosmislene nazive stena.

ZAKLJUČIMO!

Klasifikacija magmatskih stena treba da uključi njihova bitna svojstva, mineralni i hemijski sastav, sklop (strukturu i teksturu), vezu u prostoru i vremenu, tj. sredinu stvaranja. Zbog navedenih različitih svojstava ne postoji idealna klasifikacija. Treba izbeći detalje ili ekstremne sastave i uzeti prosečne sadržaje kako bi se napravila opšte prihvatljiva klasifikacija magmatskih stena za njihovo određivanje, nomenklaturu, razumevanje i tačniju interpretaciju podataka, koji se uglavnom prikazuju grafički.

Osnovni kriterijumi klasifikacije magmatskih stena uključuju:

1. uzimanje reprezentativnih uzoraka za mikroskopska i hemijska ispitivanja;
2. mineralni, modalni i hemijski sastav, koji su osnova za klasifikaciju i
3. izbor atributa za određivanje i klasifikaciju stene.

Kvalitet i validnost analitičkih podataka za dobru klasifikaciju (i ne samo nju) zavise i od odabira pravog uzorka stene, koji se ne može ignorisati ili minorizovati. Uzorak stene koji se analizira treba da predstavlja masu iz koje je uzet ili svojstvo koje se ispituje. Ako je masa heterogena, uzimaju se uzorci iz svih delova mase zavisno od njihove zastupljenosti, načina pojavljivanja i značaja u okviru ispitivanja. Ovo je veoma važno kod mikroskopskih, ali i hemijskih i izotopskih analiza.

Minerali u steni moraju biti sveži, naročito oni koji su manje stabilni pri raspadanju stena, poput olivina, piroksena, feldspata, biotita itd. Uzorak stene treba da bude bez površinskog raspadanja i sekundarnih žila, gnezda, naknadno stvorenih minerala itd.

Krupnoća zrna minerala koji grade stenu takođe utiče na broj i veličinu uzetih uzoraka koji se analiziraju i proučavaju. Za krupnozrnije stene uzima se veći broj uzoraka, a za sitnozrnije stene manji itd.

Klasifikacija magmatskih stena zavisi i od faze i cilja ispitivanja. Na terenu se koristi jednostavna klasifikacija zasnovana na posmatranju izdanaka, profila ili uzoraka u ruci, kada se, ako su stene krupnozrne, određuje njihov mineralni sastav, međusobni odnos, struktura, tekstura itd. Izradom petrografskog preparata i pregledom u polarizacionom mikroskopu postiže se veća tačnost i pouzdanost podataka o identifikaciji minerala i njihovom sklopu. Hemijskim ispitivanjima dobijaju se novi podaci za tačniju i bolju klasifikaciju magmatskih stena.

Imajmo na umu da se u okviru proučavanja stena klasifikacija može promeniti. U početku su to samo terenske opservacije, kada klasifikacija ima ograničenja, ali daljim mikroskopskim i hemijskim ispitivanjima, dobijaju se novi podaci koji omogućavaju tačniju i jasniju podelu i nazive stena koji će biti prihvatljivi što većem broju geologa, i ne samo njima.

Navedimo najčešće korištene kriterijume za podelu stena:

1. **mineraloška klasifikacija**, koja se bazira na modalnom sadržaju minerala u steni, njenoj strukturi i teksturi;
2. **hemijska klasifikacija**, koja se bazira na hemijskom sastavu, sadržaju pojedinih makro i mikro elemenata;
3. **mineraloško-hemijska klasifikacija**, gde se podela stena vrši na osnovu hemijskog sastava, preračunavanjem tzv. normativnih minerala;
4. **klasifikacija prema odnosima sadržaja pojedinih makro i mikro elemenata**, i
5. **klasifikacija prema tektonskoj sredini stvaranja**.

V.5.1 MINERALOŠKA KLASIFIKACIJA STENA

UVOD

Mineraloški principi klasifikacije su „najjednostavniji”, mada su za detaljna proučavanja magmatskih stena „nedovoljni”.

Prema vremenu nastanka i značaju koje imaju, minerali se u magmatskim stenama dele na:

- **primarne minerale**, nastale tokom stvaranja stene, tj. direktnom kristalizacijom magme;
- **sekundarne**, koji nastaju raspadanjem primarnih minerala dejstvom hidrotermalnih rastvora, atmosferilija i slika.

Prema ulozi koju imaju u magmatskim stenama, minerali se dele na:

- **glavne ili bitne**, koji određuju vrstu stene (kvarc, alkalni feldspat u granitu, bazični plagioklas i piroksen u gabru itd.) i
- **sporedne** ili akcesorne minerale, koji grade do 5% vol. stene i ne utiču na određivanje vrste stene (apatit, magnetit, cirkon, sfen, hromit itd.). Ponekad mogu biti značajni jer sadrže značajne koncentracije elemenata retkih zemalja (*Milovanović i dr., 2013*).

U prirodi postoji veliki broj minerala, ali mali broj njih formira stene: olivini, pirokseni, amfiboli, liskuni, feldspati, kvarc, feldspatoidi i **Fe-Ti** oksidi (magnetit i ilmenit) itd. Navedeni minerali su čvrsti rastvori, izuzev kvarca. Njihov sadržaj i vrsta zavise od sastava magme i P-T uslova poslednjeg uravnoteženja iz kojih su kristalisali.

Mineraloška klasifikacija bazira na svojstvima uočenim na uzorku ili petrografskom preparatu, **bez hemijske analize**. Ako opservacije nisu moguće zbog sitnoznosti stene, koriste se drugi kriterijumi i metode, uglavnom hemijski sastav.

Zbog ograničenog broja glavnih minerala, određivanje vrste stene je relativno jednostavno, čak i u uzorku stene u ruci (ponekad i uz pomoć lupe) ili mnogo lakše u preparatu stene, posmatranjem u polarizacionom mikroskopu.

Početak ispitivanja većine stena je na terenu, gde se uzimaju uzorci za njihovo dalje proučavanje. Među prvim, ali važnim svojstvima za određivanje i klasifikaciju magmatskih stena koja se „odmah” uočavaju na uzorku stene uzetom na izdanku ili profilu jesu njen mineralni sastav, sklop (tekstura i struktura) i odnos sa okolnim stenama.

Pored „uobičajenih” svojstava minerala kao što su cepljivost, tvrdoća, boja, sjajnost, koriste se, kao pomoć, i najčešće međusobne asocijacije. One su važan dokaz porekla stene i omogućavaju da, u početku, stenu svrstamo u najšire genetske kategorije – dubinsku, žičnu ili izlivnu.

Opažanja na terenu zavise od iskustva, uvežbanosti i, naravno, znanja. Stiču se vremenom, kao i pravilnim, razumnim, posmatranjem prostora oko nas, ali i uzorka stene koji držimo u ruci, koji okrećemo, kuckamo, osmatramo, sa njim „razgovaramo” (ponekad pričamo i sa „samim sobom”).

Tačnost određivanja mineralnog i hemijskog sastava i sklopa stene (strukture i teksture) najvećim delom zavisi i od reprezentativnosti uzorka uzetog na terenu. Za odabir „pravog” uzorka koji će se mikroskopski i hemijski analizirati, važno je da stena bude sveža, bez „pegavih” obojenja, impregnacija od gvožđa, karbonata ili beličastog „zamagljivanja” itd. Takođe je važno da predstavlja najveći deo mase stene koja se proučava. Pri udaru čekića, sveža stena treba da „zvoni”, teško se lomi i uglavnom daje komade sa „oštrim” ivicama.

Petrolog na terenu treba da odredi gde treba uzeti uzorak, što zavisi i od heterogenosti stene koja se uočava na izdanku, profilu. Važan kriterijum su i razlike u boji i veličini mineralnih zrna.

Jedan od „lakih” minerala za identifikaciju je biotit. Crne je boje, javlja se kao liska, ima staklastu sjajnost („presijava”) itd. Obično ukazuje i na prisustvo kvarca, alkalnog feldspata, plagioklasa i amfibola, ali ne i olivina niti piroksena. Napomenimo da kvarc ne može koegzistirati sa olivinom, pa kada se jedan mineral prepozna, drugi ne bi trebalo da je prisutan, bar u uslovima ravnoteže.

Navedimo i druge „zabranjene” asocijacije: feldspatidi (leucit i nefelin) sa kvarcom ili ortopiroksenom itd.

V.5.1.1 KLASIFIKACIJA STENA NA OSNOVU SADRŽAJA SALSKIH I FEMSKIH MINERALA

Prema hemijskom sastavu i boji, bitni minerali koji grade stene dele se na:

- **salske** (skraćenica od elemenata **Si** i **Al**), bogate silicijumom (SiO_2) i aluminijumom (Al_2O_3), koje pripadaju alumosilikatima; stene iz ove grupe karakteriše bela boja; u ovoj grupi minerala su alkalni feldspati, plagioklasi, kvarc, feldspatoidi;
- **femske** (skraćenica od elemenata **Fe** i **Mg**), bogate gvožđem (FeO) i magnezijumom (MgO), crne do tamno zelene boje; u ovu grupu minerala spadaju biotit, hornblenda, pirokseni, olivini itd.; stene iz ove grupe su tamnozelene do crne boje.

Prema sadržaju i međusobnom odnosu pomenutih minerala, stene se dele na tri velike grupe: salske, mafitske (bazične) i ultramafitske (ultrabazične).

Salske stene (isti naziv kao i za pomenutu grupu minerala) bogate su feldspatima, sa prisustvom kvarca i/ili njegovih polimorfa, tridimita i kristobalita ili bez njega. Za ovu grupu stena često se koristi izraz **felzitske**. Stene iz ove grupe su bele ili svetle boje. Granit i riolit su uglavnom sastavljeni od feldspata i kvarca i spadaju u ovu grupu stena (slika 384).



Slika 384. Salska stena, granit, Golija

Mafitske (bazične) stene (izvedeno od reči za „dva elementa”, magnezijum i gvožđe) imaju povećan sadržaj bojenih (femskih) minerala: biotita, amfibola, piroksena, olivina i **Fe-Ti** oksida, zbog čega su ove stene tamnije boje (bazalt, gabro, dijabaz itd.; slika 385).

Ultramafitske (ultrabazične) stene **ne sadrže salske minerale** (feldspate, feldspatoidne minerale, kvarc), već samo bojene (femske) minerale poput olivina i piroksena. Takođe su tamne do crne boje (peridotiti, slika 386).

Većina petrologa se slaže da se u okviru ove klasifikacije magmatskih stena uz ime stene doda i mineral ili grupa minerala (retko) koje sadrže. Međutim, brojni opšti opisni pojmovi nisu namenjeni za imena stena, već da bi se naglasio njihov sastav, što ponekad dovodi do nedoumica. Na primer, kada je stena bogata „belim” bazaltnim plagioklasom (gastro pegmatit), ona i dalje može biti tamne boje i pripadati mafitskim stenama.

Ako stena sadrži „dimljeni” (crni) kvarc (u riolitu), ona i dalje pripada salskoj grupi. Pomenimo da veliki broj petrologa i geologa smatra da nazivi stena – salske, mafitske i ultramafitske – bez obzira na boju, treba da se odnose na njihov hemijski sastav.



Slika 385. Mafitska (bazična) stena. Gabro, Priboj



Slika 386. Ultramafitska (ultrabazična) stena, peridotit Kraljevo

V.5.1.2. KLASIFIKACIJA PREMA MESTU HLAĐENJA MAGME, SASTAVU I NAČINU POJAVLJIVANJA

Jedna od često korišćenih klasifikacija magmatskih stena je prema mestu hlađenja magme, sastavu i načinu pojavljivanja. Predložio ju je Rozenbuš (Rosenbusch, preuzeto iz Petrogeneze, *S. Karamata*, str. 98), gde se magmatske stene dele na:

1. **dubinske;**
2. **žične;** i
3. **izlivne.**

DUBINSKE STENE

Dubinske stene (nazivaju se i **plutonske** ili **intruzivne**) nastaju laganim hlađenjem i kristalizacijom magme na velikoj dubini, većoj od 5 km. Grade batolite, lakolite, lopolite itd. (slika 308). Obično su krupnozrne i imaju **zrnastu strukturu**, pa se minerali mogu odrediti i golim okom. Najpoznatiji primeri intruzivnih stena su graniti, koji su izgrađeni od alkalnog feldspata, bojenih minerala i kvarca.

U ovu grupu stena spadaju i **hipoabisalne dubinske stene** (nazivaju ih i subintruzivne ili subvulkanske), koje su kristalisale na manjoj dubini, od 2 do 3 km ispod površine. Ponekad ih je teško razlikovati od plutonskih i izlivnih (vulkanskih) stena. Obično se javljaju u plitko smeštenim dajkovima i silovima koji predstavljaju „dovodne cevi” za izlivanje magme na površinu. Mogu imati strukturu sličnu plutonskim (zrnastu) ili vulkanskim (porfirsku) stenama. Zbog ovih nedoumica, pojedini petrolozi izbegavaju navedeni kriterijum i podelu.

ŽIČNE STENE

Žične stene se javljaju kao žice ili dajkovi u matičnim magmatskim stenama ili okolnim stenama u koje su utisnute. Imaju zrnastu ili porfirsku strukturu. Dele se na **ašistne stene**, koje imaju **isti mineralni sastav kao matična stena**, i **dijašistne stene**, koje imaju **različit sastav od matične stene**.

Ašistne žične stene javljaju se kao žice debljine od nekoliko desetina centimetara pa do najviše nekoliko metara, utisnute u matičnu stenu duž mehaničkih diskontinuiteta, ravni lučenja ili pukotina. Mogu biti prisutne i kao proboji, dajkovi ili silovi u okolnim stenama. Zbog svoje male mase i brzog hlađenja, imaju sitnija zrna od matične stene, često porfirsku ili porfiroidnu strukturu. Ašistne žične stene prate veće intruzije magmatskih stena, od granita do gabra.

Naziv stene dobija se dodavanjem prefiksa „mikro” na matičnu stenu odakle potiču, na primer: mikrogranit, mikrosijenit itd., ili dodavanjem prideva „porfir” na osnovno ime stene: granitporfir, sijenitporfir itd.

Dijašistne žične stene imaju drugačiji mineralni sastav od matične stene. Mogu biti **bogatije salskim mineralima** (feldspati, kvarc) od stene odakle potiču, kada se nazivaju **apliti**, ili mogu imati **više bojenih minerala** (biotit, hornblenda) u odnosu na matičnu stenu, kada pripadaju grupi **lamprofira**. Slično ašistnim žičnim stenama, javljaju se kao žice u matičnim stenama, ali veoma retko se intruduju u okolne stene. U ovu grupu spadaju i stene nastale iz magmi bogatih fluidima, kao što su pegmatiti.

Apliti su stene zrnaste strukture, obično sitnozrnije od matične stene. Izgrađeni su od svetlih, salskih minerala, feldspata, kvarca i malo muskovita (detaljnije u poglavlju Granitoidi). Obično se javljaju po obodu matičnih intruziva, gradeći žice debljine od nekoliko centimetara do 1 metra, retko i više (slika 387).

Nastaju istiskivanjem ostatka rastopa u završnoj kristalizaciji magme koja je siromašna lako isparljivom komponentom. Njihovo utiskivanje se dešava duž mehaničkih diskontinuiteta, ravni lučenja ili pukotina uz delovanje spoljnih pritisaka ili kontrakcijom očvrsele magmatske mase. Apliti su česte žične stene u kiselim magmatskim stenama, od granita do granodiorita.



Slika 387. Žice aplita u granodioritu Jošanice, Kopaonik

Lamprofiri nastaju složenim procesima diferencijacije magme, verovatno i uz asimilaciju okolnih stena (detaljnije u poglavlju Alkalne stene). Znatno su bogatiji femskim mineralima u odnosu na matične intruzive. Izgrađeni su, pored feld-

spata, od biotita, hornblende, retko piroksena, a ponekad sadrže i olivin. Ove stene nemaju kvarca. Strukture su zrnaste ili porfirske, često sa mandolastom teksturom.

Smatra se da lamprofiri nastaju iz ostatka rastopa koji je bogat lako isparljivom komponentom, što je snizilo temperaturu kristalizacije magme i omogućilo delimično stapanje već iskristalisalih bojenih minerala, što dovodi do stvaranja bazičnijeg rastopa, takođe bogatog lako isparljivom komponentom.

Tokom ovih procesa, verovatno je bilo i asimilacije (u lamprofirima su česti delom resorbovani komadi stena), što je povećalo bazicitet (manje silicije) rastopa. Javljaju se kao žice debljine do 1 metra, retko i više metara, koje prate matične intruzive, kao što su graniti, sijeniti i granodioriti.

U grupu žičnih stena spadaju i **pegmatiti**, koji se javljaju i kao nepravilna tela, a ponekad grade i masive. Ove stene su izgrađene od krupnih zrna salskih minerala: alkalnih feldspata (ortoklasa/mikrokлина, koji često pokazuju pertitske strukture), albita, kvarca, muskovita, retko biotita. U njima se mogu naći „prelepi” minerali poput berila (smaragda), turmalina, litijskih liskuna, spodumena, granata, distena itd. (detaljnije u poglavlju Granitoidi; slika 388). Veličina minerala u ovim stenama je od 1 cm do 5 cm, a u ekstremnim slučajevima i više metara. Krupnoća ukazuje na to da su minerali kristalisali iz slabo viskoznog rastopa, koji, zbog velikog sadržaja lako isparljive komponente, ima i veliki unutrašnji pritisak.

Lako isparljiva komponenta čini polovinu pegmatitskog rastopa. Nalazi se u natkritičnom stanju i visokom pritisku, zbog čega je pegmatitski rastop veoma pokretljiv i reaktivan. Pri najmanjem stvaranju slobodnog prostora, usled kontrakcije pri hlađenju matične stene ili delovanjem tektonskih pokreta, pegmatitski rastopi



Slika 388. Žica pegmatita sa turmalinom, Bukulja

se utiskuju u te prostore. Usled ekspanzije, sposobnost rastvaranja se smanjuje, pritisak pada i iz slabo viskozno rastopa kristališu krupnozrni minerali.

U završnim fazama kristalizacije, lako isparljiva komponenta često reaguje sa već iskristalisalim mineralima, što dovodi do metasomatskog potiskivanja ili rekristalizacije.

Pegmatiti se ponekad javljaju sa aplitima, od kojih mogu biti stariji kada ih aplitske žice seku ili mlađi kada oni seku aplitite. Pegmatiti se najčešće javljaju u kiselim magmatskim stenama, od granita do granodiorita.

IZLIVNE STENE

Izlivne stene (nazivaju se i **vulkanske, ekstruzivne, efuzivne** ili **površinske stene**) nastale su brzim izlivanjem i hlađenjem lave na površini. Imaju **porfirsku strukturu** i često sadrže visokotemperaturne feldspate (sanidin, tridimit, kristobalit, staklo itd.). Kada su sitnozrne, za određivanje minerala neophodna su mikroskopska pa i hemijska ispitivanja. U „starijoj” literaturi postoji podela vulkanskih stena na **paleotipne**, izlivene pre kenozoika (mezozoik i starije), i **kenotipne**, „mlade”, izlivene u kenozoiku, geološkoj periodi u kojoj trenutno živimo.

V.5.1.3 KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA NA OSNOVU BOJE, KOLOR INDEKSA

Boja je obično prva osobina koju uočavamo na steni. Zavisi od prisutnih minerala i veličine zrna. Generalno, stene sa puno feldspata i kvarca su svetle, bele, boje a stene bogate biotitom, hornblendom, piroksenom, olivinom su tamne boje.

Kolor indeks predstavlja odnos svetlih (salskih) i bojenih, tamnih (femskih) minerala. Što je veći sadržaj femskih minerala, stena je tamnije boje. Pomenimo da se muskovit, apatit i primarni karbonati smatraju „bezbojnim” mineralima (tabela 12).

Tabela 12. Kolor indeks (objašnjenje u tekstu)

Min. sastav	Dubinske	Izlivne	Kolor indeks (sadrž. boj. min.)
Salske (felzitske)	granit	riolit	10
	sijenit	trahit	15
	monconit	latit	20
Prelazne (intermedijarne)	granodiorit	dacit	20
	diorit	andezit	25
Bazične	gabro	bazalt	50
Ultrabazične	peridotit		95

Trogerova (**Troger, 1935**) klasifikacija magmatskih stena, tzv. **kolor indeks**, izdvaja sledeće vrste magmatskih stena:

1. **leukokratne**, do 30% femskih, bojenih minerala, kao što su biotit, hornblenda itd.; u ovu grupu stena najčešće spadaju graniti, rioliti itd.;
2. **mezokratne**, 30–60% femskih minerala, kao što su biotit, hornblenda, pirokseni itd.; ovoj grupi pripadaju dioriti, andeziti, gabro, bazalti; i
3. **melanokratne**, 60–100% femskih minerala, kao što su pirokseni, olivini itd.; ovoj grupi pripadaju gabri, peridotiti itd.

(Napomena: U postojećoj literaturi, knjigama granice kolor indeksa su različite.)

Prefiksi „leuko” i „mela” mogu se koristiti za označavanje felzitskih (imaju niži kolor indeks boje) i mafitskih (imaju viši kolor indeks) tipova unutar svake grupe stena, u poređenju sa „normalnim” stenama u toj grupi.

Prema kolor indeksu, ultrabazične stene su, holomelanokratne, tamne do zelene boje, bogate olivinom i piroksenom, bazične stene su melanokratne, ali i mezokratne, tamne boje jer sadrže piroksene i olivine, intermedijarne stene su mezokratne, sive boje jer sadrže plagioklase sa malo biotita, hornblende, a felzit-ske (kisele) stene su leukokratne, svetle boje jer sadrže velike količine alkalnog feldspata i kvarca.

Neke stene istog sastava i sklopa mogu imati različite boje. Na primer graniti mogu biti beli, rumeni ili crveni zbog prisustva pigmenta u feldspatima, ili malo sadržaja pojedinih elemenata (**Fe**). Pomenimo da kada se granitska lava brzo ohladi dobija se „crna” stena, vulkansko staklo (opsidijan) koje je crne boje itd. Zaključimo da kolor indeks ne treba da bude isključivi kriterijum za klasifikaciju magmatskih stena.

V.5.1.4 KLASIFIKACIJA IUGS-A

Međunarodna unija za geološke nauke (**IUGS**), grupa petrologa iz celog sveta, radila je više od 30 godina da „sakupi” sve kriterijume, stekne međunarodni ugled i predloži klasifikaciju i nomenklaturu magmatskih stena.

Rad na klasifikaciji započet je davne 1958. godine, kada je Albert Štrekajzen (Albert Streckeisen) „zatražio” reviziju poznate knjige Paula Niglijia (Paul Niggli) *Tabellen zur Petrographie und zum Gesteinbestimmen*. Godine 1972. potkomisija IUGS-a objavila je klasifikaciju magmatskih stena koja je široko prihvaćena. Rukovodila se principima koje su većinom detaljno opisali Štrekajzen (**Streckeisen, 1973, 1976 a i b**) i Le Bas i Štrekajzen (**Le Bas i Streckeisen, 1991**), a koji su delimično korigovani i dopunjeni.

Klasifikacija **IUGS-a** (*Le Maitre, 1989*) jeste univerzalni standard za podelu dubinskih, a u manjoj meri i vulkanskih stena. Danas je „najprihvatljivija” jer je smanjila veliki broj naziva stena, mada pojedini petrolozi smatraju da je i dalje velika.

Klasifikacija **IUGS-a** bazira se na **utvrđenom modalnom sastavu pojedinih glavnih minerala u steni**, koji se određuje na terenu golim okom ili lupom, obično uz uvećanje od oko 10x ili, tačnije, pregledom petrografskog preparata u polarizacionom mikroskopu, posebno uz primenu programa za digitalizaciju i analizu snimaka.

Podela za vulkanske stene manje se koristi jer se sadržaj minerala, posebno u osnovnoj masi, ne može utvrditi golim okom (ako je stena, odnosno osnovna masa sitnozrna, sadrži stakla itd.). Zbog toga se koriste druge klasifikacije koje se baziraju na hemijskom sastavu ili sadržaju normativnih minerala.

Klasifikacija **IUGS-a** za vulkanske stene uvek će biti preliminarne jer je osnovna masa vulkanskih stena skup neiskristalisanih minerala koji onemogućavaju tačnu klasifikaciju. U takvim slučajevima, koristi se **TAS-ova** klasifikacija, koja će biti detaljnije prikazana u delu o hemijskoj klasifikaciji magmatskih stena.

Klasifikacija **IUGS-a** za dubinske, plutonske magmatske stene je prihvaćena od strane većine geologa, što omogućava univerzalno tumačenje terminologije i nomenklature. Vaša ispitivana stena treba da se uklopi u zadate kriterijume. Lemertr (*Le Maitre, 2002*) pruža detaljan pristup i način klasifikacije za širi raspon sastava stena, pri čemu će „neobične” stene kao što su karbonatiti, lamproiti, čarnokiti itd. biti posebno prikazane i klasifikovane.

V.5.1.4.1 KLASIFIKACIJA DUBINSKIH STENA

Većina plutonskih (dubinskih) magmatskih stena je krupnozrna, zbog čega se identifikacija i sadržaj glavnih minerala lako i brzo mogu odrediti već na terenu osmatranjem uzorka stene. Zbog toga je ova grupa stena najjednostavnija za međusobnu podelu.

Klasifikacija **IUGS-a** bazira se na određivanju **sadržaja glavnih salskih minerala**:

1. kvarca, feldspata i feldspatoida

ili **glavnih femskih minerala**:

2. olivina, piroksena i hornblenede u proučavanoj steni, što se radi različitim tehnikama.

Najbrža, ali najmanje tačna, jeste vizuelna procena odnosa i sadržaja minerala u uzorku stene.

Bolja i tačnija metoda je pregled petrografskog preparata u polarizacionom mikroskopu. Postoje i elektromehanički brojači, u poslednje vreme i analiza digitalnih slika koje se prenose u računar iz mikroskopa.

Problemi sa prepoznavanjem alkalnog feldspata, plagioklasa i kvarca se prevazilaze selektivnim bojenjem.

Ipak, treba biti oprezan prilikom određivanja modalnog sastava minerala u steni, posebno kada se to radi pregledom u petrografskom preparatu čiji je „presek” na jednoj površini stene. Iskustvo je pokazalo velike razlike u određivanju sadržaja minerala u steni kada se koristi preparat koji je urađen od preseka upravnog ili paralelnog sa njihovom orijentacijom ili zbog različitog oblika zrna – prizmatičnih, listastih, okruglastih itd. Da bi se prevazišle ove razlike, modalni sadržaj minerala treba odrediti na tri međusobno upravna preseka. Pre nego što se podaci nanesu, potrebno je utvrditi da li je stena zrnaste strukture (dubinska), kada koristimo dijagram za intruzivne, dubinske stene, ili porfirna, kada koristimo dijagram za vulkanske stene.

Klasifikacija IUGS-a za plutonske, dubinske stene bazira se na međusobnom **modalnom odnosu sadržaja glavnih salskih i femskih minerala u steni**, koji su podeljeni u sledeće grupe, odnosno komponente, parametre:

Q = % za kvarc (SiO_2) ili drugog polimorfa, tridimit, kristobalit;

A = % za alkalni feldspat, uključujući ortoklas, mikroklin, pertit, anortoklas, sanidin, i albit (An_0 do An_5);

P = % za plagioklas, sastava od An_5 do An_{100} , i skapolit;

F = % za feldspatoide ili foide, uključujući nefelin, leucit, kalsilit, analcim, sodalit, nozean, hajin, kankrinit i pseudoleucit i

M = % za mafične (femske, bojene) minerale: biotit, amfibol, piroksen, olivin, neprovidni i sporedni minerali (cirkon, apatit, titanit), epidot, alanit, granat, melilit, monticelit, primarni karbonat.

Grupe **Q**, **A**, **P** i **F** čine **salski** minerali, dok grupu **M** čine **femski** minerali.

Suma **Q+A+P+F+M** „mora” biti 100%.

Klasifikacija IUGS-a bazira se na prikazu opisanih parametara, komponenti na odgovarajućim trokomponentnim dijagramima kada dobijamo ime ili naziv stene. Izračunata tačka (normalizovana vrednost sadržaja pomenutih minerala, tj. komponenti u ispitivanoj steni) treba da bude unutar jednog od označenih polja. Ako se na osnovu modalnog sadržaja glavnih minerala ne može odrediti stena (ne pada u postojeća polja), klasifikacija se koristi „privremeno”. Na dijagramima nisu prikazane strukture stena.

Tehnika „nanošenja” je jednostavna i direktna, a zavisno od sastava, vrednosti definisanih parametara, podeljena je na dve vrste dijagrama:

(1) Ako je **M** **manji** od **90%**, stena se klasifikuje prema sadržaju **salskih** minerala, kvarca, feldspata i feldspatoida, kada se koristi dvostruki trougao **QAPF** dijagram (slika 389). Ovaj dijagram pripada dubinskim stenama **sastava između granita i gabrova** i grupi **alkalnih stena** (imaju feldspatoide).

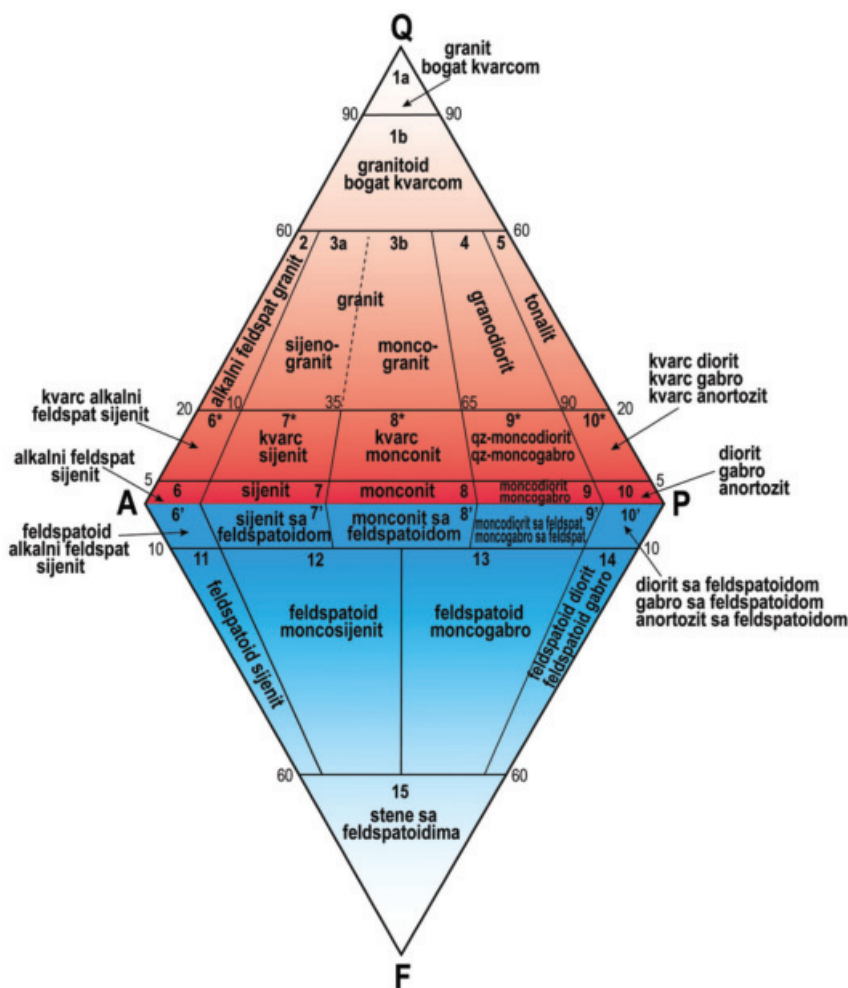
(2) Ako je **M** veći ili jednak 90%, stena se klasifikuje prema sadržaju **femskih**, mafičnih minerala olivina, ortopiroksena i klinopiroksena i **pripada ultra-bazičnim stenama**.

QAPF KLASIFIKACIJA DUBINSKIH STENA KADA JE $M < 90\%$

Da bi se klasifikacija koristila, ponovimo, parametri **Q**, **A**, **P** i **F** se moraju izračunati, preračunati da suma određenog modalnog sadržaja salskih minerala (kvarc, feldspati, plagioklasi, feldspatoidi, kada ih ima) u proučavanoj steni bude svedena na 100%. U njoj nisu navedeni, uzeti u obzir, **femski, bojeni minerali**.

Ova klasifikacija **IUGS**-a „prepoznaje” stene koje sadrže kvarc i stene koje sadrže feldspatoide, tj. nemaju slobodnog kvarca. Podsetimo se da se feldspatoidi i kvarc nikada ne javljaju zajedno u istoj steni. Zbog toga klasifikacija **IUGS**-a ima dva trougla – **KAP** i **FAP**, koji su podeljeni linijom **AP** (alkalni feldspati, plagioklasi; slika 389).

U tekstu koji sledi prikazaćemo imena stena dobijena na osnovu izračunatih (svedenih) parametara **QAPF** nanetih na pomenuti dijagram klasifikacije za dubinske magmatske stene. Nazivi stena su prevedeni u „oblike” koji se kod nas najčešće koriste.



Slika 389. QAPF klasifikacija dubinskih stena (Streckeisen, 1976 b), kada je $M < 90\%$

Polje 2 (označeno, kao i sva druga polja, sa crnim boldovanim brojem) jeste **alkalni feldspat granit**. Stene u ovom polju pojedini autori nazivaju i alkalni granit. Potkomisija, međutim, preporučuje da se, umesto korišćenja navedenog pojma, stena naziva peralkalni granit kada sadrži natrijske amfibole i/ili natrijske piroksene. Termin *aljaskit* se može koristiti za svetlije stene (**M < 10%**).

Polje 3 je **granit**, najčešće se koristi naziv granit. U većini engleskih i američkih udžbenika je ograničeno potpolje 3a, dok potpolje 3b sadrži termine (nazive stena) kao što su adamelit i kvarcmonconit. U evropskoj literaturi, međutim, granit pokriva oba potpolja (na dijagramu su to sijenogranit i moncogranit), što je usvojila i Potkomisija i preporučila da se naziv adamelit više ne koristi. Pojam kvarcmonconit se koristi sa nekoliko značenja. Potkomisija je odlučila da zadrži izraz u prvobitnom smislu u polju 8*. Pomenimo da su neki graniti stvoreni u orogenim pojasevima pretrpeli i metamorfne promene tako da je „nama” prepušteno da ga nazovemo magmatski, gnajsoliki granit, ili metamorfno, granitni gnajs.

Polje 4 je **granodiorit**. Ovo su najrasprostranjenije stene, izgrađene od prelaznog plagioklasa, andezina, oligoklasa, ortoklasa i kvarca.

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 (koje koriste ruski petrolozi) mogu se koristiti za leukokratni tonalit (**M < 10%**).

Polje 6 je **alkalni feldspat nefelinsijenit**. Opšti pojam agpait može se koristiti za peralkalne vrste koje sadrže minerale **Zr** i **Ti**, kao što su eudijalit, a ne „jednostavne” minerale kao što su cirkon i ilmenit.

Polje 8 je **monconit**, u koje spadaju mnogi takozvani „sijeniti”.

Polje 9 su moncodiorit, moncogabro.

Polje 10 pokriva **diorit**, **gabro** i **anortozit**.

(Za polja 9, 10 detaljnija objašnjenja biće data u poglavlju Gabro.)

Polje 11 je **feldspatoid sijenit**. Iako je foid sijenit ime korena, najčešće treba koristiti nefelin sijenit, sodalit sijenit.

Polje 12 je **feldspatoid moncosijenit**. Korenski naziv je moncosijenit. Gde god je moguće, zamenite termin *foid* nazivom dominantnog feldspatoida. Može se koristiti i *mijaskit*, koji sadrži oligoklas.

Polje 13 je **feldspatoid moncodiorit**, odnosno **foid moncogabro** – dva korenska imena su odvojena prema prosečnom sastavu plagioklasa, tj. foid moncodiorit (plagioklas **An₀-An₅₀**), foid moncogabro (plagioklas **An₅₀-An₁₀₀**). Gde god je moguće, zameniti termin *foid* nazivom dominantnog feldspatoida. Termin *eseksit* se može primeniti na nefelin moncodiorit ili nefelin moncogabro.

Polje 14 su **feldspatoid diorit** i **feldspatoid gabro**. Dva imena korena u ovom polju su odvojena prema sastavu plagioklasa, tj. foid diorit (plagioklasi **An₀-An₅₀**), foid gabro (plagioklasi **An₅₀-An₁₀₀**). Gde god je moguće, zamenite termin *foid* nazivom dominantnog feldspatoida. Dva posebna termina se mogu koristiti, *teralit* za nefelin gabro i *tešenit* za analcim gabro.

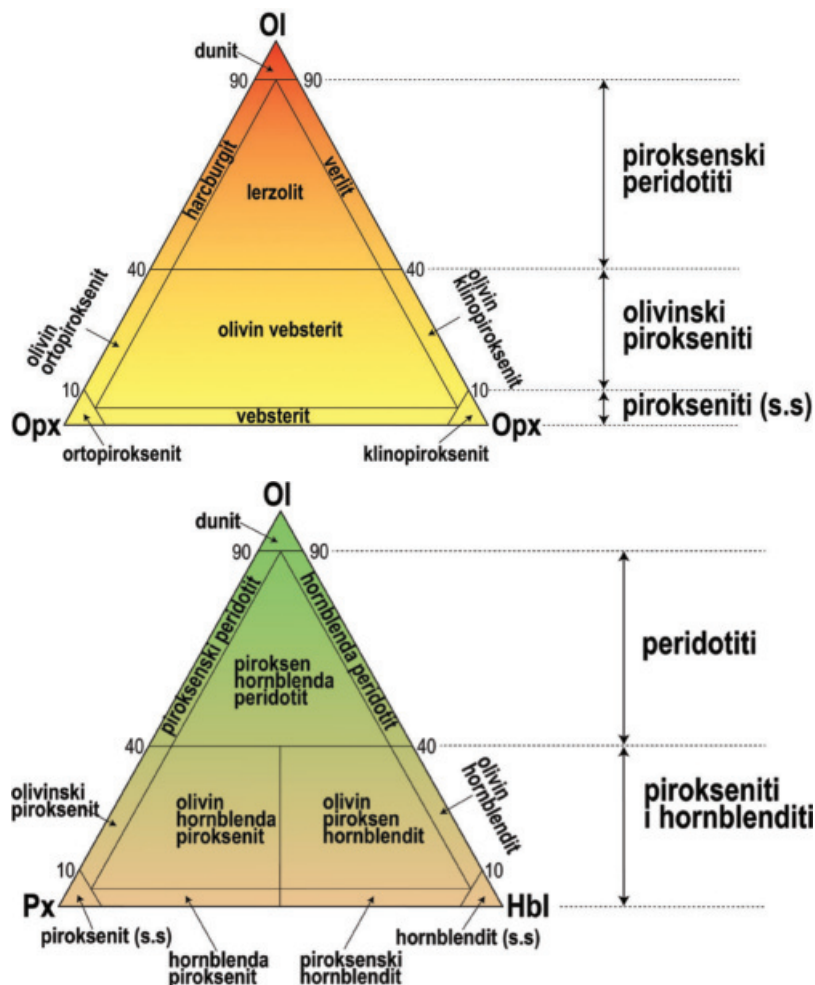
Polje 15 su **feldspatoidska stene, tj. feldspatoidi**. Ovo polje sadrži stene u

kojima su salski minerali uglavnom feldspatoidi i daje se korensko ime *foidolit* da bi se razlikovale od vulkanskog ekvivalenta koji se zove foidit. Pošto su ove stene veoma retke, polje nije podeljeno. Dominantni feldspatoid treba da bude u imenu stene: urtit, ijolit, melteigit. Prefiksi *leuko* i *mela* mogu se koristiti da označe više felzitskih, salskih minerala (manji kolor indeks) i mela tipove sa više mafičnih (femskih) minerala (veći kolor indeks) u okviru svake grupe. Nazivi stena koje koristimo često su „nezgrapni” ili netačni prevodi iz postojeće literature uglavnom sa engleskog govornog područja.

KLASIFIKACIJA QAPF KADA JE $M > 90\%$

Ultrabazične stene ne sadrže kvarc, zbog čega „zahtevaju vlastitu” klasifikaciju baziranu na međusobnom odnosu olivina, ortopoproksena, klinopiroksena, hornblende, ponekad i biotita, i obično sa „malim” sadržajima plagioklasa, spinela i granata.

Potkomisija (*Streckeisen, 1973, 1976 a i b*) za klasifikaciju ultrabazičnih stena preporučuje dva dijagrama (slika 390). Jedan je za stene izgrađene od olivina, ortopiroksena i klinopiroksena, a drugi za stene koje sadrže hornblendu, piroksene i olivine. Detaljnija diskusija data je u poglavlju Ultrabazične stene.



Slika 390. QAPF dijagram za ultrabazične stene

V.5.1.4.2. KLASIFIKACIJA VULKANSKIH STENA

Klasifikacija **IUGS**-a za vulkanske stene je manje „popularna” (manje se koristi), jer je teško odrediti sadržaj minerala u osnovnoj masi, zbog čega se češće koriste klasifikacije na osnovu njihovog hemijskog sastava. Preliminarna klasifikacija **IUGS**-a za vulkanske stene zasnovana je na modalnim proporcijama fenokristala i može se koristiti na terenu, pre izrade hemijske analize. Računaju se i normalizuju isti parametri kao i kod klasifikacije **IUGS**-a za dubinske, intruzivne stene. Pošto su vulkanske stene sitnozrnije, teško je, pa i nemoguće, u nekim slučajevima odrediti i izračunati pomenute parametre. Osnovna masa većine vulkanskih stena je veoma sitnozrna i često je izgrađena od stakla. Stoga je teško odrediti „pravi” mineralni sastav. Preporuka je da se to radi na osnovu „prepoznatih”, utvrđenih fenokristala u vulkanskoj steni. Tako, na primer, stena bogata fenokristalima feldspata može biti dacit ili riolit. **IUGS** preporučuje da se na taj način određena imena stene nazivaju fenotipovi i da se prefiks stavi ispred imena stene (npr. fenolatit).

Ako se određivanje, tj. klasifikacija stene zasniva na fenokristalima, položaj stene na dijagramu će biti usmeren ka fazama ranog formiranja i obično nije odgovarajući za stenu kao celinu.

Neke plutonske stene nemaju vulkanske ekvivalente, kao što je anortozit. „Jedina” ultrabazična lava je komatit (biće detaljno opisana u poglavlju Ultrabazične stene), i javlja se uglavnom u veoma starim, arhajskim stenama itd.

Ne bi trebalo da ova klasifikacija bude „konačna”. Za određivanje vrste i naziva stene potrebna je i hemijska analiza.

QAPF KLASIFIKACIJA VULKANSKIH STENA (M < 90%)

Osnovna imena stena za klasifikaciju su data na slici 391. Broj **QAPF** polja je isti kao i za plutonsku klasifikaciju, osim za polje 15, koje je podeljeno na tri potpolja.

Polje 2 je alkalni feldspat riolit. Naziv korena odgovara granitima sa alkalnim feldspatima (polje, kao i sva ostala, označeno je boldovanim brojevima). Termin *peralkalni riolit*, pre svega *alkalni riolit*, može se koristiti kada stena sadrži alkalni piroksen i/ili amfibol. Ime *riolit* može biti zamenjeno sinonimom *liparit*.

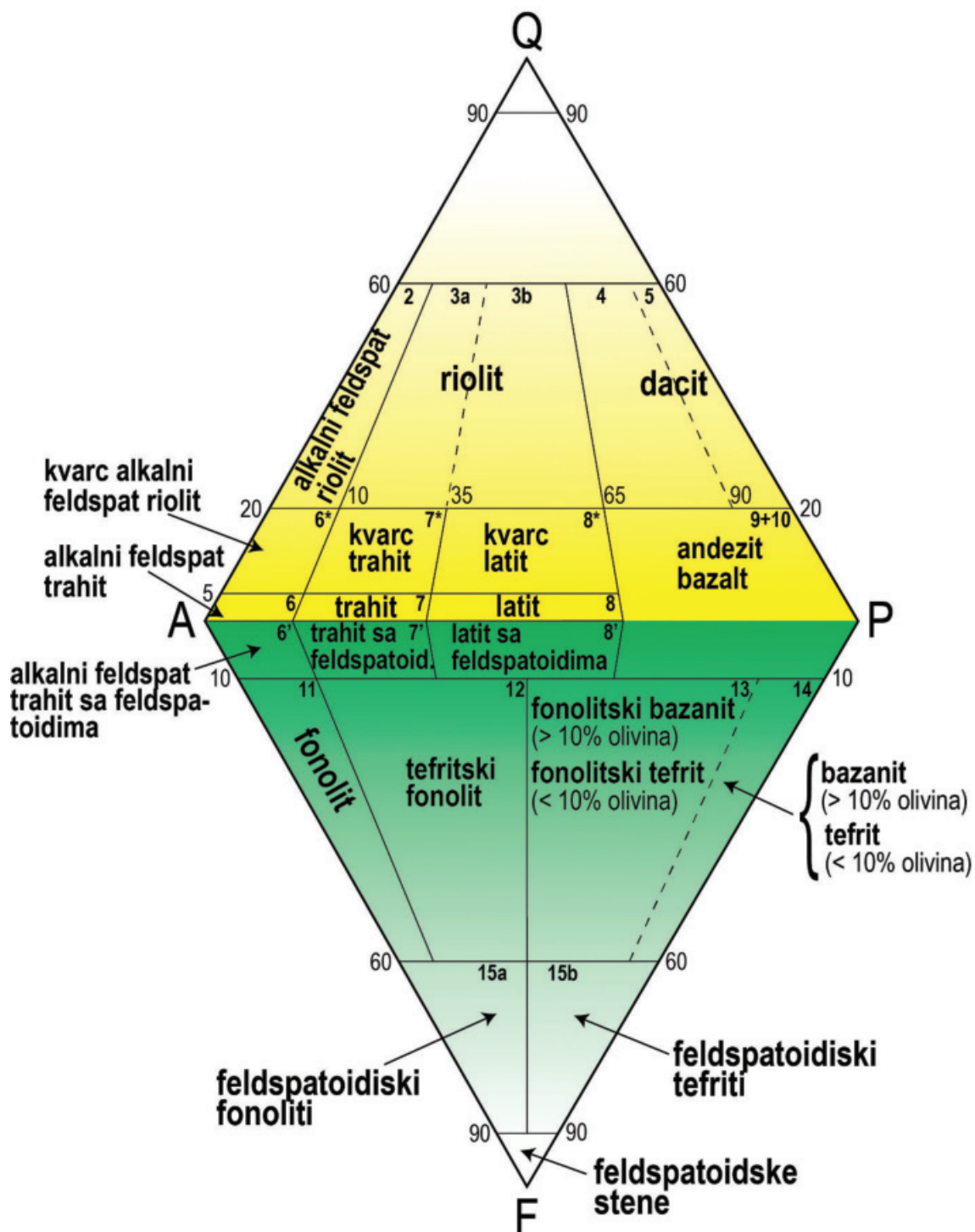
Polja 3a i 3b je riolit. Slično granitima, ovo korensko ime pokriva oba polja 3a i 3b. Liparit se može koristiti kao sinonim. Termin *riolit* koji se ne koristi za stene polja **3b** i **4**, može se „upotrebiti” i za prelazne stene između riolita i dacita, a da se ne pripisuje posebnom polju.

Polja 4 i 5 su dacit. Stene u oba polja su pokrivene imenom *dacit*, u širem smislu.

Kod **polja 5** se koriste i nazivi kao što su *plagidacit* i *kvarcni andezit*, ili *dacit*, što je preporučen naziv stene.

Polje 6* je kvarc alkalni feldspat riolit, polje **7*** je kvarc8* je kvarclatit.

Polje 6 (alkali feldspat trahit), **polje 7** (trahit), i **polje 8** (latit) su stene koje ne sadrže modalne foide (feldspatoide), ali sadrže nefelin u normativnom sastavu. **Polje 6'** je alkalni feldspat trahit sa feldspatoidima, **polje 7'** je trahit sa feldspatoidima, a **polje 8'** je latit sa feldspatoidima. *Peralkalni trahit*, a ne *alkalni trahit*, treba koristiti za trahite koji sadrže natrijski piroksen i/ili natrijski amfibol.



Slika 391. QAPF klasifikacija za vulkanske stene (Streckeisen, 1976 b)

Polja 9 i 10 (bazalt, andezit) su dva polja koja sadrže veliki broj vulkanskih stena ovog sastava. Polja u blizini parametra **P** su isti „problem” kao i u plutonskoj, dubinskoj klasifikaciji. Ne može se razlikovati andezit od bazalta.

IUGS preporučuje razliku na osnovu kolor indeksa ili sadržaja silicije, a ne na osnovu sastava plagioklasa. Bazalt i andezit se izdvajaju na osnovu kolor indeksa na granici od 40 tež. % ili 35 vol. % i 52% SiO_2 . Sastav plagioklasa koji „razdvaja”, ove stene (An_{50}) manje je pogodan jer neki andeziti ponekad sadrže fenokristale sastava labradorita ili bitovnita. Ipak, granice razdvajanja između bazalta i andezita na osnovu ove klasifikacije se ne mogu tačno odrediti, neophodna je **TAS** klasifikacija (hemijska analiza stene).

Polje 11 je fonolit. Korensko ime *fonolit* se koristi za stene izgrađene uglavnom od alkalnog feldspata, bilo kojeg feldspatoida i mafičnih (bojenih) minerala. Prirodu dominantnog feldspatoida treba dodati u ime korena stene, npr. leucit fonolit, analcimski fonolit, leucit-nefelin fonolit (sa nefelinom > leucit) itd. Fonoliti koji sadrže nefelin i/ili hauin (hauyine) kao glavne foidne najčešće se opisuju kao „fonolit”. Fonoliti koji sadrže natrijski piroksen i/ili natrijski amfibol mogu se nazvati peralkalni fonolit.

Polje 12 je tefritski fonolit. Ove stene su retke. Iako je prvobitno predloženo da je termin *tefritfonolit* sinonim (**Streckeisen, 1978**), verovatno je bolje zadržati ovaj izraz za korensko ime na **TAS** klasifikaciji kako bi se ukazalo na to da je ime dato na osnovu hemijskog sastava i nije identično ovom polju.

Polje 13 su fonolitski bazanit, fonolitski tefrit. Ova dva korenska imena su odvojena na osnovu sadržaja normativnog olivina, izračunatog prema metodi **CIPW**. Ako je sadržaj normativnog olivina veći od 10%, stena se naziva fonolitski bazanit, ako ima manje od 10%, onda je to fonolitski tefrit.

Štekajzen (**Streckeisen, 1978**) „izvorno” je predložio da je termin *fonotefrit* sinonim termina *fonolitski tefrit*, i „verovatno je bolje” da se zadrži ovaj izraz za korensko ime na **TAS** klasifikaciji da bi se naznačilo da je naziv stene „hemijski”.

Ne postoji „sukob” ako se termin *fonobasanit* koristi kao sinonim za fonolitski bazanit, jer se termin ne koristi u **TAS**-u.

Polje 14 su basanit, tefrit. Ova dva korenska imena su odvojena prema sadržaju normativnog olivina (izračunato prema metodi **CIPW**). Ako ima više normativnog olivina od 10%, stena se naziva bazanit; ako je manje od 10% to je tefrit. Prirodu dominantnih foida (feldspatoida) treba navesti u imenu, npr. nefelin bazanit, leuci tefrit itd.

Polje 15 je foidit sensu lato. Opšte korensko ime ovog polja je *foidit*, ali pošto se ove stene relativno često odvajaju, polje je podeljeno na tri: polja **15a**, **15b** (na slici nije obeleženo brojevima).

Polje 15a je feldspatoidski fonolit (fonolit foidit). Kad god je moguće, treba zameniti termin *foidit* specifičnim izrazom, kao što je fonolitski nefelinit. Alternativno, pojam alkalni feldspat-foidit može se koristiti kao ime korena, koji bi davao specifične termine kao što je sanidin nefelinit.

Polje 15b je feldspatoidski tefrit (tefritični foidit, bazanitski foidit). Ova dva korenska imena su odvojena prema sadržaju olivina, kao u polju **14**. Kad god je to moguće, treba zameniti termin *foidit* određenim pojmom, kao što su tefritični leucitit, bazanitni nefelinit.

Polje 15 feldspatoidske stene su foiditi sensu stricto. Naziv korena je *foidit* i treba ga razlikovati po imenu dominantnih foida, npr. nefelinit, leucitit, analcimit itd.

VULKANSKO STAKLO

Vulkansko staklo je lava koja nastaje vrlo brzim hlađenjem magme, zbog čega se atomi u rastopu ne mogu „organizovati” (urediti) da formiraju minerale. Često se javlja u izlivnim lavama, ali se sreće i na marginama dajkova, gde je hlađenje bilo brzo, ili u rasednim zonama (frikcionim procesima). Ima ga i u impakt metamorfizmu, usled pada meteorita. Staklo je metastabilno i „brzo” se zamenjuje stabilnijim mineralima (rekristalizacija). Zbog toga stakla nema u stenama koje su stvarane pre kenozoika.

Vulkansko staklo se ne može klasifikovati jer nema iskristalisalih minerala. Za određivanje njihovog sastava i naziva potrebna je hemijska analiza.

Za vulkanske stene koje sadrže staklo, dodaje se prefiks „staklast”. Imajmo na umu da stene koje sadrže više od 80% stakla imaju posebna imena: opsidijan, pehštajn itd. Prisustvo stakla se može naznačiti korišćenjem prefiksa *hijalo-* sa nazivom korena, npr. hijaloriolit, hijaloandezit itd. Za neke stene su data posebna imena, npr. limburgit = hijalonefelin bazanit itd.

ZAKLJUČIMO!

Prikazani dijagrami daju imena najčešćih magmatskih stena, ali neke „važne” stene nisu uključene u okvire ove klasifikacije: dijabazi (doleriti), karbonatiti, lamproiti/lamprofiri, keratofiri itd. Visoko alkalne stene, posebno „kontinentalnog” porekla, po sastavu hemijski i mineraloški variraju, zbog čega je nomenklatura raznovrsna, ali „prevazilazi” okvir ovog poglavlja.

Lamprofiri (detaljnije u poglavlju Lamprofiri) obično se klasifikuju kao posebna grupa stena. Ove „specijalne” vrste stena, prema načinu pojavljivanja (dajkovi, silovi, izlivi itd.), prvo treba da „prođu” kroz klasifikaciju za plutonske ili vulkanske stene, a zatim treba navesti njihova specifična svojstva, na primer: „ako stena sadrži više od 50% modalnog karbonata, više od 10% modalnog melilita itd.”, kako bi se na kraju dali „pravi” nazivi stena. Evo primera.

Lamproiti (detaljnije u poglavlju Lamproiti) jesu retka grupa vulkanskih do hipoabisalnih stena koje su „neobično” bogate K_2O i po sastavu variraju od ultrabazičnih do bazičnih stena. U njima se javljaju leucit i sanidin.

Olivinski lamproiti su ultrabazičnog sastava, sadrže fenokristale olivina (Fo_{91-94}), diopsida, flogopita i kalijskog amfibola koji leže u finožrnastoj osnovnoj masi, izgrađenoj od diopsida, flogopita i flogopita itd.

Prikazana klasifikacija **IUGS**-a za vulkanske stene pruža „brzi” način dobijanja naziva stena koji se sreću u „običnoj” literaturi, a ne „rigorozno” određivanje svake vulkanske stene.

Zaključimo da, kada nije moguće makroskopski odrediti mineralni sastav vulkanske stene, potrebno je uraditi hemijske analize kako bi se dobio „pravi i tačan” naziv stene i odredila grupa kojoj stena pripada. **IUGS** preporučuje klasifikaciju vulkanskih stena na osnovu „jednostavnog” dijagrama odnosa ukupnih alkalija i silicija, tzv. **TAS** dijagram (*Le Bas i dr., 1986*, detaljnije u poglavlju Hemijska klasifikacija magmatskih stena).

UPOTREBA KVANTIFIKATORA I PREFIKSA U NAZIVU STENA

Primenom predloženih kriterijuma, „naše” ispitivane stene retko padaju van polja za naziv stene. Međutim, predložena imena su obično jednostavni nazivi, koji nisu dovoljno „specifični”, pa se mogu dodati termini, izrazi, prefiksi, kvalifikatori (ili kvantifikatori) kako bi njihova pripadnost grupi bila „jasnija” i specifičnija. To mogu biti imena minerala (npr. biotitski granit, hornblenda andezit), teksturna svojstva (npr. porfiroidni granit), hemijski izrazi (npr. graniti bogati **Sr**), genetski izrazi (npr. rapakivi granit), tektonski izrazi (npr. postorogeni granit) ili druga imena i nazivi koje autor (predlagač) smatra korisnim ili odgovarajućim.

Da bi klasifikacija bila „jednostavna” i deskriptivna (tj. negenetska), preporučuje se da se kvalifikatori „ograniče” na nazive minerala, teksturna svojstva ili daju prema kolor indeksu.

Upotreba kvalifikatora je ponekad „problematična” jer u izboru treba navesti, odabrati „pravi”, pa ima i predloga da se sastavi i predloži lista kvalifikatora koji će se koristiti.

Za opšte smernice o korišćenju kvalifikatora (davanja, naglašavanja svojstva), Potkomisija daje sledeće predloge:

1. Dodavanje kvalifikatora u korenski naziv stene ne sme biti u „sukobu” sa definicijom osnovnog imena: biotitski granit, porfiroidni granit, **Sr** bogati granit i postorogeni granit moraju i dalje biti graniti u smislu klasifikacije. Navođenje bitnog minerala stene kao kvalifikatora nema „smisla” ako je „korišćen” za njeno određivanje, na primer, kvarcni granit. Granit bez kvarca, međutim, nije dozvoljen jer se stena ne može klasifikovati kao granit ukoliko ne sadrži kvarc itd.

2. Ako želite da naglasite, navedete neke važne mineraloške informacije, možete ih dodati uz ime. Na primer, ako imate ribekit, uključite ga u naziv stene ribekitski granit, ili muskovit-biotit granit.

Primena naziva minerala kao kvalifikatora zavisi i od stene domaćina. Mali sadržaj biotita u gabrovima je „značajan”, ali u granitu „beznačajan” itd.

3. Ako je u steni prisutno više minerala, oni se navode redosledom povećavanja modalnog sastava. U muskovit-biotit granitu ima više biotita od muskovita u steni, ali bez navođenja njihovog procentualnog sadržaja.

Obratite pažnju na to da je ovo suprotno od konvencije koju su usvojili metamorfni petrolozi.

4. Autor, predlagač treba da definiše kvalifikator koji se koristi ako nisu objašnjeni sami. To se naročito odnosi na geohemijske pojmove, kao što su *Sr bogati* ili *Mg siromašni*, kada često ne postoje granične vrednosti iznad ili ispod kojih se termin primenjuje.

5. Prefiks *mikro* treba koristiti da se ukaže na to da je plutonska stena sitnozrnija od uobičajene, umesto da se daje steni posebno ime. Jedini izuzeci su dugo uspostavljeni termini *dolerit* i *dijabaz (mikrogabro)*, koje pojedini petrolozi i dalje koriste.

6. Ako je stena „neobično svetle boje” za svoju kategoriju, možete dodati prefiks *leuko-*, na primer leukogranit, a ako je tamne boje dodajte prefiks *mela-*, kao melagranit.

7. Prefiks *meta-* treba koristiti da bi se naznačilo da je stena „slabo” metamorfisana, npr. metaandezit, metabazalt itd., ali samo kada je primarna struktura očuvana i na osnovu nje se zaključuje o „originalnoj” steni.

8. Takođe se mogu koristiti i „očigledna” teksturna svojstva: porfiroidna, sferulitska, rapakivi, amigdaloidna, pilotakstitna itd. Pri davanju imena stene uvek pokušajte da pronađete „pravo” ime iz odgovarajućeg dijagrama IUGS-a.

9. U nekim slučajevima poželjno je dodati i hemijsku indikaciju, alkalni, kalk-alkalni itd. Čest primer je upotreba prefiksa „alkalni” kada visok sadržaj alkalija može „stabilizovati” alkalni amfibol ili alkalni piroksen. Neke hemijske karakteristike se češće primenjuju kroz niz kogenetskih magmi u nekim magmatskim provincijama koje su genetski povezane.

Nazivi poput *pegmatita*, *aplita* su nepotpuni. Umesto toga, koristite izraze i termine kao što su *ortoklas granit*, *aplitoidni granit* ili *riolitski tuf*.

Na kraju, recimo da broj kvantifikatora treba da bude najviše tri, jer naziv stene postaje „nezgrapan” za upotrebu. Za stene sitnijeg zrna, nekoliko mineralnih i/ili teksturalnih kvalifikatora dodajte korenskom nazivu stene.

Svi kvantifikatori treba da se povežu crticama, ali se ne smeju koristiti sa korenskim imenom, nazivom stene. Prefiksi kolor indeksa mogu se koristiti sa kvalifikatorima u istom imenu stene, i treba ih dodati nazivu korena, na primer, meladiorit koji sadrži biotit i hornblendu.

Nije „poželjno” sve ili većinu uočenih petrografskih svojstava „ugraditi” u naziv stene. To zavisi od „izbora” istraživača i od faktora koji su „direktno” važni za stenu u području istraživanja, uzorkovanja itd. Tako, na primer, čarnokiti (graniti sa ortopiroksenom), lamprofiri karbonatiti i piroklastične stene imaju „svoje” klasifikacije (*Le Maitre i dr., 1989*).

V.5.2 KLASIFIKACIJA STENA NA OSNOVU SADRŽAJA SLOBODNOG KVARCA

U pojedinim udžbenicima, publikacijama itd. sreće se i klasifikacija magmatskih stena na osnovu sadržaja slobodnog kvarca, prema čemu se one dele na:

1. **prezasićene**, stene koje imaju slobodan kvarc kao bitni mineral;
2. **zasićene**, koje ne sadrže slobodan kvarc kao bitan mineral, ali ne sadrže minerale sa „malo” silicije (olivine, feldspatoide itd.) i
3. **nezasićene**, u kojima se, zbog nedovoljnog sadržaja silicije javljaju samo „nezasićeni” minerali – olivin, feldspatoidi i drugi.

V.5.3 HEMIJSKA KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA

UVOD

Hemijski sastav je najvažnija „karakterna” osobina magmatskih stena. Hemijska analiza „određuje” sadržaje oksida, elemenata, mikroelemenata, izotopa, kao i njihove međusobne odnose. Na osnovu hemijskog sastava stene mogu se izvesti zaključci o uslovima nastanka magme, sredini stvaranja, karakteru kristalizacije, diferencijaciji itd.

Na terenu se ne može „brzo” uraditi hemijska analiza, mada postoje „mobilni” instrumenti za određivanje „grubog” hemijskog sastava. Zbog toga neki petrolozi i drugi „terenski” geolozi smatraju hemijsku klasifikaciju „nepraktičnom”.

Hemijska klasifikacija sitnozrnih (afanatičnih) stena i stakla je posebno važna, ponekad i jedino moguća, jer se kod njih ne mogu odrediti minerali koji ih izgrađuju. Ove stene su po hemijskom sastavu uglavnom „bliže” primarnoj magmi od zrnastih stena (manje su diferencirane).

Od pre oko 60 godina velika je promena u određivanju hemijskog sastava stena. Novi instrumenti sa velikom preciznošću analitičkih podataka „brzo i lako” određuju veliki broj elemenata. Hemijske analize se rade na uzorcima veličine nekoliko milimetara i za samo „nekoliko” minuta tačno se određuju sadržaji desetina elemenata.

Svaki instrument na kojem se radi hemijska analiza ima „svoje procedure” za pripremu uzoraka stena, kao i vrste elemenata (uključujući i mikroelemente) koje određuje, zatim preciznost, donju granicu detekcije itd. Većina njih, zavisno od elementa, određuje sadržaje i do neverovatnih ppm-a ili čak ppb-a. Pri izradi analize mora se voditi računa o tome da ne dođe do kontaminacije, posebno kod

pripreme uzoraka. Glavni elementi se još uvek određuju i prikazuju kao oksidi, uz „čuvanje” tradicije rezultata „mokrih” metoda analize. Preko 99% stena izgrađeno je od 11 glavnih oksida: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O i P_2O_5 . Pomenimo da se Fe može prikazati i kao feri, Fe^{3+} (Fe_2O_3) i kao fero, Fe^{2+} (FeO), koji se ponašaju drugačije u strukturama i kristalima minerala, ali većina instrumentalnih metoda ih ne može razlikovati, pa se ukupan sadržaj Fe izražava kao FeO^{tot} .

Sadržaji pomenutih oksida posebno su važni kada je neki od njih „neuobičajeno” visok ili nizak. Pomenimo siliciju, odnosno ukupan sadržaj silicijum-dioksida (SiO_2) u steni (ne u mineralu).

Kiselost stene se direktno izražava i definiše preko količine silicije. Iako se zasniva na „zastarelom” konceptu da je silicijumska kiselina oblik silicijum-dioksida u rastopu, čak i u stapanju, termin se još uvek koristi. Suprotno od kisele stene (granit, riolit itd.) jeste bazična stena (gabro, bazalt itd.).

Većina magmatskih stena sadrži i vodu, ugljen-dioksid, sumpor, fluor i hlor. H_2O se javlja u obliku hidrokisilnog jona (OH) u amfibolima, liskunima itd., ili kao molekularna H_2O , koja se uglavnom nalazi u porama, pukotinama, i uklanja se zagrevanjem do 110°C (u analizi se prikazuje kao H_2O^-).

Značajne količine CO_2 u steni su prisutne ako ima sekundarnog karbonata, obično kalcita. Ukupne „isparljive materije” u steni određuju se zagrevanjem do 1000°C (u analizi se prikazuje kao H_2O^+ ili kao „gubitak žarenja” – **LOI**, akronim od engleskih reči *lost ignition*), kao suma pomenutih gasova i fluida. Da bi se olakšala poređenja sadržaja elemenata, oksida itd., mnoge hemijske analize stena se preračunavaju bez vode.

Analize stena i minerala „uvek” uključuju ljudske i instrumentalne „greške”, zbog čega ukupna količina glavnih i mikroelemenata „obično” nije tačno 100% tež. Prihvataju se analize sa vodom između 99,5 tež.% i 100,5 tež.% kao tačne.

Standardna hemijska analiza stena daje sadržaj, procenat mase svakog od pomenutih oksida, koji se tradicionalno naziva „analiza težinskih procenata”.

Sa pojavom **XRF** analize, većina geohemijskih ispitivanja obuhvata veliki broj podataka, sadržaje makro i mikro elemenata, na osnovu kojih su napravljene „nove”, raznovrsnije i sveobuhvatnije hemijske klasifikacije magmatskih stena.

Klasifikacija i nomenklatura magmatskih stena određena na osnovu modalnog sadržaja minerala u detaljnim petrološkim ispitivanjima nisu dovoljne, posebno kada je u pitanju vulkanska stena, koja često sadrži staklo (neiskristalisali deo brzo hladene magme, tj. lave), kao što su bazalti izliveni u srednjeokeanskim grebenima (riftovima). Stene koje sadrže staklo po sastavu su „bliže” magmi iz koje su nastale nego krupnozrne stene koje su „preživjele” frakcionu kristalizaciju, zbog čega, zavisno od cilja istraživanja, mogu biti i povoljnije za određivanje hemijskog sastava.

Alterisane i metamorfisane magmatske stene takođe se analiziraju „pod uslovom” da „dijagnostički” hemijski elementi tokom pomenutih procesa nisu značajnije mobilisani.

Prilikom izrade hemijskih analiza odabranih uzoraka stena (nakon selekcije na terenu ili mikroskopskog pregleda preparata) treba obratiti pažnju na to da se ne kontaminiraju „mašinama” u kojima se usitnjavaju, melju, obično sa **Fe**, moguće i sa **Cr**, **Co**, **Ni** i **Mn** u „gvozdanim” avanima, u keramičkim pulzerima se obično „dodaje” **Al**, ahat, **Si** itd. Za hemijsku analizu najčešće se priprema veća „količina” stene, koja se drobi, melje, homogenizira i uzima se neophodan deo za izradu hemijske analize.

Postoji veliki broj klasifikacija magmatskih stena koje se baziraju na hemijskom sastavu, ali zbog velike varijacije sadržaja pojedinih elemenata, on ne bi trebalo da bude isključivi kriterijum za njihovu podelu. Potrebno ga je kombinovati sa drugim svojstvima stena kako bi se postigla tačnija i jasnija klasifikacija. Na primer, riolit, zavisno od strukture ili teksture, može biti riolit, opsidijan, riolitski tuf, riolitska breča ili plovuac.

Nova tehnologija i nova saznanja omogućavaju da se na osnovu hemijskog sastava izvedu zaključci o nastanku magme, sredini formiranja i karakteru kristalizacije. U nastavku ćemo prikazati neke od najčešćih hemijskih klasifikacija magmatskih stena koje su „lako” razumljive i dovoljno tačne (precizne) za prikazivanje stena i njihovu nomenklaturu. Neke od ovih klasifikacija će biti detaljnije prikazane u posebnim poglavljima o pojedinim stenama.

V.5.3.1 PODELA MAGMATSKIH STENA NA OSNOVU SADRŽAJA SILICIJE (SiO_2)

Skoro sve magme iz kojih se kristališu stene su silikatnog sastava (bogate silicijumom i kiseonikom, izuzev karbonatita) i sadrže od 40% do preko 70% silicije, tj. silicijum-dioksida (SiO_2). Zbog toga je sadržaj SiO_2 prvi i glavni podatak u hemijskoj analizi, na osnovu kojeg se magmatske stene dele na 4 vrste:

1. **Kisele magmatske stene** sadrže više od 66% SiO_2 . Često se nazivaju silicijske jer imaju visok sadržaj SiO_2 . Svetle su boje. U ovu grupu stena spadaju granitoidi sastava od granita do granodiorita kod dubinskih stena, dok kod vulkanskih stena spadaju rioliti i kvarclatiti. Izgrađene su od silicijskih minerala (silikata): alkalnog feldspata, kiselog do intermedijarnog plagioklasa, manje amfibola, liskuna i slobodnog kvarca.

Kisele magmatske stene najčešće se javljaju u kontinentalnoj kori. Najvećim delom su nastale u aktivnim kontinentalnim marginama, odnosno vulkanskim lukovima (slika 392).

2. **Prelazne (intermedijarne) magmatske stene** imaju između 52% i 66% SiO_2 . Boje su svetlo smeđe ili sive. U ovu grupu stena spadaju andeziti, daciti, dioriti, kvarcdioriti itd (slika 393). Izgrađene su takođe od silicijskih minerala (silikata), ali sa manjim sadržajem silicijuma: prelazni plagioklasi, pirokseni, amfiboli,



Slika 392. Granit (Gorjane) je kisela magmatska stena

biotit, ponekad i slobodni kvarc. Javljaju se u aktivnim kontinentalnim marginama (vulkanskim lukovima) i delom i u kontinentalnoj kori.



Slika 393. Andezit (Veliki Krivelj) je intermedijarna magmatska stena

3. **Bazične magmatske stene** sadrže **od 45% do 52% SiO_2** . Tamne su boje. U ovu grupu stena spadaju gablo i bazalt (slika 394). Izgrađene su od bazičnih plagioklasa, piroksena, ponekad i olivina, ali ne sadrže slobodni kvarc. Bazalt je veoma česta vulkanska stena koja čini gornji deo okeanske kore. Gabro se uglavnom javlja u donjem delu okeanske kore.



Slika 394. Gabro (Priboj) je bazična magmatska stena

4. **Ultrabazične magmatske stene** imaju **manje od 45% SiO_2** . Boje su tamno zelene do crne. Izgrađene su od olivina, piroksena, retko amfibola i flogopita (slika 395). Javljaju se u gornjem omotaču Zemlje ili donjem delu okeanske kore. Sadrže malo (ispod oko 5% baz. plagioklasa) i nemaju slobodnog kvarca.



Slika 395. Peridotit (Maljen) je ultrabazična magmatska stena

Nazivi **kiseli** i **bazični** su pomalo čudni i zbunjujući jer nemaju referencu na pH. Pomenimo da neki petrolozi smatraju koncept „kiselosti” i „baznosti” zastarelim, a drugi ne. Međutim, literatura je puna izraza kao što su „kiseli”, „bazični”, „ultrabazični” itd. Čisto hemijski izrazi kao što su *silicijum*, *magnezijum*, *alkalni* i *aluminijumski* odnose se na sadržaj SiO_2 , MgO , $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ i Al_2O_3 u steni.

Pomenimo i razliku između sadržaja silicijuma (SiO_2) u steni i sadržaja kvarca (čiji je sastav takođe SiO_2) kao minerala koji obično ima od nekoliko do najviše nekoliko desetina procenata. Silicija (SiO_2) jeste hemijska komponenta prisutna u svim silikatnim mineralima, dok je kvarc, koji ima isti sastav SiO_2 , mineral sa određenim fizičko-hemijskim svojstvima i kristalnom strukturom. Ovaj mineral predstavlja „višak” raspoloživog silicijuma (SiO_2), odnosno onaj koji je „ostao” nakon što su svi drugi silikatni minerali (olivini, pirokseni, feldspati itd.) uzeli „svoj deo” raspoloživog silicijuma iz rastopa.

Pomenute grupe stena nemaju direktnu korelaciju sa modalnom količinom kvarca u steni, iako je opšte pravilo da kisele stene imaju slobodnog kvarca, a ultrabazične ne. Dve stene sa istim sadržajem SiO_2 mogu imati slobodan kvarc ili ga nemaju, što zavisi od sastava i sadržaja drugih minerala u steni. Klasifikaciju stena na osnovu sadržaja SiO_2 je usvojila i Međunarodna unija geoloških nauka (IUGS).

V.5.3.2 ZASIĆENJE ALUMINIJOM

Aluminija (Al_2O_3), posle silicijuma, najvažniji je oksid za klasifikaciju stena. Ulazi u sastav većine minerala (feldspata, amfibola, liskuna, nekih piroksena itd.) i naročito je povoljan za klasifikaciju kiselih stena (granita), jer su feldspati, liskuni i amfiboli glavni petrogeni minerali u većini magmatskih stena (*Shand, 1927*).

Indeks zasićenosti aluminijumom se izražava kao molekulski odnos $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$. Na osnovu dobijenih vrednosti molekulskih odnosa izdvajaju se sledeće grupe stena:

1. Peralumijske stene su prezasićene aluminijumom, $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$, zbog čega u steni ima muskovita ili biotita (koji su bogati aluminijumom) i aluminijumskih akcesornih minerala, kao što su kordijerit, silimanit, andaluzit, korund, turmalin (za koji je potreban i bor) i almandinsko-spesartinski granat. Ove stene imaju CIPW normativni korund i diopsid.

2. Metaalumijske stene su nezasićene aluminijumom, gde je $\text{Al}_2\text{O}_3 < (\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ i $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$. Nedostatak aluminijuma se izražava prisustvom retke hornblende, biotita siromašnog aluminijumom i titanita.

3. Peralkalne stene imaju odnos $\text{Al}_2\text{O}_3 < (\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$. U njima nema dovoljno aluminijuma, tj. postoji višak alkalija, zbog čega se javljaju alkalni bojani mine-

rali kao što su egirin, ribekit, rihterit. Peralkalne stene sadrže normativni akmit ili natrijum-alumosilikat i imaju odsustvo normativnog anortita. „Pravi” feldspati u peralkalnim stenama sadrže veoma malo ili ne sadrže anortit (nemaju kalcijuma).

Pomenimo i **alkalne stene**. Uprkos njihovoj relativno maloj zastupljenosti u svetu, termin **alkalne stene** se često koristi za stene sa veoma varijabilnim sastavom. Alkalne stene ne treba mešati sa peralkalnim stenama, kao što je gore objašnjeno. Iako je većina peralkalnih stena takođe alkalna, one nisu nužno peralkalne. Jako alkalne stene obično su i nezasićene silicijum-dioksidom.

Generalno, ne postoji opšteprihvaćen kriterijum za preciznu definiciju alkalnosti stena. Smatra se da alkalne stene imaju višak alkalija u odnosu na siliciju, ali se taj višak tačno ne može odrediti. Većina njih je nezasićena silicijom i sadrži normativni nefelin ili feldspatoide. Alkalne stene uključuju analcim, alkalne feldspate, amfibole bogate aluminijumom, **Na**-piroksene, biotit, flogopit i olivine, ali ne sadrže ortopiroksen i kvarc.

Subalkalne stene su nešto češća grupa stena koje su obično zasićene ili prezasićene silicijom i ne sadrže normativni nefelin. U ovim stenama javljaju se feldspati, olivin, hornblenda, augit, orto i klinopiroksen, biotit i kvarc. Na osnovu odnosa sadržaja SiO_2 i K_2O , subalkalne stene se dele na: nisko **K** stene, koje u suštini odgovaraju toleitskoj sviti, srednje **K** stene i visoko **K** stene, koje odgovaraju kalk-alkalnim stenama koje se javljaju u kontinentalnoj kori. Ovde spada i šošonitska svita stena.

Toleitske stene su obogaćene gvožđem (**FeO**) u odnosu na magnezijum (**MgO**), u poređenju sa **kalk-alkalnim** stenama, koje su bogatije silicijumom i alkalijama. Termin *toleitske* dobio je naziv po lokalitetu Tolaj (Tholey, Saarland), u zapadnoj Nemačkoj, dok je termin *kalk-alkalne* predložio Pikok (**Peacock 1931**; detaljnije u poglavlju Bazalti).

V.5.3.3 TAS KLASIFIKACIJA

TAS klasifikacija je deskriptivna i nema genetsku konotaciju. Posebno je pogodna kada je stena vrlo sitnozrna, pre svega osnovna masa kod vulkanskih stena, kada se minerali ne mogu odrediti optički (mikroskopski), ili kada stena sadrži staklo.

Najčešće se koristi za podelu „svežih i normalnih” vulkanskih stena, bez velikog obogaćenja alkalija i magnezije (sadržaja **MgO**). Sadržaje **FeO** i Fe_2O_3 treba ostaviti kako su određeni. Ukoliko postoji samo sadržaj ukupnog gvožđa, moramo „opravdati” metodu za podelu između **FeO** i Fe_2O_3 .

TAS klasifikacija je **dvokomponentni dijagram odnosa sadržaja ukupnih alkalija** ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) i **silicije** (SiO_2), odakle joj potiče i ime (akronim od engleskih reči *total Alkalies* = *TA* i sadržaja SiO_2 *Silica* = *S*; slike 396 i 397).

Vrednosti sadržaja silicije (SiO_2) i ukupnih alkalija ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) „direktno” se dobijaju iz hemijske analize. Preporučuje se da se vrednosti normalizuju i preračunaju na sadržaj bez vode (H_2O) i CO_2 . Granična polja naziva stena dobijena su na

osnovu 24.000 hemijskih analiza svežih vulkanskih stena ($\text{H}_2\text{O}^+ < 2\%$ i $\text{CO}_2 < 0,5\%$).

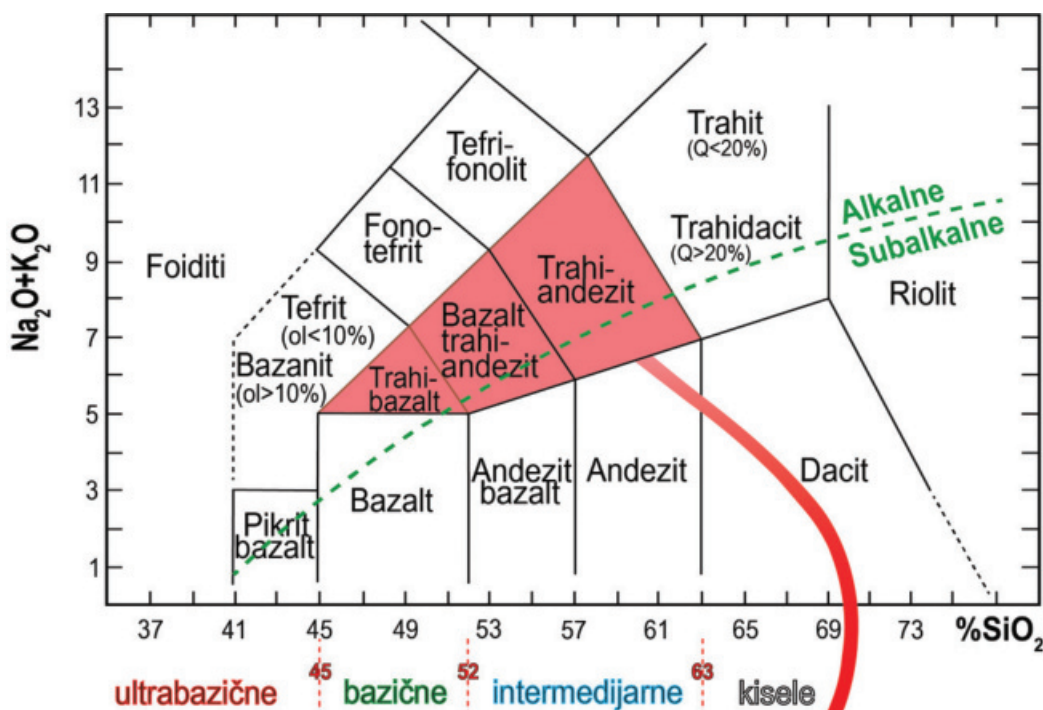
Klasifikacija je jednostavna za korišćenje, jer sve što je potrebno za većinu stena su vrednosti odnosa sadržaja Na_2O , K_2O i SiO_2 . Svaka analiza je preračunata na 100% bez H_2O i CO_2 . Imena stena imaju osnovni naziv uz dodavanje prefiksa i usaglašena su sa preporukama Međunarodne unije za geološke nauke (*Le Maitre, 2002*).

Za „naprednije” istraživače, detaljnija podela unutar TAS klasifikacije „provjera” se hemijskom analizom da bi se utvrdilo da li stena sadrži visoku količinu magnezija (MgO , *high Mg*), kada odgovara pikritu, komatiitu, boninitu itd. (slika 397).

Potkomisija je nakon „dugih” diskusija dopunila TAS klasifikaciju korišćenjem sadržaja MgO i TiO_2 . Podsetimo se kriterijuma:

boninit – $\text{SiO}_2 > 53\%$, $\text{MgO} > 8\%$ i $\text{TiO}_2 < 0,5\%$

pikriti – $\text{SiO}_2 < 53\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 2,0\%$ i $\text{MgO} > 18\%$.

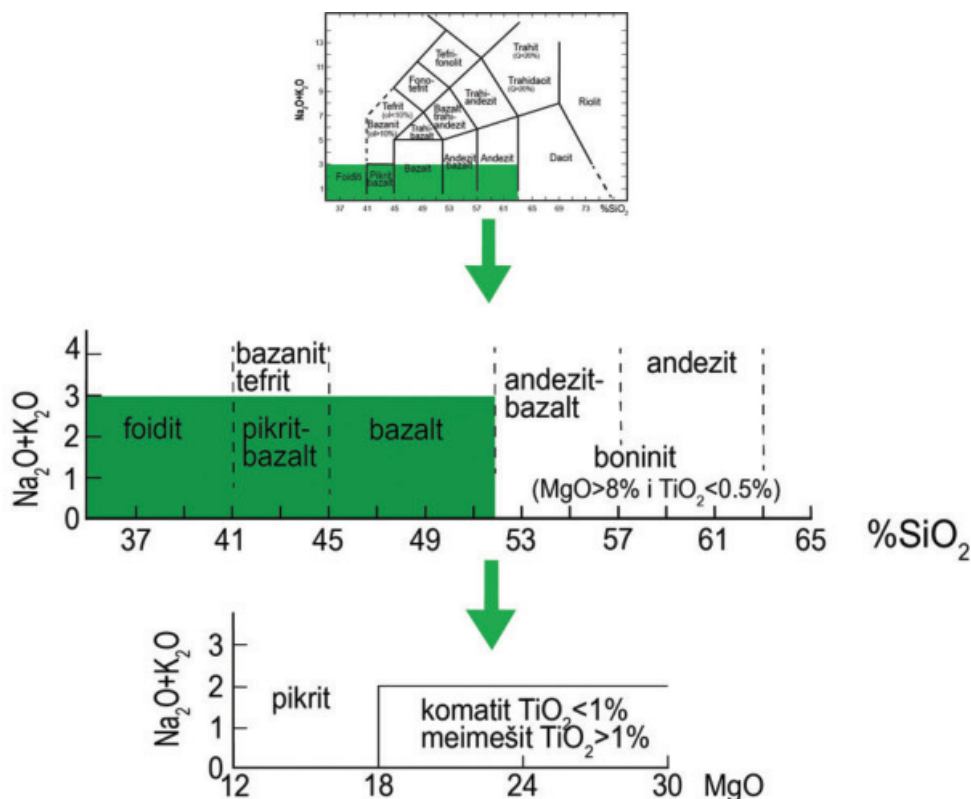


Podela unutar ošćenog područja	Trahibazalt	Bazaltni trahiandezit	Trahiandezit
$\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$	Havait	Mugaerit	Benmoreit
$\text{Na}_2\text{O} - 2.0 < \text{K}_2\text{O}$	Kalijski trahibazalt	Šošonit	Latit

Slika 396. TAS klasifikacija vulkanskih stena (*Le Bas i dr., 1986, dopunjeno*);

napomena: nazivi stena prevedeni sa originalnog dijagrama;

granica alkalne, subalkalne prema *Irvine i Baragar (1971)*



Slika 397. Hemijska klasifikacija „visoko Mg” vulkanskih stena boninita, komatita i meimešita (Le Bas, 2000); nazivi stena prevedeni sa originalnog dijagrama

Pikriti se dele na:

pikrite, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 1\%$,
komatiite, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1\%$ i $\text{TiO}_2 < 1\%$ i
meimešite $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1\%$ i $\text{TiO}_2 > 1\%$.

U pojedinim slučajevima može se izračunati i sadržaj normativnih minerala po metodi CIPW kako bi se dobio „tačan” naziv stene.

TAS klasifikacija se često koristi i za izdvajanje alkalnih bazalta od subalkalnih bazalta, što rezultira numeričkim linijama i krivama koje su predložene.

Ipak, moramo imati u vidu da korelacija između mineralnog sastava i hemijskog sastava nije savršena, zbog čega se nazivi „kristalnih” stena (koje nemaju staklo u osnovnoj masi) u nekim slučajevima razlikuju od petrografskog imena. Iz tog razloga, naziv stene treba biti prema sadržaju glavnih minerala, odnosno fenokristala, gde god je to moguće.

Podsetimo da su alkalije (Na_2O i K_2O) migrativne, posebno u hidrotermalnim procesima, zbog čega se njihovi sadržaji u steni menjaju, što se mora imati u vidu prilikom davanja imena stena, posebno ako su izmenjene. Zbog toga treba koristiti izmenjene, i metamorfisane stene s oprezom, jer se mogu dobiti pogrešni rezultati.

One nisu „normalan” tip vulkanskih stena za koje je **TAS** klasifikacija namenjena.

Pomenimo da postoji i **TAS** dijagram za plutonske stene, koji se znatno manje koristi od dijagrama za vulkanske, jer su granice stena izvučene prema Koku i dr. (*Cox i dr., 1979*) i nisu potpuno „usaglašene” sa granicama za vulkanske stene.

V.5.3.4 AFM DIJAGRAMI

AFM je „popularan” trokomponentni varijacioni dijagram koji smo pomenuli i opisali u poglavlju Primena i prikaz analitičkih podataka u geologiji. Dobio je naziv po vrstama oksida koji su naneti na njegovim uglovima:

A = alkalijske $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$,

Fe = oksidi ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) i

M = MgO (slika 396).

Pojedini autori uračunavaju i **MnO** sa oksidima **Fe**.

AFM dijagrami postoje i za metamorfne stene, i biće opisani i objašnjeni u poglavlju o tim stenama. Većina autora koristi težinske procenete oksida za prikazivanje pomenutih oksida. Na osnovu podataka iz **AFM** dijagrama mogu se dobiti važni podaci o hemizmu stena koje su nastale usled različitih geoloških procesa (slika 398). Ipak, treba imati u vidu da je u izradi **AFM** dijagrama uzeto „samo” pet elemenata (njihovih oksida) i da su to relativni odnosi koji pružaju „ograničen” obim petrogenetskih informacija. Na osnovu sadržaja navedenih oksida, najčešći „opšti” zaključci su da roditeljske magme, ukoliko su prisutne, bliže padaju u ugao **MgO**, dok su one koje su najviše evoluirale (diferencirane) bliže alkalijama. Zaključci koji se



Slika 398. *AFM* dijagram
(Irvine, Baragar, 1971)



Slika 399. *AFM* dijagrami
i diferencijalni trendovi

izvode na osnovu **AFM** parametara treba da budu praćeni i mineralnim sastavom.

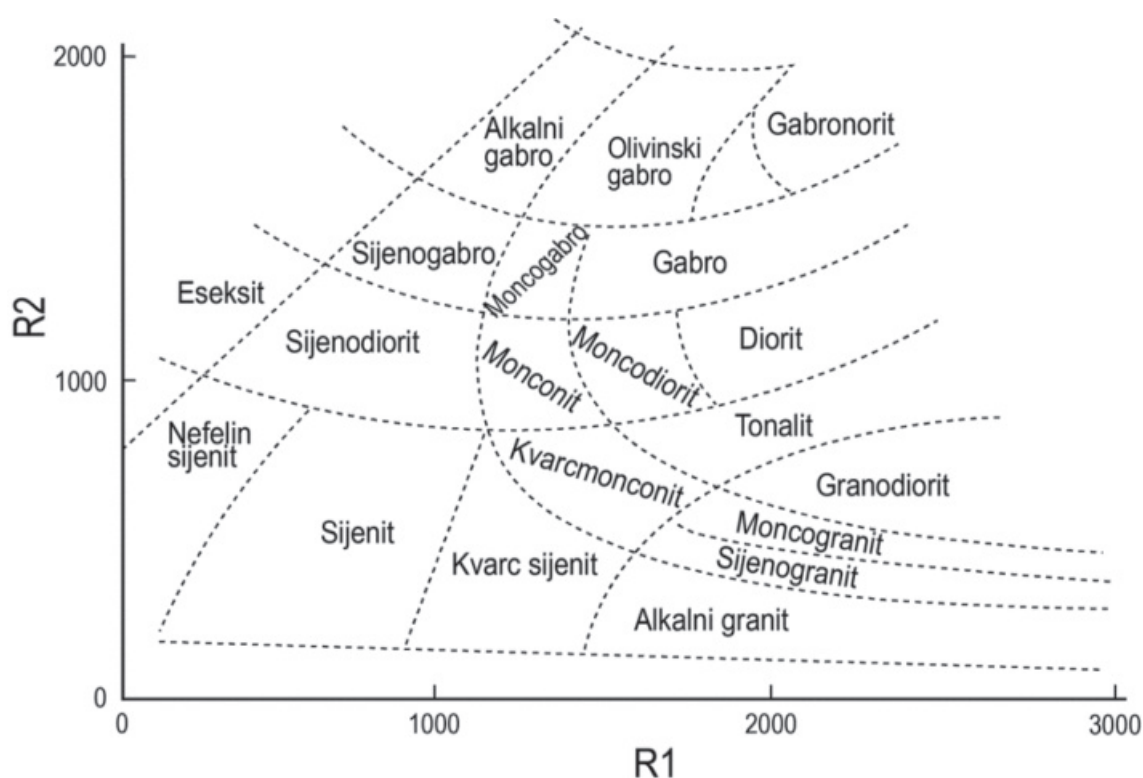
AFM dijagram najčešće se koristi za određivanje i razlikovanje toleitskih i kalk-alkalnih diferencijacijskih trendova (slika 399), koji su prikazani linijom koja ih razdvaja (*Kuno, 1968* i *Irvine i Baragar, 1971*). Toleitski bazalti pokazuju značajno obogaćivanje **Fe** sa povećanjem stepena frakcionizacije. Rana kristalizacija forsteritolivina i bazičnog (**Ca**) plagioklasa osiromašuje rastop sa **MgO** i **CaO**, dok se obogaćuje

sa FeO , SiO_2 i alkalijama. Toleitske magme i bazalti dominiraju u srednjeokeanskim grebenima i kontinentalnim riftovima. Takođe se javljaju i u područjima toplih tačaka, prednjim delovima nezrelih (relativno mladih) vulkanskih lukova (*Miyashiro, 1974*; detaljnije opisano u poglavlju o Bazaltima). Kalk-alkalne stene, nakon frakcionacije, postupno se osiromašuju sa Fe i Mg , dok se obogaćuju alkalijama. To su uglavnom andeziti, daciti, rioliti, kao i visoko aluminijski bazalti sa 16–20% Al_2O_3 (*Irvine i Baragar, 1971*). Ove stene dominiraju u aktivnim kontinentalnim marginama, zonama subdukcije, gde formiraju ogromne batolite ili, u manjem obimu, vulkane (detaljnije opisano u poglavlju o granitoidima). Pomenuti nazivi imaju zanimljivu priču. Kalk-alkalne stene potiču iz „zapetljane” istorije koja se protezala kroz više decenija. Ime je praktično nastalo prema napuštenoj klasifikaciji Pikoka (*Peacock*) predloženoj 1931. godine. Izraz „toleitski” je nastao sredinom 19. veka za bazalte blizu Tolaja u Saarlandu, u zapadnoj Nemačkoj. Najbolji rezultati analize AFM dijagrama dobijaju se praćenjem serije stena na određenom lokalitetu. Trend (podela toleitske i kalk-alkalne serije) dobijen je na osnovu 26.000 hemijskih analiza stena sa različitih lokaliteta koji praktično pokrivaju celu Zemlju. U literaturi postoje i klasifikacije zasnovane na odnosima drugih oksida, kao što je CaO u odnosu na sumu alkalija ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$).

Šand (*Shand, 1927*) grupisao je magmatske stene na osnovu sadržaja aluminijuma (Al_2O_3) i sume $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, pri čemu ih je podelio na peralkalne, metaaluminijske i peraluminijske, što se uglavnom koristi za kisele stene itd.

V.5.3.5 KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA PREMA ODNOSU
SADRŽAJA ODREĐENIH KATJONA

De la Roš i Leterije (*De la Roche i Leterrier, 1973*) i De la Roš i dr. (*De la Roche i dr., 1980*) predložili su **R1-R2 dijagram, klasifikaciju** za plutonske i vulkanske stene zasnovanu na odnosu sadržaja pojedinih katjona, kako bi se „izbegla greška” težinskih procenata u analiziranoj steni (slika 400). Ova klasifikacija se najvećim delom koristi za intruzivne (dubinske) stene. Na x-osu se nanosi vrednost $R1 = [4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti)]$, računa se ukupno Fe (Fe^{tot}), a na Y osu vrednost $R2 = 6C + 2Mg + Al$. Računanje pomenutih faktora je „komplikovano”, a navedene granice stena „isuviše krive” zbog čega se i relativno retko koristi.



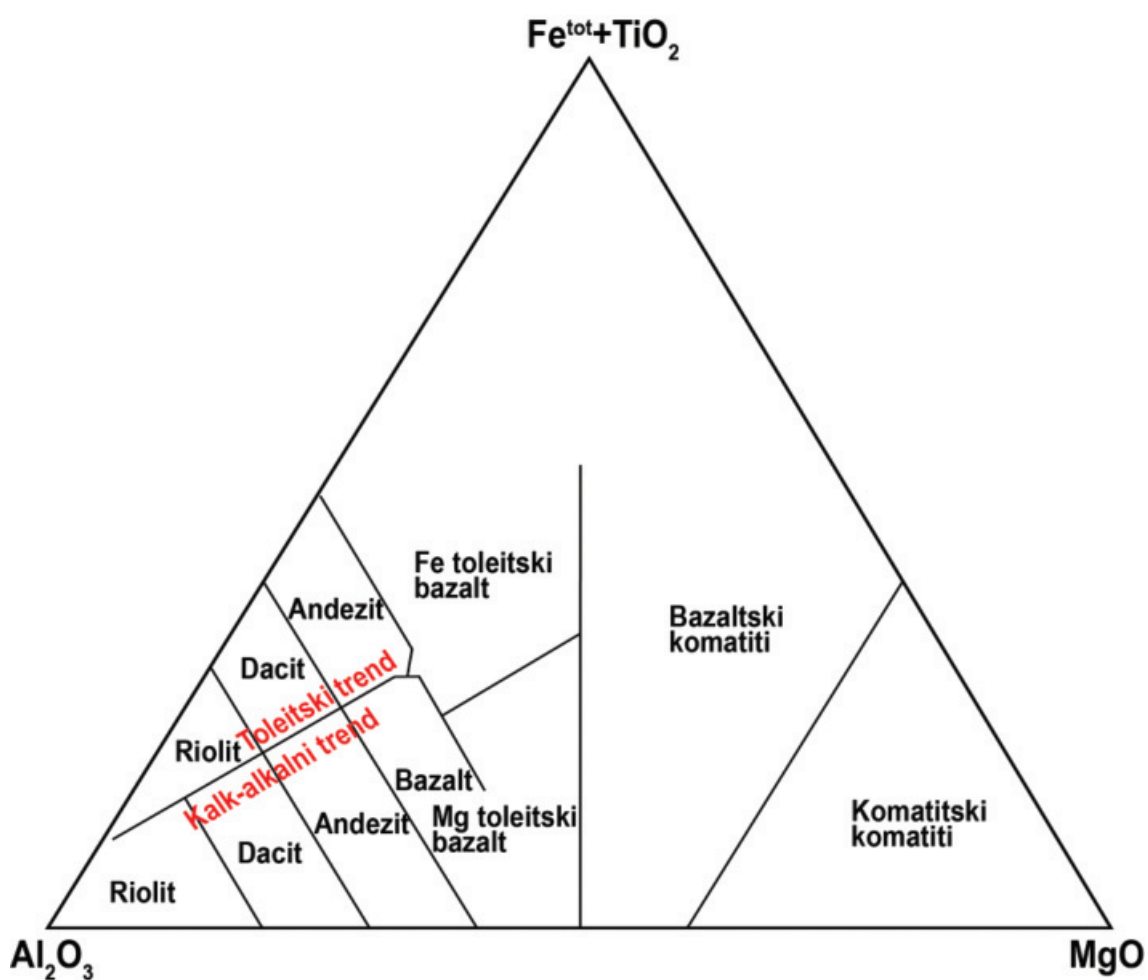
Slika 400. Klasifikacija plutonskih stena prema parametrima R1 i R2
(prema *De la Roche i dr., 1980*), izračunatim iz milikatjonskih proporcija.

$$R1 = [4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)]; R2 = 6Ca + 2Mg + Al;$$

nazivi stena prema originalnom dijagramu

V.5.3.6. JENSENOV KATJONSKI DIJAGRAM

Jensenov katjonski trokomponentni dijagram (*Jensen, 1976*) jeste odnos sume ($\text{Fe}^{\text{tot}} + \text{Ti}$), Al i Mg, koji se preračunava na sto. Na njemu se razlikuju komatiti od bazalta i kalk-alkalnih stena (slika 401). Jensen i Pike (*Jensen i Pike, 1982*) modifikovali su ovaj dijagram, menjajući granicu između polja komatitskih bazalta i komatita ka nižoj vrednosti Mg, dok su granična polja preuzeta od Rikvuda (*Rickwood, 1989*).



Slika 401. Jensenov dijagram (*Jensen, 1976*),
za podelu intruzivnih magmatskih stena

V.5.4 MINERALOŠKO-HEMIJSKA KLASIFIKACIJA

V.5.4.1 CIPW NORMATIVNI PRORAČUN

Početkom dvadesetog veka, troje petrologa – V. Kros (V. Cross), Dž. P. Iddings (J. P. Iddings) i L. V. Pirson (L.V. Pirsson), i jedan geohemičar – H. S. Vošington (H.S. Washington), čija prezimena su skraćenica **CIPW**, „elegantno” su osmislili metod preračunavanja postojeće hemijske analize stene u hipotetičku asocijaciju normativnih minerala bez vode, po određenim pravilima. Normativni minerali su „jednostavni” krajnji članovi složenih čvrstih rastvora koji čine stvarne minerale u steni. Metoda se bazira na računanju normativnih minerala koji bi se očekivali da kristališu iz rastopa bez vode pod malim pritiskom.

Bojeni minerali ne sadrže aluminijum, a pretpostavlja se da je odnos **Mg/Fe** isti u svim mineralima. Biotit se izražava kao normativni ortopiroksen+**K**-feldspat, a hornblenda preko normativnog ortopiroksena+klinopiroksena+ plagioklasa. Pomenute pretpostavke nisu idealne, ali nisu ni daleko od „realne” situacije.

S obzirom na to da su mnoge vulkanske stene uglavnom sitnozrne, ovom metodom se izračunava „idealizovana” mineralogija, koja se može uporediti sa dubinskim (zrnastim) stenama.

Normativni minerali se, osim za klasifikaciju, koriste i za određivanje „približnog” mineralnog sastava iz objavljenih analiza celih stena kada takvi podaci nisu prikazani.

Pomenuti autori su računanjem normativnih minerala „pokušali” da vulkanske stene postave na „ravnopravnije mesto” sa plutonskim stenama. Ovaj način računanja i klasifikacije nije previše popularan, ali još uvek se koristi i ostaje standard u Sjedinjenim Državama.

Predložene su brojne varijacije i alternativni pristupi za specifične uslove, kao što je visok pritisak.

Računanje normativnih minerala po metodi **CIPW** vrši se prema strogo propisanom skupu pravila koji okside raspoređuje na skup krajnjih članova čvrstih rastvora. Takva kruta formalna metodologija je idealna za upotrebu u različitim računarskim programima koji se lako mogu naći i preuzeti na internetu.

Koje su prednosti? Zbog čvrstih rastopa u glavnim mineralima koji čine stene (olivini, plagioklasi, pirokseni itd.), normativni minerali otkrivaju varijacije u hemijskom sastavu cele stene koje nisu vidljive u različitom modalnom sadržaju minerala u steni. Normativni sastav olakšava i poređenje ovih stena sa drugim, kod kojih minerali, kao čvrsti rastvori, „prikrivaju” varijacije hemizma. Sitnozrne (afanatične), posebno staklaste stene (koje sadrže vulkansko staklo) na ovaj način su lakše za poređenje.

Stene koje sadrže fenokristale minerala s vodom (amfiboli, liskuni, pre svega biotit) mogu se, preko normativnih minerala, upoređivati sa stenama koje imaju fenokristale bez vode (pirokseni), ako su sličnog hemijskog sastava.

Normativni minerali se lakše povezuju sa rezultatima eksperimentalnih laboratorijskih studija koje se baziraju na pojednostavljenim mineralnim sistemima. S obzirom na to da **CaO**, **MgO**, **Al₂O₃** i **SiO₂** čine više od 90% bazičnih i ultrabazičnih stena i prisutni su u svim njihovim mineralima, možemo ih direktno upoređivati sa faznim odnosima prirodnih bazičnih i ultrabazičnih sistema. Posebno su važna poređenja za kvantitativno razumevanje formiranja bazaltnih magmi i kristalizacije pri različitim pritiscima. Nakon izračunavanja normativnih minerala dobija se i formula stene.

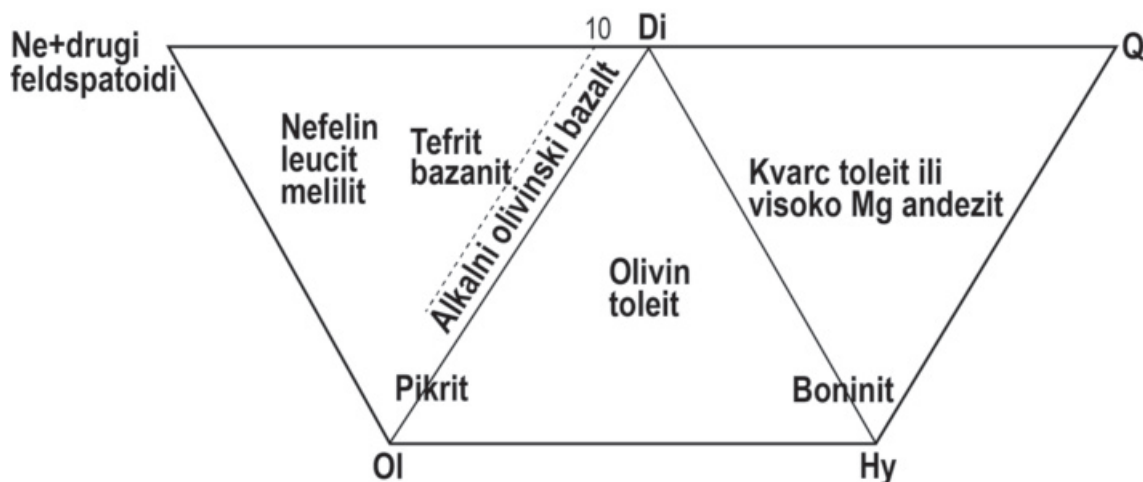
Pojedini petrolozi cene ovu metodu i koriste je za klasifikaciju magmatskih stena, dok drugi smatraju da je zastarela i da ne pruža informacije o hemizmu stena koje su vidljive u hemijskoj analizi.

U ovu „zastarelu” klasifikaciju spadaju i Niglijevi parametri, koji se danas veoma retko koriste.

U postojećim udžbenicima postoji više klasifikacija magmatskih stena koje se baziraju na sadržaju izračunatih, normativnih bojenih minerala. Opišimo neke od njih.

V.5.4.2 NE-OL-DI, OL-DI-HY I DI-HY-Q DIJAGRAM

Tomson (*Thomson, 1984*) na tri jednakostranična trougla sa odnosima normativnih minerala **Ne-Ol-Di**, **Ol-Di-Hy** i **Di-Hy-Q** prikazao je bazične, nezasićene, zasićene i prezasićene stene. U ove grupe stena spadaju alkalni bazalti, toleiti i bazalti sa kvarcom koji sadrže normativni kvarc (slika 402). Navedimo i „čuveni” bazaltni tetraedar (*Yoder i Tilley, 1962*) koji se može koristiti za objašnjenje i razumevanje petrogeneze bazaltnih magmi (detaljnije u poglavlju Bazalti).



Slika 402. Klasifikacija bazalta i srodnih stena prema njihovom CIPW normativnom sastavu (*Thompson, 1984*)

V.5.4.3 AB-AN-OR DIJAGRAM

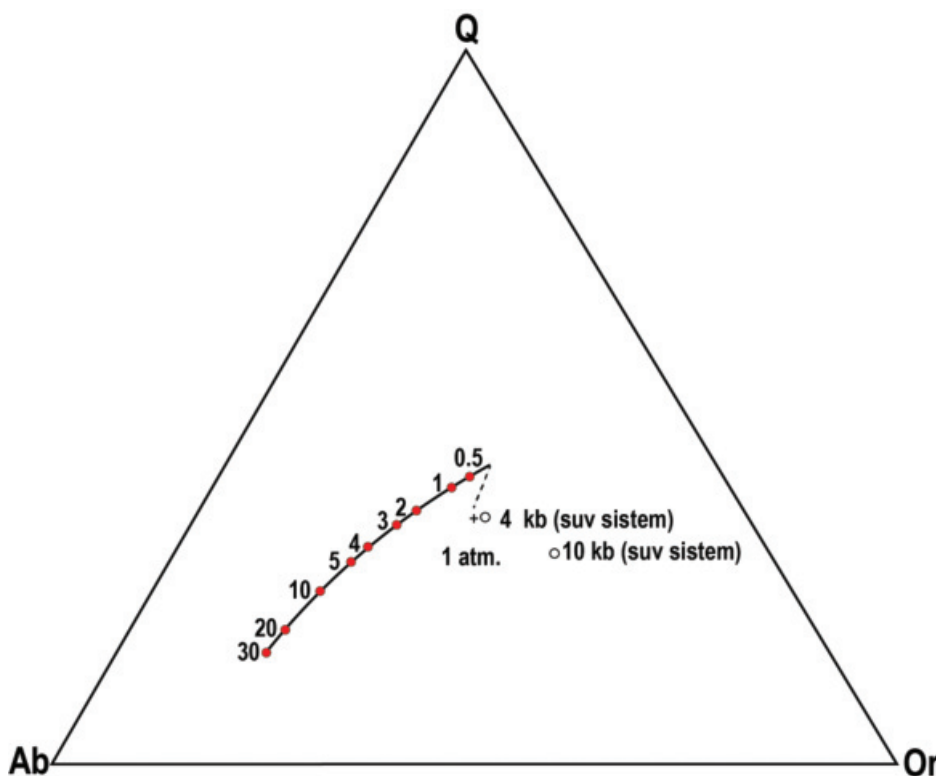
Za kisele intruzivne magmatske stene koristi se dijagram odnosa sadržaja normativnih minerala **Ab-An-Or** (*O'Connor, 1965; Barker, 1979*), gde su odvojena polja i granice za tonalite, trondjemite, granodiorite i granite (detaljnije opisano u poglavlju Graniti), što često pruža bolju analizu od modalnog sastava.

Brojne magmatske stene su proučavane eksperimentalno u laboratoriji, pa se dobijeni rezultati koriste zajedno s hemizmom ispitanog materijala za interpretaciju nastanka, stepena kontaminacije, frakcionacije itd. To su takozvani fazni dijagrami. Podaci o ispitanim stenama se najčešće projektuju na dijagrame koji su napravljeni eksperimentalnim proučavanjima.

Dijagrami ovog tipa omogućavaju analizu podataka o prirodnim stenama u različite svrhe i poređenje eksperimentalnih podataka različitih autora na jednom mestu (koji obično mogu biti različiti zbog različite opreme, pristupa itd.).

U literaturi postoje brojni primeri ovakve primene. Navešćemo najčešće primenjivane za granite i bazalte.

Na slici 403 je prikazan eutektikum granita u zavisnosti od pritiska, pri čemu su korišćeni normativni minerali **Q**, **Or**, **Ab** i **H₂O**. Eksperimentalni podaci su preuzeti iz rada Tatla i Bouena (*Tuttle i Bowen, 1958*).



Slika 403. Eutektikumi granita zavisno od pritiska

Za crtanje dijagrama potrebna je sledeća procedura:

- izračunavanje **CIPW** norm minerala na osnovu hemijske analize,
- sabiranje normativnih vrednosti **Ab**, **Or** i **Q**
- svođenje dobijenih vrednosti na 100 da bi se prikazale na dijagramu.

Tačke na dijagramu su eutektikumi na različitim pritiscima. Dobijena vrednost ispitivane analize treba da padne blizu krive, a interpretira se kao da je sistem kristalisao na pritisku gde je analiza najbliža krivoj.

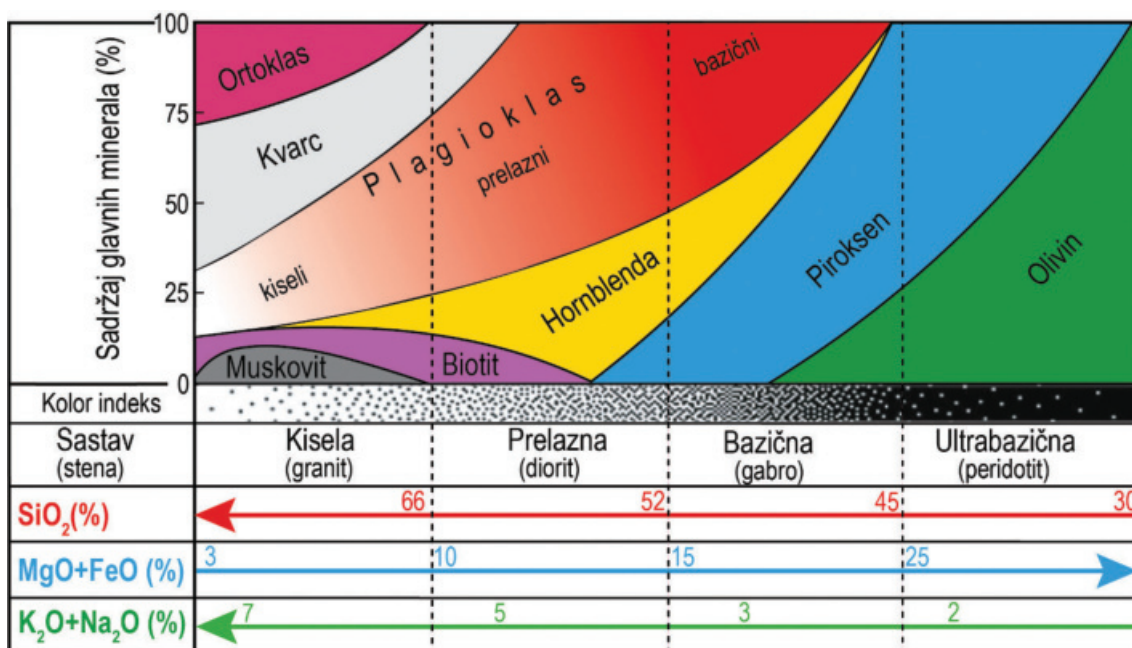
Štrekajzen i Lemetr (*Streckeisen i Le Maitre, 1979*) predložili su **Q'(F')**-**ANOR** klasifikaciju za plutonske stene. Na y-osi se nanose stene zasićene silicijom (**SiO₂**) [**Q'=Q/Q+Or+Ab+An**] ili nezasićene silicijom, koje sadrže feldspatoide **F'=(Ne+Lc+Kp+Or+Ab+An)** a na x-osi je prikazan sastav feldspata [**AN-OR=100xAn(Or+An)**]. Granice polja su izvučene na osnovu 15.000 hemijskih analiza stena. Retko se koristi zbog „preklapanja” polja tonalita i granodiorita.

V.5.4.4 BAZALTNI EKSPERIMENTALNI SISTEMI

Najčešće se koriste dve projekcione šeme, prvi je sistem **CMAS**, gde su sadržaji oksida **CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂** (po čemu je i dobio naziv **CMAS**), a drugi su odnosi sadržaja normativnih minerala – nefelin–diopsid–olivin–anortit – i kvarca. Detaljnije u poglavlju Bazalti.

V.5.4.5 KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA PREMA MODALNOM SADRŽAJU GLAVNIH MINERALA I POJEDINIH OKSIDA

U velikom broju udžbenika iz oblasti petrologije i „opšte” geologije prikazana je klasifikacija stena na osnovu odnosa modalnog sastava glavnih minerala i pojedinih oksida (slika 404). Veoma je praktična i omogućava vizualno jednostavan prikaz za „grubo” (opšte) određivanje, podelu glavnih stena. Dostupan je veći broj pomenutih klasifikacija sa različitim „prilozima”.



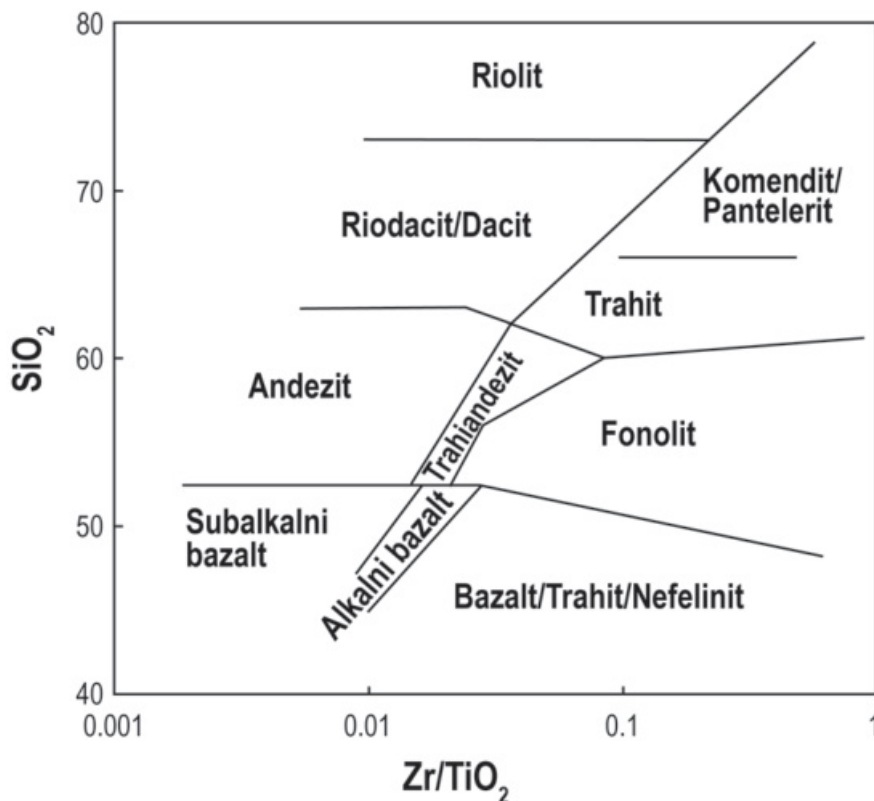
Slika 404. Klasifikacija magmatskih stena na osnovu sadržaja glavnih minerala i pojedinih oksida (Davidson, J.P., Reed, W.E i Davis, P.M., 1997), dopunjeno

V.5.5 KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA PREMA SADRŽAJU MAKRO I MIKRO ELEMENATA

Proučavanjem velikog broja odnosa sadržaja makro i mikro elemenata, izdvojene su najvažnije „diskriminatorske” grupe elemenata (po njihovim geohe-mijskim svojstvima), na osnovu kojih su određene pojedine vrste stena i njihova imena. Najčešće se koristi grupa asocijacije pojedinih imobilnih mikroelemenata: **Ti, Zr, Y, Nb, Ce, Yb, Th, Ta** itd., koji su manje „osetljivi” na alteracije i meta-morfne procese i bolji su indikatori pojedinih geoloških procesa, frakcione kristali-zacije, asimilacije, nego glavni elementi. **Neke od ovih asocijacija prikazaćemo i u poglavljima posvećenim određenim grupama stena.**

V.5.5.1 KLASIFIKACIJA VULKANSKIH STENA PREMA ODNOSU SADRŽAJA SiO_2 – Zr/TiO_2 I Zr/TiO_2 – Nb/Y

Klasifikacija vulkanskih stena prema odnosu sadržaja SiO_2 – Zr/TiO_2 (slika 405) omogućava njihovo određivanje čak i kada su slabo metamorfisane (uglavnom u uslovima donjeg dela facije zelenih škriljaca) ili su delimično (slabo) alterisane, jer su odabrani elementi imobilni tokom tih procesa.



Slika 405. Dijagram SiO_2 – Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1977) za klasifikaciju vulkanskih stena

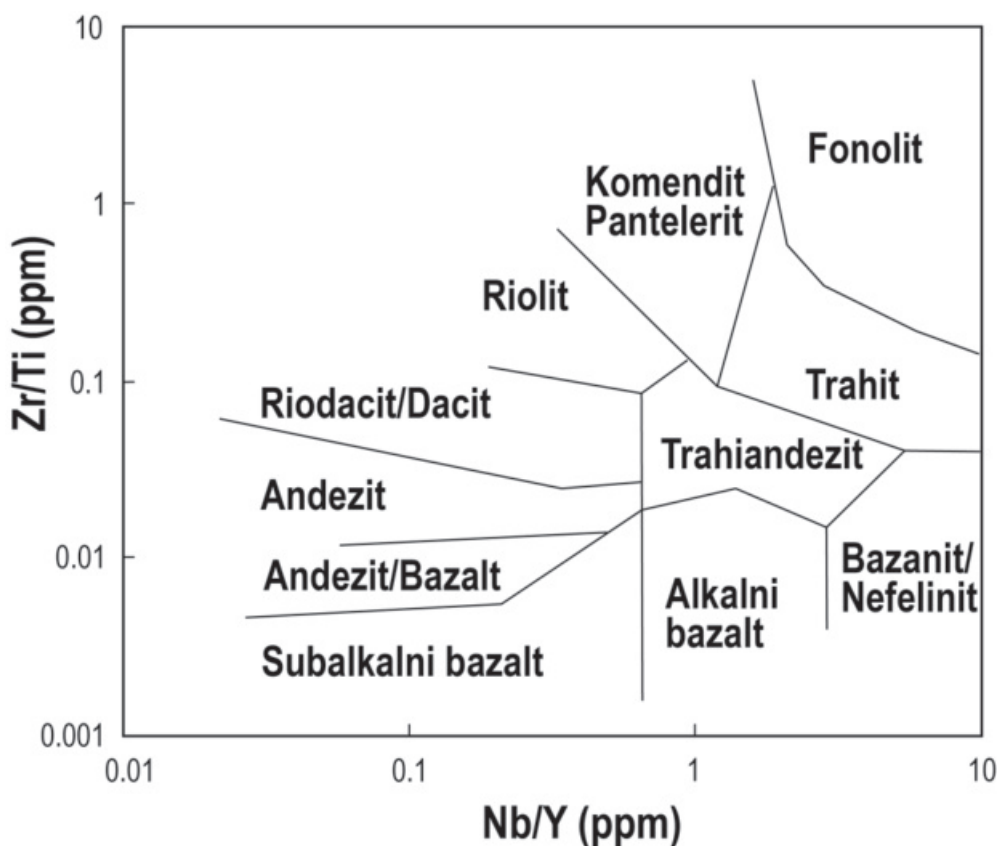
Sadržaj SiO_2 generalno ukazuje na stepen diferencijacije. Sa povećanjem sadržaja SiO_2 , raste i odnos sadržaja Zr/TiO_2 , što uzrokuje i opadanje sadržaja TiO_2 u izdiferenciranim stenama. Povećan odnos sadržaja Zr/TiO_2 u alkalnim vulkanskim stenama reflektuje i povećani sadržaj Zr . Sa porastom sadržaja SiO_2 , odnos Zr/TiO_2 kod alkalnih i subalkalnih stena se razlikuje, što omogućava njihovo međusobno razlikovanje, određivanje i naziv stene.

Ako uporedimo rezultate sa TAS klasifikacijom (Le Bas i dr., 1992), stene istog hemijskog sastava padaju u polje dacita i andezita, a na ovom dijagramu u polje trahiandezita. Stoga, za definitivno određivanje stena i njihovog naziva, potrebni su i drugi rezultati mineraloških ispitivanja, terenskih opservacija itd. kako bi bili što tačniji.

V.5.5.2 KLASIFIKACIJA STENA PREMA ODNOSU SADRŽAJA $Zr/TiO_2-Nb/Y$

Odnos Nb/Y ukazuje na alkalni karakter u bazaltima i njihovih diferencijata (*Pearce i Cann, 1973*), dok je odnos sadržaja Zr/TiO_2 indeks diferencijacije (slika 406).

Floyd i Vinčester (*Floyd i Winchester, 1975*) utvrdili su da veća vrednost odnosa sadržaja Nb/Y , zbog povećane količine Nb , u alkalnim magmama neznatno raste sa porastom sadržaja SiO_2 . Prema ovoj klasifikaciji dobijaju se „iste” stene kao i na prethodno prikazanom dijagramu SiO_2-Zr/TiO_2 . (Napomena: vrednosti sadržaja na dijagramu date su u ppm-ima).



Slika 406. Dijagram $Zr/TiO_2-Nb/Y$ (*Winchester i Floyd, 1977*)
za klasifikaciju vulkanskih stena

V.5.6 KLASIFIKACIJA MAGMATSKIH STENA PREMA TEKTONSKOJ SREDINI STVARANJA

Za izradu diskriminacionih dijagrama kojima se određuje tektonska sredina stvaranja stena, važna su geohemijska svojstva i ponašanje pojedinih makro i mikro elemenata.

Mobilni elementi, kao što su **Na, K, Ca, Ba, Rb i Sr**, kao i „laki” **REE**, nisu „korisni” za navedena određivanja. Nasuprot njima, imobilni elementi, kao što su **Fe, Ti, Ni, Cr, V, Zr, Nb, Ta, Hf** i drugi, često se koriste. U literaturi postoji veliki broj dijagrama i klasifikacija za određivanje tektonskog stvaranja stena.

Izbor elemenata za dijagrame često je i „empirijski proces”, jer se javljaju problemi kada neki od njih, usled uticaja fluida ili metamorfizma, postaju mobilni. Da bi se koristile stene koje se ispituju, one treba da budu sveže i nemetamorfisane. Rezultati su tačniji kada se analizira veći broj uzoraka.

Pojedine asocijacije mikroelemenata u magmatskim stenama pokazuju različite trendove i odnose koji se „empirijski” korelišu s određenom tektonskom sredinom stvaranja, kao što su srednjeokeanski grebeni, okeanska ostrva, zone subdukcije i dr., čije su granice dobijene statistički i s određenim stepenom preklapanja.

Naravno, „moderni” primeri (za „veoma mlade” stene) jesu „lako definisani” na osnovu saznanja prikupljenih na terenu i velikog broja analitičkih podataka.

Često se postavlja i pitanje nedoumice kod ispitivanja „vaših” i „naših” stena, na koji način i u kom obimu se „savremeni” dijagrami dobijeni na osnovu „mladih” stena mogu primeniti na starije magmatske stene, koje su često promenjene, premeštene ili izolovane od prvotnog okruženja, smeštaja (*Pearce i Cann, 1971, 1973*).

Zbog toga, u nekim situacijama, rezultati nisu uvek jednoznačni, jer moramo imati u vidu i „ukupnu” geološku građu i specifičnost stanja Zemlje u „prošlom” vremenu, pre svega omotača i „starih” magmata, uslova njihovog stvaranja, dubljine i položaja okeanske i kontinentalne litosfere i druge faktore (*Cas i Wright, 1987*). Podsetimo se da su u prekambrijumu bili znatno drugačiji uslovi stvaranja, sa većim geotermalnim gradijentom i omotačem koji je bio bogatiji pojedinim inkompatibilnim elementima zbog manjeg stepena parcijalnog stapanja itd.

Iskustva, rezultati brojnih petrologa su različiti, pozitivni i negativni. Vermeš (*Vermeesch, 2006*) na statistički „rigorozan” način testirao je nekoliko diskriminacionih dijagrama i zaključio da **Ti-Si-Sr** sistem pruža „najbolje” uklapanje u „poznate” (mlade) okeanske bazalte. Međutim, postoje i drugačija mišljenja. Treba, ipak, biti oprezan, razuman, inventivan, racionalan jer su granice dobijene, pomenuli smo, statističke. Preporuka je da se uporede sa drugim geološkim podacima i sagledavanjima jer rezultati mogu biti „dvoznačni”, zbog velikog broja „promenljivih”: izvora stene, stepena parcijalnog stapanja, frakcione kristalizacije, mešanja magmi, asimilacije i, na kraju, uticaja metamorfizma. Mudri istraživači

koriste više metoda, sa većim brojem asocijacija mikroelemenata. Recimo da se nove metode u analitici neprestano razvijaju, što ostavlja trag i na novom načinu i pristupu proučavanju stena.

Za određivanje tektonske sredine stvaranja koristi se i širok spektar (veći broj) pojedinih makro i, naročito, mikroelemenata u bazaltima iz poznatih tektonskih okruženja. Navedimo neke od njih, a **deo će biti prikazan detaljnije u okviru poglavlja o pojedinim vrstama stena**. U postojećim udžbenicima je „šarenolik izbor”, prikaz što zavisi, po našem mišljenju, i od njihovih autora, verujemo i od „uticaja” škola.

Predlažem da ih pogledate, pročitate i sa njima se upoznate. Možda će i neki od njih biti Vaš „pravi izbor”.

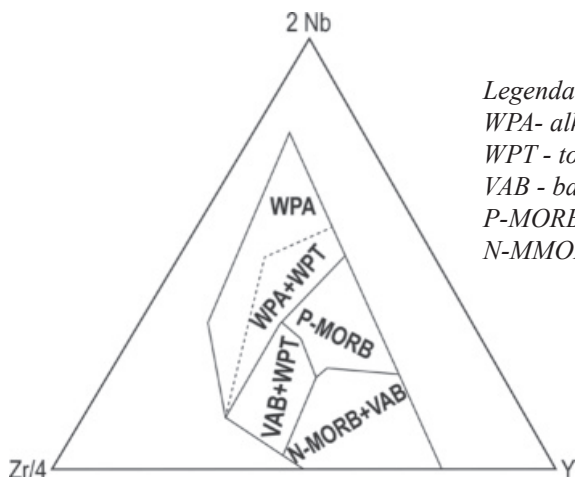
V.5.6.1 BAZALTI

Prema sadržaju i asocijaciji pojedinih **makroelemenata**, koji se retko koriste jer su „manje” osetljivi u odnosu na pojedine mikroelemente, pomenimo odnose sadržaja oksida TiO_2 - MnO - P_2O_5 . Malen (**Mullen, 1983**) izdvaja „glavne” sredine tektonskog stvaranja (slika 407) (detaljnije u poglavlju Bazalti).



Slika 407. Tektonske sredine stvaranja bazalta (**Mullen, 1983**)

Dijagram **Zr-Nb-Y** (**Meschede, 1986**) često se koristi za bazalte mezozojskih ofiolita, (slika 408). Detaljnije je to objašnjeno u poglavlju Bazalti.



Legenda:

WPA- alkalni bazalti unutar ploča

WPT - toleitski bazalti unutar ploča

VAB - bazalti vulkanskih lukova

P-MORB- plume (obogaćeni) bazalti

N-MORB - normalni MORB

Slika 408. Dijagram (**Meschede, 1986**) za bazalte stvarane u različitim tektonskim sredinama

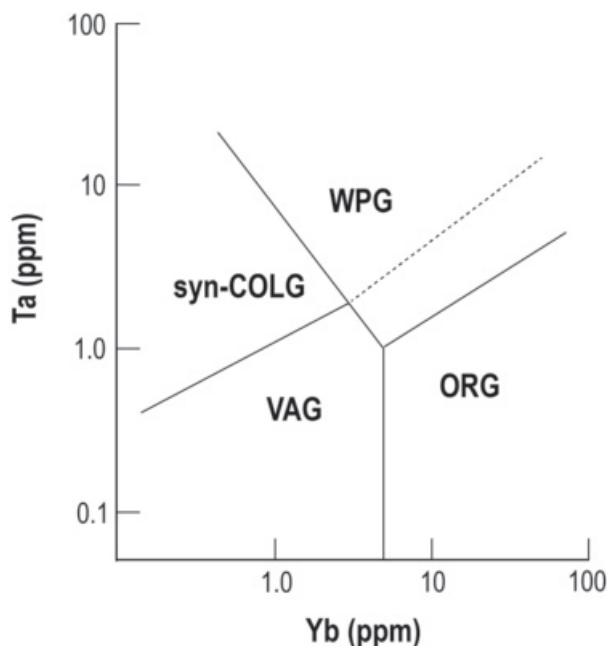
V.5.6.2 GRANITOIDI

Granitoidi su kisele magmatske stene sa više od 5% slobodnog kvarca. U ovu grupu spadaju graniti i kvarcmonconiti, granodioriti, kvarcodioriti itd.

Na osnovu velikog broja odabranih analiza granitoida Pirs i dr. (*Pearce i dr., 1984*) izdvojili su pojedine mikroelemente kao „najbolje” za određivanje tektonске sredine njihovog stvaranja. Neki od njih će biti detaljnije objašnjeni u poglavlju Granitoidi

Ta-Y dijagram

Dvokomponentni Ta-Y dijagram (*Pearce i dr., 1984*) je dijagram na kom se granitoidi dele na četiri geotektonske sredine stvaranja (slika 409). Detaljnije će o ovome biti reči u poglavlju Granitoidi. Isti autori, Pirs i dr., na osnovu međusobnog odnosa sadržaja Rb-(Y+Nb) i Y/Nb predložili su i druge dijagrame, koji će takođe detaljno biti prikazani u poglavlju Granitoidi.



Slika 409. Ta-Yb diskriminacioni dijagram za granitoide (*Pearce i dr., 1984*); VAG – graniti vulkanskih lukova, syn-COLG – sinkolizioni granitoidi, WPG – granitoidi unutar kontinentalne litosfere i ORG – granitoidi okeanskih grebena (plagiograniti)

ZAKLJUČIMO!

Opisane klasifikacije magmatskih stena neće „zadovoljiti” sve petrologe. Prikazana podela je „kompromis” većine postojećih klasifikacija, uz subjektivni „dodatak” na osnovu „ličnih” proučavanja stena. Ona ne uključuje sve, ali obuhvata oko 99% stena koje se javljaju na našoj planeti. U nekim udžbenicima ima ih više,

detaljnije, pa predlažemo da ih pročitate. Verujemo da će Vam neke od njih „pomoći” da svoje rezultate istraživanja učinite boljim, kvalitetnijim, bližim istini koju „zna” samo naša planeta. U tekstu koji sledi detaljno ćemo prikazati „sve” dubinske, žične i izlivne stene, sastava od ultrabazičnih (peridotita) do kiselih (granita), kao i „retke” alkalne stene.

U njemu su dati njihov mineralni sastav, sklop (struktura i tekstura), hemijski sastav, sadržaji i svojstva (međusobni odnosi) pojedinih makro i mikro elemenata, na osnovu kojih su neke stene dalje klasifikovane prema različitim kriterijumima, uključujući i tektonske sredine stvaranja.

U pomenutom tekstu i priložima prikazane su i vrste alteracija, asocijacija rudnih minerala i gde se javljaju, uglavnom na prostoru Srbije.

Za većinu stena date su i fotografije izdanaka, profila, uzoraka i mikrosnimaka.