

Vera Đorđević · Predrag Đorđević · Dragan Milovanović

OSNOVI PETROLOGIJE



Prof. dr Vera Đorđević
Prof. dr Predrag Đorđević
Prof. dr Dragan Milovanović

Osnovi petrologije



Beograd, 1991.

*Prof. dr Vera Đorđević
Prof. dr Predrag Đorđević
Prof. dr Dragan Milovanović*

***Osnovi petrologije
II dopunjeno i izmenjeno izdanje***

Recenzenti: Akademik prof. dr Stevan Karamata
Redovni profesor Univerziteta u Beogradu
Prof. dr Jelena Obradović
Redovni profesor Univerziteta u Beogradu

Rešenjem rektora Univerziteta u Beogradu, broj 06-862/1 od 25. juna 1975.
Osnovi petrologije odobreni su kao stalni udžbenik.

Izdavač: Izdavačko preduzeće "Nauka" Beograd,
Bulevar Revolucije 314/25

Za izdavača: Nikola Dončev, dipl. ing

Lektor: Zoran Kusovac

Tehnički urednik: Srdjan Kusovac

ISBN 86-7621-010

Naslovna strana: Vulkan Kilauea, Havaji, SAD (Hawaii, USA)

Tiraž: 1000 primeraka

Štampa: Štamparsko i izdavačko preduzeće "Bakar", Bor

Predgovor

OSNOVI PETROLOGIJE je udžbenik namenjen prvenstveno onim studentima kojima petrologija, kao geološka disciplina, nije uža struka. Pisan je za studente Rudarskog odseka i Smera za Primenjenu geofiziku koji slušaju predmet **Petrografija**, a mogu ga koristiti i studenti ostalih geoloških smerova, koji slušaju predmet Petrologija (bez mikroskopije). Otuda su se autori uglavnom držali programa nastave za navedene predmete s tim što je udžbenik prilagođen novim koncepcijama o građi Zemlje, o nastanku stena i njihovoj sistematici, pri čemu su korišćeni, pored ostalog, najsavremeniji udžbenici, monografije i priručnici.

Dva osnovna problema, neusaglašenost terminologije i nomenklature i postojanje veoma različitih principa klasifikacije magmatiskih, sedimentnih i metamorfnih stena stvaralo nam je određene teškoće. U nizu mogućih rešenja, koristeći se sugestijama dr Stevana Karamate, dr Mirka Potića, dr Jelene Obradović i dr Milorada Dimitrijevića, na čemu im se toplo zahvaljujemo, opredelili smo se za terminologiju koja je prihvaćena od najvećeg broja naših petrologa dok smo za sistematizaciju stena usvojili jednu praktičnu, za terenska najprikladniju uprošćenu šemu.

Posebnu pažnju pri pisanju ovog udžbenika obratili smo na značaj pojedinih stena kao korisnih sirovina ili kao nosilaca korisnih sirovina budući da će veći broj studenata kojima je ovaj udžbenik namenjen, raditi u privredi na problemima istraživanja ili eksploatacije rudnih ležišta.

U Beogradu, februara 1975. godine

Autori

Predgovor II izdanju,

Nagli razvoj geoloških disciplina do kojega je došlo poslednjih godina omogućio je bolje razumevanje pojedinih procesa koji se dešavaju na Zemlji. Zbog toga su postojeće teorije o njenom nastanku i razvoju delom ili čak potpuno menjane, što je rezultiralo promenom i dopunom kriterijuma za definisanje određenih grupa stena (narocito magmatskih i metamorfnih).

Autori su nastojali da najznačajnija nova naučna otkrića i tumačenja ove geološke discipline u najvećoj mogućoj meri unesu u ovo, drugo, izdanje knjige Osnovi petrologije. Namera autora bila je da time studentima približi ona saznanja koja se zasnivaju na najnovijim rezultatima istraživanja.

Beograd, septembra 1990. godine

Autori

Sadržaj

Uvod	13
Mineraloške karakteristike stena litosfere	15
1. Sklop minerala	19
1.1. Unutrašnja građa kristala	21
1.1.1. Polimorfizam i izomorfizam	21
1.1.2. Granični elementi kristala	22
1.1.3. Simetrija kristala	23
1.1.4. Kristalni sistemi	24
1.2. Fizičke osobine minerala	25
1.2.1. Boja minerala	25
1.2.2. Ogreb minerala	25
1.2.3. Sjajnost minerala	26
1.2.4. Cepljivost minerala	26
1.2.5. Prelom minerala	27
1.2.6. Tvrdina minerala	27
1.2.7. Gustina minerala	28
1.2.8. Elastičnost minerala	28
1.2.9. Toplotne osobine minerala	29
1.2.10. Magnetne osobine minerala	29
1.2.11. Električne osobine minerala	30
1.2.12. Radioaktivne osobine minerala	30
1.2.13. Fiziološke osobine minerala	30
2. Postanak minerala - minerogeneza	31
2.1. Formiranje čvrste kristalne faze	33
2.2. Formiranje koloidnih minerala	35
2.3. Paragenetske asocijacije	36
3. Sistematika minerala	37
3.1. Tektosilikati	39
3.1.1. Kvarc	39
3.1.2. Opal	39
3.1.3. Grupa feldspata	40

3.1.3.1.	Kalijski feldspati	41
3.1.3.2.	Natrijsko-kalcijski feldspati	41
3.1.4.	Grupa feldspatoida	42
3.1.4.1.	Leucit	43
3.1.4.2.	Nefelin	43
3.1.5.	Grupa zeolita	43
3.2.	Filosilikati	45
3.2.1.	Grupa liskuna	45
3.2.1.1	Muskovit	45
3.2.1.2.	Paragonit	46
3.2.1.3.	Biotit	46
3.2.2.	Grupa hlorita	46
3.2.3.	Grupa serpentina	47
3.2.3.1.	Antigorit	47
3.2.3.2.	Hrizotil	47
3.2.3.3.	Serpoſit	47
3.2.3.4.	Talk	48
3.2.4.	Minerali glinaa	48
3.2.4.1.	Kristalni predſtavnici	49
3.2.4.2.	Amorfni predſtavnici	50
3.3.	Inosilikati	51
3.3.1.	Grupa amfibola	51
3.3.1.1.	Rombiĉni amfiboli	51
3.3.1.2.	Monokliniĉni amfiboli	52
3.3.2.	Grupa piroksena	53
3.3.2.1.	Rombiĉni pirokseni	53
3.3.2.2.	Monokliniĉni pirokseni	53
3.4.	Nezosilikati	55
3.4.1.	Grupa olivina	55
3.4.2.	Grupa aluminijſkih ſilikata	56
3.4.2.1.	Disten	56
3.4.2.2.	Silimanit	56
3.4.2.3.	Andaluzit	56
3.4.3.	Grupa granata	57
3.4.4.	Epidotska grupa	57
3.4.4.1.	Epidot	57
3.4.4.2.	Cojsit	58
3.4.4.3.	Pumpelit	58
3.4.4.4.	Sfen	58
3.5.	Sorosilikati i ciklosilikati	59
3.5.1.	Beril	59
3.5.2.	Turmalin	59
3.5.3.	Lavsonit	60

3.6.	Oksidi i hidroksidi	61
3.6.1.	Led	61
3.6.2.	Oksidi i hidroksidi gvožđa	61
3.6.2.1.	Magnetit	62
3.6.2.2.	Hematit	62
3.6.2.3.	Limonit	62
3.6.3.	Oksidi titana	62
3.6.4.	Oksidi i hidroksidi aluminijuma	63
3.6.4.1.	Korund	63
3.6.4.2.	Boksitni minerali	63
3.7.	Karbonati	64
3.7.1.	Kalcit	64
3.7.2.	Aragonit	65
3.7.3.	Dolomit	65
3.7.4.	Magnezit	65
3.7.5.	Siderit	65
3.8.	Sulfati	66
3.8.1.	Anhidrit	66
3.8.2.	Gips	66
3.9.	Haloidi	67
3.9.1.	Halit	67
3.10.	Fosfati	68
3.10.1.	Apatit	68
3.11.	Sulfidi	69
3.11.1.	Pirit	69
3.12.	Elementi	70
3.12.1.	Dijamant	70
3.12.2.	Grafit	70
3.12.3.	Sumpor	70
	Petrologija litosfere	71
4.	Osnovni pojmovi o stenama	80
4.1.	Metodi ispitivanja stena	81
4.2.	Sastojci stena	82
5.	Podela stena	83
5.1.	Magmatske stene	85
5.1.1.	Magma	85
5.1.1.1.	Temperatura magme	87
5.1.1.2.	Pritisak u magmi	87
5.1.1.3.	Viskozitet rastopa	88
5.1.1.4.	Diferencijacija magme	88
5.1.1.5.	Asimilacija	91
5.1.1.6.	Uticaj dubine na tok kristalizacije magme	92
5.1.1.7.	Način pojavljivanja magmatskih tela	94

5.1.1.8.	Lučenje magmatskih stena	96
5.1.1.9.	Sklop magmatskih stena	97
5.1.1.10.	Principi klasifikacije magmatskih stena	101
5.1.1.11.	Podela magmatskih stena (po Rozenbušu)	105
5.1.2.	Grupa granita i granitoida	107
5.1.2.1.	Dubinske magmatske stene	107
5.1.2.2.	Žične magmatske stene (graniti)	109
5.1.2.3.	Izlivne magmatske stene (graniti)	111
5.1.2.4.	Žične stene (granitoidi)	114
5.1.2.5.	Izlivne stene (granitoidi)	114
5.1.3.	Grupa sijenita i trahita	116
5.1.3.1.	Dubinske stene	116
5.1.3.2.	Žične stene	117
5.1.3.3.	Izlivne stene	117
5.1.3.4.	Alkalne izlivne stene sijenitske grupe	118
5.1.4.	Grupa monconita i diorita	119
5.1.4.1.	Dubinske stene	119
5.1.4.2.	Žične stene	120
5.1.4.3.	Izlivne stene	120
5.1.5.	Grupa gabra i bazalta	122
5.1.5.1.	Dubinske stene	123
5.1.5.2.	Žične stene	124
5.1.5.3.	Izlivne stene	125
5.1.6.	Grupa alkalnih gabroida	128
5.1.7.	Grupa peridotita	129
5.1.7.1.	Žične i izlivne stene	131
5.1.8.	Grupa lamprofira	132
5.1.8.1.	Mineta	132
5.1.8.2.	Kersantit	133
5.1.8.3.	Karbonatiti	133
5.1.9.	Vulkanska stakla	134
5.1.10.	Hemijski sastav magmatskih stena	135
5.1.11.	Petrografske provincije i magmatske formacije	136
5.2.	Sedimentne ili taložne stene	138
5.2.1.	Površinsko raspadanje stena	139
5.2.2.	Fizičko raspadanje stena	140
5.2.3.	Hemijsko raspadanje stena	141
5.2.4.	Transport i sedimentacija	142
5.2.4.1.	Transport i sedimentacija rastvorenog materijala	144
5.2.5.	Dijageneza (litifikacija)	145
5.2.6.	Mineralni sastav sedimentnih stena	146
5.2.7.	Sklop sedimentnih stena	148
5.2.7.1.	Strukture sedimentnih stena	148

5.2.7.2.	Teksture sedimentnih stena	151
5.2.8.	Podela sedimentnih stena	153
5.2.8.1.	Klastične sedimentne stene	154
5.2.8.2.	Hemijske i organogene sedimentne stene	170
5.2.8.3.	Silicijske sedimentne stene (siliciti)	178
5.2.9.	Hemijski sastav sedimentnih stena	179
5.2.10.	Sedimentacione sredine	180
5.2.10.1.	Sedimentacione sredine kontinentalnog područja	180
5.2.10.2.	Sedimentacione sredine kontinentalno-marinskog područja	182
5.2.10.3.	Sedimentacione sredine marinskog područja	182
5.3.	Metamorfne stene	185
5.3.1.	Vrste metamorfizma	186
5.3.1.1.	Regionalni dinamotermalni metamorfizam	188
5.3.1.2.	Metamorfizam tonjenja	191
5.3.2.	Sklop metamorfnih stena	191
5.3.3.	Klasifikacija regionalno metamorfnih stena	195
5.3.4.	Grupa škrljaca	196
5.3.4.1.	Hloritski škrljci	196
5.3.4.2.	Aktinolitski škrljci	196
5.3.4.3.	Talkni škrljci (talkšisti)	197
5.3.4.4.	Filiti	197
5.3.4.5.	Mikašisti	198
5.3.4.6.	Gnajsevi	198
5.3.4.7.	Amfiboliti	199
5.3.5.	Masivne metamorfne stene	200
5.3.5.1.	Eklogiti	200
5.3.5.2.	Granuliti	200
5.3.5.3.	Mermeri	200
5.3.5.4.	Kvarciti	201
5.3.6.	Ultramamorfizam i migmatiti	202
5.3.7.	Dijaforeza i dijaforiti	203
5.3.8.	Kataklastični mamorfizam i kataklaziti	203
5.3.9.	Kontaktni mamorfizam i kontaktno metamorfne stene	204
5.3.9.1.	Termokontaktni mamorfizam i termokontaktne stene	205
5.3.9.2.	Kontaktno metasomatske stene	207
5.3.10.	Endokontaktni mamorfizam	208
5.3.11.	Piromamorfizam	209
5.3.12.	Automamorfizam	209
5.3.12.1.	Serpentinizacija i serpentine	209
5.3.12.2.	Automamorfizam bazičnih magmatskih stena	210
5.3.12.3.	Automamorfizam kiselih magmatskih stena	210

5.3.13. Hidrotermalni metamorfizam i okolorudne promene stena . .	211
5.3.14. Propilitizacija i propiliti	212
5.3.14.1. Okolorudni metasomatiti	213
5.3.14.2. Sekundarni kvarciti	213
5.3.14.3. Okolorudne izmene vezane za žična ležišta	214
5.3.14.4. Okolorudne izmene vezane za porfirska ležišta bakra	215
5.3.14.5. Okolorudne izmene vezane za vulkanogeno-sedimentna ležišta bakra	215

Uvod

Petrografija (grčki: πέτρα - kamen, γραφία - pisati) je nauka čiji je zadatak proučavanje stena. Ona analizira strukturne, mineraloške i hemijske karakteristike stena, način njihovog pojavljivanja i bavi se njihovom klasifikacijom. Petrografija, je u stvari, deo petrologije - nauke koja, uz već navedene probleme, razmatra i uslove postanka stena u nizu geoloških procesa koji se dešavaju u Zemljinjnoj kori i na njoj.

Zemljina kora je periferni deo Zemlje. Stene koje grade Zemljinu koru praktično su dokumenti geološke istorije. Sastav ovih stena, njihova fizička svojstva, distribucija i međusobni odnosi ukazuju na njihovo poreklo i daju podatke za interpretaciju geološke istorije oblasti u kojoj se nalaze. Budući da su stene izgrađene od minerala, u narednom poglavlju, pre prikaza petroloških karakteristika stena, daćemo, radi podsećanja na osnovne kurseve iz ranijih godina, samo kratak pregled najznačajnijih petrogenih minerala, osnovnih komponenta stena.



**Mineraloške
karakteristike stena
litosfere**

Mineralogie
historische Skizze
Lissabon

Posmatrajući bilo koju stenu Zemljine kore, čvrstu ili rastresitu, zaključićemo da se sastoji iz jednog ili više komponenata koji se nazivaju *minerali*. Broj minerala u stenama može da bude različit - stena može biti izgrađena od jedne ili više mineralnih vrsta. Broj *glavnih* ili *bitnih komponenata* za svaku stenu je količinski i materijalno strogo definisan. Postoje, međutim, i drugi komponenti koji su katkad ili čak i redovno prisutni, ali koji ne definišu ni sastav ni karakter stene. Njih nazivamo *sporednim komponentima*.

Broj mineralnih vrsta koje učestvuju u građi Zemlje ogroman je. Navodi se oko 2400 mineralnih vrsta sa oko 7000 podvrsta. Od njih bitne komponente stena predstavlja mali broj - svega oko 150. Mineralne vrste koje bitno učestvuju u građi stena nazivamo *petrogenim mineralima* i oni će biti predmet naših razmatranja.

Postoje i druge mineralne vrste koje takođe imaju izvanredan značaj a nisu petrogeni minerali. One ulaze u sastav rudnih ležišta a pritom u građi stena imaju beznačajnu ulogu ili se u njima nikada ne pojavljuju. Te mineralne vrste nazivamo *rudnim mineralima* (latinski: *minera* - ruda)

Svaka mineralna vrsta ima svoje hemijske, fizičke i morfološke karakteristike. Zadatak ovog kursa je da pruži podatke o najosnovnijim karakteristikama petrogenih minerala kako bi se omogućila laka makroskopska determinacija (determinacija golim okom) i time olakšalo određivanje stena koje ćemo proučavati u narednim poglavljima.

Minerali su tela određenog hemijskog sastava i određenih fizičkih osobina.

U najvećem broju slučajeva minerali su homogena tela. Prema hemijskom sastavu su prosta ili složena hemijska jedinjenja. Mali je broj onih mineralnih vrsta u čiji sastav ulazi samo jedan element: samorodno zlato, sumpor, samorodni bakar, dijamant, grafit i drugi, dok su jedinjenja znatno češća: kvarc - SiO_2 , ortoklas - $\text{K}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6 \text{SiO}_2$, kalcit - CaCO_3 i drugi.

Hemijski sastav minerala prikazuje se formulama koje mogu biti empirijske i konstitucione. Neki minerali u svom sastavu imaju i vodu i ona se prikazuje u hemijskoj formuli na razne načine. Voda u mineralima može biti različitog porekla. Kada govorimo o vodi u mineralima razlikujemo sledeće slučajeve:

- *mehanički uklopljena voda*, koja je obično uklopljena u mineral još u fazi njegovog stvaranja. Iz njega se može odstraniti tek zagrevanjem do vrlo visokih temperatura. Ovakva voda ne prikazuje se hemijskom formulom, jer predstavlja strano telo u mineralu;

- *higroskopna voda* (vlaga ili kapilarna voda) je ona voda koju mineral apsorbuje iz vazduha. Iz minerala se može lako odstraniti zagrevanjem na oko 100°C i takođe ne ulazi u hemijsku formulu minerala. Njena količina nije stalna pa čak postoji izvestan

afinitet pojedinih mineralnih vrsta prema apsorpciji vode iz vazduha dok druge mineralne vrste taj afinitet ili nemaju ili je sveden na minimalne vrednosti. Količina higroskopne vode u jednom istom mineralu zavisna je od veličine čestica minerala: sa smanjenjem njihove veličine količina higroskopne vode raste. Vezana je isključivo za površine čestica. Primer minerala sa dosta higroskopne vode su minerali glina, kuhinjska so i dr;

- *kristalna voda* u mineralima vezuje se u vreme kristalizacije odnosno formiranja minerala. Njena količina u mineralnim vrstama strogo je definisana: mineral gips, na primer, ima dva molekula kristalne vode te njegova formula glasi: $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Zagrevanjem do određenih temperatura ova voda se može odstraniti iz minerala, ali on pri tome menja i fizička svojstva - najčešće se raspada. Izgubljenu vodu mineral može katkad ponovo da primi. Pritom treba napomenuti da je kristalna voda u rešetki minerala raspoređena pravilno ali da nije čvrsto vezana;

- *koloidna voda*, javlja se kod hidrogela u kojima se na površini čestica drži veoma slabim vezama koje se lako odstranjuju već isušivanjem. Količina ove vode, za razliku od kristalne, nije strogo definisana za određenu mineralnu vrstu i stoga se u formi minerala označava kao $n \times \text{H}_2\text{O}$, kao npr. kod minerala opala čija hemijska formula glasi: $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$;

- *konstituciona voda* je deo strukture minerala. Hidro jedinjenja koja sadrže ovakvu vodu zapravo je imaju u kristalnoj rešetki kao vrlo čvrsto vezanu hidroksidnu grupu (OH). Ovakva voda ne može se odstraniti jer se njenim odstranjivanjem ruši kristalna rešetka. Jednom odstranjena konstituciona voda ne može se primiti nazad. Postoje mineralne vrste koje imaju i kristalnu i konstitucionu vodu. Primer za ovakav slučaj je mineral serpentini - magnezijski silikat sa 4 molekula kristalne vode;

- *zeolitska voda*, nazvana je tako po mineralima zeolitima u kojima se javlja. Ima veoma specifičan način pojavljivanja u rešetki minerala. Nije ravnomerno raspoređena već zauzima prsline i kanale u strukturi. Lako se odstranjuje iz minerala (u vrlo širokom temperaturnom intervalu od $80-400^\circ\text{C}$), pri čemu se jedan deo može vratiti bez razaranja kristalne rešetke. Deo zeolitske vode takode može biti zamenjen drugim gasovitim materijama kao što su amonijak, ugljovodonik i dr.

1. Sklop minerala

Minerali se u prirodi javljaju na dva načina: 1) kao tela pravilnih oblika koji je posledica isto tako pravilne unutrašnje strukture i koje nazivamo *kristalnim* (grčki: *κρυσταλλος* - sličan ledu), i: 2) kao *amorfni* (grčki: *α-μορφος* - bezobličan) čiji je oblik nepravilan, što proističe iz njihove nepravilne unutrašnje građe.

Kristali ili kristalizovani minerali imaju, dakle, pravilnu unutrašnju građu, odnosno sasvim pravilan raspored atoma, jona, odnosno molekula u kristalnoj rešetki, što se odražava na njihovu morfologiju. Normalno razvijeni kristalizovani minerali poseduju pravilne poliedarske kristalne oblike i takve individue zovemo pravilnim kristalima, monokristalima ili prosto kristalima. Idealni kristali razvijaju se iz rastopa, ili rastvora u slučajevima kada ima dovoljno prostora za njihov razvoj i kada kristalizacija vremenski nije ubrzana. Često se stvara nekoliko kristala u grupama i tada ih nazivamo *kristalnim družama* ili *kristalnim agregatima*. Međutim, u prirodi je mnogo češći slučaj da minerali kristališu pod nepovoljnim uslovima, pod čim se podrazumeva nedostatak prostora ili vremena ili oba faktora zajedno. U tom slučaju i pored pravilne unutrašnje građe biće formirani agregati nepravilnog ili delimično pravilnog oblika zrna.

Kristali i kristalni agregati mogu biti različite krupnoće i morfologije. Ukoliko su krupni, nazivamo ih makrokristalima ili fanerokristalima (grčki: *φανερως* - vidljiv, očigledan), a ako se golim okom ne mogu razlikovati pojedinačno onda su kriptokristali (grčki *κρυπτως* - skriven) koji se mogu raspoznati samo mikroskopski.

Minerali se mogu javiti kao zrnasti i izometrični listasti, ljuspasti, vlaknasti, igličasti, prizmatični, zemljasti, praškasti i drugi agregati.

Minerali pokazuju *izotropna ili anizotropna fizička svojstva*. Prvi slučaj je kod minerala mnogo ređi. *Kod izotropnih minerala su fizičke osobine u jednoj individui u svim pravcima podjednake dok je za anizotropne karakteristično da im se fizička svojstva menjaju u raznim pravcima različito a u paralelnim podjednako*. Znači, svojstva im zavise od smera, odnosno svojstva su im vektorijska. To praktično znači da se, na primer, svetlost prolazeći kroz mineral u paralelnim pravcima prostire istom a u različitim pravcima različitom brzinom. Stoga minerali i imaju pravilne

poliedarske kristalne oblike. Izotropni minerali kod kojih je rast u svim pravcima podjednak trebalo bi da imaju oblik kugle. Kod kristalizovanih minerala izotropnost praktično ne postoji u svim pravcima, te su jedino amorfni minerali zaista izotropni.

Amorfni minerali nemaju pravilnu unutrašnju građu, izotropni su, što znači da u svim pravcima imaju ista svojstva i zbog toga se javljaju u kuglastim, bubrežastim i sličnim agregatima.

Amorfno stanje, međutim, predstavlja nestabilno stanje te najveći broj minerala tokom geološke istorije rekristališe, odnosno iz koloidnog prelazi u kristalno stanje. Tipičan primer za ovakvu pojavu je mineral opal ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) koji tokom vremena gubi vodu i rekristališe u mineral kvarc (SiO_2).

Koloidni amorfni minerali su veoma česti sastojci kore raspadanja i zemljišta.

1.1. Unutrašnja građa kristala

Već smo napomenuli da je unutrašnja građa svakog kristala pravilna - nezavisno od stepena pravilnosti spoljnjih formi. Svaki kristal izgrađen je od pojedinačnih, međusobno razdvojenih delića materije (atoma, jona ili molekula), ali koji u svome razmeštaju pokazuju pravilnost čija je posledica anizotropnost i pravilne kristalne forme.

Karakteristično je da su čestice materije od kojih su kristali izgrađeni u istim pravcima raspoređene tako da se nalaze uvek na podjednakim rastojanjima koja nazivamo tačkastim nizovima. U ovim tačkastim nizovima različiti atomi ili joni ponavljaju se uvek u jednakim razmacima. Ako takve tačkaste nizove postavimo u jednu ravan, na jednakim odstojanjima obrazuje se mrežasta ravan. Proizvoljan broj paralelnih mrežastih ravni u prostoru i na jednakim rastojanjima obrazovaće prostornu rešetku koja predstavlja beskonačan trodimenzionalni sistem pravilno razmaknutih tačaka.

U kristalnoj rešetki u mestima tačaka su atomi, joni ili molekuli i oni predstavljaju čvorove rešetke. Svaka prostorna rešetka može se razložiti na podudarne, morfološki identične, i sa tri para paralelnih ravni ograničene elementarne ćelije. Opšte karakteristike elementarne ćelije su i opšte karakteristike kristalne rešetke u celini. U skladu sa sklopom kristalne materije ove elementarne ćelije imaju pravilne poliedarske oblike (kocka, oktaedar i dr.).

1.1.1. Polimorfizam i izomorfizam

Koliko raspored čestica u kristalnoj rešetki ima odraza na fizičke osobine minerala najbolje ilustruje pojava polimorfizma. **Polimorfizam** (grčki: *πολι* - više, *μορφοσ* - oblik) je osobina da se jedna materija javlja u više morfološki različitih vrsta. Najčešće je posledica različitih uslova kristalizacije. Tako se SiO_2 može javiti u nekoliko modifikacija od kojih svaka ima specifične morfološke i fizičke karakteristike. Najmarkantniji je, međutim, primer ugljenika. Atomi ovog elementa mogu biti poslani tako da im elementarna ćelija bude šestostrana prizma ili oktaedar. U prvom slučaju stvara se mineral grafit a u drugom dijamant. Različit oblik kristalne rešetke uzrokuje kod ova dva minerala izvanredno velike razlike u fizičkim osobinama i

oblicima. Grafit je mek, crne boje, praškast je i neprovidan. Dijamant je proziran, najčešće bezbojan ili različito obojen, veoma tvrd i ima izvanrednu sjajnost.

Suprotno polimorfizmu **izomorfizam** (grčki: *ισος* - isti, *μορφοσ* - oblik) je osobina da supstance hemijski različite ili analognog hemijskog sastava mogu stvarati iste kristalne forme pa čak i graditi kristale mešance.

Prema Goldšmitu dve supstance mogu biti izomorfne u slučaju kada imaju analogne hemijske formule i sastoje se od atoma ili jona bliskih veličina.

Iz izomorfizma proizilazi da dve supstance različitog hemijskog sastava mogu imati iste ili slične morfološke i fizičke karakteristike. Osim toga, u svetu minerala kao posledica izomorfizma javljaju se i izomorfne smeše.

Izomorfni minerali pokazuju osobinu da se međusobno mogu mešati u neograničenim količinama tako da obrazuju mešovite kristale. Najkarakterističniji primer za ovu pojavu predstavljaju svakako široko rasprostranjeni petrogeni minerali, plagioklasi, koji su izomorfne smeše natrijumovog aluminosilikata i kalcijumovog aluminosilikata ($\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$ i $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$). Međutim, za stvaranje kristala mešanaca potrebno je da izomorfni minerali imaju ne samo isti tip kristalne rešetke, već i da im se atomski ili jonski radijusi međusobno mnogo ne razlikuju. Joni sličnih radijusa mogu se međusobno zamenjivati u najširim granicama. U slučaju plagioklasa natrijumovi i kalcijumovi joni imaju približno iste jonske radijuse, te se međusobno zamenjuju u svim količinama. Kod kristala mešanaca i najmanji delovi imaju ista hemijska i fizička svojstva.

Kod izomornih smeša zamena može biti:

- potpuna, kada jedan element može biti zamenjen i do 100% (takav je slučaj kod plagioklasa), i
- delimična, kada je zamena izvršena samo u delovima (samo nekoliko procenata jednog ili više elemenata može biti zamenjeno drugim).

Izomorfizam je veoma značajna pojava jer zakoni izomorfne supstitucije omogućuju da se predvidi koji se elementi mogu naći u mineralima čiji je sastav delimično poznat.

Karakteristično je da je izomorfizam mnogo češći kod minerala koji se stvaraju na visokim temperaturama. Veoma često se dešava da se izomorfne smeše nastale pri visokim temperaturama kasnije razlažu na pojedine komponente (ovo je naročito čest slučaj kod parcijalne - delimične zamene).

1.1.2. Granični elementi kristala

Kao što je već rečeno, minerali se javljaju u čvrstom kristalnom stanju; ako su svi uslovi za normalnu kristalizaciju ispunjeni pokazuju pravilne kristalne oblike. Kao posledica pravilnosti unutrašnje grade na kristalu se javljaju simetrično raspoređeni granični elementi: *pljosni, ivice i rogjevi*.

Pljosni su ravne površine kojima su kristali ograničeni sa svih strana.

Ivice predstavljaju granične pravolinijske elemente koji nastaju na dodirima dveju pljosni.

Rogljevi su granični elementi kristala koji se formiraju na dodirima triju ivica ili najmanje tri granične pljosni.

Pljosni mogu biti različitog oblika, trougaone, kvadratne, pravougaone, mnogougaone, oblika romba i dr. Ivice se obično razlikuju po dužini i mogu, u zavisnosti od položaja pljosni, biti oštre i tupe. Rogljevi na kristalima mogu biti trostrani, četvorostrani i dr.

Kristali se mogu javljati u prostim oblicima, kada su ograničeni samo jednom vrstom pljosni i u složenim, kada su im pljosni različitih oblika. Primer prostog oblika je kocka ili oktaedar.

1.1.3. Simetrija kristala

Pravilno razvijeni kristalni oblici pokazuju izraženu simetriju. Ova simetrija se manifestuje sledećim elementima: *ravnima simetrije, osama simetrije i centrom simetrije*.

Ravan simetrije deli kristal na dva jednaka dela koji se jedan prema drugome odnose kao predmet i lik u ogledalu. Broj ravni simetrije na kristalima može biti različit.

Osa simetrije u kristalu je svaka osa oko koje obrtanjem kroz 360° nekoliko puta dovodimo kristal u isti položaj. Stepennose simetrije ukazuje da li se ponavljanje istih oblika vrši obrtanjem za 180° (osa drugog stepena ili binarna osa), za 120° (osa simetrije trećeg stepena), za 90° (osa simetrije četvrtog stepena) za 60° (osa simetrije šestog stepena).

Centar simetrije predstavlja tačku u kristalu oko koje su granični elementi raspoređeni tako da identični parovi pljosni, ivica i rogjeva leže na pravim linijama koje prolaze kroz tu tačku.

Kristali imaju različit stepen simetrije koji je definisan brojem elemenata simetrije. Ipak, broj elemenata simetrije ne može biti neograničen, te se kristali prema stepenu simetrije svrstavaju u 32 simetrijske klase. Kristalne forme koje pripadaju istoj klasi imaju isti broj elemenata simetrije. Svaka klasa sadrži sedam mogućih oblika kristala istog stepena simetrije koji se analitički svode na sedam koordinatnih sistema. Na taj način svi simetrijski oblici mogu se svesti na sedam kristalnih sistema a ose koordinatnih sistema na koje se ove klase svode nazivamo kristalografskim osama.

1.1.4. Kristalni sistemi

Kao što je prethodno rečeno postoji sedam kristalnih sistema:

- **teseralni ili kubični sistem** odlikuje se najvišim stepenom simetrije. Ima tri jednake i međusobno upravne kristalografske ose. Osnovni oblici ovog sistema su kocka, oktaedar i tetraedar. Minerali ovog sistema su praktično izotropni;

- **tetragonalni sistem** ima tri međusobno upravne kristalografske ose od kojih su dve horizontalne jednake dužine dok je treća, vertikalna osa, duža ili kraća. Od karakterističnih oblika treba pomenuti tetragonalnu prizmu, tetragonalnu bipiramidu i dr;

- **heksagonalni sistem** ima četiri kristalografske ose: tri ose su jednake dužine i njihovi kraci međusobno zaklapaju ugao od 60° dok je četvrta osa, upravna na njih, kraća ili duža. Kristali su anizotropni. Najvažniji kristalni oblici su heksagonalna prizma, heksagonalna bipiramida i drugi;

- **trigonalno-romboedarski sistem** ima isti osni krst i raspored osa kao heksagonalni sistem, ali je stepen simetrije monokliničnog sistema niži nego kod heksagonalnog. Najvažniji oblik je romboedar;

- **rombični sistem** ima tri kristalografske ose nejednake po dužini ali međusobno upravne. Najvažniji oblici su rombična prizma i rombična bipiramida;

- **monoklinični sistem** ima tri nejednake kristalografske ose, dve su međusobno upravne, a treća je u odnosu na njih kosa (grčki: *μονο* - jedan, *κλίνωσ* - nagib). Ovo se reflektuje veoma niskim stepenom simetrije ovog kristalnog sistema. On, naime, ima samo jednu ravan simetrije i centar simetrije. Najvažniji oblici su monoklinična prizma i monoklinična bipiramida;

- **triklinični sistem** ima takođe tri nejednake kristalografske ose ali su one koso položene jedna prema drugoj. Stepenn simetrije je veoma nizak - kristalni oblici ovog sistema imaju samo centar simetrije.

Retko kada se, međutim, kristali javljaju u prostim oblicima; obično se nekoliko oblika kombinuje među sobom, tako da na jednom kristalu otkrivamo više oblika koji pripadaju jednom sistemu.

Kristali se mogu javiti i u vidu *blizanaca*. Ova pojava nastaje ako *dva kristala iste forme srastu ili prorastu međusobno*. Ovo srastanje ili prorastanje može biti jednostruko ili višestruko tako da se obrazuju polisintetički blizanci. Blizanci mogu graditi različite oblike, kolenaste, oblik lastinog repa, ukrštene i dr.

1.2. Fizičke osobine minerala

Konstante po kojima određujemo pojedine mineralne vrste su brojne: među najvažnije, osobito za makroskopsku determinaciju minerala, spadaju fizičke osobine. One su za svaku mineralnu vrstu stalne te ćemo im posvetiti posebnu pažnju.

1.2.1. Boja minerala

Ova fizička karakteristika svakako proizilazi iz *ponašanja minerala u odnosu na svetlost*. Neki minerali svetlost propuštaju, drugi je odbijaju, treći apsorbuju itd. Minerali se javljaju u boji talasne dužine onog dela spektra koji nije apsorbovan. Minerali koji propuštaju svetlost apsorbujući samo jedan mali deo nazivaju se providni minerali, a oni koji odbijaju svetlost neprovidni ili metalični minerali. Boja, međutim, nije stalna i postojana osobina minerala. Vrlo je mali broj mineralnih vrsta stalne boje koja potiče od boje materije od koje je mineral izgrađen. Takvu boju zovemo idiohromatska boja (grčki: *ιδιος* - sopstven, *χρωμα* - boja) i ona je uglavnom postojana. Mnogo veći broj minerala ima alohromatsku boju koja potiče od sitnih mehaničkih primesa ili inkluzija u kristalu. Strana materija zove se pigment i može biti u jednoj mineralnoj vrsti količinski različit. Na primer kvarc, koji je tipski bezbojni mineral, može biti alohromatski obojen žuto (citrin), ljubičasto (ametist), mrko (čadavac), itd.

Postoje i boje koje su posledica preobražaja minerala usled površinskog raspada ili hemijskih reakcija na površinama kristala - pseudohromatske boje.

1.2.2. Ogreb minerala

Ova osobina često se naziva i boja praha jer ovu boju mineral ima kada ga *mehanički zdrobimo (sprášimo)*. Ogreb je značajno fizičko svojstvo koje može poslužiti za razlikovanje kod nekih minerala koji su isto obojeni ali im je boja praha

različita. Hematit, oksid gvožđa, može biti alohromatski vrlo različito obojen ali mu je ogreb uvek crven (njegova prava idiohromatska boja). *Ogreb se ispituje kada se mineral zagrebe nožem ili se pak mineralom para po hrapavoj porcelanskoj pločici.*

1.2.3. Sjajnost minerala

Ova osobina je posledica *sposobnosti minerala da jače ili slabije odbijaju svetlost*. Sjajnost minerala je različita:

- **metaličnu sjajnost** imaju minerali koji jako odbijaju svetlost. Takvi su minerali pirit (sulfid gvožđa), galenit (sulfid olova) i dr.

Kod providnih minerala sjajnost može biti:

- **dijamantska**, koja je karakteristična za minerale sa velikim indeksom prelamanja svetlosti. Ovo je za providne minerale maksimalna sjajnost;
- **staklasta**, kod providnih minerala sa srednjim indeksom prelamanja;
- **masna** sjajnost, koju poseduju necepljivi minerali na neravnim površinama preloma;
- **sedefasta** sjajnost, koju imaju lističasti minerali i
- **svilasta** sjajnost, koju imaju vlaknasti minerali.

Sjajnost je značajna fizička osobina jer se kod nekih minerala manifestuje i kod vrlo malih dimenzija zrna, te može dobro poslužiti makroskopskoj determinaciji stena.

1.2.4. Cepljivost minerala

Ova osobina minerala najlakše se manifestuje kada neki kristal izložimo udaru ili pritisku. On će se tom prilikom razdeliti u manje komade po ravnim površinama koje se nazivaju ravni cepljivosti, te ovu prirodnu deljivost mineralnih vrsta i nazivamo cepljivošću. *Cepljivost je osobina koja ukazuje na postojanje pravaca u mineralu po kojima je koezija između molekula slabija.* Za svaku mineralnu vrstu ravni cepljivosti su određene - konstantne površine. Pošto je cepljivost uvek paralelna postojećim ili mogućim pljosnima na kristalu, ona se i naziva po tim pljosnima - oktaedarska cepljivost, prizmatska cepljivost i sl. Mineral se može cepati i po više ravni - tada kažemo da ima dve ili više cepljivosti.

Jedna od najvažnijih karakteristika minerala je i intenzitet cepljivosti, koji može biti vrlo raznolik i u okviru jedne mineralne vrste. U tom pogledu za detaljnu determinaciju postoji čak i skala cepljivosti koja ide od vrlo savršene, preko savršene, jasne, nesavršene do nejasne. Osim što može pokazivati nekoliko pravaca cepljivosti

u okviru jednog kristala, mineral može pokazivati različit stepen cepljivosti u raznim pravcima (što je uostalom redovna pojava).

Minerali grupe liskuna imaju savršenu cepljivost, mineral kalcit ima tri pravca cepljivosti dok je kvarc mineral kod kojeg cepljivost nije izražena.

1.2.5. Prelom minerala

Osim cepljivosti, minerali katkad pokazuju još jednu deljivost koja se ne vrši po ravnim površinama - prelom minerala. Ova osobina je vrlo dobro izražena baš kod minerala koji imaju slabo izraženu cepljivost ili je uopšte nemaju. Prelom može biti različit: *ravan, neravan, školjkast, iverast, zemljast, itd.* i karakterističan je za mineralne vrste a katkad je i vrlo značajan za determinaciju.

Potrebno je napomenuti da prelom imaju i amorfni minerali. Takvi minerali, koji inače nemaju cepljivost, lome se najčešće školjkasto ili neravno.

1.2.6. Tvrđina minerala

Tvrđina minerala predstavlja otpor prema paranju. Ova osobina je različita kod raznih minerala. Neke možemo zaparati noktom dok se drugi ne mogu parati ni nožem.

Tvrđina može na jednom istom mineralu biti različita u raznim pravcima, što je naročito karakteristično kod anizotropnih minerala. Kod izotropnih i amorfni ova osobina je u svim pravcima ista.

Stepen tvrđine minerala može se meriti. Postoji prirodna skala tvrđine minerala koju je predložio naučnik Mos i koja se po njemu naziva *Mosova skala tvrđine*. Po toj skali minerali prema kojima se određuje stepen tvrđine su sledeći:

mineral	tvrđina	mineral	tvrđina
talk	1	ortoklas	6
gips	2	kvarc	7
kalcit	3	topaz	8
fluorit	4	korund	9
apatit	5	dijamant	10

Za određivanje tvrđine nepoznatog minerala treba njegovu tvrđinu uporediti sa tvrđinom minerala iz *Mosove skale*. Međutim, kako pri terenskoj determinaciji minerala nemamo uvek pri ruci minerale Mosove skale, to praktično determinaciju možemo izvršiti na sledeći način:

- minerali tvrđine 1 i 2 paraju se noktom;
- minerali tvrđine 3, 4 i 5 paraju se nožem;
- minerali tvrđine 6 i 7 paraju staklo;
- minerali tvrđine 8, 9 i 10 seku staklo.

Pri ovoj determinaciji treba takođe znati da se:

- minerali iste tvrđine međusobno ne paraju, i
- da mekši minerali ostavljaju ogreb na mineralima veće tvrđine.

Precizna merenja tvrđine obavljaju se instrumentima. Pritom je utvrđeno da kristalni agregati imaju nešto manju tvrđinu od kristalnih individua.

Tvrđina ima uticaj na raspadanje minerala. Obično minerali veće tvrđine imaju veću otpornost prema uzročnicima raspadanja. Nije, međutim, uvek tako. Dešava se da se minerali različitog sastava a iste tvrđine vrlo različito raspadaju.

1.2.7. Gustina minerala

Gustina minerala, kao i gustina materije uopšte, je *gustina jedinice zapremine*. Ova gustina zavisi od unutrašnje strukture minerala. Određuje se različitim metodima (piknometar, aerometar, itd.). Gustina minerala kreće se obično od 2,5 - 3,5 mada ima i znatno gušćih minerala.

Određivanje gustine vrši se i pomoću raznih tečnosti poznate gustine. Ako mineral u tečnosti potone, gustina mu je veća od gustine tečnosti, ako lebdi, gustina mu je ista ili približno ista, a ako pliva ima manju gustinu.

1.2.8. Elastičnost minerala

Osobina minerala da trpi plastične deformacije i da se po prestanku rada stle koje su deformaciju izazvale vraća u prvobitno stanje naziva se elastičnost. Elastičnost se ispoljava kao promena oblika do izvesne granice koja se zove granica elastičnosti, posle čega nastupa kidanje minerala. Postoje minerali koji su jako elastični, drugi trpe samo delimično elastične deformacije a postoje i neelastični minerali. Elastičnost, kao i cepljivost, zavisi od unutrašnje strukture minerala. Kod kristalnih minerala elastičnost je različita u raznim pravcima a u kristalografski identičnim je ista; kod amorfni minerala jednaka je u svim pravcima. Postoje minerali sa jako izraženom

elastičnošću; nasuprot njima su minerali sa niskim stepenom elastičnosti za koje kažemo da su kruti ili neelastični. Treća grupa obuhvata minerale koji pri savijanju ostaju trajno deformisani - za njih kažemo da su savitljivi ili neelastični. Primer elastičnih minerala su liskuni, krutih kvarc, a savitljivih hloriti ili talk.

1.2.9. Toplotne osobine minerala

Kada toplota deluje na mineral njeno prostiranje je opet uslovljeno unutrašnjom građom. Toplotna provodljivost (od koje zavisi skupljanje i širenje minerala) kod teseralnih i amornih minerala podjednaka je u svim pravcima dok su ostali kristalni minerali u pogledu toplotne provodljivosti anizotropni.

Ima minerala koji apsorbovanu toplotu zadržavaju i zagrevaju se, kao što je slučaj sa metalničnim mineralima, dok drugi toplotu propuštaju, kao što je, na primer, slučaj kod halita (kuhinjska so).

Prenošenje toplote, istezanje minerala usled transfera toplote kroz mineral i naknadno skupljanje od izvanrednog su značaja kao početna faza mehaničkog raspadanja stenskih masa.

Količina toplote koja je potrebna da se jedan mineral zagreje za jedan stepen Celzijusa zove se masena toplota minerala. Zagrevanjem do izvesne, obično tačno definisane, temperature mineral prelazi u tečno stanje. Ova tačka preobražaja zove se tačka topljenja minerala. Minerali pri topljenju apsorbuju toplotu sve do trenutka dok im i poslednja čestica ne pređe u tečno stanje. Utrošena količina toplote naziva se latentna toplota topljenja. Tečan rastop počinje dalje da se zagreva tek posle nestanka čvrste faze. Prilikom obrnutog procesa - hlađenja rastopa i kristalizacije, mineral će do potpunog prelaska u čvrsto stanje emitovati svu ovu količinu toplote - koja se naziva latentna toplota kristalizacije, i tek onda će početi da se dalje hladi.

Kod amornih minerala ne postoji određena tačka topljenja već oni preko faze omekšavanja prelaze postupno u tečno stanje. Kod izomornih smeša, tačka topljenja minerala zavisi od procentualnog učešća pojedinih komponenata u smeši.

1.2.10. Magnetne osobine minerala

Magnetizam je u mineralima veoma varijabilna osobina. Mali je broj minerala koje privlači magnet; za takve kažemo da su magnetični (paramagnetični). Druge, koje magnet ne privlači, zovemo dijamagnetičnim. Ova osobina minerala koristi se za elektromagnetnu separaciju izvesnih minerala iz peska, zemljišta ili zdrobljenih koncentrata.

1.2.11. Električne osobine minerala

Minerali su katkad dobri provodnici elektriciteta, ali ima i takvih koji elektricitet ne provode nego čak služe kao izvrsni izolatori. Neki minerali ispoljavaju električne osobine prilikom zagrevanja (pirelektricitet ili pojava razlike u naponu između različitih delova kristala). Kod drugih se ova osobina otkriva pri trenju ili usled pritiska (piezoelektricitet). Ova osobina takode se može koristiti pri separaciji minerala a minerali koji su loši provodnici toplote i elektriciteta koriste se kao izolatori.

1.2.12. Radioaktivne osobine minerala

Radioaktivnost je kod minerala *posledica prisustva radioaktivnih elemenata u rešetki kristala*. Radioaktivni minerali sadrže uran i torijum koji se, kao što je poznato, vremenom raspadaju pri čemu emituju radioaktivne zrake. Količina produkata raspadanja vremenom se povećava i stoga, poznajući brzinu raspadanja određenih radioaktivnih minerala i koristeći preostatak raspadnutog minerala, može se izračunati starost radioaktivnog minerala, odnosno starost stene u kojoj se ovaj mineral nalazi. Ovaj metod koristi se u *geobronologiji*, geološkoj disciplini koja se bavi određivanjem geološke starosti stenskih kompleksa.

1.2.13. Fiziološke osobine minerala

U fiziološke osobine minerala, koje zapažamo neposredno čulima, spadaju *ukus, miris i opip*. Ove osobine veoma su karakteristične za neke mineralne vrste.

Ukus je kod izvesnih minerala veoma karakterističan i ovom se osobinom odlikuju uglavnom lako rastvorljivi minerali. Izrazito slan ukus ima mineral halit (NaCl) dok neki imaju gorkoslan (silvin) i dr.

Miris kao karakterističnu osobinu pokazuju neki minerali koji sadrže organske materije (sa bitumenom), drugi odaju miris na sumpor (neki sulfidi, naročito pri udaru). Specifičan miris emituju gline, a to dolazi od gotovo redovnog prisustva amonijačnih jedinjenja u njima. Minerali arsena, na primer, emituju miris na beli luk.

Opip je kod nekih minerala veoma karakterističan: talk, azbest i dr. pokazuju mastan opip, oni koji su dobri provodnici toplote imaju hladan opip i dr.

2. Postanak minerala - minerogeneza

Prvi minerali na Zemlji nastali su kada je stvarana prva čvrsta Zemljina kora. Oni su, dakle, nastali kao produkt očvršćavanja tečnog usijanog rastopa - magme, te ih nazivamo *magmatskim mineralima*. Magmatski ili pirogeni minerali, međutim, stvaraju se i danas a stvarali su se i u toku cele geološke istorije Zemlje svuda gde je vršeno očvršćavanje magmatskih masa. Primeri magmatskih minerala su kvarc, feldspati, liskuni i dr.

Ako je magma bogata gasovitim komponentima, oni reaguju sa samom magmom ili sa okolnim stenama pri čemu se stvaraju minerali koje nazivamo *pneumatolitskim*. Ovi minerali često zbog prisustva velike količine vode u rastopu kristališu u krupnim pravilnim formama. Tipiski pneumatolitski minerali su turmalin, topaz, beril i dr.

Kada se gasoviti komponenti magme kondenzuju na sniženim temperaturama u pukotinama i šupljinama iz ovih toplih rastvora izlučuju se *hidrotermalni* minerali. Ova genetska grupacija minerala veoma je značajna jer se najveći deo rudnih minerala izlučuje u hidrotermalnoj fazi.

Veoma značajno područje stvaranja minerala predstavlja površina Zemlje, kako kopnena tako i vodena. Na kopnu se pod uticajem atmosferilija vrše trajni procesi raspadanja stena i obrazovanja kore raspadanja, pri čemu se uz razlaganje jednih obrazuju drugi minerali. Sa druge strane, u vodenoj sredini vrši se stalno odlaganje mineralnih komponenata iz prezasićenih rastvora ili posredstvom živih organizama. Minerali koji nastaju direktnim obaranjem iz hladnih rastvora nazivaju se *hidatogeni* minerali dok se oni koji nastaju posredstvom organizama nazivaju *organogeni* ili *biogeni*.

Povećanjem pritiska i temperature minerali trpe promene jačeg ili slabijeg inteziteta. Promene mogu biti morfološke, strukturne ili hemijske prirode, pri čemu

se često formiraju i potpuno novi minerali specifični za nove uslove nastanka. Takve minerale nazivamo metamorfnim mineralima. Pri njihovom nastajanju značajnu ulogu uvek imaju voda ili CO_2 koji potpomažu mineralizacione procese. U metamorfnim procesima minerali se stvaraju na dva načina: pri dejstvu usijane magme na okolne stene (kontaktno metamorfni minerali) i pri velikim tektonskim pokretima u unutrašnjosti Zemljine kore (dinamotermalni minerali).

2.1. Formiranje čvrste kristalne faze

Čvrsta kristalna faza može se formirati iz rastopa ili rastvora na sledeće načine:

- *direktnom kristalizacijom iz rastopa ili rastvora;*
- *prekristalizacijom koloida i*
- *sublimacijom.*

Do direktne kristalizacije dolazi kada u rastopu ili rastvoru nastupi preza-
sićenost. Uzroci direktne kristalizacije takođe mogu biti i pad temperature ili pritiska,
pri čemu dolazi do izdvajanja pojedinih komponenata.

Kristali ili kristalni agregati u kristalizacionoj sredini počinju rast stvaranjem
zametka. Kristalizacija će se odvijati normalno ako budu ispunjeni osnovni uslovi:
dovoljno prostora za normalan rast, dovoljno dug vremenski period i stalna preza-
sićenost rastvora. U prvom, početnom, stadijumu kristalizacije kristalni zamci ili
embrioni nemaju još formirane kristalne oblike i zato ih nazivamo zajedničkim imenom
kristaliti. Takve zametke ili kristaliće srećemo često u naglo očvrslim vulkanskim
stenama gde za razvoj kristalnih oblika, usled naglog hlađenja, nije bilo dovoljno
vremena. Oko kristalnog zametka u zasićenom rastvoru stvara se polje nezasićenog
rastvora koje uslovljava difuziju rastvora u pravcu zametka radi uspostavljanja homo-
geniteta odnosno ravnoteže. Tako se kristalu omogućava postepen, kontinuiran rast.
Kako se pri kristalizaciji stalno oslobađa izvesna količina toplote, kristalizaciono polje
konstantno je toplije od ostalih područja rastopa, te i to doprinosi povećanju stepena
difuzije prema zametku.

Kao što je napomenuto u odeljku o morfologiji i unutrašnjoj strukturi minerala,
kristal, usled pravilne unutrašnje građe čija je posledica anizotropija, raste različito u
raznim a isto u paralelnim pravcima, tako da se dobija telo ograničeno ravnim
površinama upravnim na pravac sporijeg rasta, sa rogljevima i ivicama upravnim na
pravac bržeg rasta. Kada bi rast kristala bio jednak u svim pravcima krajnji oblik bila
bi kugla a ne poliedar.

Ako se rast odvija u povoljnim uslovima, tj. ako kristal stalno lebdi u rastvoru
stvara se idealan kristal. Za ovakav kristal kažemo da je *idtomorfan* ili *automorfan*
(grčki: *ιδιος* - sopstven, *μορφοσ* - oblik). Ako za vreme kristalizacije rast nije ravnomeran
u svim pravcima usled neravnomernog priticanja materije ili drugih uzroka, neke će
se pljosni razviti brže, neke sporije, te se pri tom dobijaju zrna deformisanih oblika
koje nazivamo razvučenim kristalima. Ako je pritom kristal u rastu prostorno ometan

od drugih kristala, što je u prirodi veoma čest slučaj, dobićemo, i pored pravilne unutrašnje građe nepravilne oblike, i tada kažemo da je mineral *alotriomorfan* (grčki: αλλοτριος - tuđ, μορφος - oblik) ili *ksenomorfan* (grčki: ξενος - stran, μορφος - oblik).

Napomenuli smo, takođe, da i brzina kristalizacije utiče na pravilan rast kristala. Spora kristalizacija omogućava ravnomerno pritanje materije u pravcu kristalnog zametka. Ako je kristalizacija brza ili pre nagljena, kristali rastu veoma brzo u pravcu ivica i rogljeva a sporije u pravcu pljosni, te se na taj način razvijaju nepotpuni kristali puni stepenastih udubljenja, ili igličaste i granaste forme koje nazivamo kristalnim skeletima.

Govoreći o obliku minerala potrebno je pomenuti još jednu pojavu koja se javlja pri preobražaju nekih mineralnih vrsta. Katkad se dešava da prilikom metamorfnih promena minerali zadrže spoljnu formu (oblik) dok se unutrašnja materija strukturno pa čak i hemijski menja. Na taj način kristal ima oblik koji ne odgovara unutrašnjoj strukturi i ta pojava naziva se *pseudomorfoza* (grčki: ψευδος - lažni, μορφος - oblik).

U procesima mineralogenije česta je i pojava poznata kao *metasomatoza* (izmena materije). Ovaj proces u prirodi se odvija na taj način što mineralni agregati bivaju "napadnuti" novopridošlim rastvorima drugačijeg sastava. Tom prilikom agregati stene "domaćina" bivaju potiskivani, pri čemu se na mestu starog stvara novi mineral. Delimično ili potpuno metasomatsko potiskivanje veoma je često pri metamorfnim procesima i o njemu će biti reči u poglavlju o stenama. Ovaj proces, međutim, često nije potpun te u jednoj metasomatski izmenjenoj zajednici srećemo, osim novostvorenih, i relikte starih minerala, što nam pomaže da dešifrujemo prvobitni sastav stene i procese koji su na njoj vršeni.

2.2. Formiranje koloidnih minerala

Tela koja u dodiru sa vodom bubre nazivamo *koloidnim* (grčki: *κόλλα* - lepak, *εἶδος* - vid, oblik), zbog sličnosti sa tutkalom. Bubrežje se javlja kao posledica primanja vode oko svake čestice, usled čega se zapremina mase povećava. Koloidi predstavljaju grupu disperznih sistema koje nazivamo koloidnim rastvorima ili hidrosolima kada su u tečnom stanju, a hidrogelima ili kraće gelima ako su čvrsti. Hidrosoli su veoma značajni u nekim procesima površinskog raspadanja i pri stvaranju kore raspadanja. Osim hidrosola, koji se uglavnom javljaju u površinskim uslovima, u sistemima rastopa postoje koloidni rastvori koje nazivamo pirosolima, a kada su koagulisani pirogelima. Primer pirogela su vulkanska stakla, koja su amorfna. Koloidni hidrosoli usled koagulacije prelaze u amorfne minerale (gele) i tada se preko jedne pihtijaste ili pahuljaste forme dehidracijom stvaraju koloidni minerali.

Već je napomenuto da se amorfni minerali javljaju u bubrežastim, kuglastim, grozdastim, koncentrično ljuspastim i sličnim agregatima. Obično se lome školjkasto, na prelomu su masnog sjaja i veoma različitih boja.

Amorfno stanje, međutim, nije stabilno stanje. Posle kraćeg ili dužeg vremena amorfni minerali prekrystališu. Tako, na primer, opal tokom vremena prelazi u kalcedon odnosno kvarc i sl.

2.3. Paragenetske asocijacije

U prirodi se vrlo često u jednom agregatu nalaze različiti minerali. Pojavljivanje grupe minerala u jednoj asocijaciji smatra se posledicom istih uslova stvaranja, pa takve asocijacije nazivamo *paragenetskim asocijacijama* ili *mineralnim paragenezama*. Paragenetske asocijacije zavise od primarnog sastava rastopa ili rastvora iz kojeg minerali kristališu, od temperature, pritiska, količine vode i dubine stvaranja asocijacije.

Neki minerali mogu da nastanu pod vrlo različitim uslovima i na različitim temperaturama. Primer takvog minerala je gips - $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ koji može da nastane hidatogeno kao mineral sônih ležišta, hidrotermalno, kao mineral solfatare itd. Drugi nastaju samo na jedan način i samo na određenim temperaturama. U paragenetskoj asocijaciji ovakvi minerali služe kao geološki termometri jer, poznajući njihovu temperaturu kristalizacije, možemo sa sigurnošću odrediti i temperaturu stvaranja stene u kojoj se mineral nalazi, odnosno mineralne asocijacije (parageneze) u kojoj se mineral javlja.

3. Sistematika minerala

Minerali se klasifikuju na razne načine. U prethodnom poglavlju navedena je podela na *petrogene* i *rudne* minerale, po tome da li mineralne vrste imaju značajnu ulogu u izgradnji Zemljine kore ili su bitni komponenti rudnih ležišta.

Petrogeni minerali su uglavnom jedinjenja silicijuma, kiseonika i malog broja drugih elemenata zbog čega ih nazivamo *silikatima*. Uprkos tako malom broju elemenata koji ulaze u njihov sastav, veoma su raznoliki. Postojanje velikog broja mineralnih vrsta iz grupe silikata omogućeno je specifičnim vezivanjem silicijuma i kiseonika (tzv. tetraedara silicijuma) koji grade različite osnove na koje se potom vezuju drugi elementi, pa tako razlikujemo *tektosilikate*, *filosilikate*, *inosilikate*, *nezosilikate*, *sorosilikate* i *ciklosilikate*.

Tektosilikati predstavljaju silikate kod kojih su SiO_4 tetraedri raspoređeni u prostoru tako da svaki jon kiseonika pripada dvama susednim SiO_4 tetraedrima koji čine osnovu, pri čemu se slobodne valence kompenzuju jonima alkalija i zemnoalkalija. U ovu grupu silikata spadaju kvarc, feldspati itd.

Filosilikati predstavljaju silikate u kojima su SiO_4 tetraedri među sobom beskonačno povezani u jednoj ravni, usled čega minerali iz ove grupe pokazuju savršenu cepljivost. Ovde spadaju liskuni, gline itd.

Inosilikati predstavljaju silikate kod kojih su SiO_4 tetraedri povezani u jednom pravcu. Kod ove grupe silikata tetraedri mogu biti povezani u jedan niz (gde spadaju pirokseni) ili dva niza koja su međusobno povezana kiseonikom (tu spadaju amfiboli).

Nezosilikati predstavljaju silikate kod kojih su SiO_4 tetraedri samostalni, međusobno povezani samo preko drugih jona (gvožđa, magnezijuma, kalcijuma itd.). U ovu grupu spadaju olivini, granati itd.

Sorosilikati predstavljaju silikate kod kojih su SiO_4 tetraedri povezani preko jednog kiseonikovog jona. Ovde, na primer, spada lavsonit.

Ciklosilikati predstavljaju silikate kod kojih su tri, četiri ili šest SiO_4 tetraedara udruženi u krugove (prstenove), po kojima su i dobili ime. Ovde spadaju kordijerit, beril, turmalin itd.

Među petrogenim mineralima su, osim silikata, i karbonati, sulfati, oksidi itd.

U narednim poglavljima biće prikazani petrogeni minerali, i to najvažniji iz navedenih grupa.

3.1. Tektosilikati

3.1.1. Kvarc

Po hemijskom sastavu kvarc je silicijum dioksid (SiO_2). Osnovna ćelija ovog minerala ima oblik tetraedra, pri čemu se silicijum nalazi u centru dok joni kiseonika grade roglove.

Kristališe trigonalno, u trapezoedarskoj tetratoedriji.

Kvarc može biti različitih boja po čemu se razlikuje više varijeteta: žuti - *citrin*, ljubičasti - *ametist*, crni - *morion*, bezbojan i providan - *gorski kristal* i dr. Nema cepljivost, neravnog je preloma i na prelomnim površinama pokazuje obično mastan sjaj, dok je na pljosnima staklast. Krt je. Stepenn tvrdine je 7; veoma je osetljiv na pritiske. Vrlo je otporan na hemikalije, nagriza ga samo fluorovodonična kiselina. Otporan je prema raspadanju te se koncentriše u najudaljenijim nanosima.

Postaje magmatski, direktnom kristalizacijom iz magme, zatim u pneumatolit-skoj i hidrotermalnoj fazi. U metamorfnim stenama može da nastane u drugom procesu rekristalizacije ranije stvorenih SiO_2 minerala ili stvaranjem novog minerala iz silicijum dioksida oslobođenog metamorfnim reakcijama. U sedimentacionom ciklusu kvarc se javlja kao komponent nanosa, a i kao mineral koji može nastati direktno pri konsolidaciji ovih stena.

Vlaknasti, fibrozni ili najčešće samo sitnokristalasti varijetet kvarca naziva se kalcedon. *Kalcedon* se veoma često javlja u stenama kao prelazna forma pri rekristalizaciji amornog koloidnog SiO_2 u kvarc. Fizičke osobine kalcedona su kao kod kvarca. Javlja se vrlo često u trakastim formama kod kojih su pojedine trake različito obojene. Ovi lepo obojeni varijeteti koriste se kao ukrasni kamen i zovu se *abati*.

3.1.2. Opal

Po sastavu je $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$. Količina vode u ovom amornom mineralu varira između tri i dvadesetak procenata ali pored ovih komponenata može da sadrži i vrlo mnogo primesa. Zbog prirodnih pigmenta, kojih je obično pun, obojen je žuto, zeleno, plavo, crvenkasto pa čak i šareno. Inače je idiohromatski bezbojan ili mlečno beo.

Različite je tvrdine - od 5,5 do 6,5 i specifična težina varira mu u zavisnosti od količine vode i primesa. Školjkastog je preloma. Krt. Staklaste sjajnosti, masne ili smolaste na prelomnim površinama.

Javlja se najčešće u bubrežastim, grozdastim i jedrim masama, kao i u vidu skrama i prevlaka. U magmatskom ciklusu nastaje najčešće izlučivanjem, i to vrlo naglim, iz hidrotermalnih rastvora uglavnom na niskim temperaturama. Direktno se, na primer, stvara oko gejzira ili uopšte kiselih toplih voda. Ovog minerala ima mnogo u sedimentacionom ciklusu, posebno nastaje pri raspadanju bazičnih i ultrabazičnih stena i pri serpentinizaciji. Postoje razni varijeteti ovog minerala: šarene, nečiste i bez sjaja zovemo običnim opalom, one koji nastaju oko gejzira zovemo *gejziritima*, varijetete lepih boja i staklastog sjaja nazivamo *plemenitim opalom* i on se upotrebljava kao ukrasni kamen. Drvenasti opal predstavlja okamenjeno silifikovano drvo, itd.

3.1.3. Grupa feldspata

Veoma značajni i vrlo rasprostranjeni minerali Zemljine kore, feldspati, prema statistikama izgrađuju oko 60% magmatskih, 30% metamorfnih i oko 10% sedimentnih stena. Poseban značaj ove grupe minerala je i u tome što daju materijal za stvaranje oko 70% mase sedimentnih stena, te su, prema tome, važan faktor u formiranju kore raspadanja.

Već prema naslovu vidi se da je reč o grupi minerala koji su veoma srodnog hemijskog sastava, bliskih strukturnih, fizičkih i optičkih karakteristika.

Prema hemijskom sastavu feldspati su alumosilikati kalijuma, natrijuma i kalcijuma. Svaki od ovih komponenata gradi i samostalni mineral:

- <i>kalijski feldspat</i>	- $K_2O \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$	- <i>ortoklas</i> ,
- <i>natrijski feldspat</i>	- $Na_2 \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$	- <i>albit</i> i
- <i>kalcijski feldspat</i>	- $CaO \times Al_2O_3 \times 2SiO_2$	- <i>anortit</i>

U prirodi se, međutim, retko sreću potpuno čisti minerali ovakvog sastava. Oni obično grade izomorfne smeše: prva dva u ograničenim količinama dok se kalcijski i natrijski feldspat mešaju neograničeno. Prvu grupu izomornih smeša nazivamo *alkalnim feldspatima* a drugu *plagioklasima* (grčki: *πλαγιοσ* - kos, *κλασις* - lomljenje).

Svi feldspati kristališu monoklinično ili triklinično. Monoklinični su visokotemperaturni alkalni feldspati a triklinični niskotemperaturni alkalni feldspati i plagioklasi. Veoma retko se pojavljuju u pojedinačnim zrnima (ovo naročito važi za plagioklase), kod kalijskih feldspata je pojavljivanje u vidu samostalnih zrna mnogo češće. Najčešće se javljaju u vidu blizanaca: kao prosti ili višestruki, koje nazivamo polisintetičkim.

Feldspati su minerali velike tvrdine, između 6 - 6,5. Imaju jednu savršenu i drugu slabije izraženu cepljivost. Bezbojni do beli, staklasto providni u tanjim pločicama, staklaste sjajnosti.

Na osnovu hemijskog sastava feldspate možemo podeliti na *kalijske feldspate* i *plagioklase*.

3.1.3.1. Kalijski feldspati

Kalijski se feldspati u prirodi javljaju u tri modifikacije: *sanidin*, *ortoklas* i *mikroklin*.

Sanidin

Visokotemperaturna modifikacija kalijskog feldspata koji u svoju rešetku može da primi i do 62% natrijskog komponenta, naročito na vrlo visokim temperaturama. Javlja se samo u mladim izlivnim stenama (vulkanskim) u kojima se obično sreće u vidu tabličastih kristala pravilnih oblika, ponekad prozirnih i staklastog sjaja. Dešava se često da tokom vremena dođe do uređivanja kristalne rešetke sanidina koja je formirana na visokim temperaturama i koja je tom prilikom mogla da primi veću količinu natrijskog komponenta. U tom slučaju, prilikom ovog uređivanja, natrijski komponent biva izdvojen u međuprostore kao višak i sanidin prelazi u nižetemperaturnu modifikaciju - ortoklas.

Ortoklas

Monoklinični kalijski feldspat sa delimično uređenom kristalnom rešetkom. Udeo natrijskog komponenta u ovom mineralu varira od nekoliko do tridesetak procenata. Osim toga, sadrži uvek izvesnu (malu) količinu kalcijskog komponenta.

Idiohromatski je bezbojan ili bele boje dok alohromatski može biti obojen crvenkasto ili zelenkasto, najčešće usled prisustva oksida gvožđa.

Kristali su mu često pravilno razvijeni. Ima dve vrlo dobro izražene cepljivosti koje zaklapaju prav ugao po čemu je i dobio ime (grčki: *ορθος* - kos, *κλασις* - lomljenje).

Preobražaj ovog minerala pod uticajem toplih rastvora dovodi do formiranja minerala liskunske grupe - sericita, dok se u kori raspadanja na njegov račun formiraju minerali glina.

Mikroklin

Kalijski feldspat sa uređenom kristalnom rešetkom stabilan je samo na niskim temperaturama i visokim pritiscima. Nastaje često od ortoklasa uređivanjem kristalne rešetke, a jedini je stabilan kalijski feldspat u metamorfnim procesima gde vladaju visoki pritisci. Tragovi cepljivosti kod ovog minerala zaklapaju malo kos ugao po čemu je dobio ime (grčki: *μικρο* - malo, *κλασις* - lomljenje).

Optičke i fizičke osobine i procesi preobražaja su kao kod ortoklasa.

3.1.3.2. Natrijsko-kalcijski feldspati

- Plagioklasi

Kao što je rečeno, plagioklasi su izomorfne smeše natrijskog feldspata - albita i kalcijskog plagioklasa - anortita. Između ova dva krajnja člana postoje postupni prelazi. Tako se red izomorfnih smeša ovih dvaju komponentata može prikazati na sledeći način:

mineral	% anorita
albit	0 - 10
oligoklas	10 - 30
andezin	30 - 50
labrador	50 - 70
bitovnit	70 - 90
anortit	90 - 100

Pošto albit ima veću količinu silicijum dioksida, plagioklase sa većim sadržajem albitskog komponenta u odnosu na anortitski nazivamo **kiselim** (albit i oligoklas), **prelaznim** ili intermedijarnim one koji sadrže podjednaku količinu albitskog i anortitskog komponenta (andezin), dok su oni sa većom količinom anortitskog komponenta **bazični** plagioklasi.

Plagioklasi su redovni sastojci najvećeg broja magmatskih stena i veoma su značajni za njihovu sistematiku, o čemu će biti više reči u poglavlju o petrološkim karakteristikama litosfere.

Kristališu triklinično. Veoma su česte pojave bližnjenja i to polisintetičkog. Osim toga intermedijarni plagioklasi skoro redovno su zonarni, pri čemu su centralni delovi kristala najčešće bogatiji anortitskim komponentom od perifernih. Cepljivost je kao kod kalijskih feldspata ali tragovi zaklapaju kos ugao. Tvrdina, boja i ostale karakteristike su kao kod alkalnih feldspata.

Pri hidrotermalnim preobražajima kiseli plagioklasi prelaze u sericit a bazični u agregat minerala epidotske grupe i albita (sosirit). Pri površinskom raspadanju bazični plagioklasi se kalcitišu a kiseli prelaze u kaolinske minerale.

3.1.4. Grupa feldspatoida

Grupa feldspatoida po hemijskim karakteristikama slična je grupi feldspata ali je njihova opšta karakteristika da se javljaju u stenama koje su siromašne silicijom a bogate alkalijama, tako da nije bilo dovoljno SiO_2 za stvaranje feldspata. Često se nazivaju zamenicama feldspata. Razlika u procentu sadržaja silicije vidi se vrlo dobro iz hemijskih formula:



3.1.4.1. Leucit

Kalijski alumosilikat sa četiri molekula SiO_2 (dva manje nego ortoklas). Čest sastojak mladih izlivnih stena u kojima se javlja samostalno ili uz sanidin.

Kristališe teseralno i obično se javlja u lepim pravilnim kristalnim oblicima. Neizražene cepljivosti. Beo je ili siv, staklastog sjaja, tvrđine 5,6 - 6 i školjkastog preloma. Vrlo je krt.

Leucit je tipski magmatski mineral. Nalazi se u mladim vulkanskim stenama i alkalnim intruzivima. Preobražaji leucita su kao kod kalijskog feldspata. Leucit je inače sirovina za proizvodnju veštačkih đubriva.

3.1.4.2. Nefelin

Alumosilikat natrijuma, po sastavu sličan albitu ali ima 4 molekula SiO_2 manje. Stvara se u stenama u kojima nema dovoljno silicije da bi se formirao albit - dakle javlja se kao zamenik albita.

Kristališe heksagonalno u stubičastom ili pločastim agregatima. Slabe je cepljivosti, neravnog do školjkastog preloma, tvrđine 5,5 - 6, staklaste sjajnosti na pljosnima a masne na površinama preloma. Bezbojan, beo do svetlosiv, ali može alohromatski biti različito obojen. Postaje magmatski i javlja se u alkalnim stenama siromašnim silicijom. Raspada se kao i albit.

3.1.5. Grupa zeolita

Ova grupa minerala predstavlja hidratizane alumosilikate natrijuma, kalcijuma, barijuma, stroncijuma i kalijuma. Oni međusobno pokazuju slične morfološke karakteristike, mnoštvo sličnih fizičkih osobina i sličnost po reagovanju sa kiselinama.

Voda je u kristalnoj rešetki ovih minerala slabo vezana i pri zagrevanju se oslobađa uz vrenje, po čemu je cela grupa minerala i dobila ime (grčki: ζεω - ključati, λίθος - kamen). Gubljenje vode iz zeolita je postupno i izgubljena voda može naknadno biti ponovo primljena u rešetku. Osim vode, zeoliti apsorbuju i razne gasove, i ta osobina minerala zeolitske grupe važna je pri formiranju izvesnih tipova zemljišta.

Kristališu različito, romboedarski, rombično, monoklinično itd; većinom grade blizance. Bezbojni su, ali usled primesa mogu biti različito obojeni. Lako se rastvaraju u sonoj kiselini. Srednje su tvrđine i male specifične težine.

Glavni predstavnici grupe zeolita su:

- **natrolit**, hidratizani natrijski alumosilikat koji nastaje preobražajem natrijskih feldspata i nefelina;

- **hojlandit**, takode hidratizirani natrijski aluminosilikat ali je u njemu jedan dio natrijuma zamijenjen kalijumom. Nastaje raspadanjem alkalnih feldspata i feldspatoida;
- **habazit**, kalcijski aluminosilikat sa šest molekula vode;
- **fillipsit**, kalcijsko-natrijsko-kalcijski aluminosilikat sa 10 molekula vode;
- **desmin**, takode kalcijsko-natrijsko-kalcijski aluminosilikat sa samo 7 molekula vode i
- **lomontit**, kalcijski zeolit sa 4 molekula vode. Interesantno je da već i u suvom vazduhu može da izgubi 2 molekula vode (tada se javlja kao praškasti agregat).

3.2. Filosilikati

Kao što je rečeno, filosilikati su grupa jedinjenja u kojima su SiO_4 tetraedri povezani međusobno u jednoj ravni.

U ovu grupu silikata spadaju veoma značajni petrogeni minerali, *liskuni*, grupa *blorita* i dr. kao i minerali kore raspadanja, minerali glina i dr.

3.2.1. Grupa liskuna

Liskuni spadaju u najrasprostranjenije minerale Zemljine kore. Smatra se da u njenoj građi učestvuju sa oko 4%. Uglavnom su sastojci kiselih magmatskih stena, zatim metamorfnih stena različitog postanka ali se pojavljuju i u sedimentnim stenama. Mada im hemijski sastav znatno varira, liskuni imaju identičnu strukturu iz koje proizilaze mnoge slične fizičke i morfološke karakteristike.

Svi kristališu monoklinično u pločastim oblicima. Savršene su cepljivosti. Ljuspice su veoma elastične. Tvrdina oko 2,5. Po hemijskom sastavu mogu se razlikovati sledeće vrste:

- | | |
|--------------|-------------------------------|
| - muskovit | - kalijski liskun; |
| - paragonit | - natrijski liskun; |
| - flogopit | - magnezijski liskun; |
| - biotit | - magnezijsko-gvožđev liskun; |
| - lepidolit | - litijski liskun; |
| - clinvaldit | - litijsko-gvožđev liskun. |

Kao sastojci stena i tla najvažniji su biotit i muskovit, dok su ostali ređi.

3.2.1.1 Muskovit

Po sastavu $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Ime ovog minerala potiče od italijanskog naziva za Moskvu (Mosca) jer je preko Moskve vršen izvoz muskovita.

Javlja se u pločastim i listastim agregatima različite veličine. Kada su liske sitne (veličine ispod 1 mm) nazivamo ga *sericitom*. Bezbojan je i u tankim listićima providan. Na površinama cepljivosti ima sedefast sjaj.

Muskovit postaje na razne načine: kao magmatski mineral u kiselim magmatskim stenama, u pegmatitsko- pneumatolitskom stadijumu, kada mogu nastati čitave liskunske "knjige" koje se i eksploatišu, i u hidrotermalnoj fazi kada se obično razvija kao sericit. U metamorfnom ciklusu nastaje preobražajem minerala glina i drugih alumosilikata.

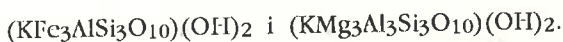
U kori raspadanja muskovit je veoma stabilan. Nerastvoran je i može biti daleko transportovan u vidu sitnih ljuspi, te se javlja kao redovan sastojak glinovitih i peskovitih sedimenata. Takođe se lako transportuje i vetrom, pa ga ima i u aluvijalnim nanosima. Koristi se u elektroindustriji kao izolacioni materijal.

3.2.1.2. Paragonit

Natrijski liskun. Po načinu pojavljivanja i fizičkim osobinama sličan sericitu i muskovitu. Metamorfnog je nastanka.

3.2.1.3. Biotit

Liskun sa sadržajem magnezijuma i gvožđa i predstavlja izomorfnu smešu kalijско gvoždevitog alumosilikata i kalijско-magnezijskog alumosilikata, oba sa sadržajem vode:



Osim boje, koja je tamnomrka do crna, ostale fizičke osobine su kao kod muskovita.

Kao magmatski mineral sreće se u kiselim do intermedijarnim magmatskim stenama, rede u bazičnim i ultrabazičnim. U pegmatitsko-pneumatolitskom stadijumu stvaraju se predstavnici bogatiji gvoždem. U metamorfnom ciklusu biotit se javlja kao sastojak mnogih i regionalno i kontaktno metamorfnih stena.

U prisustvu hidrotermi prelazi u hlorit. Pri površinskom raspadanju lako gubi gvožđe i alkalije i prelazi u svetle ljuspice koje se mogu pomešati sa muskovitom jer su zlatnožute boje i prozračne. Retko se, međutim, može sresti u nanosima.

3.2.2. Grupa hlorita

U grupu hlorita, koja je veoma rasprostranjena u magmatskim a posebno u metamorfnim stenama, spadaju hidratizani alumosilikati magnezijuma i gvožđa. Deo aluminije može biti zamenjen trovalentnim gvoždem i hromom a magnezije i fero-gvožđa manganom i niklom.

Kristališu monoklinično u pločastim ili lističastim agregatima, katkad sitnoljuspicačnim ili zrakastim.

Imaju savršenu cepljivost ali su im ljuspice neelastične. Uglavnom su zelene boje, u svim nijansama. Staklaste sjajnosti. Male su tvrdine od 1,5 do 2,5.

Minerali grupe hlorita u magmatskom ciklusu mogu nastati na niskim temperaturama i uz veliku količinu vode u magmi. U hidrotermalnoj fazi stvaraju se uglavnom na račun biotita, amfibola i piroksena. Pri metamorfnim procesima ovi minerali se stvaraju često i to u uslovima metamorfizma nižih pritisa i temperatura.

Neki gvoždem bogati hloriti mogu se formirati pri diagenetskim procesima u sedimentacionom ciklusu.

U površinskim uslovima minerali hloritske grupe raspadaju se, oni bogatiji gvoždem znatno brže. Konačno raspadanje ovih minerala uz odnošenje gvožđa dovodi do stvaranja raznih minerala glina.

3.2.3. Grupa serpentina

U serpentinskoj grupi postoje tri minerala istog hemijskog sastava koji se delimično razlikuju po strukturi; to su:

- | | |
|--------------------|------------------------|
| - <i>antigorit</i> | - listasti serpentin, |
| - <i>hrizotil</i> | - vlaknasti serpentin, |
| - <i>serpofit</i> | - amorfni serpentin. |

Svi serpentini su hidratizirani silikati magnezijuma i gvožđa sa srednjim sastavom: $6\text{MgO} \times 4\text{SiO}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, pri čemu je u rešetku ugrađeno oko 30% gvožđa. Ova grupa minerala praktično pripada grupi hlorita (koji ne sadrže aluminijum).

Antigorit i hrizotil kristališu monoklinično, dok je serpofit amorfan.

3.2.3.1. Antigorit

Javlja se u listastim i ljuspastim agregatima, neelastičan, savršene cepljivosti i tvrdine oko 3,5. Zelene je do zelenožute boje.

3.2.3.2. Hrizotil

Vlaknasti mineral koji gradi agregate nazivamo hrizotil-azbestom. Bezbojan je do bleđozelen, savršene cepljivosti, savitljivog ali neelastičnog vlakna. Svilastog sjaja. Tvrdine oko 2,5.

3.2.3.3. Serpofit

Amorfni mineral koji se obično sreće zajedno sa hrizotilom i antigoritom.

Minerali serpentinske grupe nastaju na srednjim do niskim temperaturama i to uglavnom transformacijom olivina ili drugih magnezijско-gvožđevitih silikata bez aluminije. Regionalnim metamorfizmom mogu nastati samo u određenim dubinskim nivoima. Upotrebljavaju se kao izolacioni materijal ili kao sirovina za izradu vatrootpornih pomagala.

3.2.3.4. Talk

Po hemijskom sastavu talk je magnezijски silikat sa vodom: $Mg_6(OH)_4Si_8O_{20}$. Kristališe monoklinično i ne gradi jasne kristale nego se javlja u jedrim agregatima ili u agregatima lističastog habitusa. Savršeno je cepljiv ali neelastičan. Tvrdine je 1, masne sjajnosti, masnog opipa, a bele do bledezelenkaste boje.

Nastaje pri srednjim do niskim temperaturama i u magmatskom i u metamorfnom ciklusu. U hidrotermalnom ciklusu nastaje preobražajem olivina i drugih Mg silikata. Budući da ima veliku primenu u kozmetici i medicini interesantan je i kao petrogeni i kao rudni mineral.

3.2.4. Minerali glinâ

U izgradnji sedimentnih stena litosfere, u kori raspadanja i u zemljištu na kome rastu biljke, jedan od najzastupljenijih komponenata je grupa minerala koji su obuhvaćeni pod zajedničkim nazivom *minerali glinâ*.

Ove minerale pomenuli smo prilikom opisa procesa raspadanja feldspata i feldspatoida, i može se reći da oni uglavnom nastaju raspadanjem alumosilikata u površinskim uslovima, iako neki od njih mogu nastati i hidrotermalnom alteracijom stena pri niskim temperaturama.

Mada u grupi minerala glinâ razlikujemo nekoliko vrsta, retko kada se ovi minerali pojavljuju pojedinačno. Obično su u grupi, ili još i udruženi sa drugim alumosilikatima ili kvarcom i veoma su sitnozrni, tako da je bilo kakvo odvajanje golim okom nemoguće.

Specijalnim metodima izdvojene su na osnovu strukturnih karakteristika sledeće grupe minerala gline:

Kristalni predstavnici:

Grupa kaolinita:

- kaolinit;
- dikit;
- nakrit;
- halojzit;
- metahalojzit

Grupa monmorijonta:

- monmorijont;
- nontronit

Ilitska grupa:

- ilit;
- hidroliskuni;
- glaukonit (prelaz između ilita i liskuna)

Amorfni predstavnici:

- alofan

3.2.4.1. Kristalni predstavnici

Grupa kaolinita

Kristalni predstavnici grupe minerala glinâ su filosilikati pločastog habitusa ali su obično slabo razvijenih kristala. Kristališu monoklinično ili triklinično. Najčešće se, međutim, javljaju u zemljastim ili nepravilno oblikovanim agregatima ili kao skrame. Kristali, kada su razvijeni, pokazuju savršenu cepljivost, listići su savitljivi, ali nisu elastični. Male su tvrdine, od 1 do 3. Bele su žućkaste, zelenkaste i sive boje. Masnog su opipa. Lepe se za prst ili za jezik i jako su higroskopni.

Imaju manje ili više izraženu sposobnost za adsorbovanje katjona koji se koncentrišu po površini ili između slojeva kristalne rešetke.

U narednim poglavljima daćemo prikaz najvažnijih predstavnika ove grupe minerala.

Kaolinit

Po hemijskom sastavu je aluminijски silikat sa vodom $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$. U kristalnoj rešetki se Si i Al joni ne zamenjuju nego grade posebne slojeve koji se naizmenično smenjuju. Usled gustog pakovanja jona u rešetki kod ovog minerala ne postoji mogućnost infiltracije vode niti drugih materija u rešetku, te kaolinit ne bubri i ne vrši izmenu jona. Ova osobina važi za sve minerale kaolinitске grupe te su oni, što je u kori raspadanja veoma značajno, u pedološkom smislu neaktivni.

Kaolinit kristališe triklinično, i on jedini od minerala glinâ pokazuje ovu simetriju. Listićasti oblici su najčešći, a pojavljuje se često u zemljastim nepravilnim agregatima. Bele je boje ili je od primesa vrlo različito obojen, od žute ili crvenkaste boje koja potiče od oksida gvožđa, preko zelenkaste do skoro crne boje kada je pigmentiran organskom materijom.

Male je tvrdine, 1-2, u listićima je sedefaste sjajnosti, masnog opipa. Suv kaolinit lako se prstima drobi u sitan prah.

Kaolinit je mineral koji nastaje pri preobražaju magmatskih i metamorfnih stena - uglavnom kiselih, i to raspadanjem alumosilikata (feldspata, feldspatoida ili liskuna). Stvara se u kiseloj sredini pri čemu rastvori iz kojih nastaje kaolinit treba da budu oksidacioni i da koncentracija natrijumovih i magnezijumovih jona, kao i fero jona, ne bude velika. Na kiselost sredine povoljno utiče oksidacija organske materije. Zato je kaolinit čest sastojak humusnih sredina. Osim u kori raspadanja, javlja se i u barskim i jezerskim slatkovodnim sredinama dok marinska sredina, zbog povećane količine natrijuma i magnezijuma, ne pogoduje stvaranju kaolinita. Klimatski uslovi za nastanak kaolinita u kori raspadanja moraju biti vlažni, jer se u suvim uslovima ovaj mineral razlaže dajući slobodne hidrokside.

Grupa monmorijonita

Monmorijonit

Mineral koji se strukturno razlikuje od minerala kaolinitске grupe usled čega ima i različito ponašanje. U strukturnoj rešetki ovog minerala dva sloja su izgrađena od SiO_4 paketa a između njih je sloj izgrađen od Al, Mg, Fe jona. Između ovih paketa nalaze se molekuli vode koja je slabo vezana. Zbog ovakve strukture kod ovog minerala postoji sposobnost lakog sužavanja ili proširivanja ovog prostora u kome se nalaze molekuli vode, te se debljina monmorijonitske pločice može utrostručiti po prijemu vode. Meduslojni prostor kod minerala ove grupe može osim vodom biti popunjen i

drugim katjonima, kao što su Fe, Mg, Na, ili organskim katjonima ili pak organskim tečnostima. Ova međuslojna voda može se izgubiti zagrevanjem već na oko 100 - 200°C bez poremećaja u strukturi, ali se može isto tako lako i primiti nazad.

Po hemijskom sastavu monmorijonit je hidratizirani alumosilikat sa formulom $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \times \text{H}_2\text{O}$. Deo Al jona (skoro polovina) može biti zamenjen sa Mg a i feri-gvoždem. Kristališe monoklinično. Bele je boje, ali usled primesa može biti obojen ružičasto ili zelenkasto. Pojavljuje se u finoznastim agregatima ili listićima.

Postanak monmorijonita vezan je za površinsko raspadanje stena ili za nisko-temperaturne hidrotermalne procese. Nastaje u alkalnoj sredini iz rastvora koji moraju biti bogati natrijumom, zemnoalkalijama ili dvovalentnim gvoždem. Ukoliko je sredina više alkalna, stvaranje monmorijonita je lakše. Nastaju najčešće alteracijom tufova, vulkanskog pepela ili magmatskih stena. Vrlo česte monmorijonitske naslage dobijaju se alteracijom bazičnih ili neutralnih staklastih tufova i one se nazivaju *bentoniti*.

Monmorijoniti takođe mogu postati i hidrotermalnom alteracijom produkata oko metalinih rudnih tela kao i blizu toplih izvora ili gejzira.

Za razliku od minerala kaolinitske grupe, monmorijoniti nastaju u marinskoj sredini pošto je to alkalna sredina sa katkad visokim sadržajem Mg, Ca, Al i Fe.

Ilitska grupa

Ilit

Članovi grupe ilita (ili hidroliskuna, kako je još nazivaju) po svojoj strukturi bliski su liskunima ali njihov hemizam odgovara glinama. Nastaju preobražajem feldspata ali mogu nastati i degradacijom muskovita ili u odgovarajućim uslovima rekristalizacijom koloida. Od muskovita se ovaj mineral bitno razlikuje time što ima manje kalije koja je zamenjena hidroksidnom grupom. Formula ovog minerala je: $\text{K}_x(\text{Al}, \text{Fe}^{++})_4\text{Si}_{8-x}\text{Al}_x\text{O}_{20} \times n\text{H}_2\text{O}$, pri čemu je x manje od 2, a umesto Al mogu biti uključeni Mg ili Ca.

Minerali ilitske grupe predstavljaju veoma važne sastojke u stenama kao što su glinci, laporci itd. U mnogim glinama ili zemljištima mogu da predstavljaju glavne minerale. Ilit kristališe monoklinično i javlja se u veoma sitnim listićima. U odnosu na monmorijonit ne apsorbuje vodu te uopšte ne bubri. Bezbojan je, ali od oksida gvožđa ili drugih primesa može biti žućkast, zelenkast ili mrk.

Kao što je rečeno, postaje hidratacijom feldspata ili liskuna u alkalnim uslovima i uz veliku koncentraciju aluminijuma i kalijuma.

3.2.4.2. Amorfnih predstavnici

Alofan

Amorfnih mineral koji predstavlja smešu hidroksida aluminijuma i vlage. Obično ga nalazimo u izmenjenim vulkanskim stenama, u glinama ili laporcima, kao i u gornjim, oksidacionim, delovima rudnih ležišta.

3.3. Inosilikati

Za grupu inosilikata, karakteristično je da su SiO_4 tetraedri povezani u trake ili beskonačne nizove. U ovu grupu spadaju neki veoma značajni minerali kao što su amfiboli i pirokseni.

3.3.1. Grupa amfibola

Minerali ove grupe sistematizovani su uglavnom prema strukturnim karakteristikama. Kristališu monoklinično ili rombično, javljaju se u stubičastim, izduženim, čak i igličastim kristalima. Različite su boje, od bele (rede) do tamnozelene i gotovo crne. Staklaste do smolaste sjajnosti, tvrđine 5 - 6. Česti su minerali i magmatskih i metamorfnih stena a postaju pirogeno, pegmatitsko-pneumatolitski, čak i hidrotermalno a sreću se i u mnogim vrstama metamorfnih stena.

Podeljeni su na :

Rombične amfibole

- *antofilit*
- *žedrit*

Monoklinične amfibole

- *tremolit-aktinolit*
- *hornblenda*
- *alkalni amfiboli*

3.3.1.1. Rombični amfiboli

Antofilit i žedrit

Veoma su retki minerali. Javljaju se uglavnom u regionalno i kontaktno metamorfnim stenama, ponekad u magmatskim stenama, kao sekundarni minerali. Po sastavu su Mg-Fe silikati, žedrit sadrži aluminiju. Boje su zelene, ponekad mrke, sive, pa čak i bele.

3.3.1.2. Monoklinični amfiboli

Tremolit

Monoklinični amfibol sa sastavom: $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$. Javlja se u fibroznim agregatima. Bezbojan je, beo ili siv. Staklaste sjajnosti, tvrđine 5,5 - 6. Savršene cepljivosti. Redovan je sastojak metamorfnih stena ali javlja se i kao sekundarni sastojak kod magmatskih stena. Preobražajem prelazi u talk, serpentin i dr. U uslovima površinskog raspadanja dosta je stabilan, osim što se lako drobi.

Aktinolit

Magnezijsko-gvoždjev silikat sa formulom $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5(\text{OH})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}$. Morfološki je sličan tremolitu ali je zelene do tamnozelene boje. Nastaje preobražajem piroksena uz prisustvo vode (uralit), u uslovima kontaktnog metamorfizma i u zonama nižetemperaturnog metamorfizma.

Hornblenda

Amfibol koji se najčešće sreće i u magmatskim i u metamorfnim stenama. Ima veoma kompleksan sastav ali je u bitnome kalcijско - magnezijsko - gvoždjev silikat sa aluminijom. Budući da je vrlo promenljivog sastava, hornblenda je često zonarna.

Kristališe monoklinično u vrlo dobro razvijenim, obično stubičastim, kristalima; u mladim izlivnim stenama često je idiomorfnog oblika. Kod ovog minerala veoma često je bližnjenje.

Zelene, tamnozelene, mrke do skoro crne boje. Staklaste ili smolaste sjajnosti. Savršene cepljivosti, tragovi cepljivosti zaklapaju ugao od 124° , za razliku od minerala grupe piroksena gde je ugao između cepljivosti 90° . Tvrđine su od 5 do 6.

Hornblenda postaje na više načina. U magmatskom ciklusu nastaje i pirogeno i pegmatitsko-pneumatolitski. Javlja se i u kontaktno i u regionalno metamorfoisanim stenama. Pri hidrotermalnim preobražajima prelazi u hlorit, epidot, kalcit a pri procesima površinskog raspadanja u kalcit, limonit, nontronit i dr.

Alkalni amfiboli

Sadrže u sastavu i natrijum i zato ih srećemo u stenama koje nastaju u metamorfnom ciklusu prevođenjem natrijskih rastvora, pri čemu se preobražavaju feromagnezijski minerali. Među alkalnim amfibolima najrasprostranjeniji je *glaukofan*.

Glaukofan je plave boje i javlja se u fibroznim agregatima kao sastojak metamorfnih stena koje nastaju na niskim do srednjim temperaturama i visokim pritiscima.

3.3.2. Grupa piroksena

Kao i minerali grupe amfibola i pirokseni kristališu rombično i monoklinično, ali su rombični pirokseni mnogo značajniji od rombičnih amfibola.

Kristališu u kratkostubičastim agregatima, katkad kao monokristali ili blizanci. Imaju savršenu cepljivost a tragovi cepljivosti zaklapaju ugao od 90° . Tvrdine su 5 - 6. Boje bele, preko raznih nijansi zelene, do crne. Staklastog do smolastog sjaja.

Podeljeni su na sledeći način:

Rombični pirokseni

- *enstatit*
- *bronzit*
- *hipersten*

Monoklinični pirokseni

- *diopsidsko-hedenbergitska serija*
- *augitska serija*
- *alkalni pirokseni*

3.3.2.1. Rombični pirokseni

Enstatit-hiperstenska serija

Obuhvata nekoliko minerala koji su po sastavu izomorfne smeše enstatita (MgSiO_3) i hiperstena (FeSiO_3). Zovemo ih kraće ortopiroksenima. Smatra se da su u ovoj izomorfnoj seriji najvažniji predstavnici:

enstatit sa 0-10% FeSiO_3

bronzit sa 10-30% FeSiO_3

hipersten sa preko 30% FeSiO_3

Boja ovih minerala zavisi od sastava (bela do tamnozelena) a bronzit ima bronzani odsjaj, po čemu je dobio ime.

Rombični pirokseni uglavnom su tipski magmatski minerali. Najčešće se javljaju u ultrabazičnim i bazičnim stenama. Dejstvom hidrotermalnih rastvora prelaze u serpentin.

3.3.2.2. Monoklinični pirokseni

Diopsid - hedenbergitska serija

Minerali ove grupe relativno su retki i srećemo ih pretežno u metamorfnim stenama, rede u magmatskim. Po sastavu su kalcijско-magnezijsko-gvožđevi silikati koji grade izomorfnu seriju sa krajnjim članovima diopsidom ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) i hedenbergitom ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$).

Kristališu u izduženim oblicima. Diopsid je beo do svetlozelen a hedenbergit tamnozelen.

Pri raspadanju nisu stabilni, daju kalcit, hidrokside gvožđa, opal i kalcedon.

Augitska serija

Minerali augitske serije su kalcijsko-magnezijsko-gvožđevi silikati sa sadržajem aluminije. Varijeteti bogatiji aluminijumom su svetlije zeleni dok su oni bogatiji gvožđem tamnije zeleni, katkad crni.

Augit sa malim sadržajem gvožđa, bronzano zelene boje i savršene cepljivosti zove se *dijalag*.

Značajni petrogeni minerali. Nastaju uglavnom magmatski, zatim u kontaktnom metamorfizmu, rede u regionalnom. Preobražajem prelaze u hlorite, nontronit ili amfibole a u površinskim uslovima raspadaju se u kalcit, kvarc, opal i okside gvožđa.

Alkalni pirokseni

Ova grupa piroksena u svome sastavu sadrži izvesnu količinu alkalija - uglavnom natrijuma. Fizičke osobine su slične augitskoj grupi. Tipiski su pirogeni minerali ili su pak vezani za regionalno metamorfne stene visokog stepena metamorfizma. Od alkalnih piroksena najčešći su *jadeit* i *omfacit*.

3.4. Nezosilikati

Nezosilikati se karakterišu prisustvom slobodnih SiO_4 tetraedara koji su vezani sa Mg, Fe, Al, Ca, ali nikada sa alkalijama.

Prikažaćemo samo najvažnije minerale ove grupe.

3.4.1. Grupa olivina

Minerali ove grupe imaju zajedničku formulu X_2SiO_4 , gde je X predstavljeno magnezijumom i gvožđem ili nešto rede magnezijumom i kalcijumom.

Olivine smatramo izomorfnim smešama dvaju krajnjih komponenata:

forsterita Mg_2SiO_4 i *fajalita* Fe_2SiO_4

Između ova dva krajnja člana postoje postupni prelazi.

Kristališu rombično u kratkostubičastim agregatima ali se najčešće javljaju u vidu zrnastih agregata nepravilnog oblika. Vrlo slabe cepljivosti, tvrđine 6,5 - 7, staklaste sjajnosti, a na prelomnim površinama masne. Bele su svetlozelene, maslinastozelene, tamnozeleno do crne boje.

Olivini su sastojci bazičnih i ultrabazičnih magmatskih stena gde su veoma značajan komponent. Nastaju pirogeno ali se mogu stvarati i u kontaktnom metamorfizmu, na vrlo visokim temperaturama.

Na niskim temperaturama minerali olivinske grupe su nestabilni. Dejstvom hidrotermalnih rastvora prelaze u serpentin, rede u talk. Pri površinskom raspadanju prelaze u limonit, opalsku masu, karbonat magnezijuma, nontronit i dr.

3.4.2. Grupa aluminijskih silikata

U ovu grupu minerala spadaju tri silikata istog hemijskog sastava (Al_2SiO_5), ali strukturno različita:

- **disten**, nezosilikat, trikliničan;
- **andaluzit**, nezosilikat, rombičan i
- **silimanit**, inosilikat, rombičan.

3.4.2.1. Disten

Mada je aluminijski silikat, disten obično sadrži nešto feri-gvožđa i hroma što se ogleđa u boji ovog minerala koja je obično plavičasta. Javlja se u tabličastim, izduženim, katkad veoma krupnim kristalima savršene cepljivosti. Različite tvrdine na raznim pljosnima - po čemu je i dobio ime (grčki: $\delta\iota$ - dva, $\sigma\theta\epsilon\nu\sigma$ - jačina, snaga), od 4 do 7. Staklaste do sedefaste sjajnosti.

Disten je tipski regionalno metamorfni mineral. Nastaje u metamorfnim stena-ma pri vrlo visokim pritiscima iz glinenih sedimenata. Pri alteraciji prelazi u sericit a u uslovima površinskog raspadanja veoma je stabilan te se često koncentriše u nanosima.

3.4.2.2. Silimanit

Po hemijskom sastavu je aluminijski silikat ali može da sadrži do 3% Fe_2O_3 . Kristali su igličasti i obično grupisani u agregate. Beo, žućkast ili zelenkast, staklaste do svilaste sjajnosti. Savršene cepljivosti, tvrdine 6 - 7.

Silimanit je mineral regionalno ili kontaktno metamorfnih stena. Alteracijom ovaj mineral prelazi u minerale glina.

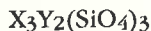
3.4.2.3. Andaluzit

Istog je sastava kao i silimanit ali uz oksid gvožđa može da sadrži i do 7% oksida mangana. Javlja se u stubičastim kristalima, katkad kao monokristal. Beo, ružičast, zelenkast. Tvrdine oko 7, jasne cepljivosti i staklaste sjajnosti.

Najčešće se javlja u kontaktno metamorfovanim pelitskim stenama, ali se može sresti i u stenama regionalnog metamorfizma. Dejstvom hidrotermalnih rastvora prelazi u sericit a pri zagrevanju u silimanit.

3.4.3. Grupa granata

Minerali grupe granata veoma su rasprostranjeni u svim tipovima stena. Raznovrsni su po sastavu ali se mogu svesti na zajedničku formulu



X je dvovalentni metal: Ca, Mg, Fe, Mn

Y je trovalentni metal: Fe, Al, Cr.

Na osnovu prisustva pojedinih metala granati obrazuju čitav niz vrsta:

- *pirop* Mg, Al granat
- *almandin* Fe, Al granat
- *spersantin* Mn, Al granat
- *uvarovit* Ca, Cr granat
- *grosular* Ca, Al granat
- *andradit* Ca, Fe granat

Kristališu teseralno, često u lepim pravilnim kristalima. Velike su tvrdine: 6,5 - 7,5. Bez cepljivosti su. Boja im varira u zavisnosti od sastava, od bezbojne, preko žućkaste, zelenkaste, crvene, crvenomrke do crne.

Prema postanku granati su pretežno metamorfni minerali ali mogu postati i magmatski. Pri hidrotermalnom preobražaju prelaze u hlorite i minerale epidotske grupe a u uslovima površinskog raspadanja veoma su stabilni i koncentrišu se u nanosima.

3.4.4. Epidotska grupa

Ova grupa obuhvata nekoliko hidratiranih kalcijско-aluminijskih silikata sa sadržajem gvožđa i mangana.

3.4.4.1. Epidot

Kalcijско-aluminijsko-gvožđev silikat sa vodom. Kristališe monoklinično u stubastim kristalima, ali je češće zastupljen u jedrim i sitnozrnim agregatima. Savršene je cepljivosti, tvrdine 6,5, staklaste sjajnosti, a u zavisnosti od sadržaja gvožđa žutozeleno do crne boje.

Ovo je mineral koji u najvećem broju slučajeva nastaje sekundarno preobražajem feromagnezijskih minerala sa sadržajem aluminije. Sreće se u uslovima regionalnog i kontaktnog metamorfizma. Može da nastane i magmatski. Pri raspadanju je dosta otporan i sreće se ne samo u pesku rečnih nanosa, nego i u raznim vrstama zemljišta. Zemljište nastalo raspadanjem epidotskih škriljaca može da sadrži i do 60% teških minerala ove grupe.

3.4.4.2. Cojsit

Kalcijski alumosilikat koji sadrži do 5% Fe_2O_3 . Rombičan je i javlja se u izduženim kristalima ili sitnozrnim, jedrim agregatima. Svetlosive, plavkaste ili ružičaste boje. Nastaje automorfnim preobražajem feldspata (bazičnih plagioklasa) i dejstvom hidrotermalnih rastvora. Klinocojsit ima iste karakteristike kao cojsit ali kristališe monoklinično i ne sadrži gvožđe.

3.4.4.3. Pumpelit

Pumpelit je po hemijskom sastavu kalcijsko-magnezijsko-gvoždeviti aluminijski silikat. Po optičkim osobinama i po načinu pojavljivanja veoma je sličan klinocojsitu. Razlikuje se jedino po nešto većem dvolomu. Pumpelit je veoma karakterističan mineral metamorfizma tonjenja (koji se javlja u područjima gde vladaju visoki pritisci a niske temperature).

3.4.4.4. Sfen

Sfen ili titanit, kako ga još nazivaju, po sastavu je kalcijumtitanat. Kristališe monoklinično, jasne cepljivosti. Obično je žute boje, ponekad zelen ili siv. Najčešće se javlja kao sporedni mineral u steni. Pri površinskom raspadanju veoma je otporan, te ga često srećemo i u rečnim nanosima.

3.5. Sorosilikati i ciklosilikati

U ovoj grupi silikata prikazaćemo samo one koji se najčešće sreću u stenama, uglavnom kao sporedni minerali.

3.5.1. Beril

Po hemijskom sastavu je berilijum alumosilikat - $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Kristališe heksagonalno i vrlo često se sreće u pravilnim, katkad veoma krupnim, kristalima. Plave ili plavkastozelene je boje, tvrđine 7,5 - 8. Od primesa može biti, međutim, različito obojen te razlikujemo nekoliko varijeteta. Zeleni - *smaragd* i plavi - *akvamarin* spadaju u drago kamenje.

Nastaje u pegmatitima uz prisustvo velike količine lakoisparljivih komponenata. Prema raspadanju je otporan, ali se dugim dejstvom vode zamućuje i posle ispiranja berilijuma prelazi u kaolinit.

3.5.2. Turmalin

Dosta je komplikovanog hemijskog sastava ali se kratko može definisati kao boro-alumo-silikat magnezijuma i gvožđa sa sadržajem kalcije, alkalija i hidroksila. U sastavu može da ima oko 15 elemenata što se odražava na boju, koja varira od bezbojne, preko zelene, žutomrke do crne. Javlja se u lepim trigonalnim, izduženim kristalima. Velike je tvrđine 7 - 7,5. Bez cepljivosti je.

Postaje pneumatolitski a prema raspadanju je veoma otporan i stoga ga nalazimo u nanosima. Delovanjem hidrotermalnih rastvora prelazi u hlorit ili sericit.

3.5.3. Lavsonit

Lavsonit je po hemijskom sastavu kalcijski alumosilikat. Kristališe rombično, savršene je cepljivosti. Nastaje u uslovima visolih pritisaka i niskih temperatura (metamorfizam tonjenja). Često je udružen sa pumpelitom, glaukofanom itd.

3.6. Oksidi i hidroksidi

Ovi minerali su veoma značajni komponenti stena i takođe značajni komponenti zemljišta.

Kao petrogeni minerali posebno su važni oksidi silicijuma (već prikazani), aluminijuma, titana, magnezijuma, gvožđa i dr. Dejstvom atmosferilija mnogi oksidi prelaze u hidrokside te u kori raspadanja srećemo samo neke (kvarc, magnetit) dok su hidroksidi u zemljištu stabilni i zastupljeni.

One koji su najznačajniji za stene ili koru raspadanja, prikazaćemo u narednom poglavlju.

3.6.1. Led

Oksid vodonika H_2O . Kristališe heksagonalno. Javlja se u igličastim kristalnim skeletima ili tabličastim kristalima. Bezbojan, u većim masama plavičastozelen.

3.6.2. Oksidi i hidroksidi gvožđa

Među oksidima gvožđa postoje dva važna predstavnika: *magnetit* i *hemattit*. Osim ova dva minerala, u kori raspadanja javlja se i limonit koji nastaje uglavnom sekundarno.

3.6.2.1. Magnetit

$\text{FeO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$. Kristališe teseralno i može se često naći u lepim pravilnim oktaedrima. Postaje magmatski, hidrotermalno pa čak i hidatogeno ako su uslovi redukcioni.

Crne je boje, metalne sjajnosti, crnog ogreba, bez cepljivosti, magnetičan. Tvrdine 5,5 - 6,5.

Redovan je sastojak magmatskih stena. Pri raspadanju otporan i često gradi magnetitske nanose. U površinskim uslovima, naročito uz prisustvo pirita, prelazi u limonit i hematit.

3.6.2.2. Hematit

Fe_2O_3 . Jedna od najvažnijih ruda gvožđa. Kristališe heksagonalno i javlja se u ljuspastim agregatima ili veoma sitnozrnim jedrim masama. Najčešće je crvene boje po čemu je dobio ime (grčki: *αιμα* - krv), ali može biti metalno siv ili crn. Ogreb mu je, međutim, uvek crven. Metalne sjajnosti, a tvrdine oko 6.

Hematit je primer minerala koji nastaje na sve načine. Raspadanjem prelazi u limonit.

3.6.2.3. Limonit

$\text{Fe}_2\text{O}_3 \times x\text{H}_2\text{O}$. Ime je dobio po gr. reči (grčki: *λειμων* - močvara). Postaje raspadanjem svih minerala koji sadrže gvožđe, te se, budući da je amorfan, javlja u vidu skrama, prevlaka, bubrežastih masa, zemljastih masa. U stenama je veoma rasprostranjen i u uslovima površinskog raspadanja svuda je prisutan. Može da obrazuje veće koncentracije kada predstavlja rudu gvožđa.

3.6.3. Oksidi titana

Među oksidima titana možemo izdvojiti proste i složene. Po hemijskom sastavu prosti oksidi su po sastavu TiO_2 . Tu spadaju **rutit** i **brukit**. U složene okside titana spadaju **ilmenit** koji je po sastavu oksid titana i gvožđa i **perovskit**, koji je po sastavu kalcijum titanat. Pomenuti minerali uglavnom se javljaju kao sporedni sastojci

(najčešće u bazičnim stinama). Prema površinskom raspadanju su otporni pa se sreću i u rečnim nanosima.

3.6.4. Oksidi i hidroksidi aluminijuma

U ovoj grupi minerala postoji nekoliko predstavnika, ali su za naše proučavanje značajni korund i minerali koji čine boksite.

3.6.4.1. Korund

Oksid aluminijuma - Al_2O_3 . Kristališe trigonalno, katkad u lepim oblicima. Idiohromatski je bezbojan ali od primesa može biti različito obojen. Plavi - *safirt*, i crveni - *rubini* predstavljaju skupoceno drago kamenje. Velike je tvrdine - 9. Neravnog preloma, bez cepljivosti, staklaste sjajnosti.

Nastaje kontaktno i regionalno metamorfno, ali i magmatski (čak i hidrotermalno). Pri raspadanju je dosta otporan i koncentriše se u nanosima.

3.6.4.2. Boksitni minerali

Ovu grupu minerala čini nekoliko hidroksida aluminijuma različitog sastava (promenljive količine vode i primesa, posebno gvožđa), koji grade boksite - osnovnu sirovinu za dobijanje aluminijuma. Ti minerali, *dijaspor*, *hidrargirit*, *džipsit*, nastaju površinskim raspadanjem stena, veoma često karbonatnim (lateriti, terra rossa). Katkad nastaju i hidrotermalno. Boksitne agregate je lako razlikovati od glina jer sa vodom ne daju plastične mase.

3.7. Karbonati

Karbonati su, kao što je poznato, soli ugljene kiseline, veoma značajna grupa minerala i kao petrogeni, i kao mineralne sirovine.

Prema strukturnim karakteristikama razlikujemo dve grupe karbonata: romboedarske i rombične. Pošto samo prva daje značajnije petrogene minerale, daćemo prikaz samo najvažnijih iz ove grupe.

3.7.1. Kalcit

Po hemijskom sastavu karbonat kalcijuma (CaCO_3). Javlja se u pločastim kristalima ali gradi i agregate u kojima su zrna nepravilnog oblika.

Bezbojan je i u tankim kristalima staklasto providan. Inače može biti ružičast, zelenkast, ili čak od organskih materija tamnosiv do crn. Tvrdine 3, lepe staklaste sjajnosti i savršene cepljivosti.

Burno reaguje sa razblaženom hlorovodoničnom kiselinom, tako da se lako razlikuje od drugih karbonata.

Postaje na razne načine. Najčešće se luči iz voda u kojima je prisutan lako rastvorljiv $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ kada dođe do sniženja temperature ili kada biljke apsorbuju CO_2 . Stvara se i kao sekundarni mineral po mnogim silikatima.

Kalcit je bitan sastojak velikog broja značajnih sedimentnih stena (krečnjaci, laporci) i mnogih metamorfih stena (mermeri). U površinskim uslovima rastvara se i prelazi u kalcijum hidrokarbonat koji se lako transportuje. Ovaj slučaj karakterističan je za karst.

3.7.2. Aragonit

Takođe je kalcijum karbonat ali za razliku od kalcita kristališe rombično. Nastaje uglavnom hidrotermalno i javlja se u igličastim ili pločastim agregatima. Često prelazi u kalcit.

3.7.3. Dolomit

$\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$. Sadržaji kalcijuma i magnezijuma u ovom mineralu vrlo malo kolebaju. Dolomit je mineral koji se često javlja u idiomorfnim zrnima a takođe i u zrnastim agregatima.

Savršene je cepljivosti, staklaste sjajnosti. Bele je boje. Tvrdine 3,5 - 4. Rastvara se tek u zagrejanoj hlorovodoničnoj kiselini, te ga tako najlakše razlikujemo od kalcita.

Postaje na razne načine. Najviše se razvija metasomatski pri diagenetskim procesima dejstvom Mg rastvora na kalcijum-karbonatske stene. Redje je hidatogen mineral a može nastati i hidrotermalno. Dolomit je značajan komponent sedimentnih i metamorfnih stena. Gradi monomineralne stene - dolomite, a takođe i dolomitske mermere.

3.7.4. Magnezit

Magnezijumov karbonat sa formulom MgCO_3 . Značajniji je kao rudni nego kao petrogeni mineral. Beo je, javlja se u agregatima nepravilnog oblika, veoma sitnozrnim i jedrim, koji imaju školjkaste prelome.

Nastaje hidrotermalno preobražajem Mg silikata.

3.7.5. Siderit

Karbonat gvožđa FeCO_3 . Žute je do mrke boje, a ostale osobine su kao kod drugih karbonata. Nastaje kao alteracioni produkt pri delovanju hidrotermalnih rastvora ili hladnih voda bogatih CO_2 na minerale sa visokim sadržajem gvožđa. U površinskim uslovima (kora raspadanja) transformiše se u limonit.

3.8. Sulfati

Sulfati su soli sumporne kiseline. U stenama su manje zastupljeni od karbonata, ali su u kori raspadanja često prisutni. Vezani su za srednje i niske temperature stvaranja, i nastaju direktno iz rastvora usled prezasićenja ili usled hlađenja hidrotermi.

3.8.1. Anhidrit

Sulfat kalcijuma sa formulom CaSO_4 . Kristališe rombično i javlja se u zrnastim i jedrim masama. Savršene je cepljivosti, bele boje i sedefastog sjaja. Tvrdine je 3 - 3,5.

Postaje uglavnom hidatogeno. Najčešće se stvara u sonim ležištima. Primanjem vode prelazi u gips.

3.8.2. Gips

Gips je kalcijum sulfat sa vodom, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Kristališe monoklinično, i ako su uslovi povoljni javlja se u veoma lepim kristalima ili blizancima.

Beo je ili providan - bezbojan sa lepim staklastim sjajem. Savršene cepljivosti. Sitnozrni agregati lepe bele boje zovu se alabaster. Zagrevanjem gubi vodu ali je lako prima nazad. Male je tvrdine - 2.

Nastaje najčešće kristalizacijom iz hladnih vodenih rastvora naročito u sonim ležištima. Razvija se iz anhidrita primanjem vode. Sreće se u u laporcima i glincima u vidu konkrecija koje nastaju delovanjem sumporne kiseline na karbonate u tim stenama. Ima ga i u oksidacionoj zoni rudnih ležišta u vidu žilica i skramâ koje nastaju dejstvom ponirućih voda.

3.9. Haloidi

Ova grupa minerala u prirodi je predstavljena velikim brojem mineralnih vrsta ali kao petrogeni minerali imaju mali značaj. Pomenućemo stoga samo halit - kuhinjsku so koja ima i velikog značaja jer se koristi u ljudskoj ishrani.

3.9.1. Halit

Kuhinjska so je po sastavu natrijum hlorid (NaCl). Obično nije čista već sadrži brojne primese koje utiču kako na fizičke tako i na fiziološke osobine ovog minerala.

Kristališe teseralno u vidu kocke ili se javlja u zrnastim masama poznatim kao kamena so. Savršene je cepljivosti, staklaste sjajnosti, bezbojna, bela, ružičasta ili zelenkasta. Slanog je, a usled prisustva primesa Mg slanogorkog ukusa. Jako lako rastvorljiva u vodi i higroskopna.

Nastaje kao mineral sonih ležišta, rede kao produkt vulkanskih eskalacija.

3.10. Fosfati

Fosfati su soli fosfatne kiseline i njihov broj je u prirodi veliki. U stenama su, međutim, sporedni sastojci.

3.10.1. Apatit

Kalcijum fosfat sa sadržajem hlora i fluora $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl})$. Kristališe heksagonalno. Redovan je sporedni sastojak u stenama i može se javiti u vidu lepih pravilnih kristalića. U sedimentnim stenama, međutim, ovaj se mineral može sresti u vidu nagomilanja, kongrecija ili zemljastih masa kada ga nazivamo fosforitom.

Bezbojan, žućkasto zelen, plavozelen, ljubičast, ružičast. Slabe cepljivosti, staklaste sjajnosti, tvrđine 5, neravnog preloma.

Postaje magmatski kao pirogeni mineral kada je sastojak velikog broja stena. Sreće se i u pegmatitsko-pneumatolitskom stadijumu a može postati i metamorfno. Apatit je otporan pri površinskom raspadanju te se koncentriše u nanosima.

Kriptokristalasti fosforiti, međutim, retko su čisti, obično sadrže primese glinâ. Javljaju se kao skrame, prevlake, zemljaste mase. Postaju biohemijskim procesima u plitkim područjima mora. Fosforiti se stvaraju i u tzv. guano naslagama.

3.11. Sulfidi

Iako su kao petrogeni minerali dosta retki, sulfidi predstavljaju u mineralogiji veoma značajnu grupu, naročito među metalničnim mineralima. U stenama se, međutim, češće javlja samo pirit, bisulfid gvožđa.

3.11.1. Pirit

Po sastavu je FeS_2 . Javlja se u prirodi u tri modifikacije: *pirit* - teseralna, *markasit* - rombična, *meljnikovit* - gelna. U stenama je najčešći pirit.

Kao što je rečeno, pirit kristališe teseralno. Javlja se i u vidu zrnastih masa i sitnozrnih agregata. Mesinganožute je boje, metalne sjajnosti, bez cepljivosti, tvrdine 6 - 6,5. Zelenkastocrnog ogreba.

Postaje na razne načine. Spada u najrasprostranjenije sulfide. U površinskim uslovima razlaže se brzo i prelazi u limonit. Budući da se pritom oslobađa sumporna kiselina, ona izbeljuje stenske mase.

3.12. Elementi

Napomenuli smo da se samo mali broj elemenata u prirodi sreće u slobodnom stanju gradeći samostalne minerale. U stenama je takode mali broj minerala - elemenata koji igraju značajnu ulogu. U ovoj grupi ćemo pomenuti stoga elementarni ugljenik i sumpor.

3.12.1. Dijamant

Elementarni ugljenik koji kristališe teseralno, katkad u vrlo lepim oblicima. Providan ili prozračan i maksimalne tvrdine - 10. Savršena cepljivost. Izotropan. Ima važnu primenu kao dragi kamen, a kao mineral velike tvrdine koristi se i za izradu kruna za bušenje. Primarno se javlja kao magmatski mineral. U zoni površinskog raspadanja veoma je stabilan i koncentriše se u nanosima.

3.12.2. Grafit

Elementarni ugljenik koji kristališe heksagonalno u tabličastim kristalima, lju-spastim agregatima ili gustim masama. Crne je boje, savršene cepljivosti, male tvrdine (1 - 2), prlja prste pri dodiru, metalnog sjaja. Glavne mase ovog minerala nastaju metamorfno ili preobražajem sedimenata sa sadržajem organske materije.

3.12.3. Sumpor

Samorodni sumpor (kako ga često nazivaju) u prirodi je veoma čest. Kristališe rombično ali se češće javlja u vidu skramâ, prevlaka i zemljastih masa. Krt je, male tvrdine i boje žute kao med. Nastaje najčešće oko solfatara ili termalnih vrela. Velike mase mogu se razviti organogeno. Nalazimo ga i u dubljim delovima oksidacione zone rudnih ležišta.

Petrologija litosfere



Pre nego što predemo na proučavanje stena koje grade Zemljinu koru, potrebno je istaći nekoliko podataka o Zemlji kao planeti.

Govoreći o Zemlji, često se ističe da su fizički uslovi unutar naše planete manje poznati i često manje razjašnjeni nego oni uslovi koji vladaju na zvezdama koje se nalaze na rastojanjima merljivim svetlosnim godinama od Zemlje. Pretpostavlja se da je Zemlja nastala očvršćavanjem primarno homogenog rastopa. Uticajem spoljih i unutrašnjih faktora u toku duge istorije naše planete, pre i posle stvaranja njenoga čvrstog omotača, izvršeno je frakcionisanje u rastopu, te se Zemlja danas sastoji od nekoliko zona, koncentrično raspoređenih, a koje imaju različit hemijski sastav i mehaničko-fizičke osobine.

Postoje brojni dokazi koji potvrđuju zonarnost Zemlje. Tako na primer zapreminska masa Zemlje iznosi $5,52 \text{ gr/cm}^3$ a njene kore samo oko $2,7 \text{ gr/cm}^3$. Geofizičkim proučavanjima takode je utvrđeno da seizmički talasi prolaze različitom brzinom kroz razne sfere Zemlje.

Tek vrlo mali delovi Zemlje (čiji poluprečnik iznosi 6370 km) dostupni su direktnom posmatranju. Dubina najdubljih rudnika iznosi nešto preko 2500 m, a najdubljih bušotina oko 12 000 m. Zbog toga se za proučavanje sastava Zemlje i Zemljine kore moraju koristiti geohemijski podaci, podaci geofizičkih ispitivanja, podaci o sastavu meteorita, podaci dobijeni na živim vulkanima i, naravno, podaci ispitivanja stena sa površine.

Podaci o sastavu meteorita su naročito važni. Smatra se, naime, da Zemlja i meteoriti imaju zajedničko poreklo (meteoriti su fragmenti okolnih planeta).

U zavisnosti od toga kojima je od navedenih podataka pridavan veći značaj, razvilo se više shvatanja o građi Zemlje, čiji su zajednički činioci: postojanje kore, postojanje međuzone (jedne ili više njih), postojanje jezgra i koncentrična grada.

Najpoznatije šeme o građi Zemlje dali su:

Goldšmit (<i>W.M. Goldschmidt</i>)	1922. godine,
Vašington (<i>H.S. Washington</i>)	1922. godine,
Budington (<i>A.F. Buddington</i>)	1943. godine,
Deli (<i>R.A. Daly</i>)	1946. godine,
Bulen (<i>K.E. Bullen</i>)	1953. godine i
Ajzeks i Oliver (<i>Isacs & Oliver</i>)	1967. godine i drugi.

Radovi poslednje citiranih autora predstavljaju najnovije koncepcije bazirane na podacima koji su kumulirani u poslednjih par decenija.

Shvatanja autora po nabrojanom redosledu manje-više proizilaze jedno za drugim, te ćemo se, logično, zadržati najviše na prvom i poslednjem jer se najviše razlikuju.

Prema podacima koje daje **Goldšmit**, Zemlju sačinjavaju sledeće zone:

- **jezgro**, izgrađeno u bitnome od **gvožđa i nikla**, a podređeno od **kobalta, platine, ugljenika i dr**;

- **sulfidno oksidnu zonu**, sastavljenu pretežno od **gvožđa, sumpora, bakra, cinka, olova, arsena, antimona, kiseonika i dr**;

- **barosfera**, (grčki: βαρυς - težak, σφαίρα - lopta) ili eklogitsku zonu, izgrađenu od **silicijuma, magnezijuma, gvožđa, kalcijuma i kiseonika**. Smatra se da je ova zona plastična zbog uslova koji vladaju u njoj. Pošto u barosferi prevladavaju silicijum i magnezijum ova zona Zemlje često se naziva **SIMA zona**;

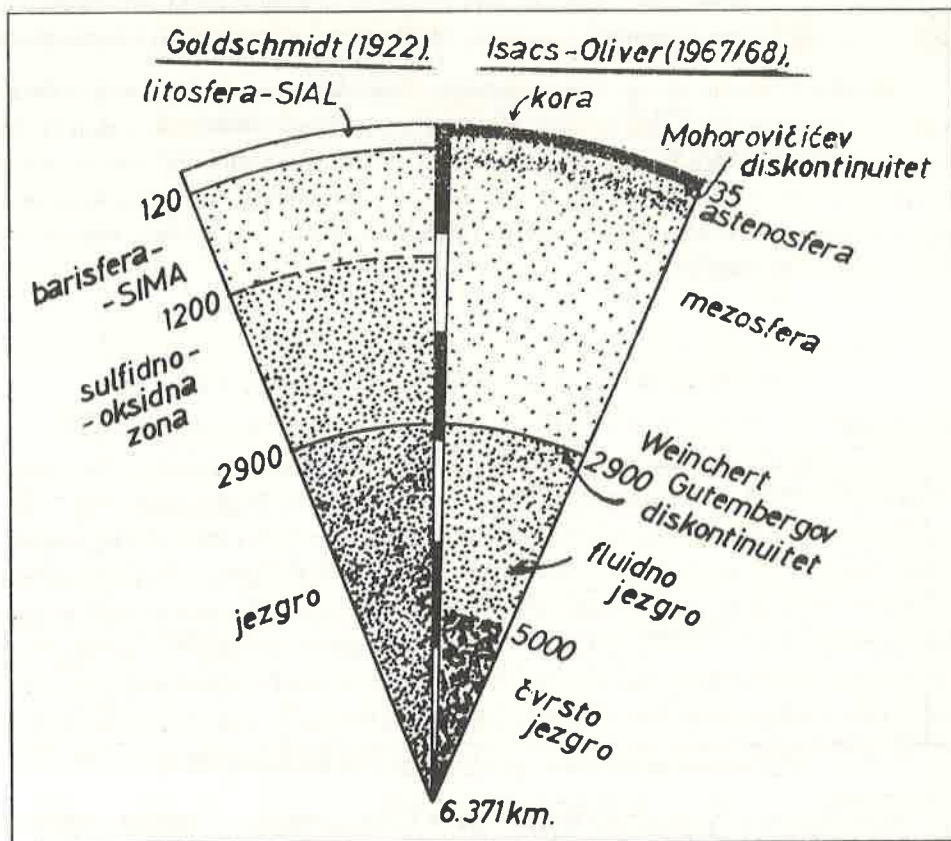
- **Zemljina kora ili litosfera**, (grčki: λίθος - kamen, σφαίρα - lopta), izgrađena od čvrstih stena. Najvažniji elementi koji izgrađuju litosferu su: **silicijum, aluminijum, kalijum, natrijum, kalcijum, kiseonik, magnezijum, gvožđe i dr**. Zbog vodećih elemenata (silicijuma i aluminijuma) ova zona se naziva **SIAL zona**;

- **atmosfera**, izgrađena od gasova. Predstavlja spoljni omotač Zemlje. U njoj dominiraju: **kiseonik, azot, ugljenik, vodonik, argon, helijum i dr**.

Baza za ovakvu podelu Zemlje bili su podaci dobijeni u metalurškim procesima, pri topljenju siromašnih ruda pojedinih metala. Proučavajući ponašanje nekih elemenata pri ovim procesima Goldšmit je elemente podelio na **siderofilne, halkofilne, litofilne i atmofilne**, tj. pretpostavio je da se elementi u Zemljinoj kori ponašaju slično kao i rude u visokim pećima za topljenje. Siderofilni se koncentrišu najdublje u jezgru Zemlje, halkofilni u srednjim delovima a litofilni, koji u visokim pećima grade šljaku ovde grade periferne delove Zemlje, barosferu i atmosferu. Na tabeli u tekstu dat je prikaz siderofilnih, halkofilnih, litofilnih i atmofilnih elemenata kako ih je izdvojio Goldšmit. Neki od elemenata se, međutim, javljaju u raznim grupama, pošto tip jedinjenja koje element gradi ne zavisi samo od prirode elementa već i od drugih fizičko-hemijskih faktora: pritiska, temperature i sastava sredine. Tako, na primer, gvožđe u Zemljinoj kori u prisustvu kiseonika stvara okside, uz malo kiseonika i visok sadržaj sumpora daje sulfide, a u visoko redukcionim uslovima uz male količine sumpora javlja se samorodno. Na priloženoj tabeli naglašeni su elementi koji imaju značajnu ulogu u dve ili više zona.

Litofilni	Halkofilni	Siderofilni	Atmofilni Inertni
Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, B, Al, Y, Retke zemlje, C, Si, Ti, Zr, Hf, Th, P, V, Nb, Ta, O, Cr, W, U, H, F, Cl, Br, J, Fe, Mn, Ga, Ge, Sn, Mo, Cu, Zn, Pb, Tl, As, Sb, Bi, S, Se, Te, Ni, Co	Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, In, Tl, Pb, As, Sb, Bi, S, Se, Te, Ni, Co, Fe, Re, Mo, Mn, Ga, Ge, Sn	Pt, Ir, Os, Ru, Rh, Pd, Au, Fe, Pb, As, W	H, N, O, C

Osnovnu heterogenost u građi Zemlje utvrdila su i geofizička ispitivanja. Interpretirajući rezultate merenja registrovanih zemljotresa, podzemnih nuklearnih eksplozija i drugih veštački proizvedenih seizmičkih talasa, danas je u okviru teorije *Nove globalne tektonike* (New Global Tectonics) dopunjena šema o građi Zemlje koju je inicijalno postavio Bulen (sl.1).



Sl. 1. Građa zemlje prema Goldsmštu (1922) i Afzeks, Oliveru (1967/68)

Na osnovu promene brzine kretanja seizmičkih talasa pri prolazu kroz Zemlju u radijalnom smeru, konstatovane su dve vrlo dobro izražene površine diskontinuiteta. Andrija Mohorovičić, 1909. godine, utvrdio je na relativno maloj dubini površinu diskontinuiteta na kojoj se brzina seizmičkih talasa naglo menja od 5,5 km/s na preko 8 km/s. Docnijim detaljnijim merenjima dokazano je da se ova površina, nazvana **MOHO površina** (Mohorovičićeva površina diskontinuiteta) nalazi na srednjoj dubini od oko 35 km, da je u okeanskim regionima na dubini od desetak kilometara a u delovima ispod visokih planina na dubini od oko 65 km.

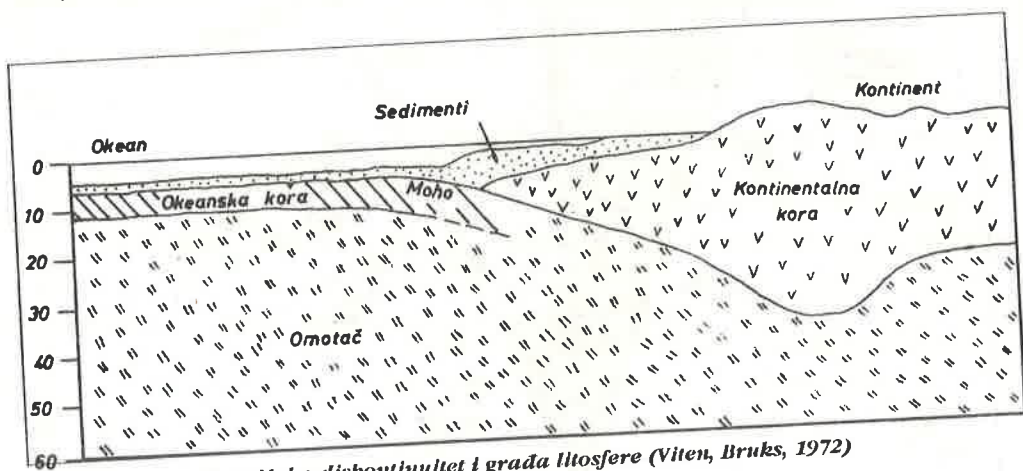
Druga regionalna površina diskontinuiteta nalazi se na dubini od 2900 km i okarakterisana je kao granična površina jedne čvrste i jedne fluidne sredine. To je **Wiebert-Gutenbergova (Wiechert-Gutenberg)** površina diskontinuiteta. Područje unutar ove površine diskontinuiteta je jezgro (dubina 2900-6370 km) koje se deli na čvrsto (5000-6370 km) i tečni deo (2900-5000 km). Deo Zemlje između dve navedene

površine diskontinuiteta Bulen je označio kao područje izgrađeno od kristalizovanog dunita (stene izgrađene samo od olivina).

Deo iznad Mohorovičićeve površine diskontinuiteta obeležen je kao granitno-bazalni sloj.

Prema savremenim podacima ove dve površine diskontinuiteta dele zemlju na **jezgro**, **omotač** i **koru**. Omotač i koru dele na **litosferu**, **astenosferu** i **mezosferu**.

Litosfera prema teoriji Nove globalne tektonike predstavlja spoljnu čvrstu ljusku Zemlje i obuhvata Zemljinu koru, **kontinentalnu** i **okeansku**, i najviši deo omotača (sl.2). Ovaj sloj Zemlje, koji se odlikuje znatnom čvrstoćom, ima prosečnu debljinu oko 100 km. Litosfera ne predstavlja kompaktnu statičnu ljusku, kako se to ranije smatralo, već se sastoji iz nekoliko odvojenih krutih ploča (zbog toga se ova teorija i zove **tektonika ploča**).



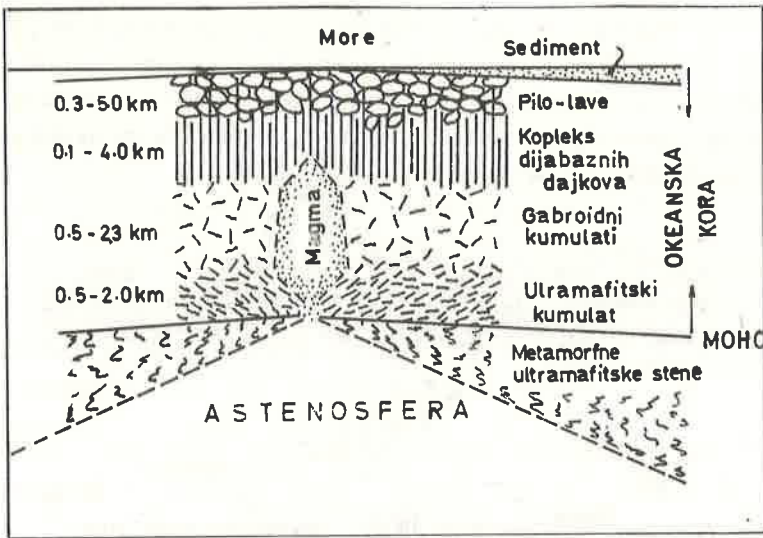
Sl. 2. Moho-diskontinuitet i građa litosfere (Viten, Bruks, 1972)

Ploče litosfere "plivaju" na **astenosferi** (grčki: *ασθενεια* - slabost, mlitavost, *σφαира* - lopta) koja je plastična i debela nekoliko stotina kilometara. Donji deo omotača je **mezosfera**, koja je najverovatnije čvrsta. Ispod mezosfere je **jezgro**, tečno u perifernom, a čvrsto u centralnom delu.

Zemljinu koru, kao što je već pomenuto, čine kontinentalna i okeanska kora koje se međusobno razlikuju kako po sastavu tako i po debljini.

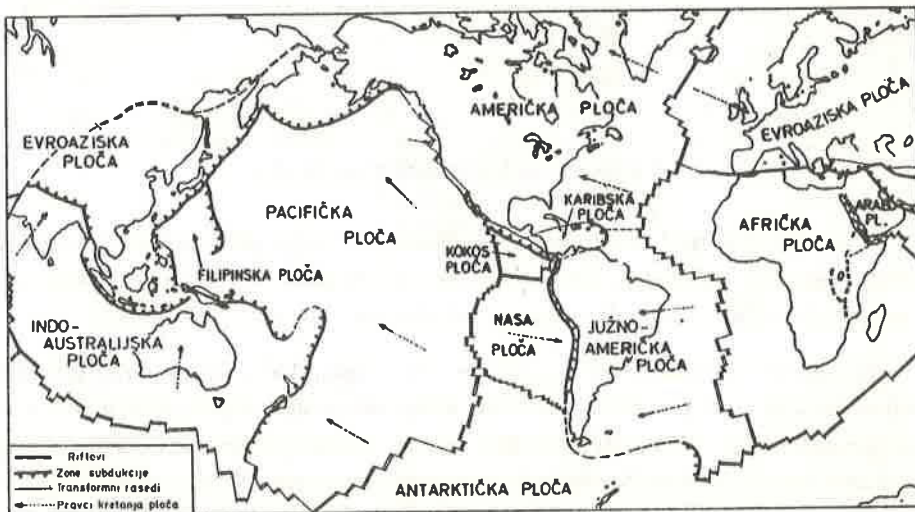
Kontinentalna kora debela je do 60 km, prosečno 35 do 40 km. Njen donji (podinski) deo izgrađen je od amfibolita iznad kojih se nalaze graniti i gnajsevi. Granica između ove dve grupe stena definisana je **Konradovim diskontinuitetom**.

Okeanska kora je znatno tanja, oko 12 km, prosečno 4-6 km (sl.3). Izgrađena je od kumulatnog gabra i malo peridotita (u podinskom delu) preko kojeg se nalazi zona sa subparalelnim dajkovima dijabaza (tzv. *sheeted dykes*), zatim slede *pillow lave* i na kraju sedimenti (rožnaci, gline itd.). Od omotača je jasno odvojena Moho diskontinuitetom.



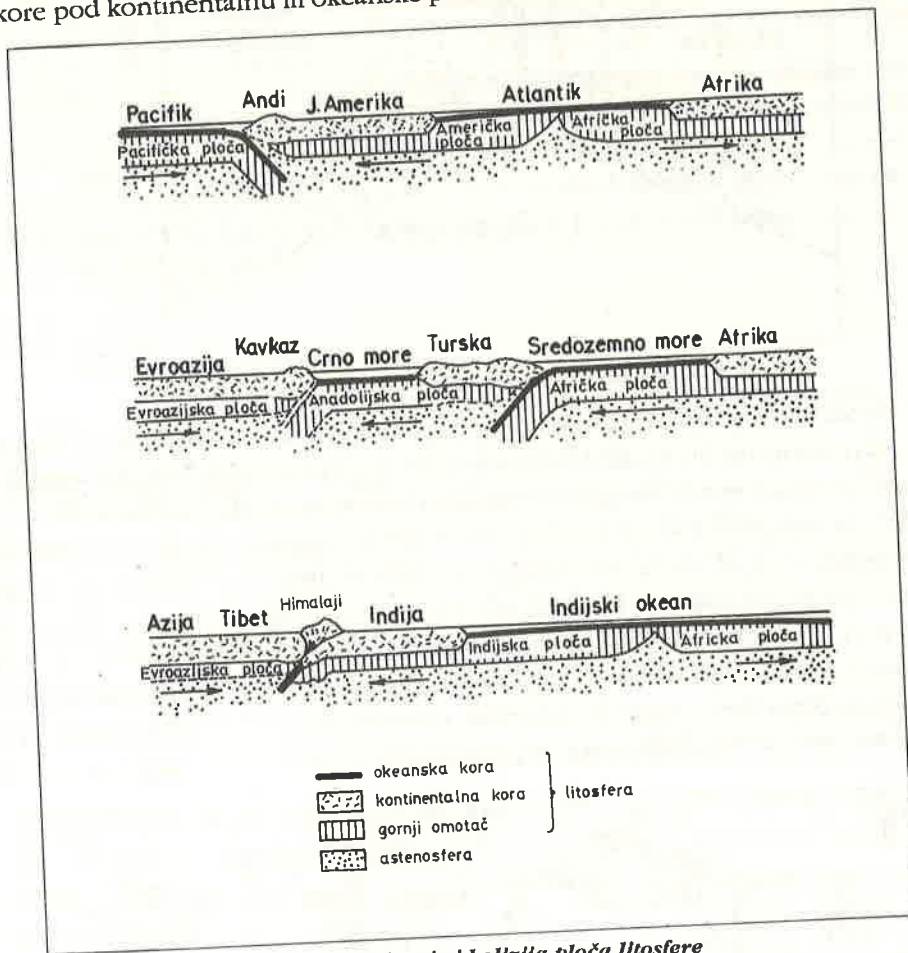
Sl. 3. Shematski prikaz litološkog sastava okeanske kore

Ploče litosfere odvojene su sistemima razloma koji se nazivaju *riftovi*. Duž njih dolazi do razdvajanja okeanskih i kontinentalnih ploča pri čemu se javljaju i veliki izlivi vulkanskih stena (tzv. riftni magmatizam). Uglavnom se smatra da ima šest velikih ploča litosfere, sa manjima i više od 20 (sl.4). Treba pritom napomenuti da obodi ploča ne predstavljaju uvek obode kontinenata, nego ploče obuhvataju i kontinente i delove okeana. One su pokretljive i plivaju na astenosferi. Razmicanje ploča prati i utiskivanje novih porcija rastopa pri čemu se okeanska kora regeneriše i širi a ploče razmiču. Nasuprot tome, tako pokrenute ploče litosfere na drugoj strani se sudaraju jedna sa drugom pri čemu često dolazi do poniranja, odnosno podvlačenja jedne ploče ispod druge, tzv. *zone subdukcije*, kada se ponirući delovi ploča resorbuju i tako održava



Sl. 4. Osnovne ploče litosfere

stalna ravnoteža u količini čvrstog i tečnog materijala u omotaču. Zone podvlačenja (sl.5) veoma su aktivne zone, gde se uz intenzivne tektonske pokrete (područja najintenzivnijih trusova), stvaraju i nova ognjišta lavâ. Najvažniji su, svakako **ostruski lukovi** (sl.6) koji predstavljaju stene nastale stapanjem subdukovanih ploča tj. okeanske kore pod kontinentalnu ili okeanske pod okeansku.

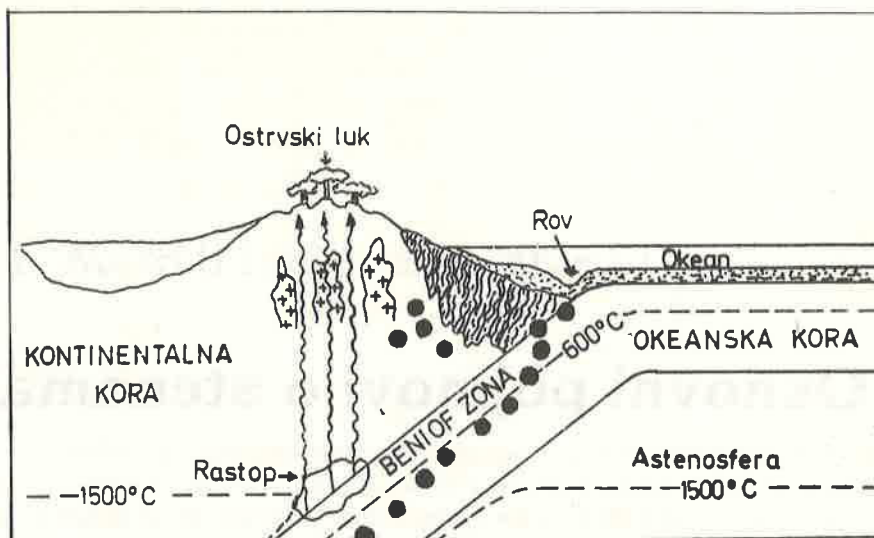


Sl. 5. Razmicanje i kolizija ploča litosfere

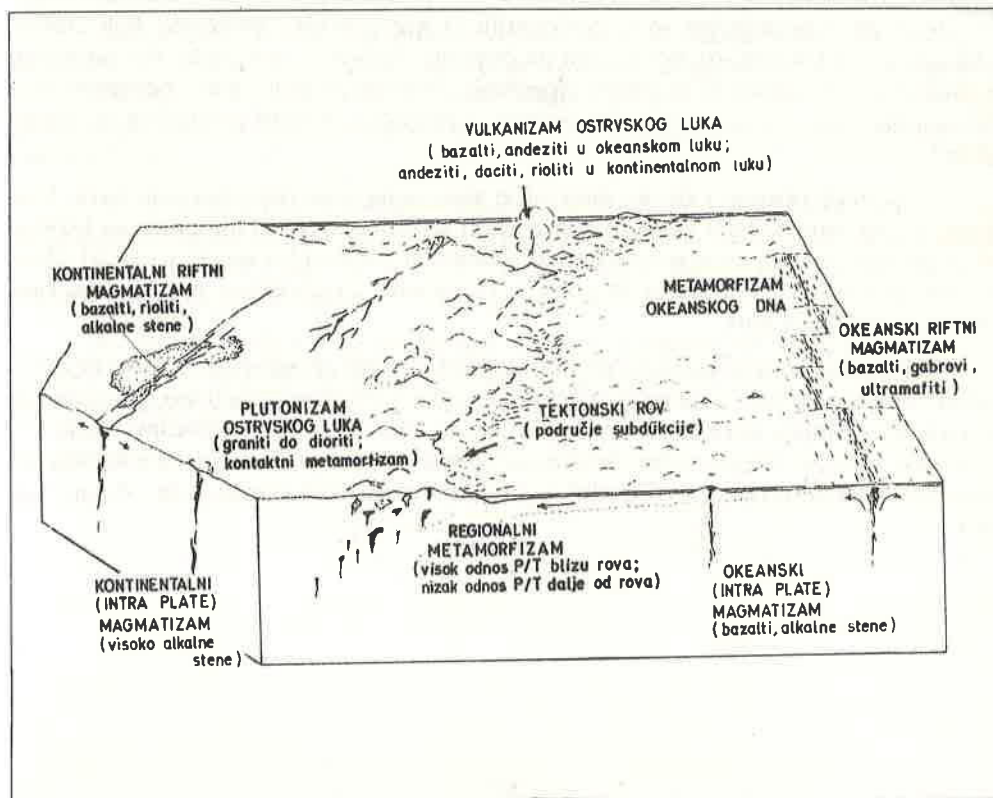
Treba napomenuti da razmicanja, kolizije i poniranja ploča jednih ispod drugih, stvaraju određenu asocijaciju stena kao i formiranje planinskih oblasti. Smatra se da su, na primer, Himalaji nastali sudarom indijske i evroazijske ploče (sl.7).

Direktnom promatranju, kao što je već rečeno, dostupan je samo gornji deo Zemljine kore dok se o dubljim delovima kore, astenosferi ili gornjem delu omotača može govoriti samo na osnovu materijala koji iz ovih delova Zemlje potiču a koji su u određenim fazama razvoja Zemlje pristizali u područje gornjih sfera kore.

Ove dve sfere (kora i astenosfera) su ujedno i osnovno područje čije materijalne karakteristike proučava **petrologija**.



Sl. 6. Podvlačenje okeanske kore pod kontinentalnu (subdukcija) i stvaranje ostrvskog luka



Sl. 7. Blok dijagram sa razvojem glavnih tektonskih struktura i pratećim magmatizmom (objašnjenje u tekstu)

4. Osnovni pojmovi o stenama

Stena je prirodna zajednica jednog ili više minerala određenog bemijskog sastava i strukture. Stene su geološka tela i predstavljaju članove Zemljine kore. Termin *stena* upotrebljava se u petrografiji za sve prirodne tvorevine koje imaju određen sastav i strukturu, bez obzira na čvrstinu i koheziju materijala. Pod stenama podrazumevamo kompaktne, čvrste tvorevine (prirodni kamen), kao i nevezane rastresite materijale (pesak, vulkanski pepeo), i plastične, katkad polutečne agregate (gline).

U prirodi postoje i druge mineralne asocijacije koje nisu determinisane kao stene. To su *mineralna i rudna ležišta*. Da li se radi o steni ili mineralnom ležištu odlučuje više faktora: rasprostranjenost, dimenzije, mineralni sastav i najzad obogaćenje pojedinim elementima ili grupom elemenata u odnosu na njihov prosečan sadržaj u Zemljinoj kori.

Mineralna ležišta u odnosu na stene zahvataju mala prostranstva a često nemaju stalan mineralni sastav. U njima su u manjoj ili većoj meri akumulirani izvesni elementi koji u građi Zemljine kore imaju podređeni značaj. Ako mineralno ležište ima ekonomski značaj onda se naziva *rudno ležište*, a ime mu dajemo prema vodećem korisnom mineralu ili metalu koji se iz njega dobija (ležište bakra, olova i cinka, gipsa, dijamanta itd.).

4.1. Metodi ispitivanja stena

Za proučavanje stena koriste se veoma raznovrsni metodi. Osnovne podatke o stenama dobijamo već na terenu. Prilikom uzimanja uzoraka za laboratorijska ispitivanja određuje se način pojavljivanja stenske mase, oblik tela, odnos prema ostalim stenama i najbitnije karakteristike sklopa. Uz to se uvek približno određuje i mineralni sastav ispitivane stene. Ovaj deo petrografskih ispitivanja nazivamo *makropetrografija*. Kao pomoćna sredstva pri makroskopskoj odredbi koriste se lupa i eventualno sona kiselina (za karbonatne stene).

Kod uzimanja probâ na terenu treba birati stene što manje površinski izmenjene sa svežim prelomom jer se samo na takvim uzorcima mogu dobiti sigurni podaci o sklopu (strukтури i teksturi) i sastavu stene. Osim toga, svežiji, neraspadnuti materijal, predstavlja svakako mnogo pogodniju bazu i za detaljnija ispitivanja (ukoliko su predviđena).

Detaljnija ispitivanja vrše se u laboratorijama. Najpre mikroskopskim a zatim hemijskim i drugim specijalnim metodima mogu se izvršiti veoma detaljna određivanja strukture, mineralnog sastava, hemijskih karakteristika pa i vremena stvaranja (geološke starosti) stenskih masa.

Na osnovu podataka skupljenih na terenu i dobijenih laboratorijskim ispitivanjima izvode se zaključci o uslovima postanka stena. Grana petrologije koja se bavi problematikom postanka stena zove se *petrogeneza*.

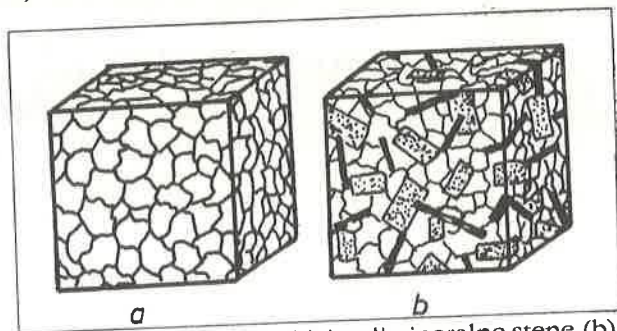
4.2. Sastojci stena

Ispitivanjem svih vrsta stena koje grade Zemljinu koru utvrđeno je da se ona sastoji od ogromnog broja minerala (preko 3000), ali se u uiozi izgrađivača stena javlja samo stotinak. Čak i od ovog broja, mali je broj onih koji određuju karakter stena i koje smatramo bitnim sastojcima stenskih masa. To su takozvani *petrogeni minerali* koji pripadaju grupi silikata, karbonata, oksida itd.

Pošto se svaka stena definiše određenom karakterističnom asocijacijom minerala čije je učešće takođe približno određeno, to mineralne komponente koji određuju tip stene nazivamo *bitnim sastojcima*. Sastojci čije prisustvo (katkad i u zapaženim količinama) ili odsustvo ne utiču na određivanje karaktera stene nazivamo *sporednim* ili *akcesornim sastojcima*.

Stene mogu biti izgrađene od jednog ili više minerala. Ako su izgrađene od jednog minerala nazivaju se *monomineralne*, a, ako nekoliko mineralnih vrsta određuju sastav stene, onda se te stene nazivaju *polimineralne* (sl.8).

Najveći broj stena izgrađen je od iskristalisanih minerala (kristalaste stene).



Sl. 8. Monomineralne (a) i polimineralne stene (b)

Amorfni komponenti (vulkanska stakla, opal i sl.) javljaju se kao delovi stena, a od njih samih sačinjen je tek mali broj stena. Sastojci stena mogu biti takvih dimenzija da su odredljivi golim okom, ili mogu biti toliko sitni da ih možemo determinisati tek mikroskopom.

5. Podela stena

Postojeće klasifikacije stena bazirane su na različitim osnovama: neke uglavnom na načinu nastanka, druge pretežno na mineralnom sastavu a neke pak na hemizmu stena. Najveći broj klasifikacija, međutim, bazira se na genetskom momentu, tj. na načinu i uslovima nastanka zato što u najvećem broju slučajeva hemizam i mineralni sastav stoje u neposrednoj vezi sa načinom nastanka stena.

Na osnovu genetskih i geoloških činilaca (načina i uslova postanka) stene su podeljene u tri velike grupe: *magmatske*, *sedimentne* i *metamorfne*.

Magmatske stene nastale su konsolidacijom usijanog tečnog rastopa koji zovemo magma ili lava. Ove stene takode se dele u tri grupe:

Dubinske (plutonske ili intruzivne, od grčki: Πλουτων - bog podzemlja i latinski: *intrudere* - prodreti) nastaju kada magma očvršćava u unutrašnjosti Zemljine kore.

Izlivne (vulkanske ili efuzivne, od lat: *Vulcanus* - bog vatre, *effusus*-izliv), nastaju od lave (latinski: *lavare* - teći) koja očvršćava na površini Zemlje. Podeljene su na *submarinske* ako konsoliduju (očvršćavaju) na dnu mora ili *subaerske* ako očvršćavaju na površini ili blizu površine.

Žične stene predstavljaju ogranke plutonita, tela male debljine i velike dužine prostiranja, koje se od plutonita razlikuju (zbog specifičnih uslova postanka) po strukturi i pokatkad po mineralnom sastavu.

Procentualno učešće najvažnijih petrogenih minerala u gradi magmatskih stena (po Klarku i Vašingtonu)

<i>mineral</i>	<i>% učešća u ukupnoj masi magmatskih stena</i>
<i>kvarc</i>	<i>oko 12 %</i>
<i>feldspati</i>	<i>oko 59,5 %</i>
<i>amfiboli i pirokseni</i>	<i>oko 16,8 %</i>
<i>liskuni</i>	<i>oko 3,8 %</i>
<i>ostali (uglavnom olivin)</i>	<i>oko 7,9 %</i>

Najvažniji petrogeni minerali:

- silikati* - *feldspati, feldspatoidi, liskuni, amfiboli, pirokseni, olivini, cirkoni, sfen, turmalin itd.*
- oksidi* - *kvarc, hematit, magnetit, bromit, pikotit itd.*
- sulfidi* - *pirit, baskopirit itd.*
- fosfati* - *apatit,*
- titanati* - *ilmenit.*

Sedimentne stene ili kako se još nazivaju taložne stene, nastale su nagomilavanjem-koncentracijom usitnjenog ili rastvorenog materijala koji vodi poreklo iz razorenih, već postojećih stena. U prirodi ih srećemo u rastresitom stanju (tzv. nevezani sedimenti) ili, što je mnogo češće, kao masivne ili uslojene kompaktne mase (sedimentne stene). Komponenti sedimentnih stena su fragmenti razorenih stena (mehanički detritus), vrlo različite krupnoće, hemijski talozi ili ostaci organizama.

Sedimentne stene podeljene su na:

- *klastične* (grčki: $\kappa\lambda\alpha\sigma\iota\sigma$ - lomiti), koje su nastale od detritičnog materijala,
- *hemijske*, nastale taloženjem (obaranjem) iz rastvora,
- *organogene*, nastale od ostataka biljnog i životinjskog sveta.

Metamorfne stene (grčki $\mu\epsilon\tau\alpha\mu\omicron\rho\phi\omega\sigma\iota\varsigma$ - promena forme) predstavljaju treću veliku grupu stena nastalih preobražajem magmatskih ili sedimentnih stena pod fizičko-hemijskim uslovima različitim od onih koji su vladali u vreme postanka matične stene koja je menjana. Metamorfizam najčešće nastaje usled promene pritiska i temperature. Preobražaji mogu biti strukturni, mineraloški i hemijski. Sa magmatskim ili sedimentnim stenama od kojih su postale, metamorfne stene su katkad vezane postupnim prelazima.

Metamorne stene podeljene su na:

- *regionalno metamorfne stene* (stene regionalnog dinamotermalnog metamorfizma) nastale usled velikih pokreta u litosferi (orogenih ili epirogenih). Stvaraju se u različitim nivoima i pod različitim uslovima ali uvek u regionalnom opsegu (zahvataju veliko rasprostranjenje).
- *kataklastične stene*, nastale kao rezultat lomljenja ili drobljenja čvrstih stenskih masa. Nastaju u zonama rasedanja, razlamanja i uopšte jačih mehaničkih pokreta. Stene ovog tipa metamorfizma imaju lokalno rasprostranjenje.
- *kontaktno metamorfne stene*, nastale pod uticajem usijane magme na okolne stene. Intenzitet i karakter kontaktno metamorfnih promena zavise od sastava magme, okolnih stena i njihovog međusobnog odnosa.

5.1. Magmatske stene

Magmatske stene, kao što je već pomenuto, predstavljaju grupu stena nastalih konsolidacijom usijanog tečnog rastopa poznatog pod imenom magma ili lava.

Magme, prema brojnim do sada obavljenim ispitivanjima, potiču iz ognjišta lociranih u gornjem omotaču ili u kontinentalnoj kori. I u jednom i u drugom slučaju nastaju parcijalnim stapanjem čvrstih stenskih masa, s tim što na granici kora-omotač, ispod *Mobo diskontinuiteta*, nastaju bazične magme, dok se kisele stvaraju unutar kontinentalne kore koja je izgrađena uglavnom od kiselih magmatskih, sedimentnih i metamorfnih stena.

Uzrok stapanja stena može biti vrlo različit. U zoni ispod *Mobo diskontinuiteta* ili unutar dubljih delova kontinentalne kore stene su usled temperaturnog gradijenta donekle zagreјane. Lokalna povećanja temperature mogu da dovedu i do stapanja stena, ali do njega može doći i usled velikog trenja stenskih masa, toplotnih strujanja na granici kora-omotač, lokalne koncentracije radioaktivnih elemenata i najzad, kao što je pomenuto, usled poniranja okeanske kore u astenosferu duž subdukcioniјh zona ili poniranja dubljih delova kontinentalnih kora u astenosferu usled jakog hidrostatičkog pritiska, itd.

Najčešći uzročnici pokretanja magmatskih masa iz ognjišta i njihovog smeštaja unutar kontinentalne kore, ili pak izlivanja na površinu, su tektonski pokreti. Stoga su magmatske stene prostorno vezane za duboke razlome bilo da se radi o razlomima unutar kontinentalnih područja ili onim vezanim za orogena (geosinklinalna) područja gde je magmatizam redovno prisutan (obično u više faza).

Magmatska tela očvrsla na dubinama od 5-6 km nazivamo *dubokim intruzijama*, dok ona konsolidovana ispod 1 km dubine zovemo *plitkim intruzijama*. Magmatska tela utisnuta na dubinama manjim od ovih (iznad 1 km) su *subvulkanska tela* koje ne smatramo pravim intruzijama jer su uslovi konsolidacije u ovim nivoima mnogo bliži onima koji vladaju na zemljinoј površini.

5.1.1. Magma

Magma predstavlja stopljeni ili parcijalno stopljeni stenski materijal. To su hemijski kompleksni multikomponentni silikatni sistemi koji imaju različite sastave, temperature, stepen iskristalisanosti što se ogleda i u njihovim različitim geološkim svojstvima.

U ognjištu je magma jako zagrejani, fluidalni silikatni rastop homogenog sastava. Smatra se da u sastav magme ulaze svi do sada poznati hemijski elementi. Ipak, znatno prevladuju kiseonik sa oko 47% i silicijum sa oko 30%.

Sastojke magme možemo podeliti u dve grupe:

- **teško isparljivi komponenti** predstavljeni su oksidima koji se tope tek na visokim temperaturama: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 i dr.;

- **lako isparljivi komponenti** su oni koji se u prirodnim uslovima nalaze u gasovitom stanju, ili se pak nalaze u tečnom, ali se već na temperaturama od oko stotinak stepeni mogu prevesti u gasovito stanje. Kao komponenti magmatskog rastopa uvek su gasoviti. Među lakoisparljive sastojke ubrajamo H_2O (najvažniji), CO_2 , HCl , HF , H_2S , SO_3 , SO_2 , hloride, fluoride teških metala i dr.

Odnos teško- i lako-isparljivih komponenata u magmi varira. Magma je, međutim, silikatni rastop sa ograničenom rastvorljivošću lakoisparljivih komponenata. Ona se u bitnome sastoji od preko 90% teškoisparljivih i ispod 10% lakoisparljivih komponenata. Magmae koje sadrže veoma male količine lakoisparljivih komponenata ili su bez njih zovu se *suve magmae* i, obrnuto, magmae u kojima je sadržaj lakoisparljivih komponenata povećan (iznad 5%) nazivamo *vlažnim magmaama*.

Količinski odnosi ovih komponenata variraju i u zavisnosti od sastava magme. Magmae sa manjim sadržajem SiO_2 (*bazične magmae*) sadrže u najvećem broju slučajeva manju količinu lakoisparljivih sastojaka od *kiselih magmi* (bogatih SiO_2). Neki ostaci granitskih rastopa (pegmatitski) mogu da sadrže i do 50% lakoisparljivih komponenata (u kojima voda prevladuje).

Lakoisparljivi komponenti u magmi predstavljaju faktor koji uslovljava pokretljivost magme. Odnos lako- i teško-isparljivih komponenata značajan je i za tok kristalizacije magmatske mase. Količina volatilnih komponenata utiče na rast kristala kao i na vrstu minerala. Lakoisparljivi komponenti deluju kao mineralizatori, te će temperatura kristalizacije vlažnih magmi biti uvek niža nego kod suvih magmi analognog sastava.

Pri kristalizaciji magme lakoisparljivi sastojci bivaju samo delom ugrađeni u minerale dok se dobar deo ovih komponenata oslobađa pri konsolidaciji. Kod intruzija voda i ostali komponenti gube se duž razloma i pukotina oko plutona, kod lavičnih izliva bivaju oslobodeni u vidu eskalacija. Oslobodeni lakoisparljivi sastojci imaju pritom značajnu ulogu u formiranju rudnih ležišta. Oni, pak, oslobodeni kao eskalacije oko vulkana mogu imati i ekonomski značaj (na primer sumporna eskalaciona ležišta oko vulkana Mauna Loa - Havaji, Dolina deset hiljada dimova na Aljasci, gde se preko fumarola oslobađa godišnje 1 250 000 tona hlorovodonične i 200 000 tona fluorovodonične kiseline itd).

Magma je homogen rastop čiji se homogenitet održava zahvaljujući visokoj temperaturi i, naročito, visokom pritisku. Međutim, iako termin *magma* prvenstveno označava tečan ili fluidan homogen silikatni rastop, ovaj se termin takode odnosi i na rastop koji u sebi nosi samo zametke kristala ili relikte minerala koji se delom ponovo tope ili rekristališu (ponekad u nove) minerale. Prema nekim podacima magma sa samo 25% tečne faze još uvek pokazuje ove osobine.

5.1.1.1. Temperatura magme

Radi određivanja temperature magme vršeni su mnogobrojni laboratorijski opiti i isto tako brojna merenja temperature lave na živim vulkanima. Neposrednim merenjima na rastopima koji pridolaze iz unutrašnjosti Zemlje dobijene su temperature između 900°C i 1400°C . Treba imati u vidu da lava koja se izliva iz kratera predstavlja magmu koja je prešla dugačak put u toku kojeg se njena temperatura menjala, tj. opala, ili se uz krater (zbog prisustva kiseonika) povećala.

Za tačnije određivanje temperature magme služe minerali čije temperature kristalizacije poznajemo, i te minerale nazivamo **geološkim termometrima**. Kao geološki termometar, međutim, može da posluži samo onaj mineral kojem osim temperature kristalizacije znamo i područje stabilnosti.

Na osnovu kombinovanih zaključaka izvedenih prema merenjima na živim vulkanima, zatim na osnovu laboratorijskih opita, kao i na osnovu "geoloških termometara", početne temperature kristalizacije pojedinih vrsta suvih rastopa prema Fogtovim podacima bile bi sledeće:

- dunitski rastop	oko 1500°C
- peridotitski	1400°C
- gabro	1250°C
- dioritski	1200°C
- sijenitski	1100°C
- granitski	1000°C

Temperatura kristalizacije jednog rastopa može da bude različita iz više razloga. Porast količine lakoisparljivih sastojaka u rastopu smanjuje temperaturu početka kristalizacije. Temperaturu kristalizacije u izvesnoj meri takode uslovljava i odnos pojedinih komponenata (lakoisparljivih i teškoisparljivih). Tako, na primer, jedan granitski rastop, ukoliko je suv, kristališe na oko 1000°C , a ukoliko sadrži 7% vode kristališe na 600°C .

Najzad, jedan od veoma značajnih faktora je svakako i vrednost spoljnog pritiska.

5.1.1.2. Pritisak u magmi

Posmatrajući magmu u unutrašnjosti Zemljine kore razlikujemo dve vrste pritiska koji imaju veliki uticaj na tok konsolidacije magme i na sastav stene koja se iz magme stvara.

Pritisak u magmi koji se javlja kao posledica dejstva lakoisparljivih komponenti nazivamo **unutrašnji pritisak**. On predstavlja vrlo promenljivu vrednost koja se menja u zavisnosti od toka kristalizacije magme, dubine kristalizacije, temperature i količine vode u rastopu. Unutrašnji pritisak ima veliki uticaj na tok smeštaja ili tok izlivanja lavâ, kao i na tok stvaranja rudnih ležišta. Magme bogate vodom, zbog značajnih unutrašnjih pritisaka imaju obično i snažne erupcije praćene eksplozijama.

Pritisak koji se javlja kao posledica dubine na kojoj se magma nalazi, odnosno težine stena iznad magmatske mase i koji se kroz magmu prenosi hidrostatički, je **spoljni pritisak**. Vrednost ovog pritiska je različita za razne nivoe, ali može da bude

vrlo velika. Spoljni pritisak na površini Zemlje iznosi jedan bar, a na dubini od oko 10 km raste već na oko 2600 bara. Osim toga, ovaj pritisak može biti jako potenciran tektonskim pokretima pri kojima dolazi do izražaja i stres - usmereni pritisak u gornjim zonama litosfere.

5.1.1.3. Viskozitet rastopa

Viskozitet magmatskog rastopa predstavlja, u stvari, otpor koji magma pruža prema tečenju.

Viskozitet jednog rastopa uslovljen je: njegovom temperaturom i, što je najvažnije, odnosom pojedinih komponenti u njemu. Utvrđeno je da rastopi sa većom količinom silicijuma i aluminijuma imaju mnogo veći viskozitet od onih koji su obogaćeni oksidima magnezijuma i gvožđa. Pad temperature u magmi povećava viskozitet dok ga povećani sadržaj lakoisparljivih sastojaka bitno smanjuje.

Kiselo magme, koje su vrlo viskozne, prilikom izlivanja na površinu ponašaju se kao guste mase i teško su pokretljive. Stoga najčešće obrazuju kupaste izlive. Bazične magme, međutim, slabo su viskozne, brzo teku i mogu obrazovati prostrane pločaste slivove. Kod kiselih magmi, viskozitet može biti smanjen prisustvom većih količina lakoisparljivih sastojaka.

Utvrđeno je, takođe, da pri istim ostalim uslovima povećanje spoljnog pritiska povećava viskozitet rastopa.

Magme sa visokim viskozitetom ponašaju se seizmički kao čvrsto telo a magme sa malim viskozitetom kao tečnost. Viskozne magme kristališu sporije u odnosu na fluidne i stoga su vulkanska stakla znatno češća kod kiselih nego kod bazičnih magmi.

5.1.1.4. Diferencijacija magme

Napomenuli smo ranije da je, zahvaljujući visokoj temperaturi i visokom pritisku koji vladaju u području iz kojih potiče, magma *homogen silikatni rastop*.

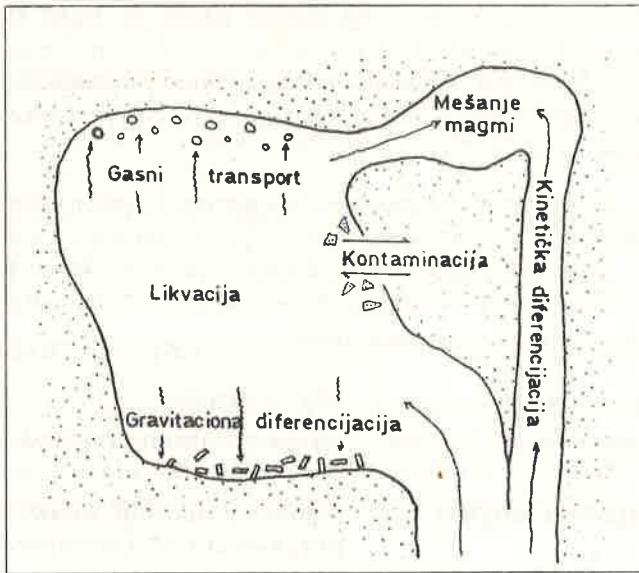
Kristalizacija magme, homogenog rastvora rastopa, počinje u prirodi onda kada magma iz bilo kog razloga počne da gubi homogenitet. Razlog može biti pad spoljnog pritiska, pad temperature, gubitak lakoisparljivih komponentata itd.

Objašnjavajući sastav Zemlje napomenuto je da je litosfera, koja je u većoj meri izgrađena od magmatskih stena, najheterogenija zona u Zemljinoj strukturi, usled toga što je sastav Zemljine kore vrlo raznolik - veliki je broj stena (kao magmatskih tako i ostalih) koje je izgrađuju. Osim toga, heterogenost možemo zapaziti i unutar jedne magmatske mase, naročito ako se radi o većem magmatskom telu.

Ispitivanjem je, međutim, utvrđeno da broj osnovnih magmi koje konsolidacijom daju stene nije jednak velikom broju različitih stena koje srećemo. Ova činjenica ukazuje nam da na postanak određene vrste stena, osim tipa magme, utiču i procesi njene diferencijacije, asimilacije i kontaminacije. Na taj način od malog broja osnovnih tipova magmi može se stvoriti veliki broj različitih vrsta stena.

Procesi koji od jedne homogene magme pri kristalizaciji i očvršćavanju daju različite vrste stena ili uslovljavaju nehomogenost kod magmatskih tela nazivaju se **diferencijacija magme**.

Diferencijacione procese delimo na dve grupe, u zavisnosti od toga da li se diferencijacija vrši u vreme kretanja ili vreme mirovanja magme. Prvi slučaj, kada se magma diferencira u toku kretanja do mesta konsolidacije, gde heterogenost magme uslovljavaju pad temperature i eventualno pritiska, nazivamo **kinetičkom diferencijacijom**. U drugom slučaju razdvajanje magme se vrši u fazi njenog mirovanja posle dolaska na mesto konsolidacije. Diferencijaciju ovakvog tipa nazivamo **statičkom diferencijacijom** (sl.9).



Sl. 9. Diferencijacija magme

Razlaganje homogene magme vrši se usled mnogih činilaca - prikazaćemo samo najvažnije:

1. Izdvajanje u tečnom stanju usled ograničene mogućnosti mešanja (likvacija)

Usled pada temperature a i pada spoljnog pritiska, još pre kristalizacije magme u njoj katkad započinje izdvajanje nekih tečnih komponenata. To su kapljice rastopa sulfida gvožđa, nikla, bakra itd. koje su u silikatnom rastopu mogle biti rastvorene samo zahvaljujući izuzetno visokim temperaturama i, delom, visokim spoljnim pritiscima. Kako sa padom temperature i/ili pritiska rastvorljivost navedenih sulfida opada, oni se, imajući veću specifičnu težinu, izdvajaju u donji deo rastopa. Ukoliko je viskozitet rastopa manji a količina i veličina mase kapljica sulfida veća, njihovo tonjenje je brže. Na ovaj način mogu se obrazovati značajne koncentracije sulfida u donjim delovima magmatskih masa.

Pri procesima likvacije često se dobija različit sastav diferencijata u zavisnosti od temperature na kojoj se likvacija vrši. Ukoliko su temperature niže razdvajanje je kompletnije. Uopšte uzev, ovaj tip diferencijacije nema većeg značaja kao mehanizam diferencijacije silikatnih rastopa.

2. *Frakciona kristalizacija i gravitaciona kristalizaciona diferencijacija*

Frakciona kristalizacija predstavlja proces kojim magma u toku hlađenja usled sukcesivne separacije kristala iz rastopa daje različite produkte. Teorija frakcione kristalizacije predpostavlja mogućnost da sve magmatske stene mogu nastati u procesu kristalizacije jedne osnovne magme. Na ovu mogućnost ukazao je još Č. Darwin kada je promatrao prelaze od olivinskih bazalta preko bezolivinskih predstavnika do andezita. Ako u bilo kom stadijumu kristalizacije nastupi frakcionisanje (odeljivanje kristala od ostatka rastopa tonjenjem ili isplivavanjem) vršiće se stalna diferencijacija rastopa.

Kada koncentracija nekog komponenta (minerala) poraste toliko da rastop bude njome prezasićen, tj. temperatura rastopa padne do tačke kristalizacije tog komponenta, on se izlučuje iz rastopa. U zavisnosti od temperature kristalizacije, kasnije se ovom komponentu pridružuju i drugi. Odnosi minerala u stenama koji su potvrđeni i laboratorijskim ispitivanjima pokazuju da postoji pravilnost u redu kristalizacije minerala u magmi.

Iz magme, uopšte uzev, najpre kristališu sporedni sastojci (cirkon, magnetit, apatit i td.), zatim slede feromagnezijski minerali (olivin, pirokseni, amfiboli, biotit), a potom bazični pa kiselci plagioklasi, kalijski feldspat i poslednji kvarc. Koji će minerali kristalisati svakako zavisi i od vrste magme. S. Karamata (1967) navodi sledeći redosled kristalizacije minerala za pojedine vrste magmi:

<i>ultrabazična magma</i>	-	<i>olivin, pirokseni;</i>
<i>bazična magma</i>	-	<i>olivin, pirokseni, amfibol, plagioklas (bazični);</i>
<i>intermedijarna magma</i>	-	<i>pirokseni, amfibol, biotit, plagioklas (intermedijarni);</i>
<i>kiselna magma</i>	-	<i>amfibol, biotit, plagioklas (kiselci) i</i>
<i>ultrakiselna magma</i>	-	<i>biotit, alkalni feldspat, kvarc.</i>

Kristali izlučeni u prvoj fazi kristalizacije, kao što se vidi iz prikazane tabele, teži su od preostalog rastopa, usled čega tonu različitom brzinom (što zavisi od viskoziteta magme). Kod kiselih magmi, koje su jako viskozne, kretanje kristala je sporo usled čega se veoma retko obrazuju diferencijati nastali prikupljanjem rano izlučenih kristala. Kod bazičnih i ultrabazičnih magmi, koje su slabo viskozne, pojava diferencijacija ima daleko veći značaj. Tako na primer, rano izlučeni hromit i olivin (kod ultrabazične magme) tonu obrazujući slojeve izgrađene samo od olivina i hromita. Njihovo prisustvo u donjim partijama intruzija ovih grupa magmi potvrđuje činjenicu da su za koncentraciju olivina i hromita značajnu ulogu imali procesi gravitacione kristalizacije rano izlučenih kristala ili tzv. *gravitaciona kristalizaciona diferencijacija*.

Treba takođe napomenuti da kristali koji su potonuli u dublje delove rastopa mogu biti ponovo resorbovani, što je čest slučaj, i dovodi do povećanja baziciteta donjih delova magmatskih tela. Povećanje baziciteta magme takođe prouzrokuje i "isplivavanje" lakših minerala (feldspati, kvarc itd.). Takav je slučaj, na primer, isplivavanje leucita iz bazaltnog ostatka u lavama Vezuva itd.

3. Diferencijacija istiskivanjem ostatka rastopa

Ovaj tip diferencijacije značajan je naročito u slučajevima kada je gravitacionom diferencijacijom već obrazovan niži, bazičniji, kristalima bogatiji deo mase, dok je gornji deo bogat rastopom. Kod kinetičke diferencijacije rastop koji kristališe izložen je stalno tektonskim pritiscima. Ako je magma jednim delom već iskristalisala, ona praktično predstavlja smešu kristala i rastopa. Pri dejstvu pritiska može doći do istiskivanja rastopa, pri čemu će on kristalisati u novim uslovima (sistem je obično siromašniji Fe-Mg komponentima a bogatiji Si i Al), pa su i krajnji produkti kristalizacije različiti. Ukoliko je ostatak rastopa manje viskozan, njegovo istiskivanje i kretanje biće lakše. Ovaj tip diferencijacije ima veliki značaj pri formiranju pegmatita, aplita, nekih rudnih ležišta itd.

4. Diferencijacija gasnim transportom

Ostatak rastopa zaostalog posle glavne faze kristalizacije često je jako obogaćen gasovima koji mogu "povući" ostatak rastopa i neke već izlučene kristale. Na ovaj način, obično u gornjim delovima masiva magmatskih masa, sreću se partije obogaćene kiselim komponentima (Si, Al, itd.).

Svi navedeni načini diferencijacije doprinose da se od jedne osnovne magme može formirati manje ili više vrsta stena različitih po sastavu.

5.1.1.5. Asimilacija

U procesima formiranja raznih vrsta magmi značajnu ulogu igra i asimilacija koja predstavlja *proces inkorporacije* (unošenja) *komada okolnih stena, pri čemu se vrši promena u sastavu magme* (obogaćenje pojedinim komponentima itd.). Diferencijacijom te nove, asimilacijom izmenjene magme, stvaraju se još veće raznolikosti u broju varijeteta stena.

Asimilacija se takođe može javiti i pri prodiranju magme kroz Zemljinu koru kada magma zahvati stene kroz koje prolazi, a koje su obično različitog sastava. Fragmenti stena zahvaćeni u dubljim nivoima, kada je magma još jako zagrejana, često bivaju potpuno pretopljeni, usled čega dolazi do kontaminacije magme.

U plićim delovima, međutim, magma može samo delimično da asimilira ove fragmente. U tim slučajevima obično po obodu intruzija srećemo delimično promenjene komade stena zvane *anklave* (ili *ksenoliti*).

Prema Kuznjecovu (1970) u stadijumu *kontaminacije* magme još uvek je moguće nazreti uklopke stena (anklave), dok se u slučajevima kada je stapanje materijala kompletno smatra da je izvršena *asimilacija*.

Poseban tip izmena predstavlja slučaj kada dolazi do mešanja dveju različitih magmi u unutrašnjosti Zemljine kore. Tom prilikom se stvaraju mešane ili *hibridne magme* od kojih, pak, nastaju hibridne stene.

Magme izlivenne u more, magme koje prodiru kroz vlažne nekonsolidovane sedimente ili se intruduju u njih, asimiliraju iz mora ili okolnih stena vodu (uz ostale komponente koje ta voda ima rastvorene u sebi). Usled ovakvog obogaćenja vodom, može doći do značajnih promena u toku konsolidacije magme, pa i do izmena mineralnog sastava u steni koja nastaje.

5.1.1.6. Uticaj dubine na tok kristalizacije magme

Konsolidacijom magme nazivamo niz procesa pri kojima tečan rastop prelazi u čvrsto stanje.

Tok konsolidacije svake magnatske mase zavisi od više faktora:

- dubine na kojoj se vrši konsolidacija;
- sastava magme;
- temperature magme i
- pritiska u magmi.

Pri ovim razmatranjima neće se uzeti u obzir kristalizacija magme u uslovima postojanja usmerenih pritisaka (stresa).

Ako magma izbije na površinu ili bude izlivena plitko submarinski, njen tok kristalizacije je vrlo kratak, geološki gledano trenutna. Proces konsolidacije u unutrašnjosti Zemljine kore, međutim, odvija se postepeno i u više faza.

Kada magma dođe na mesto konsolidacije, a često još u toku njenoga puta ka gornjim sferama kore, dolazi do pada spoljnog pritiska, pada temperature i, usled toga, do početka kristalizacije sastojaka sa najvišom temperaturom topljenja. Količina lakoisparljivih sastojaka u ostatku rastopa relativno se povećava dok teško isparljivi komponenti kristališu po određenom rasporedu, uslovljenom prvenstveno temperaturom topljenja.

Ovaj stadijum kristalizacije magme u kojem se luče teškoisparljivi komponenti a lakoisparljivi ostaju i povećavaju se u ostatku, zove se **magnatski stadijum**. U ovoj fazi stvaraju se stene i mineralna ležišta sa mineralima bez vode ili mineralima sa malom količinom vode ugrađenom u kristalnu rešetku silikata (OH).

Količina lakoisparljivih sastojaka i dalje se povećava i, kada njihov sadržaj jako poraste (katkad i do 40% mase), unutrašnji pritisak postaje vrlo velik, rastop postaje jako pokretljiv sa velikom snagom intrudovanja, zbog čega se lako utiskuje u pukotine oko primarnog plutona (odakle ovaj rastop i vodi poreklo). Pri ovim procesima kristališu minerali koji sadrže dosta vode, kao i minerali koji u sebi sadrže i druge lakoisparljive komponente (fluor, hlor itd.). Taj stadijum kristalizacije naziva se **pegmatitski**, a stene stvorene u toku ovog stadijuma pegmatiti. U pegmatitskoj fazi potpuno se završava konsolidacija teškoisparljivih komponenta magme.

Zbog prisustva velikih količina lakoisparljivih sastojaka u rastopu, koji deluju kao mineralizatori, minerali pegmatita su katkad idiomorfni i često dostižu ogromne razmere.

Na dubinama oko 6000-7000 m, gde unutrašnji pritisak ni u pegmatitskoj fazi ne nadvladava spoljni ne dolazi do obrazovanja pravih pegmatita, nego se pretežan deo ovih pegmatitskih rastopa utiskuje duž mikropreslina, prožima okolne stene, i ceo sistem tako završava konsolidaciju. Nivo u kojem se odvija ovakav tok kristalizacije i gde je moguće samo magnatski i ovako redukovani pegmatitski stadijum naziva se **donji plutonski ili abisalni nivo**.

Ako se konsolidacija odvija na dubinama između 2000-6000 m, onda maksimalni unutrašnji pritisak u pegmatitskoj fazi često prevaziđe spoljni, pegmatitski rastopi se utiskuju u pukotine ili otvorene prostore gde se obrazuju pegmatiti. U ovoj fazi, međutim, zbog naglog pada pritiska pri utiskivanju pegmatitskih rastopa, ne izlučuju se svi lakoisparljivi sastojci (ne završava se kompletan tok kristalizacije), nego jedan

deo prodiru u okolne stene po oslabljenim ravnima ili ih kompletno prožima (još uvek su jako fluidni u nadkritičnom stanju), i tada se iz njih stvaraju minerali sa velikom količinom lakoisparljivih komponenta (10-90%) ili se, pak, napadnuti gasovima, aktivno razaraju i preobražavaju minerali okolnih stena. Ta faza naziva se **pneumatolitska faza konsolidacije** (pneumatolitski stadijum).

Kad temperatura zaostataka rastopa padne ispod kritične temperature vode, onda se lakoisparljivi komponenti kondenzuju, pri čemu se obrazuju hidrotermalni rastopi. Iz ovih rastvora se po pukotinama u stenama obrazuju veoma raznovrsni minerali (oksidi, karbonati, sulfidi i dr.). Tu fazu konsolidacije nazivamo **hidrotermalnom fazom**. Ovakav tok kristalizacije sa celim ciklusom, od magmatskog do hidrotermalnog stadijuma moguće je u **gornjem plutonskom ili hipoabisalnom nivou**.

Ako magma očvršćava na dubinama do 2000 m, spoljni pritisak je nizak, i kristalizacija se odvija na sledeći način: magmatski stadijum teče normalno, ali kada se sadržaj gasova u zaostaku rastopa znatno poveća i njihov pritisak poraste oni odmah prodiru duž pukotina u okolne stene. Na taj način ne dolazi do formiranja pegmatitske faze (ona izostaje). U pojedinim slučajevima ne stvara se ni pneumatolitska faza jer su okolne stene hladne te dolazi do vrlo brzog pada temperature pri čemu se formira samo hidrotermalna faza. Ovaj nivo konsolidacije naziva se **subvulkanski nivo**.

Kod slučajeva kada magma izbija na površinu ili bude izlivena submarinski, odlazak gasova vrši se još u toku magmatske faze, i lakoisparljivi komponenti gube se u atmosferu ili vodu. U tom slučaju postoji samo magmatska faza, dok ostale izostaju. Ovaj nivo konsolidacije naziva se **vulkanski nivo**.

Jedino u slučajevima kada magma očvršćava u veoma dubokom moru može doći do potpunog zadržavanja vode u magmi, pa čak i do asimilacije morske vode od strane magme. Ipak, i u ovom slučaju konsolidacija se odvija samo u magmatskom stadijumu a voda zaostaje u magmi, izdvajajući se u vidu mehurića, ili biva ugrađena u minerale bogate vodom koji kristališu na niskim temperaturama.

Rezimirajući tok očvršćavanja i vrste njegovih produkata, može se zaključiti da postoje dubinski nivoi kristalizacije, sa određenim karakteristikama, između kojih postoje jasni (ponekad i postupni) prelazi:

- **donji plutonski nivo**, dubine 6000-7000 m. Veliki spoljni pritisak, visoka temperatura i vrlo polagano hlađenje. Mogući su magmatski i redukovani pegmatitski stadijum (manifestuje se u vidu prožimanja okolnih stena ostatkom rastopa);

- **gornji plutonski nivo (hipoabisalni)**, dubine 2000-6000 m. U pegmatitskoj fazi unutrašnji pritisak izjednačava se sa spoljnim ili je veći od njega. Mogući su magmatski, pegmatitski i hidrotermalni stadijumi. Hlađenje magmatske intruzivne mase je postepeno;

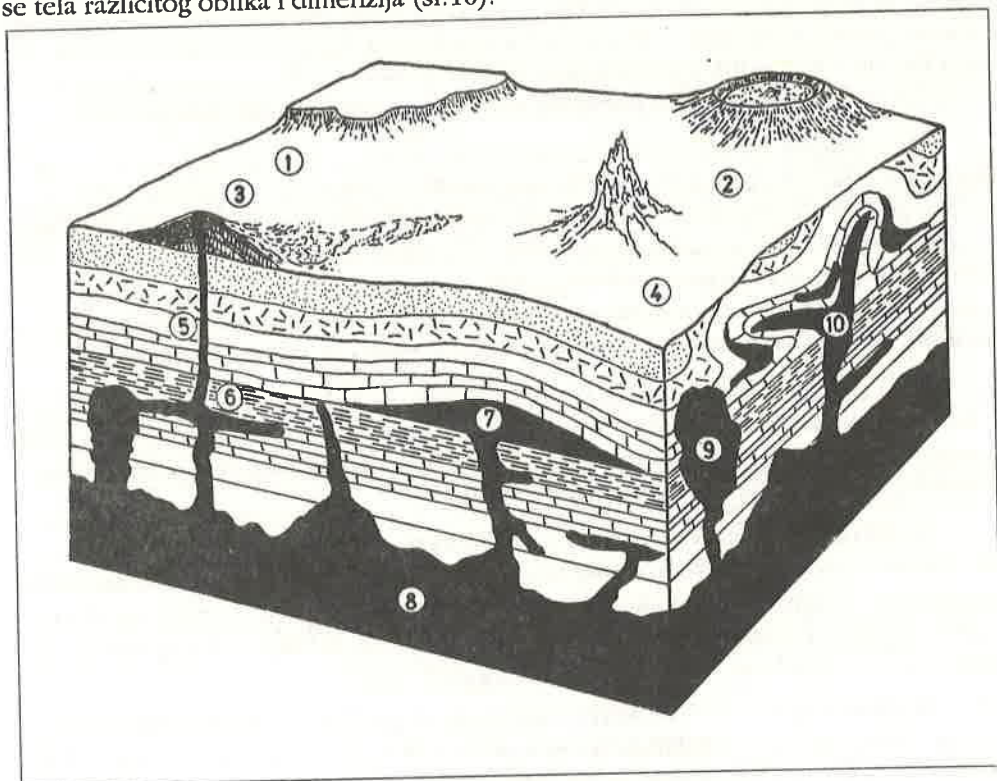
- **subvulkanski nivo**, dubina od nekoliko stotina do najviše 2000 m. Spoljni pritisak je mali a hlađenje magmatske mase brzo. Moguće je magmatski i dugotrajni hidrotermalni stadijum. Pegmatitski i pneumatolitski stadijumi izostaju;

- **vulkanski nivo**, gde je spoljni pritisak mali, hlađenje praktično trenutno. Konsolidacija se odvija na površini Zemlje, plitko ispod površine ili submarinski. Moguće je samo magmatski stadijum.

5.1.1.7. Način pojavljivanja magmatskih tela

Oblik magmatskog tela zavisi prvenstveno od mesta i uslova konsolidacije magmatske mase.

Magmatska tela koja očvršćuju ispod Zemljine površine kao plitke ili duboke intruzije, zadobiće konačan oblik u zavisnosti od dubine intruzije, njene pokretljivosti i tektonske građe terena u koji je utisnuta. Zbog uticaja navedenih faktora formiraju se tela različitog oblika i dimenzija (sl.10).



Sl.10. Način pojavljivanja magmatskih stena:

- | | |
|-------------------|-------------|
| 1. ploča | 6. sill |
| 2. kaldera | 7. lakolit |
| 3. vulkanska kupa | 8. batolit |
| 4. vulkanska igla | 9. štok |
| 5. nek | 10. sakolit |

Pluton je opšti naziv za sva intruzivna tela, ali se ovaj termin upotrebljava samo u onim slučajevima kada se tačan oblik intruzivnog tela ne može definisati.

Batolit (grčki: βάθος - dubok, λίθος - kamen) je magmatska intruzija ogromnih dimenzija. Opšte karakteristike su sledeće:

- prostiranje u dubinu obično se ne može odrediti;
- dimenzije su ogromne;
- oblik gornje površine intruzije je nepravilan, često sa nekoliko kupola;
- odnos prema okolnim stenama je diskordantan, samo lokalno konkordantan;
- na marginama batolita sreće se veliki broj odlomaka okolnih stena koje su u njega uklopljene, ponekad delom do potpuno stopljene;
- sastav batolita uglavnom je granitski.

Štok je intruzija velikih dimenzija i nepravilnog oblika. Obično je kupola batolita.

Lakolit (grčki: *λακκος* - rupa, *λιθος* - kamen) je konkordantna plankoveksna ili bikonveksna sočivasta intruzija. Lakolitske intruzije obično se javljaju u grupama.

Fakolit (grčki: *φακος* - sočivo, *λιθος* - kamen) predstavlja sočivastu konkordantnu intruziju ali je oblik sočiva jako povijen. Intruzivna tela u ovom slučaju utisnuta su u antiklinalne i sinklinalne delove struktura (u šarnire velikih nabora). Kao i lakoliti, javljaju se u grupama.

Lopolit (grčki: *λοπος* - basen, *λιθος* - kamen) je konkordantna intruzija zdelastog oblika sa gornjom konkavnom a donjom konveksnom površinom. Lopolitska tela mogu biti velikih dimenzija. Nastaju intruzijom magmi u prostranim basenima.

Sil je konkordantan pluton ili konkordantna žica pločastog oblika. Debljina sila varira od nekoliko desetina centimetara pa do preko 1000 m.

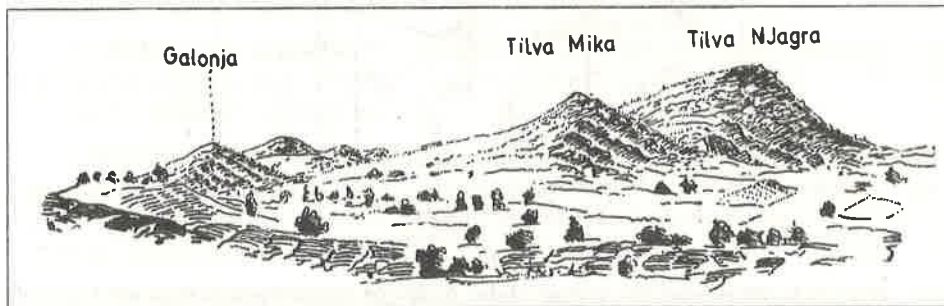
Dajk ili **žica** je magmatsko telo nastalo utiskivanjem rastopa po nekoj postojećoj pukotini. Telo obično ima veliku dužinu dubinskog prostiranja a malu debljinu. Dajkovi se najčešće javljaju u grupama ili rojevima.

Nek je cevasto magmatsko telo, i u najvećem broju slučajeva predstavlja ostatke vulkanskog kanala. U nekovima često ne nalazimo kompaktnu magmatsku masu, nego brečast, eksplozijom razbijen vulkanski materijal.

Izlivne stene nastale vulkanskim erupcijama imaju oblik slivova koji u mnogome zavisi od oblika površine na koju se izlivaju, viskoziteta magme, tipa dovodnog kanala itd.

Erupcije lava delimo na:

- *centralne*, kada se magma izliva iz centralnog dovodnog kanala (krater vulkana), kao na primer na Kilimandžaru, Vezuvu itd;
- *linearne*, kada se magma izliva duž neke pukotine (sl. 11) ili sistema paralelnih pukotina (na primer izlivi leucit-bazalta kod Kumanova u Makedoniji, Istočnoj Srbiji itd.);
- *arealne*, kada se lava izliva na velikim površinama (na primer River plato u Kolumbiji ili Dekan u Indiji).



Sl. 11. Ostaci niza vulkanskih kupa u Istočnoj Srbiji (J. Cvijić, 1924)

Nekoliko najkarakterističnijih vulkanskih oblika:

- **ploča ili štít**, obično su ogromnih dimenzija i karakteristični su za slabo viskozne, bazične magme koje imaju mogućnost dugog tečenja. Ploče mogu biti proste ili složene (kada je izlivanje bilo ponavljano više puta). Kod submarinski izlivenih stena pločasti slivovi bazičnih lava dobijaju specifične oblike "pillow-lavâ". To su ovalna tela, tj. ogromne kapljice lave izdeljene usled

naglog hlađenja i kontrakcije u morskoj vodi. Ime su dobile po engleskoj reči *pillow* što znači jastuk;

- **kupa** - vulkan oblika kupe karakterističan je za kisele, tj. jako viskozne lave. Kod kupe je često smenjivanje tufova i lavičnih slivova. Kupa može biti izgrađena samo od piroklastičnog materijala. Ako je visina kupe u odnosu na njenu širinu velika onda se naziva **vulkanska igla**;

- **kaldera** je široko vulkansko grotlo sa relativno ravnim dnom i ostrim ivicama.

Razmere kupa su veoma različite. Ima ogromnih vulkanskih kupâ, na Havajima i Etni. Kod ugašenih vulkana dovodni kanal je obično zapunjen lavom ili lavičnom brečom.

Izlivi lava su tanki i izduženi kod bazičnih, a deblji i kraći kod kiselih lava. Piroklastiti grade slojevite ili neslojevite mase stena. Lepi ostaci vulkanskih kupa zapaženi su u području Crni Vrh-Tilva Njagra u Istočnoj Srbiji.

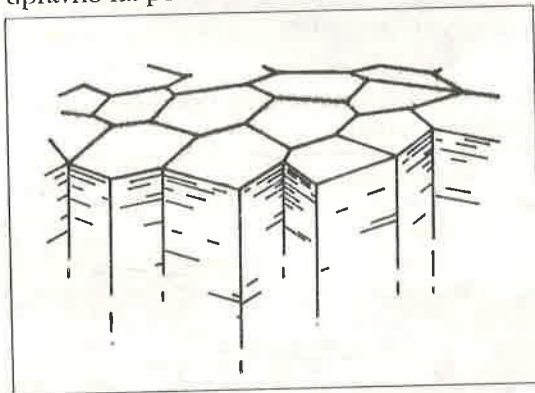
5.1.1.8. Lučenje magmatskih stena

Magmatska tela se u prirodi obično javljaju kao izdvojene-raščlanjene mase manje-više pravilnog oblika.

Lučenje je pojava izdvajanja (izdeljivanja) magmatskog tela u pravilne delove usled kontrakcija stenske mase za vreme njenog hlađenja.

Ako je stenska masa izdvojena u ploče ili bankove koji su paralelni sa granicom magmatske mase kažemo da je lučenje **pločasto ili bankovito**.

Stubasto lučenje (sl. 12) karakteriše se četvorostranom, petostranom ili šestostranom izdeljenošću čije su duže ose upravne na površinu hlađenja. Stubasto lučenje karakteristično je za izlivne stene a naročito je često kod slivova bazičnih stena, pri čemu stubovi stoje upravno na površinu sliva.



Sl. 12. Stubasto lučenje

Paralelopipedsko ili prizmatско lučenje nastaje usled prisustva nekoliko sistema pukotina koje su međusobno upravne. Tada nastaju prizmatična tela različitih dimenzija.

Nepravilno ili poliedarsko lučenje javlja se kada se sistemi pukotina ukrštaju ili stoje pod kosim uglom. Ovako lučene stene obično se pod dejstvom egzogenih sila (sunce, voda itd.) raspadaju u uglaste odlomke različitih dimenzija.

Kuglasto lučenje je vrlo često. Karakteristično je za izlivne stene i pliče, periferne delove intruzija. Izdvojeni komadi imaju oblike koncentrično građenih kugli. Ovo lučenje je ponekad veoma teško primetiti, naročito kada je stena sveža. Ako je pak

stena duže vremena izložena uticaju atmosferilija, kuglasto lučenje postepeno sve jasnije dolazi do izražaja.

Slično kuglastom lučenju, po svom obliku pojavljivanja, su i već pomenute *pillow lave*. One se, međutim, jasno razlikuju od kuglastog lučenja s obzirom da su im periferni delovi mehuraste građe, ili su šupljine (nastale odlaskom gasova) zapunjene sekundarnim mineralima. Građa pilova je često koncentrična a unutar njih zapaženi su i diferencijacioni procesi.

Lučenje stena od velikog je značaja kod eksploatacije kamena, tj. za njegovu obradu u građevinske svrhe (izradu kocki, ivičnjaka, spomenika itd.). Pri tome je mnogo pogodniji kamen koji je dobro izlučen. Tako, na primer, najpovoljnijim za eksploataciju smatraju se prizmatična i paralelopipedna lučenja a nepovoljnim kuglasta i poliedarska. Stubasto lučenje može biti povoljno u slučajevima kada su stubovi deblji i većih dimenzija.

5.1.1.9. Sklop magmatskih stena

Sklop jedne stene određen je načinom na koji je stena izgrađena od njenih bitnih sastojaka. On je odraz toka kristalizacije magme i uslova pod kojima je stena konsolidovana, i obuhvata niz karakteristika:

- stepen kristaliniteta magme (odnos kristala i tečne faze);
- uzajamne odnose minerala;
- veličinu i oblik sastojaka;
- raspored sastojaka u prostoru i
- ispunjenost prostora.

Sklop predstavlja zbirni pojam za navedene karakteristike koje su obuhvaćene pojmovima struktura i tekstura stene.

Sructure magmatskih stena

Strukturu neke stene određuju oblik (pravilnost i krupnoća) i način srastanja pojedinih sastojaka, koji su posledica toka kristalizacije magme.

Prema krupnoći sastojaka u steni razlikujemo *fanerokristalne* (makrokristalne), gde su sastojci stene odredljivi golim okom i *afanatične* (mikro i kriptokristalne), gde se sastojci stene mogu odrediti samo pod mikroskopom.

Magmatska stena može biti izgrađena od iskristalisanih minerala, od stakla i iskristalisanih minerala, ili samo od stakla. Stupanj iskristalisanosti stenske mase i krupnoća zrna definišu pojam *kristaliniteta* stene. Oblik kristala veoma je važan za definisanje strukture. On može biti pravilan, delimično pravilan ili nepravilan.

Ako je stena izgrađena samo od kristala kažemo da je *holokristalasta*. Ako je izgrađena od stakla i kristala kažemo da je *hipokristalasta*, a, ako je izgrađena samo od stakla kažemo da je *vitrofirski* ili *staklasta*.

Na osnovu pravilnosti kristala razlikujemo sledeće slučajeve:

- ako su minerali pravilnog oblika kažemo da su *idiomorfni*;
- ako su minerali delimično pravilnog oblika kažemo da su *hipidiomorfni*;
- ako su minerali nepravilnog oblika kažemo da su *alotriomorfni* ili *ksenomorfni*

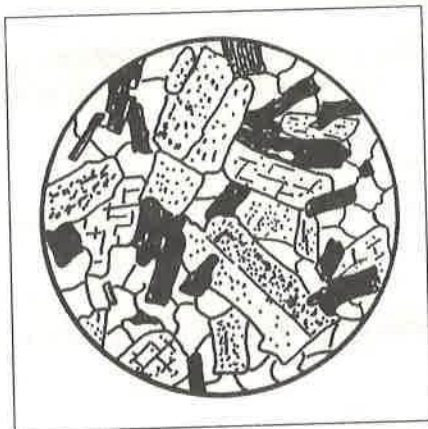
Kod magmatskih stena razlikujemo dve osnovne vrste struktura. Svaka od njih odraz je specifičnog toka hlađenja magmatske mase.

Kod dubinskih stena konsolidovanih u donjem i gornjem plutonskom nivou, kristalizacija je tekla polagano, tako da su svi minerali mogli da iskristališu u zrnima približno iste veličine. Ovakva struktura se naziva **zrnasta struktura**. Prema dimenzijama zrna delimo je na:

- *krupnozrne (preko 5 mm);*
- *srednjezrne (od 1-5 mm);*
- *sitnozrne (ispod 1 mm).*

Zrnaste strukture karakteristične su za dubinske magmatske stene. Na osnovu pravilnosti minerala koji ih izgrađuju, zrnaste strukture delimo na:

- *panidiomorfno zrnaste*, kada su svi sastojci stene pravilnog oblika (sl.13);
- *hipidiomorfno zrnaste*, kada su neki sastojci pravilnog a neki nepravilnog oblika (sl.14);
- *alotriomorfno zrnaste*, kada su svi sastojci nepravilnog oblika (sl.15).



Sl.13. Panidiomorfno zrnasta struktura (mikroskopski snimak)



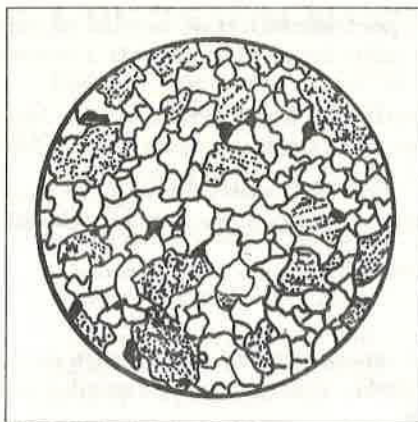
Sl.14. Hipidiomorfnozrnasta struktura (mikroskopski snimak)

Ako su minerali u steni kristalisali u dve faze, od kojih je prva tekla sporo (u dubini) pri čemu su kristalisali minerali pravilnih formi, a druga faza u uslovima naglog pada temperature (pri izlivanju) kada su kristalisali minerali nepravilnog oblika ili su stvoreni samo kristalizacioni zamenci, dobija se struktura kod koje krupni kristali stvoreni u prvoj fazi leže u osnovi izgrađenoj od sitnozrnih kristala (ili stakla) koji su nastali u drugoj fazi. Ove strukture nazivamo **porfirske strukture**.

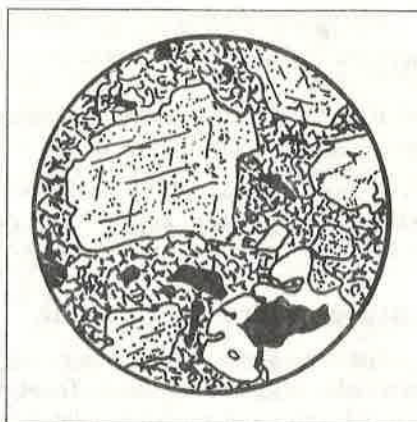
Porfirske strukture javljaju se kod stena koje su iskristalisale u subvulkanskom i vulkanskom nivou. Krupne, obično idiomorfne kristale stvorene u prvoj fazi nazivamo **fenokristalima**. Osnovna masa u kojoj leže fenokristali može biti mikrokristalasta, kriptokristalasta ili staklasta.

Obzirom na stepen kristaliniteta osnovne mase porfirske strukture mogu se podeliti na:

- *holokristalasto porfirske strukture*, kod kojih fenokristali leže u kristalastoj osnovnoj masi (sl.16);
- *hipokristalasto porfirske strukture*, kod kojih fenokristali leže u delimično kristalastoj a delimično staklastoj masi i
- *bijalinske ili vitrofirske strukture*, kod kojih fenokristali leže u staklastoj osnovi.



Sl.15. Alotriomorfnozrnasta struktura (mikroskopski snimak)



Sl.16. Holokristalasto porfiriska struktura (mikroskopski snimak)

Sitne kristale osnovne mase kod porfirske strukture nazivamo *mikrolitima*.

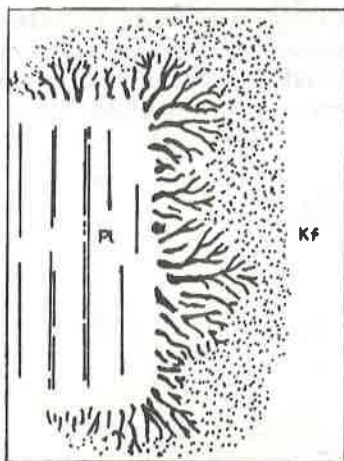
Osim navedenih struktura, pomenućemo još nekoliko koje su česte i značajne za determinaciju pojedinih vrsta magmatskih stena.

Porfiroidna struktura je jedna vrsta zrnaste strukture i karakteriše se prisustvom nešto krupnijih, obično idiomorfnih, zrna (najčešće feldspata), koja leže u zrnastoj masi stene. Ova struktura česta je i kod žičnih stena.

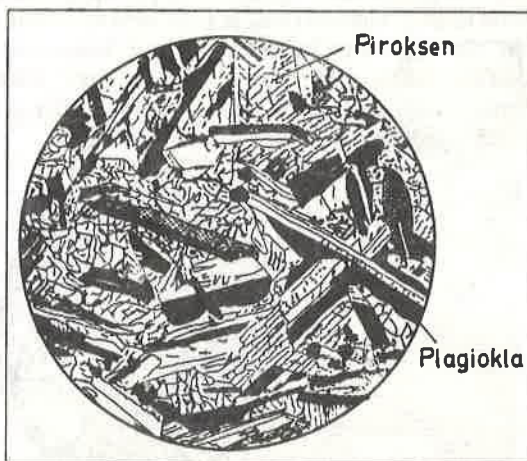
Mirmekitska struktura karakteriše se prorastanjem crvolikog kvarca i feldspata. Struktura je specifična za kisele stene, granite i pegmatite (sl.17).

Sferolitska struktura zapaža se često u lavama koje kristališu veoma brzo. Pri tome se stvaraju radijalni agregati plagioklasa i bojenih minerala - sferoliti.

Ofitska struktura, je struktura kod koje pritke plagioklasa grade rešetku (međusobno su izukrštane), dok su međuprostori ispunjeni zrnima piroksena. Ova struktura je veoma karakteristična za dijabaze i dolerite (sl.18). Ako prostore između plagioklasa ispunjava staklo ili delimično iskristalisana masa, struktura se naziva *intersetalna*.



Sl.17. Mirmekitska struktura (mikroskopski snimak), Pl-plagioklas, Kf-kalijski feldspat



Sl.18. Ofitska struktura (mikroskopski snimak), Pl-plagioklas, Pl-piroksen

Polifirska struktura je opšti naziv za sve porfirske strukture sa velikim brojem fenokristala a **oligofirska struktura** za one sa malim brojem fenokristala u osnovnoj masi.

Pojkilitska struktura predstavlja strukturu u kojoj krupnija zrna nekog minerala uklapaju sitnija zrna nekog drugog minerala (struktura gosta i domaćina).

Postoje i strukture čiji nazivi odražavaju genetske uslove. Takva je na primer **kumulatna struktura**, koja ukazuje na nastanak stene akumulacijom kristala izdvojenih iz magme gravitacionim tonjenjem.

Teksture magmatskih stena

Tekstura stene definišana je rasporedom sastojaka koji ispunjavaju prostor unutar jedne magmatske mase. Tekstura je posledica endogenih i egzogenih faktora koji su delovali u toku kristalizacije date magme.

Kada su svi sastojci stene u njoj ravnomerno raspoređeni, tako da daju homogen sklop, kažemo da je stena **masivne** ili **homogene teksture**.

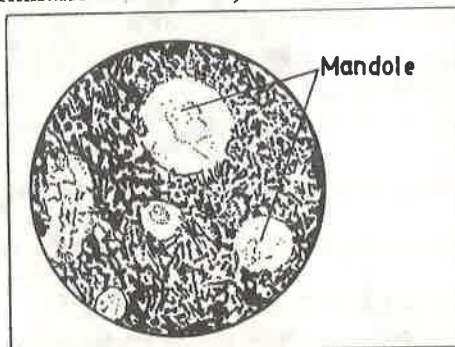
Štirasta tekstura nastaje lokalnim koncentrisanjem bojenih sastojaka u obliku gnezda ili izduženih sočiva, bez oštarih granica prema okolnoj masi stene u kojoj se nalazi. Štirasta tekstura može biti posledica i asimilacije, tj. potpunog svarivanja manjih anklava od strane magme.

Planparalelna tekstura nastaje usled strujanja ili blagih usmerenih pritisaka prilikom konsolidacije stene. Ona se ogleda u orijentaciji stubastih ili listastih minerala u steni. Ovi minerali ponekad se grupišu u nizove ili trake.

Škriljava tekstura nastaje kao posledica dejstva jakih pritisaka u toku ili čak i posle konsolidacije stene. Pritkasti i ljušpasti minerali kod ove teksture zauzimaju položaj koji je upravan na pravac dejstva pritiska.

Fluidalna tekstura javlja se kao posledica tečenja magme ili lave za vreme njene konsolidacije. Ogleda se u usmerenom položaju mikrolita (sitnih kristala) u osnovi stene, a često i fenokristala, koji ukazuju na smer tečenja lave.

Mehurasta tekstura nastaje usled odlaženja mehurića iz rastopa, pri čemu zaostaju šupljine. Ako je mehura puno, obrazuje se **šljakasta tekstura**. Ako te šupljine kasnije ispune neki sekundarni minerali, obrazuje se **mandolasta tekstura** (sl.19). Šupljine su obično ispunjene kalcitom, hloritom, zeolitima, kalcedonom i drugim mineralima. Mehuraste i mandolaste teksture karakteristične su za subaerske i submarinske izlive bazalta, dijabaza i spilita pri čemu su kod poslednjih šupljine redovno ispunjene (formirane su mandole).



Sl.19. Mandolasta tekstura (mikroskopski snimak)

5.1.1.10. Principi klasifikacije magmatskih stena

Pošto su magmatske stene vrlo raznovrsne, njihovoj klasifikaciji pristupano je na više načina. Može se ipak reći da postoje tri osnovna principa klasifikacije magmatskih stena:

- **mineraloške klasifikacije** koje se baziraju na stvarnom mineralnom sastavu stena;
- **hemijske klasifikacije** koje se baziraju na hemijskom sastavu stene i
- **mineraloško-hemijske klasifikacije**, koje na osnovu hemijskog sastava preračunavaju tzv. normativne minerale stene.

Mineraloški principi klasifikacije su najjednostavniji, mada su za detaljna proučavanja stena nedovoljni. Hemijske i mineraloško-hemijske klasifikacije su kompletne ali su za praktične terenske radove manje pogodno. Stoga ćemo se u daljem tekstu zadržati uglavnom na mineraloškoj klasifikaciji stena.

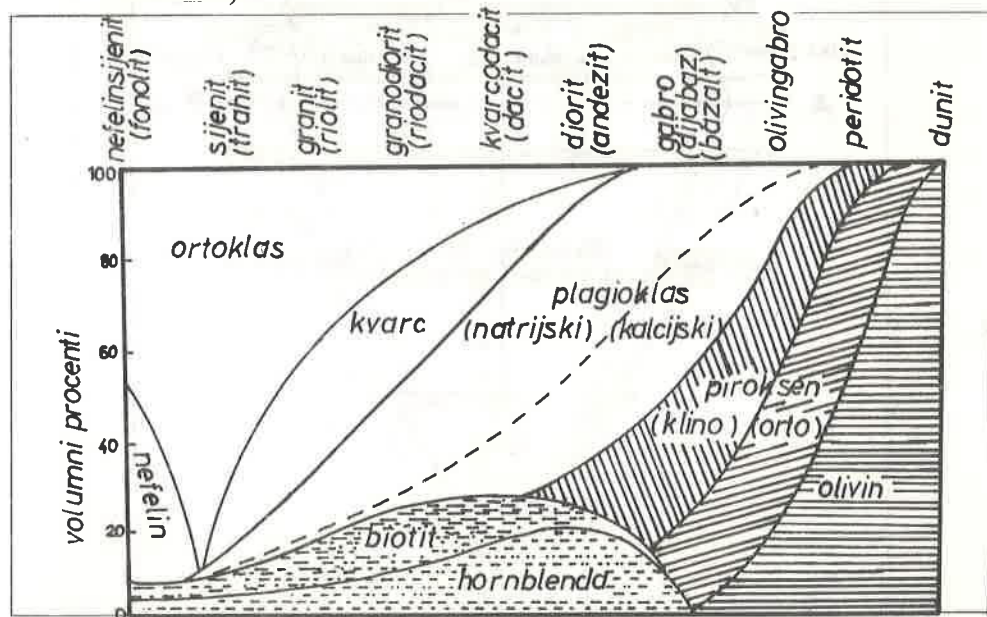
Mineraloški principi klasifikacije stena

Prema vremenu nastanka i značaju koje imaju, minerali u magmatskim stenama su podeljeni na:

- **primarne**, koji su nastali u vreme konsolidovanja stenske mase direktnom kristalizacijom iz magme i
- **sekundarne**, koji su nastali raspadanjem primarnih minerala, obično posle konsolidacije.

Prema ulozi koju igraju u steni sastojci magmatskih stena se dele na:

- **glavne ili bitne**, (sl.20), koji određuju sastav stene (kvarc, alkalni feldspat u granitu, bazični plagioklas i piroksen u gabru itd.);
- **sporedne ili akcesorne**, koji mogu biti prisutni u steni katkad i u znatnim količinama, ali oni ne utiču na karakter stene (apatit, magnetit, cirkon, sfen, hromit itd.).

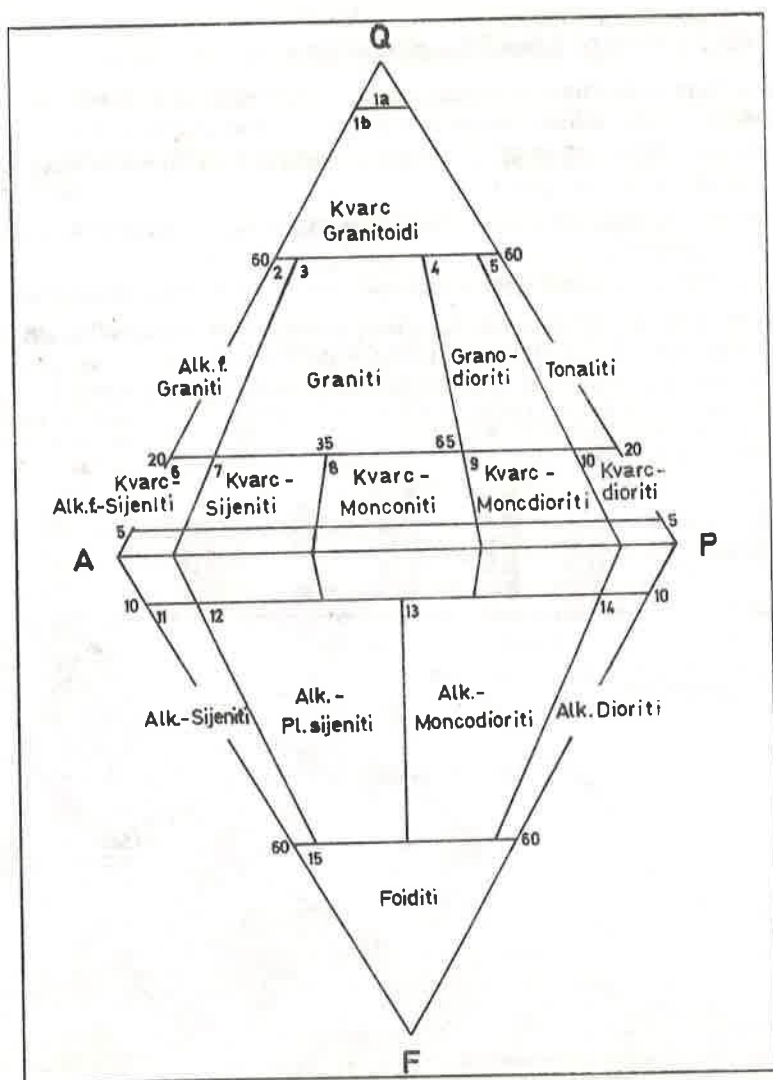


Sl.20. Srednji sadržaj glavnih petrogenih minerala u osnovnim vrstama magmatskih stena (po Adamsu, 1951)

Pri makroskopskom određivanju stena sastojke delimo prema boji na *svetle* (ili *salske*), gde spadaju kvarc, feldspati, feldspatoiti itd, i *tamne* (ili *femske*) gde spadaju biotit, hornblenda, pirokseni, olivini itd. *Tregerova* (Tröger) mineraloška klasifikacija bazira na procentualnom sadržaju tamnih minerala u steni, tzv. *kolor indeksu*. On je stene podelio na *leukokratne* (do 30% tamnih minerala), *mezokratne* (od 30 - 60% bojenih minerala) i *melanokratne* (od 60 - 100% bojenih minerala).

Jednu od najbolje razrađenih klasifikacija koja se bazira na mineralnom sastavu stena, strukturi i mestu postanka a koja je kasnije samo dopunjavana novim podacima dao je *Rozenbuš* (Rosenbusch, 1890).

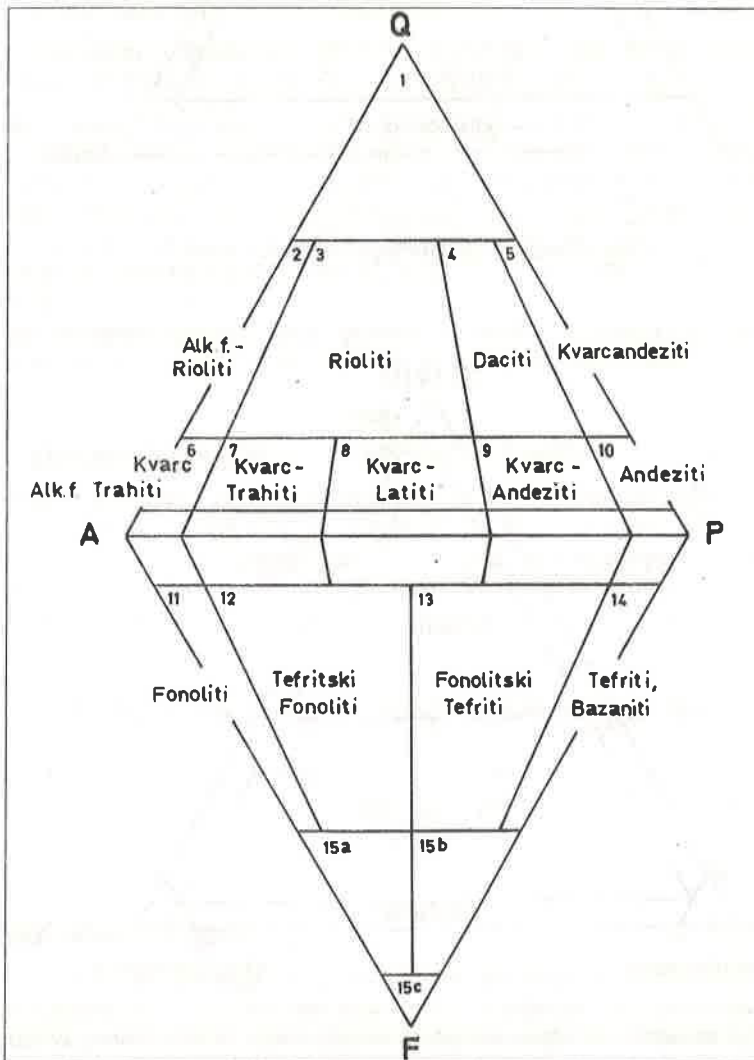
Rozenbuš je magmatske stene podelio na *dubinske*, *žične* i *izlivne*, i izdvojio po ovim grupama glavne vrste i varijetete magmatskih stena. Izlivne stene je prema vremenu stvaranja podelio na *mlađe* ili *kenotipne* (kenozojske starosti i mlađe) i



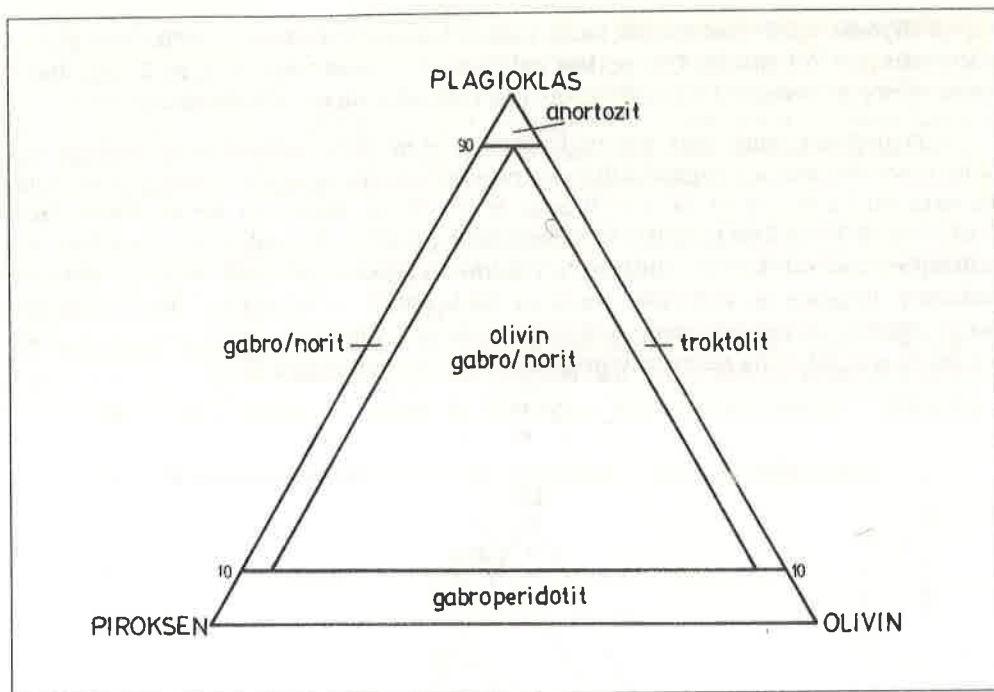
Sl.21.a. Klasifikacija kiselnih dubinskih stena

starije ili *paleotipne* (mezozojske stene i starije), smatrajući da stare stene moraju biti više izmenjene od mlađih. Ova podela vulkanita po starosti danas se, međutim, malo primenjuje, jer promene stena i kod mlađih vulkanita mogu biti intenzivne.

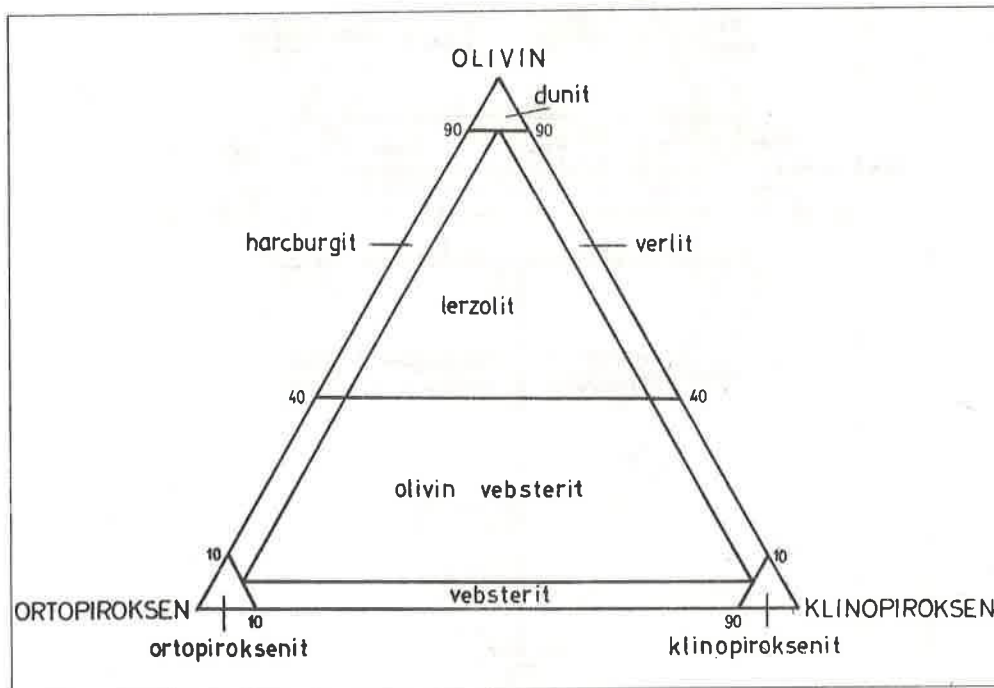
Poslednjih dvadesetak godina formirana je međunarodna komisija koja je donela i novu sistematiku magmatskih stena prema vodećim mineralnim komponentama. Ta sistematika bazira se na podeli koju je predložio švajcarski geolog Štrehajzen (Ströheisen) 1976. Ova klasifikacija prikazana je priloženim dijagramima, pri čemu su sadržaji mineralnih komponenti dati u volumnim procentima (sl.21 a-d). Posebno je prikazan dijagram za dubinske stene sa feldspatima ili feldspatiodima, dubinske magmatske stene bez feldspata, vulkanske stene sa feldspatima. Pojedinačne karakteristike navedenih vrsta stena biće prikazane u narednim poglavljima.



Sl.21.b. Klasifikacija kiselih vulkanskih stena



Sl. 21.c. Klasifikacija bazičnih dubinskih stena



Sl. 21.d. Klasifikacija ultrabazičnih dubinskih stena (po Štebajzenu, 1976)

Hemijski principi klasifikacije stena

Hemijski metodi klasifikacije stena polaze od njihovog hemijskog sastava, i to prvenstveno od sadržaja SiO_2 u stenama.

Prema sadržaju silicije stene su podeljene na:

- **kisele stene**, sa više od 66% SiO_2 ;
- **intermedijarne stene**, sa 52 - 66% SiO_2 ;
- **bazične stene**, sa 45 - 52% SiO_2 i
- **ultrabazične stene**, sa manje od 45% SiO_2 .

Osim toga, na osnovu sadržaja slobodnog kvarca u stenama, magmatske stene podeljene su na:

- **prezasićene**, koje sadrže višak silicije u vidu slobodnog kvarca;
- **zasićene**, koje ne sadrže kvarc u slobodnom stanju, ali ne sadrže ni minerale sa malo silicije (olivine, feldspatoide itd.) i
- **nezasićene**, u kojima se, usled nedovoljnog sadržaja silicije pojavljuju minerali sa malo SiO_2 , kao što su olivin, feldspatoidi i dr.

Sve magmatske stene, izuzev ultrabazičnih, sadrže feldspate i često nam samo određivanje hemijskog karaktera feldspata može pomoći pri sistematici stena. Tako kisele stene sadrže alkalne feldspate (ortoklas) i kiseli plagioklas (albit), intermedijarne stene sadrže intermedijarne plagioklase (oligoklas, andezin), dok bazične stene uglavnom sadrže samo bazične plagioklase (labrador, bitovnit). Alkalne stene predstavljaju posebnu grupu stena koja se karakteriše pojavljivanjem feldspatoida na mestu feldspata ili uz njih.

Od hemijskih klasifikacija u upotrebi je klasifikacija Niglij (Niggli) i Zavarickoga koja na osnovu hemijskog sastava stene određuje karakter magme iz koje je stena nastala.

Mineraloško-hemijski principi klasifikacije

Od mineraloško-hemijskih klasifikacija koje su u upotrebi treba pomenuti klasifikaciju Krosa (Cross), Idingsa (Iddings), Pirsona (Pirsson) i Vašingtona (Washington), poznatu kao *CIPW* klasifikaciju (ime dobila po inicijalima pomenutih autora), koja stene svrstava u grupe preračunavajući, na osnovu hemijskog sastava normativni mineralni sastav stene.

5.1.1.11. Podela magmatskih stena (po Rozenbušu)

Magmatske stene su podeljene na tri grupe:

- **dubinske**;
- **žične i**
- **izlivne**

Dubinske magmatske stene

Dubinske magmatske stene, ili kako ih još nazivamo intruzivne ili plutonske, nastaju uglavnom u nivoima gornjeg i donjeg plutonskog područja. Javljaju se u oblicima batolita, lakolita, lopolita i dr. Nastaju pri laganoj kristalizaciji magme i imaju zrnastu strukturu.

Žične magmatske stene

Žične magmatske stene predstavljaju diferencijate ili bočne ogranke dubinskih magmatskih stena. Njihov nivo konsolidacije je uglavnom nivo dubinskih magmatskih stena. Opšta im je karakteristika da u odnosu na svoju dužinu tela imaju vrlo malu debljinu. Oblik žice je najčešći, ali nije uvek karakterističan, već se mogu javljati i tela nepravilnog oblika. Po sastavu mogu biti identični sa matičnom stenom, kad ih nazivamo *ašistne žične stene*, a mogu se i od nje razlikovati, kada ih nazivamo *diašistne žične stene*. Prema tome, *ašistne žične stene* imaju isti mineralni sastav kao i matična stena, ali se razlikuju po strukturi (obično su porfirске ili porfiroidne strukture.).

Diašistne žične stene u odnosu na matični pluton imaju manje ili više bojenih (femskih) minerala. Ako stene iz ove grupe imaju više salskih a manje femskih minerala nazivamo ih *aplitima*. U slučaju kada su bogatije femskim a siromašnije salskim mineralima u odnosu na matičnu stenu, nazivamo ih *lamprofirima*.

Izlivne magmatske stene

Izlivne (efuzivne ili ekstruzivne, kako se još nazivaju) stene stvaraju se u vulkanskom ili subvulkanskom nivou. Hlađenje magmi koje su dale ove stene bilo je brzo. One se odlikuju i porfirskom strukturom. Prema vremenu stvaranja vulkanske stene delimo na *mlade* (kenotipne, stvarane u kenozoiku) i *starije* (palcotipne, stvarane pre kenozoika, tj. u mezozoiku i ranije).

Prema sredini stvaranja vulkanske stene dele se na *subaerske* (izlivene na kopnu) i *submarinske* (izlivene na morskom dnu).

Prema mineralnom sastavu i važnijim hemijskim karakteristikama magmatske stene sistematizovane su na sledeće grupe:

- **grupa granita i granitoida** (*graniti, kvarcmonconiti, granodioriti, kvarcdioriti*), obuhvata kisele do intermedijarne stene, izgrađene od kvarca, alkalnog feldspata, intermedijarnog plagioklasa i bojenih minerala. Prema sadržaju bojenih minerala spadaju u leukokratnu do mezokratnu grupu. Stene ove grupe veoma su rasprostranjene u kontinentalnoj kori;

- **grupa stjenita**, obuhvata intermedijarne stene sa alkalnim feldspatom, bez slobodnog kvarca (zbog čega se ponekad umesto feldspata javljaju feldspatoidi, pa i alkalni amfiboli i pirokseni);

- **grupa monconita i diorita**, obuhvata intermedijarne stene, bez slobodnog kvarca, sa prelaznim plagioklasom, bojenim mineralima i malo alkalnog feldspata. Spadaju u grupu mezokratnih stena;

- **grupa gabroida**, predstavlja bazične magmatske stene, izgrađene od bazičnog plagioklasa i bojenog minerala. Ako se u ovim stenama pojave alkalni feldspati ili feldspatoidi tada ove stene nazivamo *alkalnim gabroidima*. Izlivne stene ove grupe (bazalti) su stene koje su najzastupljenije u okeanskoj kori;

- **grupa ultramafita**, obuhvata stene bez feldspata. One su izgrađene samo od bojenih minerala (olivina i piroksena).

Uz navedene grupe stena biće prikazana i posebna, vrlo specifična grupa stena, *lamprofira*, specifičnog mineralnog sastava, hemizma i načina postanka, koje se obično sreću kao pratioci plutonita.

Posebno je izdvojena grupa *karbonatita*, uglavnom nesilikatnih stena, takode specifičnog uslova stvaranja. S obzirom na praktični značaj opisana su i *vulkanska stakla*, koja pripadaju raznim grupama magmatskih stena.

5.1.2. Grupa granita i granitoida

Stene grupe granita i granitoida odlikuju se visokim sadržajem silicije (SiO_2), povišenim sadržajem alkalija (Na_2O i K_2O) i malim sadržajima magnezije (MgO), gvožđa (FeO) i kalcije (CaO). Bitna karakteristika ove grupe je prisustvo *kvarca i alkalnog feldspata* (ortoklasa i albita), *intermedijarnog plagioklasa* (andezina), uz koje se javljaju bojeni minerali *muskovit, biotit, hornblenda* itd.

Glavni predstavnici ove grupe stena su:

dubinske stene	- <i>graniti, kvarcmonconiti, granodioriti i kvarcdioriti;</i>
izlivne stene	- <i>ritoliti (kvarcporfiri);</i> - <i>kvarckeratofiri;</i> - <i>kvarclatiti;</i> - <i>daciti;</i> - <i>kvarcporfiriti;</i>
žične stene	- <i>granitporfiri;</i> - <i>apliti;</i> - <i>pegmatiti;</i> - <i>kvarcmonconitporfiriti;</i> - <i>granodioritporfiriti;</i> - <i>kvarcdioritporfiriti.</i>

5.1.2.1. Dubinske magmatske stene

Graniti

Ime su dobili po latinskoj reči *granum* - zrno (javljaju se u zrnastim agregatima). Zbog ove osobine koja se često sreće, mnoge stene različitog sastava, u tehničkim priručnicima nazivaju se granitima.

Granit je ime za leukokratnu, zrnastu stenu izgrađenu od *alkalnog feldspata, kvarca i bojenog minerala*. Sporedni minerali u granitima su *cirkon, apatit, magnetit, ilmenit, rutil i titanit*.

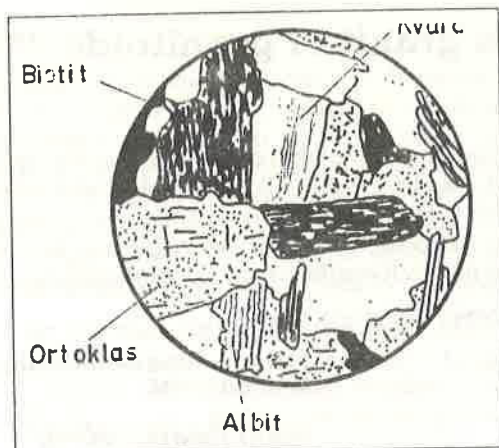
Od alkalnih feldspata obično se javlja *ortoklas* ili *mikroklin*, ponekad se sreće *albit*, tada stene nazivamo *albitskim granitima*.

Graniti dobijaju naziv prema nekom vodećem bojenom ili karakterističnom mineralu: *biotitski granit, muskovitski granit, dvoliskunski granit, amfibolski granit, turmalinski granit* itd. Najčešći su dvoliskunski graniti (sa muskovitom i biotitom) te se zato nazivaju i *obični graniti*.

Strukture su zrnaste, uglavnom hipidiomorfno zrnaste (sl. 22), pri čemu veličina zrna u ovim stenama varira. Teksture su masivne, lučenje je paralelopipedno pločasto ili nepravilno.

Ove stene upotrebljavaju se kao odličan građevinski materijal, naročito ako su povoljne krupnoće i ako su povoljno lučene. Od granita se prave kocke za puteve, kamen za gradnju ivičnjaka, stepenica itd.

Sitnozrni i srednjezrni varijeteti su mnogo povoljniji od krupnozrnih. Kuglasto lučeni graniti su nepovoljni za obradu.



Sl.22. Granit (mikroskopski snimak)

Graniti spadaju u vrlo otporne stene. Raspadanje počinje promenom bojenih minerala (najčešće njihovom oksidacijom), usled čega zadobijaju mrkocrvenu boju. Nakon toga zamućuju se feldspati koji daljom transformacijom prelaze u gline. Ovi procesi obično počinju po obodu zrna, ponekad mogu čvrstu stensku masu dovesti u rastresito stanje tzv. *granitski grus*. U masi, koja podseća na pesak, jedini minerali koji nisu podlegli raspadanju su kvarc i muskovit, ako su bili prisutni.

Novija proučavanja granita pokazala su da oni mogu biti dvojakog porekla:

I-graniti i *S-graniti*.

I-graniti nastaju u orogenim područjima iznad zona subdukcije, udruženi su sa granodioritima, kvarcdioritima, čak i gabrodioritskim stenama. Magme koje su dale sve ove stene obrazovane su delimičnim stapanjem najviših delova gornjeg omotača i najdubljih delova kontinentalne kore, pri čemu je diferencijacija ovih magmi izvršena pri njihovom uzdizanju ili *in situ* (na mestu). Varijabilnog su sastava ali sa povišenim sadržajem natrije i kalcije zbog čega se u ovim stenama, kao karakterističan bojeni mineral, javlja hornblenda. Od sporednih minerala najčešća asocijacija je *sfen-ortit-magnetit*. Odnos $Sr^{87/86}$ u *I-granitima* je uglavnom oko 0,704 do 0,708. Kao normativni mineral (koji se dobija izračunavanjem, na osnovu hemijske analize granita) javlja se diopsid.

S-graniti su nastali stapanjem podinskih sedimentnih stena u kontinentalnoj kori (uglavnom metaklastita) zbog čega pokazuju povišen sadržaj aluminije. Ujedenastanog su sastava. Karakteristični minerali u ovim stenama su muskovit i uz njega biotit, a od normativnih minerala korund. Odnos $Sr^{87/86}$ je iznad 0,708. Od akcesornih minerala najčešći je *ilmenit*. Interesantno je da se u *S-granitima* često sreću uklopici (anklave) metaklastita koji predstavljaju relikte primarnih stena koji nisu potpuno stopljeni pri metamorfnim procesima. Stvaranje granita u istoriji Zemlje ponavljalo se više puta, pa ove stene mogu biti različite starosti. Prema poznatim statistikama oko 95% plutonita viših nivoa kontinentalne kore čine graniti.

U našoj zemlji graniti su vrlo rasprostranjeni, naročito u Srpsko-makedonskoj masi i Pelagonidima. Različite su starosti.

Na Belasici, Ograždenu, Plačkovici i u osnovi Pelagonida pojavljuju se graniti nepoznate starosti, regenerisani možda i više puta. Na Pelisteru, Kajmakčalanu, u području Vranja, Bujanovca i Lebana, kod Vršca, na Staroj planini, Crnajki, Tandi, Neresničkom i Brnjičkom masivu nalaze se graniti paleozojske starosti. Mezozojskih granita (uglavnom albitskih) ima u Sloveniji, na Karavankama, Crnoj Gori, na Ljubušnji, na Prokletijama, u zoni Plavuš-Furka u Makedoniji.

Prema najnovijim odredbama geološke starosti graniti Bukulje, Cera i Motajice koji su do sada smatrani paleozojskim veoma su mladi (tercijarni).

Paleozojski graniti su često škriljavi, delimično ili potpuno metamorfisani u ortognajseve, trakaste i okaste građe. Kalijski feldspat u takvim stenama predstavljen je uglavnom mikroklinom.

Graniti se retko javljaju kao samostalne mase. Praćeni su obično žicama aplita i pegmatita. Katkad se u njima sreću i bezkvarcne, sijenitske facije, a često su udruženi i sa stenama iz grupe granodiorita.

U našoj zemlji graniti se eksploatišu, kao građevinski kamen, na više mesta: na Bukulji, Ceru, Motajici, kod Vršca, Prilepa itd.

5.1.2.2. Žične magmatske stene (graniti)

Granitporfiri

Granitporfiri su ašistne žične stene granitskog karaktera. Po sastavu se ne razlikuju od matičnih plutonita, ali su po strukturi redovno drugačiji. Strukture su, naime, porfirne ili, što je još češće, porfiroidne, kada su krupnija idiomorfna zrna predstavljena kalijskim feldspatom ili albitom.

Rasprostranjeni su široko, jer praktično ni jedan granitski pluton nije bez ovih pratilaca. Imaju malu debljinu (od nekoliko centimetara pa do par metara) a veliku dužinu prostiranja. Javljaju se obično u vidu tankih žica koje presecaju matični pluton.

Izgrađeni su od kvarca, ortoklasa ili mikrokлина, albita i bojenih minerala. Kristali feldspata obično su rumeni ili zelenkasti a cela stena je sivozelene ili svetlo crvene (rumenkaste) boje.

Ove stene u stranoj literaturi nazivaju i mikrogranitima.

Zbog male debljine žica granitporfiri nemaju praktičnog značaja.

Pegmatiti

Pegmatiti su stene koje nastaju od ostatka granitskog rastopa koji je obogaćen lakoisparljivim komponentom.

Pegmatiti i nisu tipske žične stene. Zaostatak kiselog rastopa (bogatog kvarcom i feldspatima, praktično bez bojenih minerala) uz velike plutone može biti ogroman. Zbog velikog unutrašnjeg pritiska (koji je posledica povećanog sadržaja lakoisparljivog komponenta koji može činiti i 50% mase stene) pegmatiti obično imaju veliku snagu intrudovanja i vrlo su pokretljivi. Na taj način mogu formirati i tipske intruzivne stene. Katkad obrazuju intruzije sočivastih ili nepravilnih oblika, ili se javljaju kao žična tela promenljive debljine.

Struktura pegmatita je zrnasta, obično hipidiomorfno zrnasta, ali se sreće i panidiomorfno zrnasta. Obično su to krupnozrne stene (po čemu se relativno lako raspoznaju od drugih stena), ponekad sa kristalima imponantnih razmera. U Africi, na primer, nađeni su berili dužine i preko 2 m. Kod nas su veoma krupni kristali epidota nađeni u pegmatitima kod Prilepa.

Pegmatiti su izgrađeni od *magmatskih minerala*, alkalnog feldspata (ortoklasa ili mikrokлина), retko albita, liskuna, kvarca i *pneumatolitskih minerala* koji su nastali dejstvom lakoisparljivog komponenta na već postojeće minerale, muskovita, berila, topaza itd. Za ove stene takođe je karakteristična i *ptanopegmatitska* struktura koja se karakteriše prorastanjem kvarca i feldspata pri čemu se dobijaju agregati sa strukturom sličnom semitskim slovima. Od pneumatolitskih minerala najčešći su beril, turmalin, topaz, spodumen, korund, epidot, uranski minerali, kasiterit, minerali molibdena i dr.

Pojave pegmatita u našoj zemlji veoma su česte. Pojavljuju se kao žični pratioci granitoida na području Bujanovca, na Kukavici, Pasjači, Vidojevici (kod Prokuplja), Zeljinu, Bukulji, Ceru, Kajmakčalanu, Pelisteru, Ograždenu, Belasici itd.

Sa ekonomske tačke gledišta pegmatiti predstavljaju veoma interesantne stene. Oni su nosioci mnogih korisnih minerala a često služe i kao sirovina za dobijanje kvarca, feldspata, liskuna itd.

Na osnovu povećanog sadržaja nekog od pomenutih minerala pegmatite možemo podeliti na:

- *liskunske pegmatite*;
- *feldspatske pegmatite*;
- *pegmatite sa berilom*;
- *pegmatite sa spodumenom* itd.

Liskunski pegmatiti obično sadrže veoma debele ploče liskuna koje se mogu eksploatisati. Od liskuna najčešći je muskovit, retko biotit ili litijski liskuni.

Muskovit se koristi u elektroindustriji (kao izolator). U našoj zemlji muskovit se eksploatiše kao sporedan produkt pri otkopavanju feldspata. Liskunskih pegmatita ima kod Prokuplja, Bujanovca, Prilepa, Bogomile, Vitolišta (Makedonska ležišta nisu sada u eksploataciji), i u Hrvatskoj na Panonskim horstovima.

Feldspatski pegmatiti sastoje se od kvarca i alkalnog feldspata i vrlo malo ostalih sastojaka. Iz ovih stena se feldspat i eksploatiše. Obično se dobija prebiranjem. Naša pegmatitska ležišta feldspata predstavljaju solidnu sirovinsku bazu. Kalijski feldspati i kalijsko-natrijski feldspati se eksploatišu kod Prokuplja, Bujanovca, Prilepa itd. Albitski pegmatiti eksploatišu se samo na Ograždenu.

Pegmatiti sa berilom su nosioci berila koji se javlja u pravilnim kristalima različite veličine (ponekad veoma krupnim). Berila kod nas ima u pegmatitima Cera, Bukulje, Motajice, i u okolini Bujanovca.

Pegmatiti sa spodumenom nose spodumen koji se u ovim stenama javlja u kristalima dugim i preko 15 cm a debelim do 2 cm. U našoj zemlji najveće pojave spodumena konstatovane su u pegmatitima Cera. Na ovom lokalitetu kristali su dugi do 10 cm.

Pegmatiti mogu biti nosioci *fluorita*, kada se ovaj mineral javlja zajedno sa liskunima, apatitom, turmalinom i kvarcom. Ponekad su koncentrisani *apatit i flogopit*.

Osim pomenutih minerala ponekad u ovim stenama sreće se i *grafit*, koji se obično javlja u salbandama pegmatitskih žica. *Piezooptički kvarc*, visokog kvaliteta (bez inkluzija i vanredno proziran) takode se javlja u ovoj vrsti stena.

Pegmatiti, osim toga, mogu nositi ekonomski interesantne koncentracije *korunda, minerala retkih zemalja, zlata, šelita, volframa, rutila* itd.

Apliti

Apliti su stene izgrađene od kvarca, feldspata i veoma *male količine bojnih minerala* (koji ponekad i izostaju). Obično su sitnozrne građe. Javljaju se u vidu tankih žica, velike dužine. Bele su boje, ponekad svetlosive, uvek svetlije od matičnog plutona koji redovno prate.

Zrnaste su strukture, često panidiomorfno zrnaste, retko mogu biti i porfiroidni. Granice aplitskih žica prema okolnim stenama su oštre.

Postaju od *ostatka rastopa koji je siromašan lakoisparljivim komponentom*, pri čemu je hlađenje stene bilo brzo.

Najznačajnija primena aplita je u industriji porcelana i keramike. Zahtevima ove industrije odgovaraju apliti sa minimalnim količinama minerala koji nose gvožđe, po mogućnosti sa što većim sadržajem kalijskog feldspata.

U našoj zemlji apliti su veoma česti, uz sve granijske masive. Većih pojava aplita ima u okolini Stalača, na Bukulji i Pohorju.

Grajenzi

Grajenizacija predstavlja metasomatski proces vezan za više nivoe granitskih intruzija (od 1,5 do 3 km). U prvobitnom značenju termin *grajzen* označavao je kvarcno muskovitsku stenu. U njihov sastav, međutim, ulaze i mnogi drugi minerali, *turmalin*, *topaz*, *florit* itd.

Grajenzi nastaju pri diferencijaciji ultrakiselih i kiselih granitskih rastopa, kada se sa padom temperature povećava sadržaj silicije, aluminije i lakoisparljivog komponenta bogatog fluorom, borom, hlorom itd. Najčešće se sreću na kupolama granitoida ili neposredno oko njih, usled čega se formiraju kvarcno-muskovitske, kvarcno-topazne ili kvarcno-turmalinske mase, u zavisnosti od karaktera okolnih stena.

Grajenizacija se primećuje praktično u svim granitskim masivima.

U grajenima se često sreću ekonomski interesantne koncentracije *volframa*, *molibdena*, *bizmuta*, *tantala*, *retkih zemalja*, *topaza* itd.

U našoj zemlji pojave grajenizacije zapažene su na Bukulji, Motajici, Ceru itd

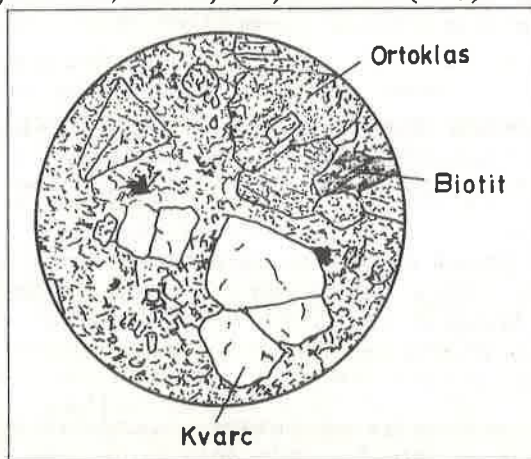
5.1.2.3. Izlivne magmatske stene (graniti)

Rioliti

Rioliti su mlade, tercijarne vulkanske stene granita. Često se za ove stene sreće i naziv *lipariti* (po Liparskim ostrvima, blizu Sicilije), gde su veoma rasprostranjene.

Rioliti su stene sivo-bele boje, ponekad i bele, dok stakla (neiskristalisana lava) mogu biti crna, tamnosiva i crvenkasto-mrka. Strukture su *porfirske*, i to holokristalasto porfirske do vitrofirske. U grupi riolita česte su pojave i potpuno staklastih stena bez fenokristala koje imaju i svoja posebna imena, *obsidijan*, *peštajn*, *bimštajn*, *plovućac*, o kojima će biti posebno reči u poglavlju o vulkanskim staklima.

Teksture su *fluidalne*, a lučenje im je stubasto (sl.23).



Sl.23. Riolit (mikroskopski snimak)

Mineralni sastav ovih stena je sledeći: kao *fenokristali* javljaju se *kvarc* i *sanidin*, a od bojenih najčešće *biotit* i *hornblenda*. Od sporednih sastojaka javljaju se *apatit*, *cirkon*, *sfen* i malo *magnetita*.

Osnovna masa izgrađena je od *mikrolita* istih minerala sa ili bez stakla. Ako je osnovna masa izgrađena samo od stakla, stena zadobija crvenomrku do skoro crnu boju.

U ovim stenama umesto sanidina može se javiti *albit*, kao bitni mineral, kada ove stene nazivamo *albitskim riolitima*.

Rioliti su retke stene, u našoj zemlji ih malo ima. Konstatovani su u Gornem Jesenju (Hrvatsko Zagorje), a albitski rioliti nađeni su kod Bosanskog Petrovog Sela.

Ako su povoljno lučeni i ako porfirska struktura nije izražena mogu se koristiti kao građevinski kamen.

Kvarcporfiri (paleorioliti)

Kvarcporfiri ili paleorioliti (kako se u novije vreme sve češće nazivaju) predstavljaju *starije* izlivne stene granitske grupe.

To su stene *porfirske strukture*, izgrađene od *fenokristala kvarca*, *ortoklasa albita* i bojenog minerala (*biotita*, *augita* ili *hornblende*). Fenokristali leže u mikrokristalnoj osnovnoj masi izgrađenoj od *mikrolita* (sitnih kristala) istih minerala.

Pošto su to stare stene, često su u većoj ili manjoj mери alterisane. Feldspat je sericitisan i kaolinitisan, ponekad pokazuje tragove uređenja kristalne rešetke, tj. prelazi u stabilnije forme (mikroklinizacija, pertitizacija itd.) ima i mehaničkih deformacija ovog minerala.

Kvarc je često resorbovanih ivica a bojeni minerali su hloritisani, kalcitisani i epidotisani. U osnovnoj masi čest je sericit, hlorit, oksidi gvožđa usled čega stene zadobijaju crvenkastu ili zelenkastu boju.

Metamorfisanih paleoriolita ima oko Strumice, na Kožufu (u Makedoniji). Paleozojskih kvarcporfira ima na području bosanskih škriljavih planina (između Prozora, Sarajeva i Bugojna), na Korabu, kod Gostivara, Tajmišta, na Staroj planini, kod Boljetinske reke itd.

Ako nisu površinski razoreni i ako su povoljno lučeni mogu se upotrebiti kao građevinski kamen, kao i za nasipanje puteva.

Kvarckeratofiri

Submarinski ekvivalenti kvarcporfira, odnosno paleoriolita, sa *kvarcom*, *albitom* i niskotemperaturnom asocijacijom bojenih minerala, *primarnim hloritom*, *kalcitom*, *epidotom*, *cojsitom*, *sfenom*, i sa dosta oksida gvožđa u osnovnoj masi, nazivaju se *kvarckeratofiri*.

Mada na prvi pogled mogu imati isti mineralni sastav kao i kvarcporfiri sa albitom, termini kvarcporfir i kvarckeratofir nisu sinonimi. Kvarckeratofir, naime, za razliku od albitskog kvarcporfira mora imati *niskotemperaturnu mineralnu asocijaciju* i biti udružen sa drugim članovima stena pod specijalnim uslovima stvorene *spilit-keratofirske asocijacije*.

Kvarckeratofiri su stene porfirske strukture, zelene do crveno mrke boje. Fenokristali su *albit*, *kvarc* i *eventualno relikti bojenih minerala*. Osnovnu masu čine kvarc, albit, hlorit, kalcit, epidot, oksidi gvožđa i dr.

Kvarckeratofiri su u našoj zemlji veoma rasprostranjene stene. Stvarane su uglavnom u mezozoiku (trijasu, delom i u juri) u okviru vulkanogeno sedimentnih asocijacija (porfirit-rožnačkoj i dijabaz-rožnačkoj formaciji Dinarida). Najviše ih ima u Bosni i Hercegovini, dolina Rame, Vrbasa, okolina Kupresa, u Crnoj Gori, planina Ljubišnja, Durmitor, Sinjajevina, Bjelasica, Visitor, nešto manjih pojava ima u zapadnoj Makedoniji. Kvarckeratofiri se javljaju na više mesta i u Sloveniji, naročito u području Kamničke Bistrice.

Granitoidi

Ova velika grupa stena obuhvata *sve prelazne tipove stena između granita i kvarcdiorita*.

Granitoidi spadaju u najrasprostranjenije dubinske magmatske stene. Javljaju se kao batoliti, lakoliti, štokovi, rede silovi i dajkovi krupnih dimenzija. Granitoidne intruzije srećemo u raznim delovima litosfere.

To su stene svetlosive do tamnosive boje, katkad zelenosive i crvenkaste (zbog prisustva pojedinih varijeteta alkalnih feldspata). *Zrnaste* su strukture, pri čemu veličina zrna jako varira. Stoga ove stene prema veličini zrna možemo podeliti u sredeće grupe:

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

Po pravilnosti oblika zrna najčešći su granitoidi *hipidiomorfno zrnaste strukture*, dok su ostali znatno ređi. Česti su takođe i *porfiroidni* varijeteti, kod kojih se, kao krupnija zrna, obično pravilnog oblika, javljaju kalijski feldspati.

Teksture su različite, *masivne, planparalelne, škriljave, šliraste, kuglaste* itd.

Lučenje granitoida je *pločasto, bankovito* ili *kuglasto* (koje se obično sreće u perifernim delovima intruzije).

Prema količinskim odnosima alkalnog feldspata i plagioklasa razlikujemo:

- *granite*, izgrađene od kvarca, alkalnog feldspata i bojenog minerala, koje smo prikazali u prethodnom poglavlju;
- *monconitske granite* (alkali-feldspat graniti), u kojima znatno preovlađuje alkalni feldspat nad intermedijarnim plagioklasom;
- *kvarcmonconite*, koji sadrže približno podjednaku količinu ortoklasa i intermedijarnog plagioklasa (uz kvarc i bojene minerale).
- *granodiorite*, izgrađene od intermedijarnog plagioklasa koji dominira nad alkalnim feldspatom (takođe uz kvarc i bojene minerale). Ovo su najčešće stene iz grupe granitoida;
- *kvarcdiorite*, izgrađene od kvarca, intermedijarnog plagioklasa i bojenog minerala.

Kao što je pomenuto, u njima se, kao glavni minerali, u različitim odnosima javljaju: *kvarc, kalijski feldspat* (ortoklas ili mikroklin), *intermedijarni plagioklas* (andezin ili oligoklas), *hornblenda, biotit i augit*. Od sporednih minerala sreću se *sfen, ortit, cirkon, apatit* itd, a od sekundarnih *sericit, kalcit, blorit, epidot, limonit* i drugi.

Ove stene su uglavnom otporne prema površinskom raspadanju (slično granitima), ali i one, pri dugotrajnom razaranju prelaze u grus. Zbog svojih dobrih mehaničkih karakteristika granitoidi se veoma često koriste kao tehnički kamen. Služe kao građevinski materijal, naročito ako su dobro lučeni i ako su srednjeg zrna. Upotrebljavaju se za izradu kocki, ivičnjaka, ploča, za tucanik itd. Sitnozrni varijeteti ovih stena koriste se i kao dekorativni kamen.

Pojave stena granodioritske grupe vrlo su česte u našoj zemlji.

Monconitskih granita ima na Kosmaju gde se javljaju kao stene porfiroidne strukture i zelenkaste boje. Monconitski granit Kosmaja ima oblik lakolita i praćen je velikim brojem pegmatitskih i aplitskih žica. Ove stene konstatovane su i u blizini Štipa, u Makedoniji, gde se vrši i eksploatacija ovog kamena.

Kvarcmonconiti su konstatovani na planini Ceru u zapadnoj Srbiji. Imaju oblik prostranog lakolita. Praćeni su velikim brojem aplitskih i pegmatitskih žica a zapažene su i pojave lamprofira.

Granodioriti su najčešće stene iz grupe granitoida. Javljaju se na Boranji (zapadna Srbija), Željnu, Gorjanu, Kopaoniku, Surdulici, Besnoj Kobili itd. Obično se uz ove stene, kao facije sreću kvarcmonconiti i kvarcdioriti.

Kvarcdioriti se javljaju između Bugojna i Travnika (planina Rudina), kao facije u granodioritima Surdulice, Boranje, Besne Kobile itd.

Na većini pomenutih lokaliteta vrši se eksploatacija. Najveći kamenolomi su na Boranji (Radalj) i na području Surdulice.

5.1.2.4. Žične stene (granitoidi)

Kvarcmonconitporfiriti, granodioritporfiriti i kvarcdioritporfiriti

Predstavljaju ašistne žične stene kvarcmonconita, granodiorita i kvarcdiorita. Od matičnih stena razlikuju se, osim po načinu pojavljivanja, po porfiroidnoj do porfirskoj strukturi dok im je mineralni sastav isti.

Javljaju se u vidu žica male debljine (obično do 1 m) a znatne dužine u samom plutonu ili oko njega. U stranoj literaturi ove stene zovu se još i mikrokvarcmonconiti, mikrogranodioriti i mikrokvarcdioriti.

Nemaju praktičnog značaja.

5.1.2.5. Izlivne stene (granitoidi)

Kvarclatiti

Mladi efuzivni ekvivalenti kvarcmonconita i dela granodiorita nazivaju se *kvarclatiti*.

Veoma su rasprostranjeni. Javljaju se u većim masama, izlivima, kupama ili konkordantnim pločama nastalim u subvulkanskom nivou. Obično su praćeni velikim količinama piroklastičnog materijala istog sastava.

Kvarclatiti su stene sive boje i *izrazite porfirske strukture*. Naročito su karakteristični *krupni fenokristali sanidina*, veličine i do 10 cm. Osim sanidina kao fenokristali, javljaju se *kvarc*, *plagioklas (oligoklas ili andezin)*, *biotit*, *hornblenda* ili *augit*.

Kao sporedni sastojci sreću se *sfen*, *apatit* i *ctirkon*. Osnovna masa stene može biti holokristalasta, hipokristalasta i staklasta.

Lučenje kvarclatita najčešće je *stubasto*. Pritom se obrazuju stubovi različitih dimenzija i oblika koji obično stoje upravno na površinu hlađenja sliva.

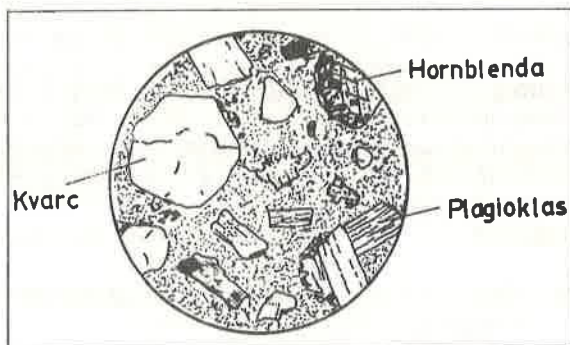
Kvarclatiti su u našoj zemlji dosta rasprostranjene stene. Konstatovane su prostrane mase - izlivi na Rogozni, južnom Kopaoniku, oko Trepče, Zvečana i Sokolice, na Kotleniku, u zletovsko-kratovskoj oblasti, Fruškoj gori itd.

Zbog izrazito porfirске strukture (krupnih fenokristala sanidina) kvarclatiti imaju ograničenu upotrebu. Iako podležu raspadanju, pri čemu fenokristali sanidina ispadaju iz stene a ona se lomi u nepravilne komade. Teško se obrađuju te se pretežno upotrebljavaju za nasipanje puteva.

Daciti

Daciti su mlađe izlivne stene kvarcdiorita. Ime su dobili po Daciji, starom nazivu za Rumuniju gde su dosta zastupljeni.

To su stene izražene porfirске strukture i često fluidalne teksture. Fenokristali su predstavljeni *intermedijarnim plagioklasom* (andezinom), kvarcom i bojenim mineralima (biotitom, hornblendom, piroksenom itd.). Osnovna masa dacita je holokristalasto porfirска do vitrofirска. Varijeteti ove stene izvedeni su prema vodećem bojenom mineralu, biotitski dacit, amfibolski dacit itd. (sl.24)



Sl.24. Dacit (mikroskopski snimak)

Lučenje dacita je pločasto i stubasto. Boja im je različita u zavisnosti od vrste i količine bojenog minerala i kristaliniteta osnovne mase.

Smanjenjem količine kvarca ove stene čine prelaze prema andezitima, tzv. *dacito-andeziti*, dok povećanjem količine kalijskog feldspata pokazuju prelaz ka kvarclatitima.

Javljaју se u većim masivima, često su udruženi sa andezitima. U našoj zemlji su konstatovani na više mesta. Najveće pojave su na Rudniku, kod Slavkovice, na zapadnim padinama Kopaonika, u Ibarskoj dolini, kod Surdulice, kratovsko-zletovskoj oblasti, oko Ivančice u Hrvatskoj, oko Srebrnice u Bosni, na Pohorju u Sloveniji itd.

Daciti imaju važnu ulogu kao građevinski materijal. Upotrebljavaju se za izradu kocki, ivičnjaka, kao i tucanik, lomljeni kamen itd. Najveći kamenolomi nalaze se u Slavkovici, Kadinoj Luci, Zagrađu, okolini Surdulice i Džepu (Momin Kamen).

Kvarcporfiriti

Kvarcporfiriti su starije (paleotipne) izlivne stene kvarcdiorita. Stvarani su subaerski i submarinski. Obično su članovi spilit-keratofirskih asocijacija.

Boje su zelene, sivozelene, tamnosive, mrke ili crvenomrke, strukture porfirske.

Javljaju se u vidu pločastih izliva, ponekad i kao "pillow" lave, ako su submarinskog nastanka.

Kao fenokristali, u kristalastoj osnovi, javljaju se *kvarc*, *andezin* i *bojeni minerali*. Kvarc je u ovim stenama često resorbovanih ivica, plagioklas je sericitisan, epidotisan, katkad i albitisan. U osnovnoj masi, koja je uglavnom mikrokristalasta, javljaju se kvarc, hlorit, feldspati i sericit. Bojeni minerali ovih stena retko su sačuvani. Transformisani su u hlorit, epidot, kalcit i limonit.

U našoj zemlji, kvarcporfiriti se javljaju sa keratofirima i kvarckeratofirima u Dinaridima. Faza koja je donela najveću količinu ovih stena odvijala se u srednjem trijasu i to pretežno submarinski. Najveće pojave zapažene su u severnoj Crnoj Gori, Bosni i Hercegovini i to na istim mestima gde se javljaju keratofiri i kvarckeratofiri. Praktičnu primenu nemaju zbog male svežine i nepovoljnog lučenja.

5.1.3. Grupa sijenita i trahita

Prema statističkim podacima stene grupe *sijenita i trahita* čine oko 0,6% svih magmatskih stena, kako intruzivnih tako i efuzivnih. To su intermedijarne stene zasićene kvarcom i povećanim sadržajem alkalija. U stenama ove grupe karakteristični mineral je *alkalni feldspat* (*ortoklas*, *mikroklin* retko *albit*) uz koji se javlja neki bojeni mineral. *Slobodnog kvarca nema*.

dubinske stene:	-	<i>sijeniti</i> ;
žične stene:	-	<i>sijenitporfiri</i> ;
izlivne stene:	-	<i>trahiti</i> , <i>porfiri</i> (<i>paleortoliti</i>), <i>keratofiri</i>

5.1.3.1. Dubinske stene

Sijeniti

Ime su dobili po mestu Syene-Asuan u Egiptu. To su svetlosive, sive ili crvenkaste plutonske stene koje se od granita *razlikuju po tome što ne sadrže slobodni kvarc* (njegov sadržaj u steni je, ako je prisutan, manji od 5%).

Ove stene se najčešće javljaju kao manje mase ili partije, odnosno bezkvarcne faciје u granitskim masivima. Takode ih srećemo kao faciје i u dioritskim ili granodioritskim masivima.

Lučenje sijenita najčešće je *pločasto* ili *kuglasto*. Struktura je *zrnasta*, uglavnom hipidiomorfno zrnasta, katkad porfiroidna. Krupnoća zrna kao i kod granita. *Tekstura* stene *masivna*.

Sijeniti su izgrađeni od *alkalnog feldspata* (*ortoklasa* ili *mikrokлина*, retko *albita*) i bojenog minerala, najčešće *amfibola*, zatim *biotita* i *augita*, koji određuju

varijetet stene. Kao sporedni sastojci mogu se javiti *kvarc*, *magnetit*, *apatit*, *tilanit* i *cirkon*. Sa pojavom i porastom sadržaja plagioklasa (oligoklasa, andezina) sijeniti prelaze u monconite.

Primena sijenita ista je kao i kod granita.

U našoj zemlji sijeniti ne grade samostalne masive već se, kao što je pomenuto, javljaju kao faciје u granitskim masivima. Najveće pojave sijenita su kod Tande u Istočnoj Srbiji, gde se sijenit javlja uz granite. Na ovom lokalitetu sijeniti su crvene boje usled primesa ferigvožda koje pigmentira feldspat (ortoklas). Veličina zrna i povoljno lučenje omogućavaju eksploataciju, te se ovaj kamen zbog lepog izgleda koristi za oblaganje i popločavanje trgova. Kao bezkvarcna faciја sijenit se javlja i uz granite Lojana i granite Stare planine.

Alkalni sijeniti

Alkalni sijeniti se po načinu pojavljivanja i izgledu ne razlikuju bitno od sijenita ali se u njima pored *ortoklasa* pojavljuje i *feldspatoid* (*nefelin* ili *leucit*) a bojeni mineral je *alkalni amfibol* ili *alkalni piroksen*. U prelaznim stenama ka normalnim sijenitima pokatkad se javlja samo feldspatoid uz normalne bojene minerale ili samo alkalni bojeni mineral uz ortoklas.

5.1.3.2. Žične stene

Sijenitporfiri

Sijenitporfiri su aštstne žične stene sijenitske i trahitske grupe. Imaju isti mineralni sastav kao i sijeniti ali se od njih razlikuju po strukturi koja je mahom porfiroidna sa krupnijim zrnima alkalnog feldspata. Ove stene nazivaju se i mikrosijenitima.

Pojavljuju se obično u tankim žicama (debljine do 1 m) koje presecaju sijenite ili stene oko sijenitskih plutona.

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

U našoj zemlji zapažene su uz pomenute pojave sijenita - Tanda, Lojane i Stara planina, zatim na zapadnim padinama Deli Jovana i u Porečkoj reci.

5.1.3.3. Izlivne stene

Trahiti

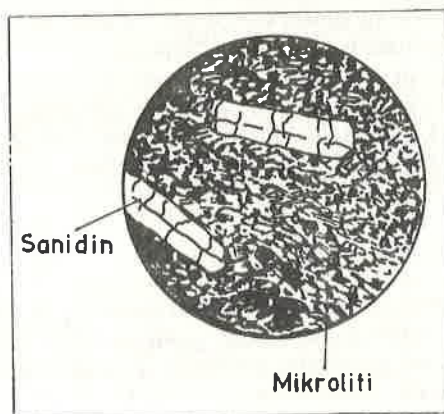
Trahiti su mladi izlivni ekvivalenti sijenita. To su stene sive, sivkastobeke do bele boje.

Strukture su *porfirske* sa fenokristalima *sanidina* i bojenih minerala, *biotita*, *hornblende* i *augita* koji leže u mikrokristalastoj, kriptokristalastoj do staklastoj osnovnoj masi. Od sporednih minerala sreću se *magnetit*, *apatit* i *cirkon*. Osnovna masa stene može biti izgrađena od mikrolita (sitnih kristala feldspata) koji su često međusobno paralelni usled tečenja lave, kada stena ima *trahitsku strukturu* (sl.25).

Količina bojenih minerala u trahitima može biti mala ili čak mogu i izostati kada stena dobija belu boju i postaje praktično monomineralna, izgrađena samo od sanidina.

Fluidalne je teksture.

Kao i kod riolita, umesto sanidina u trahitima se može u ulozi bitnog sastojka javiti *albit*, kada stenu nazivamo *albitskim trahitom*.



Sl.25. Trahitska struktura (mikroskopski snimak)

U našoj zemlji trahiti su malo zastupljeni. Beli sanidinski trahiti javljaju se u okolini Kumanova, kod sela Bajlovce, gde se razmatra mogućnost korišćenja za keramičku industriju. Albitskih trahita ima u okolini Brestovačke Banje u istočnoj Srbiji.

Paleotipne izlivne stene istog sastava kao i trahiti nazivaju se *porfirima* ili *paleotrahitima*. Pošto su ovo stare stene feldspat i bojeni minerali su alterisani, ponekad i deformisani. Javljaju se u vidu žica, različite debljine. Ima ih u bosanskim škriljavim planinama.

Keratofiri

Keratofiri su submarinski ekvivalenti albitskih sijenita sa niskotemperaturnom asocijacijom minerala. Oni su, kao i kvarceratofiri, članovi spilit-keratofirskih asocijacija koje su formirane u specifičnim uslovima.

Po sastavu, genezi i načinu pojavljivanja veoma su slični kvarceratofirima od kojih se jedino razlikuju po *odsustvu kvarca* kao bitnog sastojka.

U našoj zemlji su dosta zastupljeni. Ima ih na području Bosne i Hercegovine (dolina Rame, Vrbasa i okolina Kupresa), na području severne Crne Gore (Ljubišnja, Bjelasica, Visitor, Komovi) itd.

5.1.3.4. Alkalne izlivne stene sijenitske grupe

Fonolit

Fonolit je dobio ime od grčkog *φωνη* - zvuk, *λίθος* - kamen, jer pod udarcima čekića jasno odzvanja. Stena je sive boje, *porfirske strukture*, lučena *pločasto* ili *stubasto*.

Kao fenokristali javljaju se *sanidin*, *nefelin*, *alkalni amfibol* ili *piroksen*. Mikroliti u osnovnoj masi istog su sastava a stena može da sadrži i stakla.

Ako se umesto nefelina javi *leucit*, kao bitni sastojak, stenu nazivamo *leucitfonolit*; ako pak ima nefelina i leucita *zajedno*, nazivamo je *leucitofir*. Sa iščezavanjem feldspata i porastom sadržaja nefelina fonoliti prelaze u *nefelinite*, dok sa porastom sadržaja leucita leucitfonoliti prelaze u *leucitite*.

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

Leucitita kod nas ima u okolini Gnjilana, gde se leucit koristi za dobijanje veštačkih đubriva. Smatra se da bi gnjilanski leucititi mogli biti i sirovina za dobijanje stakla.

Fonolita ima u Banjici kod Beograda. Ovdje postoje i kamenolomi iz kojih je ranije vršena eksploatacija kamena za građevinske svrhe.

5.1.4. Grupa monconita i diorita

Opšta karakteristika stena ove grupe je da su to neutralne - intermedijarne stene bez slobodnog kvarca.

Glavni minerali u stenama ove grupe su *alkalni feldspat* i *intermedijarni plagioklas* (andezin) u monconitima, odnosno *intermedijarni plagioklas* u dioritima, uz bojene minerale koji određuju varijetet stene.

Najvažniji predstavnici stena ove grupe su:

dubinske stene	- <i>monconiti</i> , <i>dioriti</i> ;
žične stene	- <i>monconitporfiriti</i> , <i>dioritporfiriti</i> ;
izlivne stene	- <i>latiti</i> , <i>andeziti</i> i <i>porfiriti</i> .

5.1.4.1. Dubinske stene

Monconiti

Zrnaste plutonske stene koje sadrže *približno jednaku količinu kalijskog feldspata (ortoklasa ili mikroklina) i intermedijarnog plagioklasa (andezina) uz bojene minerale (biotit, hornblendu itd.)* nazivaju se *monconitima*. Ime su dobili po planini Monconi u Tirolu.

Način pojavljivanja i strukturno-teksturne karakteristike iste su kao i kod ranije prikazanih kvarcmonconita. Treba napomenuti da ove stene povlačenjem plagioklasa pokazuju prelaze ka sijenitima, dok se povlačenjem alkalnog feldspata približavaju dioritima.

U našoj zemlji monconiti se javljaju u Istočnoj Srbiji (masiv Valja Strž) i nekoliko drugih manjih pojava.

Dioriti

Dioriti se od stena granodioritske grupe razlikuju po nešto tamnijoj boji koja dolazi od povećanog sadržaja bojenih minerala i odsustva kvarca.

To su stene tamnosive, sivozelene, zelene pa čak i tamnozelene boje. Lučenje i način pojavljivanja isti kao i kod granodiorita. Od stena granodioritske grupe, međutim, znatno su manje rasprostranjeni. Retko se javljaju kao samostalni masivi. Obično se sreću uz granodiorite kao facije bez kvarca i sa malom količinom kalijskog feldspata ili kao kiselije facije uz gabroidne stene. Zbog toga pokazuju postupne prelaze prema ovim stenama naročito prema gabrima, kada sa pojavom bazičnog plagioklasa u njima obrazuju i prelazne stene koje nazivamo *gabrodioritima*.

Zrnaste su, katkad i porfiroidne strukture. Krupnoća zrna varira kao i kod granodiorita. Tekstura stene uglavnom masivna.

Izgrađeni su od *intermedijarnog plagioklasa* (andezina ili oligoklasa) i bojenog minerala *hornblende*, *augita*, *biotita* i *hiperstena*. Od sporednih sastojaka najčešće se javljaju apatit, magnetit, slen i ponekad cirkon.

Ime dobijaju prema najzastupljenijem bojenom mineralu: *augitski diorit*, *hiperstenski diorit*, *biotitski diorit* itd.

Raspadanje i grus kao kod granita.

Tehničke osobine i primena takode kao kod granita. Sitnozrni varijeteti lepih boja upotrebljavaju se kao dekorativni kamen za oblaganje.

Dioriti su kod nas retke stene. Ima ih kod Bijele Gromile (područje Travnika), u Bosni, kao facije uz gabre u Jablanici (Hercegovina), uz gabre Deli Jovana u istočnoj Srbiji, drenskom masivu u Makedoniji, na Staroj planini itd.

5.1.4.2. Žične stene

Monconitporfiriti i dioritporfiriti

To su *ašistne žične stene* monconitske i dioritske grupe koje se od plutonita razlikuju po *porfiroidnoj do porfirskoj strukturi*. Način pojavljivanja karakterističan za stene ove grupe, mala debljina žica a velika dužina prostiranja.

Praktičnog značaja nemaju.

5.1.4.3. Izlivne stene

Latiti

Mladi efuzivni ekvivalenti monconita nazivaju se *latitima*. Izgrađeni su od *fenokristala sanidina*, *andezina* i *bojenih minerala* koji leže u holokristalastoj, hipokristalastoj, retko staklastoj osnovnoj masi. Način pojavljivanja ovih stena i opšte karakteristike sklopa su kao kod kvarclatita.

U našoj zemlji latiti su konstatovani uz kvarclatite Kopaonika i u istočnoj Srbiji.

Andeziti

Andeziti su *mlade izlivne stene* dioritske grupe. To su mezokratne, retko melanokratne porfirne stene tamnosive, tamnozelene ili sivozelene boje. Pri raspadanju postaju žućkasti ili crvenkasti. *Masivne* su ili *fluidalne* teksture.

Pojavljuju se uglavnom u vidu velikih masa (izliva), *stubastog* ili *bankovitog* lučenja.

Izgrađeni su od *fenokristala andezina, hornblende, augita, biotita, hiperstena itd.* koji leže u mikrokristalastoj, kriptokristalastoj ili staklastoj osnovnoj masi.

Podela na vrste izvršena je prema vodećem bojenom mineralu, kao kod dacita, pa tako razlikujemo *augitski, biotitski, amfibolski andezit itd.*

Pojavom male količine kvarca andeziti postupno prelaze ka dacitima (dacito-andeziti) o čemu je bilo reči kod opisa dacita. Sa druge strane pojavom bazičnijeg plagioklasa i sa porastom sadržaja bojenih minerala ove stene prelaze ka bazaltima (tzv. *andezit-bazalti*).

Pojavom veće količine alkalnog feldspata (sanidina) andeziti čine prelaz ka *latitima* (tzv. *trabiandeziti*).

Andeziti mogu nastati:

- *diferencijacijom bazaltoidne magme;*
- *reakcijom (asimilacijom) kontinentalne kore i bazalta;*
- *delimičnim stapanjem donjeg dela kontinentalne kore i omotača.*

Andeziti su kod nas veoma rasprostranjene stene. Mogu se koristiti kao građevinski kamen ali su i nosioci mnogih sulfidnih mineralizacija.

Najveće pojave andezita sreću se u timočkoj eruptivnoj oblasti u istočnoj Srbiji. Ovaj kompleks je zbog toga ranije i nazvan *timočki andezitski masiv*. U njemu su zastupljeni andeziti sa veoma krupnim, idiomorfnim, fenokristalima hornblende i biotita koji se nazivaju *timociti* (prema reci Timoku).

U andezitima ove oblasti javljaju se pojave bakra (Bor, Majdanpek).

Andezita ima i u okolini Trepče, u Bosni kod Srebernice, kod Vočina u Slavoniji, kratovsko-zletovskoj oblasti itd.

Boniniti

Ovo ime dato je vulkanskoj steni koja bi prema hemijskom sastavu odgovarala jako magnezijским andezitima. U njima se kao bojeni mineral javlja *rombični piroksen*, ponekad i *olivin*. Osnovna masa ove stene je uglavnom staklasta. Obično je vezana za ofiolitske komplekse.

Porfiriti

Paleotipni ekvivalenti andezita ali i submarinski formirane stene iste grupe koji su i članovi *spilit-keratofirske asocijacije* nazivaju se porfiritima. Način pojavljivanja i ostale karakteristike ovih stena iste su kao i kod kvarcporfiritima samo što kvarc odsustvuje iz ovih stena.

Propiliti

Dacitsko andezitske stene oko sulfidnih mineralizacija ili orudnjenja pokazuju specifičan tip izmena koji je u literaturi opisan kao *propilitizacija*.

Propilitisani daciti i andeziti postaju zelenkasti ili tamnozeleni, vrlo jedri, feldspati su im još uvek sveži i staklasti a redovno su impregnisani (ponekad krupnim) zrnima pirita. Bojeni minerali su hloritisani i epidotisani.

Procesi koji dovode do ovih izmena su hidrotermalnog karaktera i predstavljaju vrstu autometamorfoze, obzirom da njihove izmene vrše hidrotermalni rastvori zao-
stali pri konsolidaciji tih istih stena.

Propilitisane stene ne ostaju dugo sveže. Pod dejstvom atmosferilija ili nekih drugih rastvora pirit oksidiše pri čemu se stvara sumporna kiselina koja razara posto-
jeće minerale. Feldspat kaoliniše, bojeni minerali "izbeljuju", tako da stena tokom vremena prelazi u trošnu beličastu masu.

Propilitisane stene mogu poslužiti i kao regionalni putokaz (indikator) za traženje novih pojava mineralizacije bakra i drugih metala.

Propiliti su konstatovani u blizini skoro svih naših šulfidnih mineralizacija, u Trepči, Novom brdu, Ajvaliji, timočkoj eruptivnoj oblasti, kratovsko-zletovskoj oblasti itd.

U andezitima se nalaze i sva veća ležišta bakra (kod nas i u svetu), kako masivno sulfidna tako i porfiriska: Bor, Majdanpek, Veliki Krivelj, Bučim (Makedonija) itd.

5.1.5. Grupa gabra i bazalta

Stene ove grupe siromašne su silicijom a bogate kalcijom, magnezijumom i gvoždem. Kao karakterističan sastojak javlja se *bazični plagioklas* (labrador i bitovnit), uz odgovarajući *bojenti mineral* (piroksen, amfibol itd.)

Ovoj grupi stena pripadaju sledeći najvažniji predstavnici:

- | | |
|-----------------|---|
| Dubinske stene: | - <i>gabrit</i> |
| Žične stene : | - <i>gabroporfiriti</i>
- <i>gabropegmatiti</i> |
| Izlivne stene : | - <i>bazalti</i>
- <i>dijabazi</i>
- <i>spiliti</i> |

5.1.5.1. Dubinske stene

Gabri

Obuhvataju veliki broj vrsta stena ove grupe koje su određene prema mineralnom sastavu, uglavnom prema vrsti bojenog minerala.

Sve dubinske stene gabro grupe imaju kao opštu karakteristiku *zrnastu strukturu* i relativno ujednačenu krupnoću zrna. Ponekad mogu biti i ofitske strukture.

Mastvne su ili ponekad *planparalelne strukture*.

Lučenje je uglavnom *nepravilno*.

Gabri se javljaju u vidu većih masa, obično oblika lakolita ili sila, katkad i u obliku žica promenljive debljine. Kada imaju pravilno paralelopipedno ili bankovito lučenje uz srednju veličinu zrna veoma su cenjen građevinski materijal.

To su stene zelenosive, tamnozelenе, zelene pa katkad i crne boje. Sastoje se od *bazičnog plagioklasa*, *monokliničnog piroksena* (uglavnom dijalaga), *rombičnih piroksena* i *olivina* (sl.26).

Stena izgrađena od *bazičnog plagioklasa* i *monokliničnog piroksena* u ulozi bitnih sastojaka naziva se **gabro** (u užem smislu).

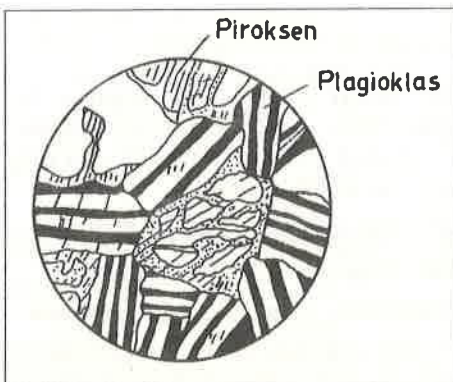
Ako se u ulozi bitnog sastojka pored dva navedena minerala javi i *olivin* stena se naziva **olivinski gabro**.

Kada se na mestu monokliničnog piroksena javi *rombični piroksen* stena se naziva **norit**, a sa sadržajem *olivina* **olivinski norit**.

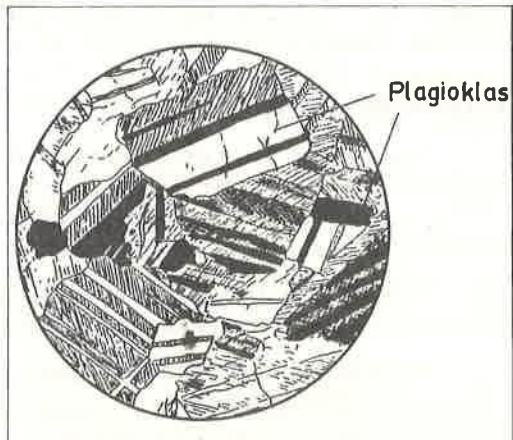
Gabro u kojem se kao bitni sastojci, pored bazičnog plagioklasa javе *monoklinični piroksen* (*dijalag*) i *rombični piroksen* naziva se **hiperit**.

Stena izgrađena samo od *bazičnih plagioklasa* i *olivina* naziva se **troktolit**. Ponekad ove stene sadrže vrlo malu količinu piroksena.

Anortoziti su praktično monomineralne, leukokratne stene gabro grupe. Izgrađene su uglavnom od *bazičnog plagioklasa* (sl.27), sa veoma malo bojenih sastojaka. Ove stene javljaju se i kao žični pratioci gabra.



Sl.26. Gabro (mikroskopski snimak)



Sl.27. Anortozit (mikroskopski snimak)

U svim navedenim vrstama gabra bazični plagioklas je *labrador* ili *bitovnit*, retko *anortit*. Često bazični plagioklas pokazuje svetlucanje u plavičastoj boji pojava koja se naziva *labradortzactja*.

Od sporednih sastojaka česti su *ilmenit*, *apatit* i *magnetit*. Sekundarni su *sosirit* (koji predstavlja asocijaciju minerala albit+epidot+cojsit) koji se stvara na račun bazičnih plagioklasa, zatim *uralit* (nastaje od piroksena), zatim sfen, epidot, kalcit i hlorit. Ako stena sadrži olivine kao sekundarni mineral javlja se i serpentin.

Pomenuto je da povoljno lučeni srednjezrni i sitnozrni varijeteti gabra predstavljaju dobar građevinski materijal. Ove stene glačaju se dobro i imaju lep izgled. Sadržaj labradora sa plavičastim svetlucanjem povećava vrednost gabra kao građevinskog kamena.

Gabri su u našoj zemlji veoma rasprostranjene stene. Najveće pojave konstatovane su na području Dren-Devdelija u Makedoniji, na Staroj planini i Deli Jovanu u istočnoj Srbiji, kod Višegrada i Jablanice u Hercegovini. Manjih pojava gabra ima na više mesta, naročito uz peridotite, gde ih ili presecaju u vidu manjih masa ili prema peridotitima pokazuju postupne prelaze, *gabro-peridotiti*. Takvih pojava manjih masa ima na Konjuhu, u Bosni i kod Višegrada, uz peridotite na Zlatiboru, na Maljenu, kod Bogutovačke Banje itd. Gabri pokazuju postupne prelaze i prema dioritima kao što je slučaj na Jablanici, Drenskom masivu i na drugim mestima.

Kao dobar građevinski materijal koriste se jablanički gabro i višegradski gabro.

Jablanički gabro je stena tamnozeleno do crne boje koja se izvanredno glača i do sada je ugrađena u veliki broj značajnih objekata. Koristi se i za izradu dekorativnih ploča za oblaganje, za spomenike. Od jablaničkog gabra izgrađen je spomenik Neznamom Junaku na Avali.

5.1.5.2. Žične stene

Gabroporfiriti

To su ašistni pratioci gabra, veoma retke stene koje se od gabra razlikuju samo po *porfiroidnoj strukturi* i načinu pojavljivanja. Javljaju se kao i sve žične stene u vidu tankih i dugih žica koje seku ili matični pluton ili stene neposredne okoline. Nemaju praktičnog značaja.

Gabropegmatiti

Imaju teorijski isti sastav kao i gabri samo bazični plagioklas preovlađuje nad monokliničnim piroksenom, zbog čega su i nešto svetlije stene. *Zrnaste su strukture* sa krupnim i katkad idiomorfnim zrnima plagioklasa i piroksena. Ponekad se u ovim stenama sreću i nešto kiseliji plagioklasi u odnosu na matičnu stenu.

Gabropegmatiti su česte stene. Javljaju se redovno kao pratioci gabra na svim pomenutim lokalitetima i kao pratioci gabroidnih facija u peridotitskim masivima.

Krupnozrnih gabropegmatita ima u okolini Raške i kod Bogutovačke Banje a takode i na Rastištu na Tari.

5.1.5.3. Izlivne stene

Bazalti

Mlade efuzivne stene gabro grupe nazivaju se bazaltima.

To su stene *holokristalasto porfirske, bipokristalasto porfirske* do *vitrofirске* strukture.

Bazalti su izgrađeni od bazičnog plagioklasa, monokliničnog piroksena i skoro redovno, u ulozi bitnoga sastojka imaju i *olivin*. Od sporednih minerala javljaju se *ilmenit, magnetit, titanit i apatit*. Sekundarni su kalcit, epidot i oksidi gvoždca. To su uglavnom sitnozrne stene.

Najčešće su crne boje a školjkastog preloma. *Lučenje* je *stubasto*, ponekad i *pločasto*. Javljaju se u obliku silova i ploča pri čemu stubovi (ako su stubasto lučeni) stoje svojim dužim osama upravno na površinu hlađenja. Česta su i kuglasta lučenja a submarinski izlivi mogu biti lučeni i u vidu *pillow lava*.

Tekstura je najčešće *mastvna* ili *fluidalna*, zatim mehurasta, šljakasta ili mandolasta.

Prema mineralnom i hemijskom sastavu bazalti su podeljeni na:

- **toleitske bazalte**, koji su silicijom zasićene stene. Sadrže, osim bazičnog plagioklasa, piroksen siromašan kalcijom i ponekad ortopiroksen. Olivin je odsutan ili redak. Klasični toleitski bazalti su sa *Havaja*;

- **alkalne bazalte**, koji su stene nezasićene silicijom zbog čega sadrže feldspatoide i skoro redovno olivin. Pirokseni u ovim stenama siromašni su kalcijom i često su alkalnog karaktera;

- **kalkoalkalne bazalte**, koji su zasićeni silicijom zbog čega je olivin praktično odsutan, piroksen bogatiji kalcijom a siromašniji gvoždem od bazalta toleitskog tipa. Ove stene su često asocirane sa andezitima.

Bazaltne magme vode poreklo iz gornjeg omotača, gde nastaju njegovim parcijalnim stapanjem.

Varijeteti bazalta sa ofitskom strukturom i nešto krupnijim zrnima nazivaju se **doleriti**.

Bazalti povlačenjem olivina i povećanjem sadržaja plagioklasa, odnosno smanjenjem sadržaja bojenih minerala prelaze ka andezitima. Ove stene su vrlo rasprostranjene i nazivaju se **andezit-bazaltima**. U geološkom ciklusu stvaraju se istovremeno kada i bazalti koje često i zamenjuju.

Andezit-bazalti su po svom spoljnjem izgledu i načinu pojavljivanja, strukturalno-teksturnim karakteristikama i načinu pojavljivanja veoma slični bazaltima. Medusobno ih je moguće razlikovati samo mikroskopski.

Upotrebljivost bazalta i andezit-bazalta zavisi od sastava i strukture. Sadržaj stakla i olivina u osnovnoj masi smanjuje kvalitet ovih stena kao građevinskog materijala dok ga veće prisustvo augita povećava.

Bazalt se koristi kao građevinski kamen i to uglavnom za izgradnju puteva, jer je za druge potrebe nepodesan zbog velike jedrine. Obično se pri udaru školjkasto prelama, te je za obradu nepogodan. Staklasti bazalti u Mađarskoj se upotrebljavaju za izradu staklene vune - odličnog izolacionog materijala (fabrika na Balatonu).

Pravih bazalta u našoj zemlji ima malo. Konstatovani su na Lončarskom visu u Slavoniji i kod Belog Manastira, na Čemerikovcu i kod Donjeg Pazarišta u Lici, na Rudniku, kod Lukovske Banje na Kopaoniku i kod Matice (Zvečan).

Andezit-bazalta ima mnogo više i mase su većeg prostranstva. Javljaju se u okolini Brestovačke Banje i Bora u istočnoj Srbiji, kod Šumnika i Rudnice, u okolini Zvečana, kod sela Žaže, u kratovsko-zletovskoj vulkanskoj oblasti. Sreću se na mnogo mesta u vidu manjih izliva i žica razne debljine u trijaskoj asocijaciji vulkanita Crne Gore, na Sinjajevini, Ljubišnji, između Virpazara, Petrovca i Bara. Ove starije bazalte i andezit-bazalte u literaturi često nazivaju i *paleo-bazalti*.

Pojavom feldspatoida bazalti pokazuju prelaze prema alkalnim stenama, *leuciti* i *nefelinbazaltima*, koji su takode veoma rasprostranjeni i o kojima će biti reči u narednim poglavljima.

Dijabazi

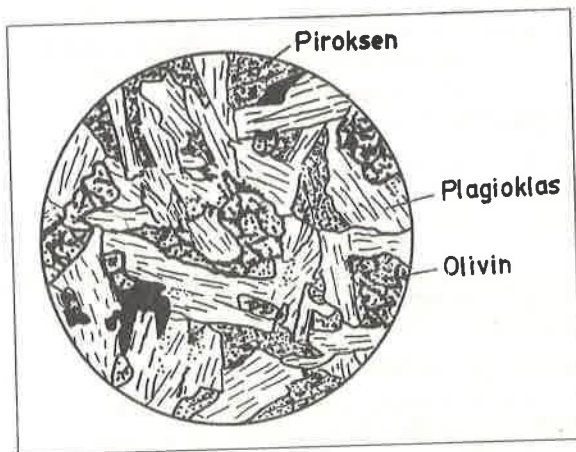
Termin *dijabaz* je u nekadašnjim klasifikacijama stena bio sinonim za *paleotitane izltnve i žične stene* gabro magme.

Pod *dijabazom* se, međutim, danas podrazumeva *izltna i žična stena gabro grupe* veoma specifične *ofitske* strukture. Ova stena nastala je najčešće u okviru split-keratofirskih asocijacija.

Dijabazi su tamnozeleno do crne boje, lučeni kuglasto ili pločasto. Struktura je, kao što je pomenuto, ofitska a tekstura *masivna* ili *mandolasta*.

Javljaju se u vidu manjih masa nepravilnog oblika, u vidu ploča ili silova i u vidu žica različite debljine.

Izgrađeni su od *bazičnog plagioklasa*, koji se javlja u međusobno izukrštanim prtkama gde su međuprostori zapunjeni *monokliničnim piroksenom* (*ofitska struktura*). U ovim stenama mogu se još javiti *olivin* (*olivinski dijabaz*, sl.28), *hornblenda*, *biotit* i *kvarc* (*kvarcdijabaz*). Od sporednih sastojaka u ovim stenama redovan je *ilmenit*, sreću se *magnetit* i *apatit*. Sekundarnih minerala ima mnogo, obzirom da ove stene uglavnom nastaju u submarinskim uslovima. Bojeni minerali su *blortitsani*, *kalcititsani*, *epidotitsani*. Plagioklas je *sostititsan i kalcititsan*, ilmenit pretvoren u *leukoksen*. Takva stena dobija zelenu boju, zbog čega se u literaturi dijabazi i srodne stene nazivaju zelene stene ili *grinštajn*.



Sl.28. Olivinski dijabaz (mikroskopski snimak)

Dijabaza u našoj zemlji ima na više mesta ali obično imaju malo rasprostranjenje. Konstatovani su na Maljenu, na Ždralici kod Kragujevca, na Kozari, oko Maglaja, u oblasti Višegrada, oko Rudog, Prijepolja, Sjenice, u Gorskom kotaru, na Pelisteru i na mnogim drugim mestima u zapadnoj Makedoniji. U Crnoj Gori ih ima u okolini Bara i na području Ljubišnje.

Vrednost dijabaza kao građevinskog materijala je promenljiva. Kada su sveži upotrebljavaju se za izradu spomenika pa čak i kao dekorativni kamen. Međutim, izmenjeni su loš građevinski materijal.

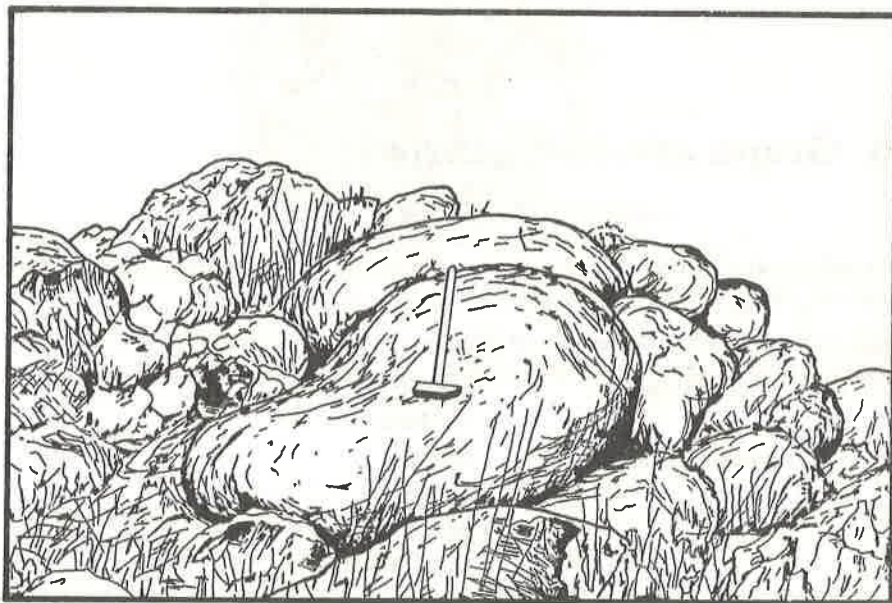
Najveća količina dijabaza kod nas formirana je u mezozoiku (srednja jura) a cela jedna vulkanogeno-sedimentna formacija u kojoj su dijabazi osnovne stene nazvana je *dijabaz-rožnačka formacija*.

U sviti dijabaza srećemo katkad i žične stene sa porfirskom strukturom, kod kojih se javljaju krupni fenokristali plagioklasa koji leže u sitnozrnoj ofitskoj osnovi. Ovakve stene se označavaju kao *dijabazporfiriti*. Pojave ovakvih stena su male, žičnoga tipa i nemaju većeg praktičnog značaja.

Spiliti

Spiliti predstavljaju posebnu grupu stena koja se od ostalih bazaltoidnih stena razlikuje kako po mineralnom sastavu tako i po specifičnim uslovima postanka.

Spiliti su stene zelene boje koje grade prostrane silove, najčešće konsolidovane kao *pillow lave* (sl.29). Takođe se javljaju i u vidu manjih masa ili žica nastalih submarinski ili intruzijom lave u vlažne nekonsolidovane sedimente morskog dna.



Sl.29. *Pillow lave*

Ofitske, variolitske ili sferolitske su strukture. U svim slučajevima zrna su veoma sitna. Najčešće su *mandolaste* teksture.

Mineralni sastav spilita je sledeći: *albit, hlorit, kalcit, epidot, sfen i relikti monoklinalnog piroksena*.

Poreklo albita koji je primarni mineral u ovim stenama poseban je problem. Ove stene imaju isti hemijski sastav kao i dijabazi ali umesto bazičnog plagioklasa i augita javljaju se albit, hlorit i kalcit. Pojedini autori nastanak albita vezuju za dejstvo kasnomagmatskih procesa koji su u završnoj fazi konsolidacije doveli do obogaćenja rastopa natrijom i stvaranja albita na mestu bazičnog plagioklasa, dok ga drugi vezuju za asimilaciju natrije iz morske vode (takozvana spilitska reakcija itd.).

U plitkim submarinskim uslovima ove lave daju stene sa porfirskom strukturom i mandolastom teksturom kada su crvenomrke ili ljubičaste boje (usled brze oksidacije gvožđa) kada stene nazivamo i *melafirima*. Ovaj termin je sve manje u upotrebi.

Spilita ima na mnogo mesta: na planini Svilaji u Hrvatskoj, u okolini Vareša, okolini Tešnja, između Donjeg Vakufa i Jajca, između Jablanice i Prozora, u okolini Budve, u okolini Beograda (Ripanji). Naročito su lepe mase *pillow lava* spilita između Demir Kapije i Devdelije u Makedoniji.

Spiliti nisu pogodni za građevinski materijal zbog nepovoljnog lučenja i mineralnog sastava (hlorit, kalcit itd.). Izuzetak čini spilit Ripnja (kod Beograda) koji je odigrao veliku ulogu u gradnji Beograda. Ovaj kamen je doskora bio poznat pod imenom "ripanjski kersantit". Spilitska masa ima oblik intruzije, lučena je povoljno i korišćena je do rata kao građevinski materijal.

5.1.6. Grupa alkalnih gabroida

Za razliku od grupe gabra i bazalta ovo su stene bogate alkalijama, tj. karakterišu se prisustvom *feldspatoida*.

Najvažniji predstavnici ove grupe stena su:

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| Dubinske stene: | - <i>teraliti</i> |
| | - <i>eseksiti</i> |
| Izlivne stene: | - <i>tefriti</i> |
| | - <i>bazaniti</i> |
| | - <i>leucitbazalti</i> |
| | - <i>nefelinbazalti</i> |

Dubinske stene ove grupe predstavljaju feldspatoidske gabre promenljivog sastava i strukture.

Teraliti su plutonske zrnaste stene izgrađene od *kalcijско-natrijskog plagioklasa, nefelina, piroksena* (pretežno titanogita) i retko *biotita*. U najvećem broju slučajeva prisutan je *olivin* a od sporednih magnetit.

Eseksiti su prelazne stene ka alkalnim sijenitima jer se u ovim stenama osim *kalcijско-natrijskog plagioklasa* u ulozi bitnog sastojka javljaju *ortoklas* i *augit*, ponekad *olivin* retko *amfibol* i *blottit*. Prisustvo nefelina *nije* obavezno. Pravi ortoklas-nefelinski gabri nazivaju se *šonkinitima*.

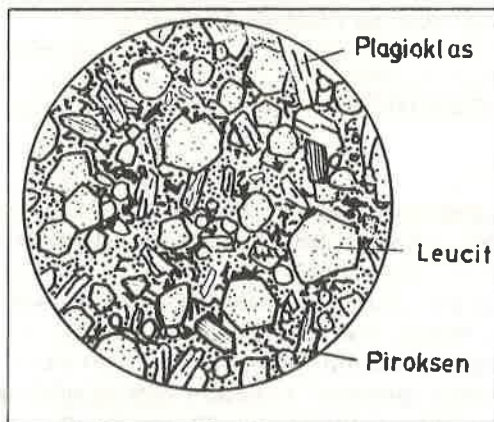
Izlivne stene ove grupe nešto su češće od dubinskih.

Bazaniti i tefriti su alkalne bazaltoidne stene sa *feldspatima* i *feldspatoidima*. Dok bazaniti *sadrže olivin* u ulozi bitnog sastojka, tefriti *sadrže vrlo malo olivina* ili su bez njega.

Ostali mineralni sastojci u bazanitima i tefritima su *bazični plagioklas*, *nefelin* ili *leucit*.

Bazaniti su stene tamnosive boje dok su tefriti skoro redovno sivi. Strukture su *bolokristalasto porfirске* do *vitrofirске*. *Fluidalne* su tekture, a vrlo često su *meburasti*, katkad i *šljakasti*.

Nefelinbazalti i leucitbazalti (sl.30) su alkalni gabroidi *bez feldspata*. Izgrađeni su od *leucita*, odnosno *nefelina*, *piroksena* i *olivina*. Strukture su *bolokristalastoporfirске* do *vitrofirске*. Kao fenokristali uglavnom se javljaju pirokseni, pretežno alkalni, dok se feldspatoidi povlače u osnovnu masu. Boje su tamnosive do crne.



Sl.30. *Leucitbazalt (mikroskopski snimak)*

Leucitbazalti u našoj zemlji se javljaju kod Mladog Nagoričana u blizini Kumanova, na Ježevom brdu kod Štipa i na Kuresničkoj Krasti kod Demir Kapije u Makedoniji.

5.1.7. Grupa peridotita

Opšta karakteristika stena peridotitske grupe je da su *stromašne silicijom i aluminijom a bogate magnezijom i gvožđem*. Sadržaj alkalija, pa i kalcije uglavnom je minimalan. Zbog toga peridotitske stene *ne sadrže slične, svetle minerale tj. feldspate i kvarc*. U njima se javljaju *olivin i pirokseni*, kao bitni minerali, ponekad i *hornblenda*. Od rudnih minerala najčešći su hromit i magnetit.

Peridotitska grupa stena može se podeliti na sledeći način:

- peridotiti koje imaju *olivin* u ulozi *bitnog sastojka* i koje nazivamo opštim nazivom **peridotiti u užem smislu** i

- peridotiti koji *ne sadrže olivin* u ulozi bitnog sastojka i koji dobijaju naziv prema mineralu koji dominira. Ovu grupu nazivamo **pirokseniti i hornblenditi**.

U narednoj tabeli dati su sastavi najvažnijih predstavnika obe grupe stena.

Dubinske stene: **peridotiti**

- **dunit**, izgrađen od *olivina*;
- **harzburgit**, izgrađen od *olivina* i *rombičnog piroksena*;
- **lerzolit**, izgrađen od *olivina*, *rombičnog* i *monokliničnog piroksena*;
- **verlit**, izgrađen od *olivina* i *monokliničnog piroksena*;
- **kortlandit**, izgrađen od *olivina* i *hornblende*;
- **blotitski peridotit**, izgrađen od *olivina*, *piroksena* i *biotita*,

Žične stene:

- **hornblendit**, izgrađeni od *hornblende*;
- **dijalagiti**, izgrađeni od *dijalaga*;
- **bronzititi**, izgrađeni od *bronzita*;
- **vebsteriti**, izgrađeni od *dijalaga* i *bronzita*

Izlivne stene:

- **pikrit i pikritporfirit**;
- **komatit**
- **kimberlit**

Samo u nekim slučajevima stene peridotitske grupe sadrže feldspat, i to bazični plagioklas, kada čine prelaze prema olivinskim gabrima i kada ih nazivamo **gabropertidotitima**.

Poreklo peridotita je dvojako: vrlo mali deo ovih stena nastaje diferencijacijom iz bazaltoidnih magmi. Mnogo veće količine su iz gornjeg omotača ili iz podloge okeanske kore (alpinotipni peridotiti). Kako se ova grupa stena formira u orogenim područjima, često pokazuje promene u sklopu (deformacija piroksena i olivina). Peridotiti su obično udruženi sa gabrima, spilitima i sedimentnim stenama kada grade takozvane **ofiolitske komplekse** (fragmente okeanske kore i gornjeg omotača).

Peridotiti se pojavljuju u vidu velikih masa obično nepravilnog oblika.

Zrnaste su često i **pojkilitske** strukture, a **masivne** teksture. *Lučenje je nepravilno.*

To su stene vrlo **različite** boje što zavisi od sastava i stepena svežine peridotita. Ako su sasvim sveži tamnozelene su do žućkasto zelene boje, staklastog do masnog sjaja i veoma su jedri. Delimično ili potpuno alterisani peridotiti dobijaju zelenu, tamnozelenu ili čak i crnu boju.

Navedenom podelom prikazan je i mineralni sastav najvažnijih predstavnika grupe peridotita. Sem navedenih karakterističnih sastojaka za svaki tip stene, u ulozi sporednog minerala javljaju se **bromit**, **pikotit** i **magnetit**. Treba napomenuti da se hromit može koncentrisati toliko da stvara i rudna ležišta. Osim hromita peridotiti mogu da nose platinu i dijamant.

Sekundarni minerali peridotita takode su veoma značajni.

Peridotiti su vrlo retko sveže stene. Obično su više ili manje serpentinisani, pri čemu se olivin pretvara u mrežasti, a ortopiroksen u rešetkasti serpentin (bastit). Uz serpentin se kao alteracioni produkti sreću još i *brizotil-azbest*, *talk*, *magnezit*, nešto hlorita, kalcita i opala. Izmenjeni serpentinisani peridotiti imaju zelenu ili čak šarenu boju. Površinski raspadnuti peridotiti jako su ispucali i ispresjecani žicama opala i magnezita. Poseban ekonomski značaj imaju veće koncentracije *brizotil-azbesta*, *talka* i *magnezita* koje ponekad grade i rudna ležišta.

Upotreba peridotita u građevinske svrhe vrlo je ograničena. Stena je zbog velike zapremine težine a i zbog nedovoljne otpornosti na atmosferske uticaje veoma nepodesna. Ponekad se peridotiti koriste i kao ukrasni kamen za unutrašnju dekoraciju (lerzolit i verlit Orahovca kod Dakovice) zbog svoje lepe tamnozelene boje i često trakaste grade.

Pirokseniti i hornblenditi imaju znatno bolje mehaničke osobine ali su ove stene retke, jer ne grade veće masive.

Duniti se eksploatišu za vatrostalni materijal. U tom pogledu, međutim, zahtevi industrije su veoma strogi: dunit mora biti svež, sa količinom vode ispod 3% i sa količinom piroksena ispod 10%. Ovakvih dunita kod nas ima na Golešu.

Za kalupe u livarstvu poslednjih godina sve više se umesto kvarenog peska koristi olivinski pesak koji je mnogo pogodniji.

Peridotiti su u našoj zemlji veoma rasprostranjene stene. Najveće pojave su konstatovane na Konjuhu i Ozrenu u Bosni, na Zlatiboru i Maljenu u zapadnoj Srbiji, na Kopaoniku, na Golešu, u području Deve i Orahovca, na Šari, Ljubotenu, Kozari, male pojave na Avali i Fruškoj gori itd.

Pojave hromita u peridotitima konstatovane su kod nas u Ljubotenskom masivu (Raduša, aktivni rudnik do 1972. godine), kod Valandova (Rabrovo) itd. Pojave azbesta konstatovane su na području Bosanskog Petrovog Sela (planina Ozren u Bosni), Korlače (ibarsko-kopaonički masiv) a pojave magnezita na Golešu, u peridotitima Šumadije (okolina Čačka), na Konjuhu itd.

5.1.7.1. Žične i izlivne stene

Pikriti i pikritporfiriti

Žične i izlivne stene peridotitske grupe, *pikriti* i *pikritporfiriti*, od matične stene se ne razlikuju po sastavu već samo po strukturnim karakteristikama. Imaju obično *porfirsku* ili *porfiroidnu strukturu*.

Nemaju nekog praktičnog značaja jer se javljaju kao žična tela male debljine a velike dužine.

Žične stene pikritporfiritskog karaktera konstatovane su u našoj zemlji u peridotitima Preševa.

Komatiti

Ultrabazične vulkanske stene koje sadrže više od 18% MgO. Izgrađene su od *olivina* i *monoklinitnog piroksena* koji leže u rekristaliziranoj (devitificiranoj) osnovnoj masi. Za ovu stenu specifično je da su zrna piroksena i olivina izdužena, što ukazuje na brzu kristalizaciju iz rastopa.

Kimberliti

To su stene *brečaste teksture*, u kojima su i fragmenti i međumasa izgrađeni od *olivina*, delimično alterisanog, *bronzita*, *diopsida*, *flogopita*, *perovskita*, *ilmenita* i *pirita*.

Kimberliti su jedine stene koje nose *dijamante*.

Pirokseniti i hornblenditi

Pirokseniti su holokristalaste, srednje- do grubozrne magmatske stene izgrađene od *piroksena*. Sadržaj olivina, koji nije redovan sastojak ovih stena, mali je (do 10%).

U piroksenitima se mogu javiti *monoklinični piroksen*, *rombični piroksen* ili *oba piroksena zajedno*. Kao što je dato u navedenoj podeli, prema mineralnom sastavu razlikujemo *dijalagite*, *enstatite*, *bronzite*, *hiperstenite*, *vesterite* itd. U ovim stenama često se koncentrišu spineli i titanomagnetit.

Žičnih piroksenita ima na mnogo mesta, uz sve naše peridotitske masive. Naročito ih je mnogo konstatovano u Ljubotenskom masivu kod Brezovice.

Hornblenditi su žične magmatske stene izgrađene pretežno od *hornblend* i sa malim sadržajem olivina i piroksena (koji se javljaju kao sporedni sastojci). U hornblenditima se još sreću hromit, magnetit, apatit i titanit.

5.1.8. Grupa lamprofira

Lamprofiri su diašistne stene, uglavnom žične. Javljaju se kao pratioci raznih intruziva, najčešće granita, sijenita, granodiorita. Kao što je pomenuto, ove stene su znatno bogatije bojanim mineralima od matične stene.

Lamprofiri su najverovatnije nastali kristalizacijom rastopa bogatog vodom i uz izvesnu asimilaciju sa okolnim stenama.

Strukture su *panidiomorfno zrnaste* ili *porfirske*, pri čemu su svetli sastojci obično sitnozrniji ili povučeni u osnovnu masu.

Prema mineralnom sastavu određen je veliki broj vrsta lamprofira. Pomenućemo samo najčešće:

- *mineta*, izgrađena od *ortoklasa* i *biotita*;
- *kersantit*, izgrađen od *andezina* i *biotita*;
- *spesartit*, izgrađen od *andezina* i *hornblend*.

5.1.8.1. Mineta

Mineta je tamnomrke ili zeleno mrke boje. Uglavnom je *porfirske* strukture, sa *fenokristalima biotita* u ortoklasnoj kristalastoj osnovi. Ova stena može biti porfiroidne pa i zrnaste strukture.

Ako se umesto biotita javi augit stenu nazivamo *augitska mineta*.

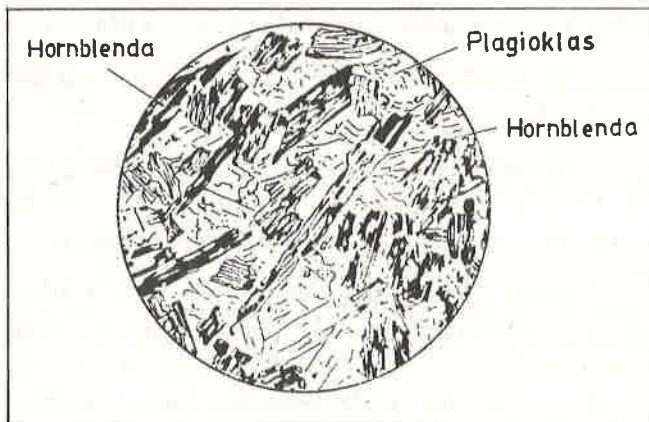
Mineta je neotporna prema uticaju atmosferilija, te brzo prelazi u rastresitu trošnu masu.

Mineta ima na Kosmaju, Rudniku i kod Zvornika. Žice su male debljine. Nemaju praktičnog značaja.

5.1.8.2. Kersantit

Žična stena tamnozeleno boje koja se javlja u žicama ili manjim masama.

Izgrađena je od intermedijarnog plagioklasa (andezina) i *biotita*. Uz biotit često se javlja i *augit* a katkad *hornblenda* i *olivin*. Ako se umesto biotita pojavi *hornblenda* stenu nazivamo *spesartit* (sl.31).



Sl.31. Kersantit (mikroskopski snimak)

Kao i mineta, i kersantit i spesartit lako podležu površinskom raspadanju, usled obilja bojenih sastojaka.

Lamprofiri iz grupe kersantita konstatovani su na Pohorju (spesartit) i na Ceru (prelazni tip između kersantita i spesartita).

5.1.8.3. Karbonatiti

Karbonatiti su magmatske stene u kojima se kao bitni sastojci (do 50% stene) javljaju karbonatni minerali. Mogu biti plutonske i izlivne stene. Od karbonata najčešće se javljaju *kalcit* (stena je *sovit*), potom *dolomit*, *siderit* ili drugi karbonati. Često je u ovim stenama visok sadržaj *apatita* i *alkalnih piroksena*, zatim minerala niobijuma, tantala itd.

5.1.9. Vulkanska stakla

Vulkanska stakla stvaraju se pri vrlo brzom hlađenju lavâ kada usled naglog pada temperature lavično-magmatski rastop ne može da kristališe, nego očvrstne kao staklo.

Vulkanska stakla mogu biti vrlo raznovrsna i prema hemizmu i prema strukturno-teksturnim karakteristikama i, što je vrlo značajno, prema sadržaju vode. Dele se na *obsidijane*, *pehštajne* i *perlite*. Za vulkanska stakla postoje i druge klasifikacije i nazivi. U poslednje vreme kao najpogodnija prihvaćena je ona koja se bazira na *sadržaju vode*.

Obsidijan je termin za stakla sastava od *riolita* do *andezita* sa sadržajem do 1% vode. Karakteriše se crnom bojom i glatkim školjkastim prelomom. Na tankim ivicama je prozračan. Od dispergovanog hematita može da ima crvenkastu boju.

Katkad se u njemu zapaža i smer tečenja lave, naročito kada sadrži veoma retke fenokristale kvarca ili feldspata.

Pehštajn je vulkansko staklo *riolitskog sastava* i smolastog sjaja. Dok obsidijan u sastavu ima do 1% vode, u pehštajnu je može biti i do 10 %. Boje su različite: tamnosive, mrke, crvene i zelene. U tankim presecima je prozračan.

Perliti su stakla koja pored ostalih komponenata sadrže i *hidratacionu vodu*, koja je sekundarna. U grupu perlita spadaju i *plovući*, prirodno nabubrela vulkanska stakla. Ove šupljikave stene koje plivaju po vodi (po čemu su i dobile ime) nastale su hlađenjem lave koja je u završnoj fazi konsolidacije bila obogaćena lakoisparljivim komponentom.

Ako vulkanska stakla sadrže i izvesnu količinu fenokristala, tada čine prelaz prema normalnim lavama i nazivamo ih *vtrofirtma*. Prema tehničkoj klasifikaciji staklom se smatraju stene sa najviše 5% fenokristala.

Vulkanska stakla veoma su rasprostranjena. U Jeloustonском parku izlivi vulkanskog stakla zauzimaju površinu od 260 km². U našoj zemlji pojava vulkanskog stakla ima u kratovsko-zletovskoj vulkanskoj oblasti, području Kožula i u okolini Vranja.

Perliti i plovući, kao i uopšte stakla sa velikom količinom vode, našli su veliku primenu u modernom građevinarstvu (ekspandirajući materijali) za proizvodnju elemenata male specifične težine a sa dobrom akustičnom, toplotnom i mehaničkom izolacijom. Koriste se osim toga i u industriji hartije, gume i boja.

Kvalitetnim staklima smatraju se ona koja se pri zagrevanju odlikuju sposobnošću višestrukog povećanja zapremine (do 30 puta). Procenat kristala u staklu smanjuje sposobnost ekspanzije.

5.1.10. Hemijski sastav magmatskih stena

Karakter jedne stene pouzdano je određen kada pored mineralnog sastava, opštih karakteristika i strukturno-teksturnih osobina poznamo i njen hemijski sastav. Analitička hemija danas raspolaže sa dovoljno metoda kojima se brzo i tačno može odrediti hemijski sastav svake stene.

Mnoge klasifikacije magmatskih stena u petrologiji baziraju se uglavnom na hemijskom sastavu.

Magmatske stene, hemijski uzev, skoro isključivo su silikatne tvorevine. One nastaju kristalizacijom magme i njihov mineralni sastav i sklop uslovljen je mnoštvom faktora. Svaka od opisanih stena definisana je vrstom i količinom bitnih sastojaka, te prema tome njihov mineralni sastav uopšte uzev varira, ali u određenim granicama.

Tako na primer SiO_2 varira između 35% kod ultrabazičnih stena do oko 78% kod ultrakiselih stena.

Aluminija (Al_2O_3) varira u granicama od 0,5% do 20%. Najmanji sadržaj aluminije je kod ultrabazita a najveći kod bazičnih stena. Izuzetno visoke sadržaje ovog oksida imaju neke alkalne stene (i preko 20%).

Oksidi gvožđa (Fe_2O_3 i FeO) prisutni su u steni od nekoliko delova procenta do najviše 15%. Visok sadržaj ovih oksida imaju stene gabro i peridotitske grupe, dok je u granitima i srodnim stenama procenat znatno manji. Apliti, na primer, praktično ne sadrže okside gvožđa.

Magnezija (MgO) se u magmatskim stenama javlja od nekoliko delova procenta (u granitima) pa do 40% (ultrabazične stene).

Alkalije (K_2O i Na_2O) variraju i pojedinačno i u ukupnom sadržaju. Najveći sadržaj je u alkalnim sijenitima i fonolitima. U normalnom nizu stena sadržaj alkalija opada idući od granita ka peridotitima. Pojedinačno K_2O od granita do gabroa stalno opada, dok u peridotitima praktično izostaje. Na_2O od granita pa sve do stena gabro grupe ima značajno učešće (uglavnom u plagioklasima, delom u alkalnim amfibolima i piroksenima), ali u peridotitima izostaje ili je ima veoma malo.

Ostali komponenti, koji su zastupljeni u malim količinama, ne pokazuju značajnije varijacije. Titanovog oksida (TiO_2) ima manje u peridotitima nego u ostalim stenama, najviše ga ima u gabro grupi (do 2%), slično je i sa P_2O_5 itd.

Hemijskom kvantitativnom analizom stene utvrđuju se uglavnom sledeći komponenti: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 (kod gabroa i peridotita), Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , NiO (kod peridotita), CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , CO_2 , H_2O itd. (tabela na str. 136).

Sadržaj vode u steni potiče od minerala koji je sadrže u svojim rešetkama (liskuni, amfiboli itd.) ili od vode koja je prineta za vreme preobražaja stene. CO_2 svojim prisustvom ukazuje na sadržaj karbonata u steni (koji je u najvećem broju slučajeva sekundaran).

U stenama iz rudonosnih područja u kojima se javlja pirit ili bilo koji od sulfida potrebno je svakako odrediti sadržaj sumpora. U narednoj tabeli dati su srednji sadržaji nekih glavnih tipova magmatskih stena prema Deliju (Daly).

Količinski odnosi stena koje izgrađuju Zemljinu koru vrlo su interesantni. Od ukupne površine svih izlivnih stena 98% zauzimaju bazalti i bazaltoidne stene. Graniti i srodne stene zauzimaju oko 95% svih plutonita.

Tabela 1. Hemijski sastav nekih važnijih magmatskih stena

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	70,18	65,01	59,50	57,45	48,24	49,06	65,51	46,18	45,61	40,49	40,65	46,93	75,00	49,45
TiO ₂	0,39	0,57	0,79	0,41	0,97	1,36	0,45	2,13	1,96	0,02	0,11	0,97	0,30	1,23
Al ₂ O ₃	0,47	15,94	17,33	20,60	17,88	15,70	17,37	12,74	14,35	0,86	1,25	6,37	13,14	14,41
Fe ₂ O ₃	1,57	1,74	3,78	2,35	3,16	5,38	1,92	5,27	6,17	2,84	2,53	4,08	0,58	3,39
FeO	1,78	2,65	3,62	1,03	5,95	6,37	3,35	5,06	4,03	5,54	6,15	10,85	0,40	5,01
MnO	0,12	0,07	0,22	0,13	0,13	0,31	0,01	0,19	0,19	0,16	0,18	0,20	0,07	0,13
CaO	1,99	4,42	5,83	1,50	10,99	8,95	1,08	8,16	9,49	46,32	42,36	12,13	0,30	8,26
Na ₂ O	3,48	3,70	3,53	8,84	2,55	3,11	5,23	2,36	5,12	0,70	1,29	16,03	1,13	6,73
K ₂ O	4,11	2,75	2,36	5,23	0,89	1,52	5,29	6,18	3,69	0,04	0,13	0,49	4,80	4,69
P ₂ O ₅	0,19	0,20	0,30	0,12	0,28	0,45	0,08	0,77	0,74	0,05	0,04	0,12	0,03	1,12

1. Graniti svih vrsta
2. Grpnodioriti
3. Augitski andeziti
4. Fonoliti
5. Gabrovi
6. Bazalti
7. Keratofiri

8. Leucitbazalti
9. Teraliti
10. Duniti
11. Harzburgiti
12. Dijabaziti
13. Apliti
14. Mineta

5.1.11. Petrografske provincije i magmatske formacije

Ispitujući magmatske stene petrolozi su došli do zaključka da između magmata izvesnih širih oblasti postoji srodnost u mineralnom sastavu i odnosima pojedinih hemijskih komponenta. Takva područja nazivaju se različitim imenima: *petrografska provincija*, *magmatska provincija*, *komagmatska oblast* itd, pri čemu je *petrografska provincija* jedan od najprihvaćenijih termina.

Prema Nigliju (Niggli) postoje, na primer, između mladih magmatita tri osnovne provincije: *pacifička*, *atlantska* i *mediteranska* koje obuhvataju specifične tipove stena.

Pacifička se karakteriše stenama kalcijum-alkalnog niza sa povišenom kalcijom uz normalan sadržaj alkalija, *atlantska* stenama natrijskog niza sa povišenim sadržajem natrije, *mediteranska* stenama kalijevog niza, odnosno stenama sa povišenim sadržajem kalije.

Sovjetski autori razlikuju *atlantsku, tibookeansku, mediteransku i arktičku* provinciju. Novija istraživanja ukazuju i na postojanje drugih petrografskih provincija.

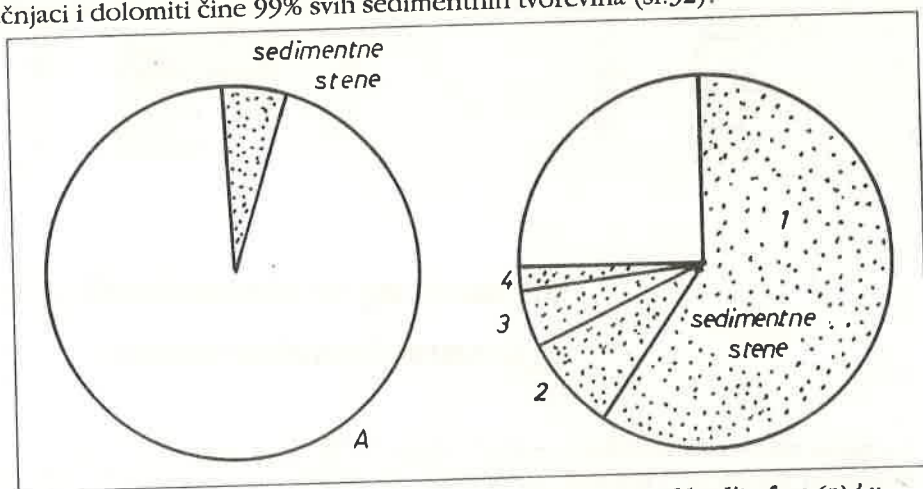
Ruski geolog Kuznjecov uveo je termin *magmatska formacija*, podrazumeva-jući pod tim asocijaciju stena određenih petro-hemijskih karakteristika i obično genetski vezanih za određenu fazu geotektonskog ciklusa. Među značajnijim magmat-skim formacijama za naše područje je *spilit-keratofirska formacija* formirana u marinskoj sredini u fazi ekstenzije okeanskih područja. Za Jugoslaviju su specifične srednje-trijaska pretežno *keratofirsko-spilitiska asocijacija*, koja indicira otvaranje okeanskog područja i *dijabaz-rožnačka formacija* jurske starosti, vezana za fazu stvaranja okeanske kore i njenu kompresiju.

Peridotitsko-gabroidna formacija stena vezana je za stvaranje okeanske kore tokom jure i nalazi se u okviru ofiolitskog kompleksa Dinarida.

5.2. Sedimentne ili taložne stene

Sedimentne (lat. sedimentare - taložiti) ili taložne stene nastale su od produkata hemijske i mehaničke prerade ranije stvorenih magmatskih, sedimentnih i metamorfnih stena, istaloženih u vidu slojevitih naslaga u tzv. zoni sedimentacije koja obuhvata površinu litosfere, hidrosferu i donje delove atmosfere.

F.V. Klark (F.W. Clarke, 1924.) je procenio da u prvih 16 km Zemljine kore sedimentne stene čine svega oko 5 volumnih procenata gornjih delova litosfere. Posmatrajući, međutim, površinske odnose u današnjem erozionom zaseku, konstatovano je da sedimentne tvorevine pokrivaju 75% površine Zemlje, a da glinci, peščari, krečnjaci i dolomiti čine 99% svih sedimentnih tvorevina (sl.32).



Sl.32. Relativna zastupljenost sedimentnih stena u prvih 16 km litosfere (a) i u gornjem erozionom zaseku (b), (po Klarku 1924 g.).

Oznake:

1. Glinci
2. Peščari

3. Krečnjaci i dolomiti
4. Ostale sedimentne stene

Da bi došlo do stvaranja sedimentne stene mora se ostvariti niz uslova. Čvrste stene Zemljine kore, izložene dejstvu površinskih sila (atmosferilije, temperaturne oscilacije, vetar, flora itd.) podležu tzv. *površinskom raspadanju*. Tako od prvobitno čvrstih i kompaktnih tvorevina nastaju trošne i rastresite mase, koje bivaju u većoj ili manjoj meri transportovane. Taj prenos najčešće se vrši vodom, u manjoj meri vetrom ili ledom. Pri transportu vodom čestice bivaju delimično rastvorene.

Nerastvoreni deo prenosi se u čvrstom stanju mehanički i biva istaložen kada snaga transportnog sredstva oslabi, dajući *klastične sedimente*. Rastvoreni deo stena biva takođe istaložen kada za to nastanu povoljni uslovi, i to direktno, čistim neorganskim reakcijama ili putem isparavanja vode, ili indirektno, preko organizama ili mikroorganizama. Očvršćavanje ovih istaloženih ali još rastresitih stena (prevođenje iz rastresitog u čvrsto stanje) vrši se kasnije, u stadijumu diageneze, kada se od nevezanih obrazuju vezani sedimenti.

Da bi došlo do stvaranja čvrste sedimentne stene moraju se sukcesivno ostvariti sledeći uslovi:

- *površinsko raspadanje*;
- *transport*;
- *taloženje /sedimentacija/*;
- *diageneza /litifikacija, očvršćavanje/*

Fizičko-hemijski uslovi pri kojima se vrši stvaranje sedimentnih stena srazmerno su jednolični u poređenju sa fizičko-hemijskim uslovima koji vladaju pri postanku različitih magmatskih ili metamorfnih stena. Sedimentne stene nastaju pri niskim temperaturama, najčešće u rasponu od 0- 25°C, ređe od -20° do +80°C, i pri relativno malim pritiscima od 1 bara na površini kopna do nekoliko stotina bara u depresijama ispunjenim vodom (najviši pritisci su u okeanskim područjima).

5.2.1. Površinsko raspadanje stena

Površinsko raspadanje je skup procesa koji od čvrstih stena koje se nalaze na površini Zemlje formiraju rastresiti materijal. Brzina površinskog raspadanja zavisi od više faktora, pre svega od karaktera stene, od vrste uticaja kojima je ona izložena i od dužine trajanja tih uticaja. Razlikujemo dva osnovna tipa površinskog raspadanja:

- *fizičko raspadanje*, kada stena samo gubi svoju čvrstinu, i
- *hemijsko raspadanje*, kada dolazi do promena hemijskog i mineralnog sastava razorenog materijala.

Iako su različiti, ova dva procesa u prirodi najčešće deluju zajedno, pri čemu fizičko raspadanje znatno olakšava hemijske procese i obratno.

Fizičko raspadanje najintenzivnije je na ogoljenim terenima (bez humusa i vegetacije) a hemijsko raspadanje je preovlađujući vid raspadanja u pokrivenim terenima sa dosta vodenog taloga. Budući da je stepen ogoljenosti (odnosno pokrivenosti) terena u direktnoj zavisnosti od količine padavina i temperature, to se, u zavisnosti od karaktera klime, mogu izdvojiti četiri glavna regiona:

- *regioni sa nivalnom klimom*, gde su padavine u vidu snega a normalna temperatura ispod 0°C. Kako u tim oblastima nema tekuće vode (sem lokalno), to je hemijsko raspadanje bez značaja. Fizičko raspadanje svodi se skoro isključivo na mehaničko struganje stena pri pokretima lednika. U fazama otapanja i zamrzavanja moguće je razorno dejstvo mraza. Nivalna klima javlja se u polarnim područjima, kao i područjima visokih planina;

- **regioni sa humidnom klimom** karakterišu se većom količinom vodenog taloga od količine vode koja može da ispari. Višak vode obilno teče po površini i prikuplja se u depresijama ili otiče u more. Vegetacija je bujna, što uslovljava debelo humusni pokrivač. Hemijsko raspadanje je intenzivno a fizičko je znatno podređenije. Humidna klima javlja se u područjima tropskih šuma i područjima tajgi, koja su naročito karakteristična za ovaj vid raspadanja;

- **regioni sa aridnom klimom.** Količina atmosferskog taloga manja je od količine vode koja može da ispari, a temperature su visoke. Stoga u ovim oblastima praktično nema tekuće vode (sem povremeno), vegetacija je slaba, a humusni pokrivač odsustvuje ili je vrlo mali. Intenzivno fizičko raspadanje je slabo ali je ovde karakteristično specifično hemijsko raspadanje. Područja sa aridnom klimom su pustinjski i polupustinjski regioni;

- **regioni sa sezonskom klimom** su oblasti u kojima se, obično polugodišnje, smenjuju periodi sa mnogo padavina (humidni uslovi) i periodi sa malo padavina (aridni uslovi). Stepenn hemijskog i fizičkog raspadanja menja se sa godišnjim periodima uslovljavajući najpotpuniju kombinaciju ova dva tipa raspadanja. Sezonska klima je karakteristična za tople priobalne pojaseve.

5.2.2. Fizičko raspadanje stena

Fizičko raspadanje stena, ili kako se još često naziva *mehaničko raspadanje*, može biti prouzrokovano *kolebanjima dnevnih temperatura* u jednom području, *kristalizacijom soli* u mikroprrslinama stena, *rastom korenja biljaka*, *zamrzavanjem vode* u kapilarima kao i *mehaničkim struganjem stena usled kretanja glečera*, lomljenja i trenja prilikom transporta materijala, *delovanjem talasa* duž obala itd.

Stene sastavljene od različitih minerala imaju i različite iznose linearnog i zapreminskog širenja pod uticajem dnevnih temperaturnih kolebanja, te stvaraju nehomogeno naponsko polje, što se direktno odražava na slabljenje kohezionih sila među različitim zrnima. Stalno ponavljanje ciklusa zagrevanja i hladenja dovodi do stvaranja mikroprrslina u površinskom delu stene, paralelnih a delom i upravnih na površinu zagrevanja. Kako se dnevna kolebanja temperature odvijaju do dubine od par desetina centimetara, to se opisani procesi mehaničkog razaranja, grusiranja stene usled insolacije, dešavaju isključivo u površinskom delu litosfere. Efekti dnevnih temperaturnih kolebanja zavise u mnogome od karaktera terena, njegove nadmorske visine, pokrivenosti vegetacijom, debljine humusnog sloja i sl. Ovaj tip raspadanja naročito je intenzivan u ogoljenim krajevima bez vegetacije i humusa, sa velikim temperaturnim razlikama i po pravilu je izrazitiji na tamnim stenama. Isto dejstvo imaju i godišnja kolebanja temperature, samo što su temperaturne razlike intenzivnije dok je učestalost promena znatno manja.

Mehaničko drobljenje stena može biti olakšano ili potencirano i drugim egzogenim faktorima - na primer mehaničkim radom vode, ili endogenim faktorima - stvaranjem sistema prslina, a time i dekompozicije stene u zonama intenzivnih tektonskih aktivnosti. Ovi su faktori, međutim, lokalizovani, te je površina njihovog uticaja uglavnom mala.

Do fragmentiranja stene može da dovede i smrzavanje vode u mikroprslinama stene. Pri zamrzavanju povećava se zapremina vode u kapilarima, što izaziva pritisak na zidove kapilara, odnosno na celu stenu. Pri prelasku vode u čvrsto stanje (smrzavanju) njena zapremina povećava se približno za 9%; time raste i pritisak koji može dostići iznose i do 2 kbar pri temperaturama od oko -20°C . Kod poroznih stena ovaj pritisak može da nadjača kohezione sile u steni i da dovede do trenutnog prskanja stenske mase. Ovaj proces je naročito efektan ako se postupak zamrzavanja i odmrzavanja vode u kapilarima ponavlja više puta. Ovaj tip raspadanja posebno je značajan u predelima sa naglim smenjivanjem relativno visokih i jako niskih temperatura u toku dana i sa dovoljnom količinom atmosferskog taloga.

Koreni biljaka svojim rastom vrše pritisak na zidove pukotina u koje se utiskuju i time dovode do stvaranja naponâ koji prouzrokuju razaranje stenskog materijala. Isto dejstvo ima i kristalizacija mineralnih soli u mikroprslinama. Ovi procesi su ipak daleko manjeg značaja od prethodno opisanih.

Mehanički rad površinskih voda vrši fragmentiranje stena u različitom stepenu, naročito u zonama obala gde je i dejstvo talasa najintenzivnije, u područjima povremenih intenzivnih bujica kao i na padinama strmih planina.

Najzad, naročito poslednjih decenija, čovekova aktivnost vrši lokalno intenzivno mehaničko razaranje stena u područjima većih inženjersko-geoloških i eksploataciono-geoloških radova pri čemu postoji veliki broj primera razaranja čitavih brda i njihovog mehaničkog fragmentiranja.

5.2.3. Hemijsko raspadanje stena

Hemijsko raspadanje stena u najvećem broju slučajeva svodi se na *rastvaranje pojedinih komponenata u vodi*. Osim toga, hemijsko raspadanje izazivaju i kiseonik iz vazduha koji u površinskom delu vrši oksidaciju, zatim kiseline koje mogu poticati iz raznih izvora, kao i niz drugih mnogobrojnih uzročnika (voda bogata CO_2 i dr.).

Karakter vode koja vrši rastvaranje znatno doprinosi intenzitetu i brzini procesa hemijskog razaranja. Rastvaračku sposobnost vode povećavaju ili umanjuju kiselost vode, pH, sadržaj ugljene i organskih kiselina, kisonika, hlora i drugih supstanci, kao i temperatura vode. Veoma značajan faktor predstavljaju veličina i karakter površine stene koja je izložena dejstvu vode. Kompaktna i uglačana stenska masa, bez obzira na sastav, teže podleže hemijskom razaranju nego masa sa mnogo prslina i neravnina ili delimično gusirana.

Rastvorljivost komponenata stena u vodi veoma je različita. Postoje mineralni komponenti koji se rastvaraju veoma brzo, na primer kamena so, sulfati i dr. Kod drugih, rastvaranje se zapaža tek posle dugog vremena (npr. karbonati) a postoje i minerali koji su veoma otporni prema uticaju vode i koji praktično trajno ostaju nerastvoreni (kvare). Za hemijsko raspadanje stena veoma je važna i temperatura vode, pri čemu obično sa porastom temperature vode raste i njena rastvaračka sposobnost.

Humidne kiseline koje se stvaraju pri bakterijalnom razlaganju biljnih ostataka u kori raspadanja, takođe imaju značajnu ulogu. Mada su slabe, ove kiseline napadaju i silikate i u dugom vremenskom periodu vrše njihovo razlaganje.

Vodeći računa o svim faktorima hemijskog raspadanja moguće je glavne petro-gene silikate prikazati u nizovima polazeći od najotpornijih prema onima koji najlakše podležu hemijskom raspadanju - šema S. Goldiha (Goldich).

muskovit, kvarc

kalijski feldspat

albit

kiseli plagioklas

prelazni plagioklas

bazični plagioklas

biotit

hornblenda

piroksen

olivin

Navedena šema inverzna je redu izlučivanja minerala pri kristalizaciji magme i ukazuje da su minerali stvoreni u docnijim stadijumima magmatskog ciklusa stabilniji na običnim temperaturama nego mineralni komponenti kristalisani na višim temperaturama. Ipak, prikazana šema ima samo opšti značaj.

Sušтина procesa raspadanja uopšte svodi se na to da se od jedne kompaktne stenske mase obrazuju:

rastvor raspadanja koji odnosi sa sobom sve rastvorljive supstance stene i

ostatak raspadanja tj. materijal koji nije mogao biti rastvoren vodom. Ovaj ostatak raspadanja naziva se i mehanički detritus. U mehaničkom detritusu razlikuje-mo tri vrste odlomaka (fragmenata, klasta). Fragmenti i valuci predstavljaju krupnije nezaobljene i zaobljene klaste. Nose ih samo vodeni tokovi velike snage i brzine. Pesak je sitnija frakcija koja je delimično ili potpuno zaobljena i koju veoma daleko mogu da nose i reke srednje brzine toka. Najzad, prašina i mulj, klasti finog zrna, koje mogu da nose i reke sporijeg toka, jer ove čestice lebde u vodi a talože se čak i u mirnim vodama veoma sporo; može da ih nosi i vetar.

Ove dve frakcije razorenih stenskih masa bivaju prostorno razdvojene. Prvi komponent, rastvor raspadanja, biva nošen veoma daleko, dok se ostatak raspadanja obično transportuje znatno kraće u zavisnosti od veličine čestica i snage vode.

5.2.4. Transport i sedimentacija

Kad se izvrši razaranje stenske mase rastvoreni materijal i nerastvoreni ostatak se prenose sa mesta raspadanja u nova područja. Transportna sredstva mogu biti veoma različita. Prenosjenje se u prirodi vrši na sledeći način: gravitacijom, vodom, vetrom i ledom.

Gravitacioni transport klastičnog materijala. Vršiti se samo na strmim padinama brda. Razoreni stenski materijal na strmim planinskim stranama osipa se niz padinu i stvara tzv. sipare. Ako su padine nepošumljene transport je brz, dok je kod pošumljenih i zatravljenih padina kliženje sporije.

Materijale koji se transportuju samo snagom gravitacije i kod kojih transport traje veoma kratko, nazivamo *eluvijalnim nanosima*. Eluvijalni materijal nije klasiran po krupnoći i uvek je nezaobljenih ivica, količinski je relativno malo zastupljen, mahom nestratifikovan, i obično homogen (oligomiktan).

Transport materijala tekućom vodom vrši se do bližih ili daljih regiona u zavisnosti od brzine vodenog toka i karaktera fragmentiranog materijala. Ukoliko je brzina vodenog toka veća, utoliko je mogućnost transporta bolja. Transport svake čestice zavisiće i od specifične gustine čestice, njenog oblika i veličine. Teže se transportuju materijali veće specifične gustine. S obzirom na oblik, najlakše se transportuju pločasta i ljuspasta tela a najteže kuglasta. Pri tome jedna vrsta odlomaka lebdi u vodi (samo najfiniji materijal), dok se druga kotrlja po dnu rečnog korita pri čemu se stalno zaobljava. Zrna veće tvrdine teže se zaobljavaju od zrna manje tvrdine.

Materijal koji je transportovan vodom i istaložen na mestu gde snaga transportnog sredstva opadne naziva se *aluvijalni nanos*.

Kod aluvijalnih nanosa javlja se klasiranje materijala po krupnoći ali i velika heterogenost u sastavu (polimiktnost), usled toga što se krupnozrniji materijal transportuje samo brzim rečnim tokovima (gornji tokovi reka, planinski potoci i bujice). Materijal srednjeg zrna prenose reke srednje brzine dok najsitniji materijal putuje vrlo daleko i biva često donesen u mora. Pri svakom dužem putu mešanje materijala sa raznih terena je intenzivno te je mehanički detritus u aluvionima obično vrlo heterogen, tim pre što kumulise najfiniji materijal koji vodi poreklo sa celokupnog područja sliva.

Transport materijala u većim vodenim basenima vrši se pod uticajem promenljivog kretanja vode, pod dejstvom talasa, struja i podvodnih tokova, kao i gravitacionog kliženja muljevitog materijala.

Transport klastičnog materijala vetrom. Vetrom bivaju prenošene velike količine klastičnog materijala različite krupnoće. Pri tome specifično lakša zrna mogu biti i krupnija a specifično teža sitnija. Kod snažnih vetrova, naročito u pustinjskim oblastima vetar kotrlja krupniji materijal po površini i njegovim nagomilavanjem obrazuje dune. Uloga vetra kao transportnog sredstva naročito je značajna u oblastima sa oskudnom vegetacijom i sušnom klimom (pustinje i steppe); značajna je i za prenošenje fino-zrnog vulkanskog materijala koji je erupcijom izbačen na velike visine.

Taloženjem materijala koji je transportovan vetrom dobijaju se *eolski sedimenti*. U eolskim sedimentima materijal je dobro klasiran po krupnoći, sortiran i nestratifikovan.

Transport klastičnog materijala ledom vrši se u polarnim oblastima ili na vrlo visokim planinama (preko 3000 m) gde i danas na nekima od njih postoje glečeri.

Glečeri mogu da nose i veoma krupne komade - blokove stena (koje voda ne može da nosi) ali je transport glečerom spor, najviše nekoliko metara na dan. Na svom putu glečer odlama komade različite krupnoće i sastava. Nema zaobljavanja materijala već samo trenja po podlozi. Nema ni klasiranja po krupnoći. Po zaustavljanju glečera, zajedno se talože blokovi stena, šljunak i glinovita frakcija. Sedimenti koji nastaju na ovaj način nazivaju se glacialni.

5.2.4.1. Transport i sedimentacija rastvorenog materijala.

Materijal koji voda rastvori prolazeći kroz stene može da se transportuje kao *jonski* ili *koloidni* rastvor. Postoje elementi koje srećemo samo u jonskim (pravi) rastvorima kao što su kalijum, kalcijum, magnezijum i dr, a postoje elementi koji se pretežno javljaju u koloidnim rastvorima, a u malim količinama u jonskim (aluminijum, gvožđe i dr.).

Taloženje supstanci iz pravih rastvora najčešće je prouzrokovano prekoračenjem rastvorljivosti nekog komponenta, tj. usled prezasićenja rastvora tim komponentom. Ovakav slučaj u prirodi nastupa dovođenjem nove količine tog ili nekog drugog komponenta u rastvor, zatim uklanjanjem iz rastvora izvesnih komponentata koji su povećavali rastvorljivost ostalih ili, što je veoma čest slučaj, uklanjanjem (obično isparavanjem) rastvarača. Osim toga do taloženja dolazi i usled promene temperature vode kao i promene pritiska gasova koji svojim prisustvom povećavaju rastvorljivost.

Izlučivanje iz koloidnih rastvora vrši se *koagulacijom*, pošto se ukloni zaštitni naelektrisani omotač oko koloidnih čestica (koji inače sprečava koagulaciju). Ovo se najčešće događa zbog dovođenja suprotno naelektrisanih koloidnih čestica ili delovanja jakih elektrolita ako su prisutni u rastvoru. Najzad, taloženje koloidnih rastvora može se vršiti i naglim isušivanjem, a i mehaničkim razbijanjem naelektrisanog omotača.

Glavni komponenti stenskih masa ponašaju se vrlo raznoliko. Najlakše su rastvorljive alkalne soli. Da bi se izlučile iz rastvora neophodna je prezasićenost rastvora koja se u prirodnim tekućim vodama ne ostvaruje. Izlučivanje tih komponentata vrši se kada ispari rastvorno sredstvo, a ovakvi uslovi se postižu jedino u zatvorenim basenima (lagunama) u kojima je isparavanje intenzivno a priliv rastvarača mali. Ova jedinjenja (NaCl - halit, zatim KCl, Na i K sulfati i sl.) talože se obično u tzv. sonim ležištima.

Magnezijum se u rastvorima nalazi u jonskom stanju i izlučuje se uglavnom kada se postigne zadovoljavajuća koncentracija u rastvoru ili, ređe, kad rastvorno sredstvo ispari. Magnezijum se lako izlučuje u jako baznim sredinama. Ovakav slučaj javlja se u peridotitsko-serpentinskim kompleksima gde je koncentracija zemnoalkalija u rastvoru velika te je bazicitet visok. Tu se magnezijum najčešće izlučuje u obliku karbonata ($MgCO_3$ - magnezit). U morskoj vodi magnezijum se taloži posredstvom organizama i pri povoljnim uslovima uz kalcijum, kao mineral dolomit ($CaCO_3 \times MgCO_3$), kao i zajedno sa K i Na solima pri isparavanju rastvornog sredstva.

Ako vode sadrže CO_2 , kalcijum lako prelazi u rastvor i u jonskom stanju može biti daleko prenesen. U vodi se kalcijum tada nalazi u vidu lako rastvorljivog bikarbonata. Oslobođanjem CO_2 iz vode taloži se karbonat kalcijuma. Najveće količine kalcijum karbonata stvaraju se:

- *dejstvom organizama* iz morske vode koji karbonat kalcijuma koriste za izgradnju ljuštura;
- *hemijskim taloženjem* usled smanjenog sadržaja CO_2 ;
- *isparavanjem* rastvornog sredstva;
- *oko toplih izvora* gde se CO_2 gubi iz vrlo zagrejanih rastvora zbog manjeg spoljnog pritiska;
- *oko slapova i vodopada* gde nastaju prostrane naslage bigra.

Sulfati kalcijuma, gips i anhidrit, takode se izlučuju tek posle isparavanja rastvornog sredstva i zato ih često nalazimo u okviru sonih ležišta stvaranih u lagunama.

5.2.5. Dijageneza (litifikacija)

Dijagenetska konsolidacija ili litifikacija obuhvata niz procesa u kojima se bez znatnijeg povećanja pritiska ili temperature rastresiti sediment prevodi u kompaktnu sedimentnu stenu.

Litifikacija se vrši istovremeno sa sedimentacijom (jonski rastvor) ili odmah posle taloženja. Ona može biti relativno brza ali ponekad je vezana i za duže vremenske periode.

Brzina procesa zavisi od nekoliko faktora kao što su: postojanje makar i slabog pritiska koji vrši zbijanje čestica (smanjenje međuprostora zrna i time redukciju zapremine sedimenta - kompaktaciju); istiskivanje vlage ili uopšte dehidratacije sedimenta čime se gubi i plastičnost i vlažnost u sedimentu; cirkulacija vode sa rastvorenim solima koje se izlučuju u međuprostore između zrna u sedimentu ili uslovljavaju njihovu rekristalizaciju itd.

Dijagenetska konsolidacija može se vršiti na više načina:

- rastvori mogu da u steni razlažu jedna zrna i da uslovljavaju porast i srastanje drugih zrna te rastresiti materijal prelazi u kompaktnu masu. Ovako, na primer, nastaju sone i neke karbonatne sitnozrne stene,

- rastvori koji cirkulišu kroz stenu katkad mogu da delimično rastvaraju pojedine mineralne komponente detritičnog materijala. Kasnije se taj isti materijal taloži između zrna i na taj način vezuje fragmente. Kvarcni pesak prelazi, na primer, u kvarcne pešćare, karbonatne breče vezuju se cementom stvorenim na račun fragmenata, itd.,

- supstanca koja će vezati fragmente može biti dovedena spolja i imati sastav sasvim različit od klata koje vezuje. Kvarcni pesak prelazi na taj način u vapnoviti pešćar (fragmenti peska vezani karbonatskim vezivom) i slično;

- isušivanjem plastičnih ili polutečnih stenskih masa i koagulacijom gela sadržanih u steni;

- međusobnom reakcijom postojećih komponenata u steni (naročito posle zbijanja) i rekristalizacijom.

Materijal kojim su čestice sedimentata vezane nazivamo *cementom* ili *vezivnom masom*, a proces vezivanja *cementacijom*.

Najčešći slučajevi dijagenetske konsolidacije sedimentata kod pojedinih grupa sedimentnih stena jesu:

- klastični sedimenti od grube do srednje krupnoće zrna uglavnom očvršćavaju zbijanjem sastojaka a potom vezivanjem sopstvenom ili stranom vezivnom materijom,

- u glinovitim sedimentima koji nastaju od mulja (plastični ili polutečni) konsolidacija nastupa najčešće dehidratacijom tj. istiskivanjem vode između zrna usled pritiska, koagulacijom gela i potom prekrystalizacijom;

- u organogenim karbonatnim i silicijskim sedimentima vezivanje se vrši zbijanjem čestica ili metasomatskim procesima ili, pak, prekrystalizacijom materijala itd.

Dijageneza je, kao što smo rekli, obično veoma dugotrajan proces. Stoga u prirodi često srećemo sve prelaze od nevezanih preko poluvezanih do vezanih sedimentnih stena.

Takođe treba napomenuti da se kao posledica diagenetskih procesa javljaju i koncentracije nafte koje se izlučuju iz organske materije u sedimentnoj steni.

Iako smo naveli četiri stadijuma kroz koje stenska masa prolazi do nastanka čvrste sedimentne stene, moramo reći da su kod izvesnih vrsta sedimentnih stena neki stadijumi "preskočeni" ili nisu dostignuti. Na primer, kod osulinske drobine obavljani su samo raspadanje i sedimentacija, kod nekih glina nema transporta, kod hemijskih taloga čvrste sedimentne stene postaju bez izdvojenog stadijuma dijabeneze - obrazuju se direktno pri taloženju, itd.

5.2.6. Mineralni sastav sedimentnih stena

Poreklo sedimentnog materijala, kao što je već rečeno, vezujemo za magmatske, starije sedimentne i metamorfne stene. Razmatrajući komponente koji izgrađuju jednu sedimentnu stenu razlikuju se dve vrste sastojaka: alotigeni i autigeni.

Alotigeni (grčki: *αλλοτριος* - stran, *γεννω* - radati), tj. detritični sastojci ili pak klasti; predstavljaju fragmente drugih stena koji su nastali u nekom ranijem magmatiskom, sedimentnom ili metamorfnom procesu stvaranja, *pre nastanka ispitivane sedimentne stene*.

Alotigeni sastojci obično pokazuju tragove mehaničke obrade koju je vršilo transportno sredstvo - najčešće zaobljenost i drobljenje u različitom stepenu,

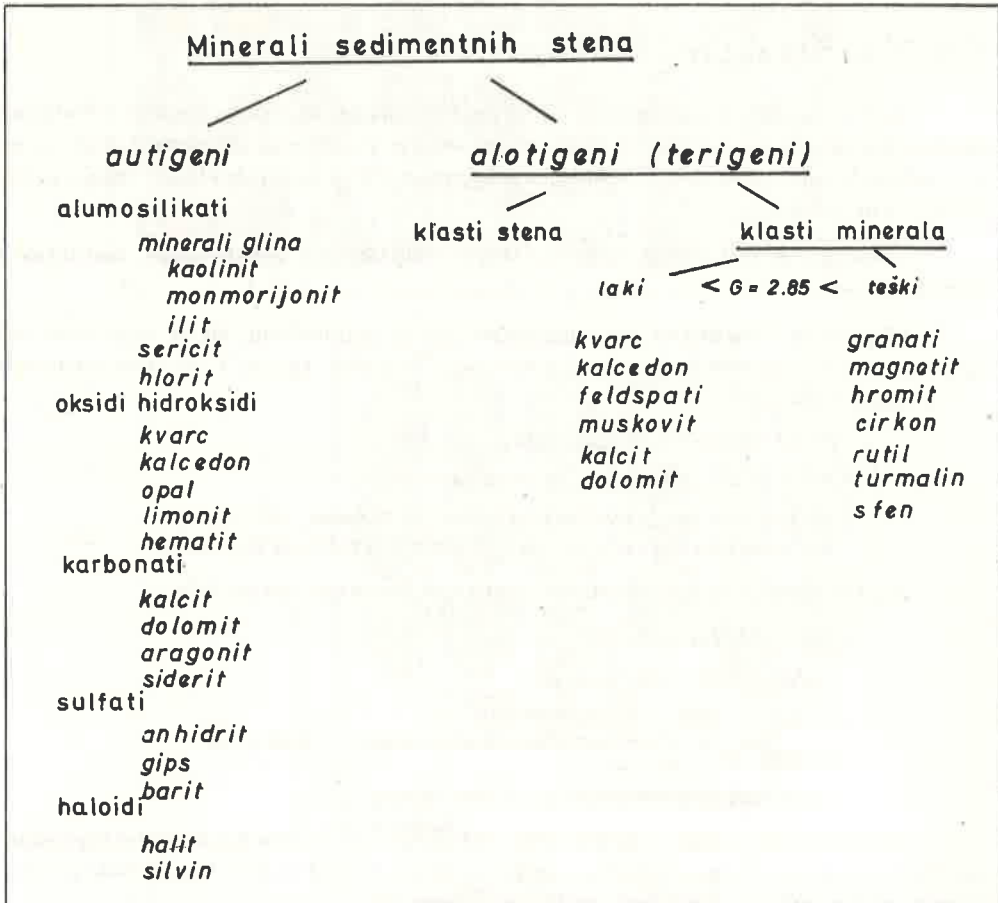
Kao alotigeni sastojci pojavljuju se odlomci stena ili minerala. Stene se različito ponašaju pri površinskom raspadanju. Fragmenti sitnozrnih stena češći su alotigeni sastojci od fragmenata krupnijeg zrna ili pak onih koji se lakše rastvaraju. Od minerala najčešće se kao klasti javljaju kvarc, muskovit, cirkon, granat, disten, kordijerit i hromit, jer su otporni na hemijska razlaganja, rede feldspati, a još rede femski sastojci zbog svoje male otpornosti.

Autigeni (grčki: *αυτος* - svoj, *γεννω* - radati) minerali genetski su vezani za samu sedimentnu stenu, odnosno *stvarani su onda kada je i ona formirana*. Forme ovih minerala zavise od uslova postanka i prostora u kojem se stvaraju. Autigeni minerali su kalcit u krečnjaku, kvarc u vezivnoj masi kod peščara itd.

Sastojci koji se javljaju u jednoj steni kao autigeni u drugoj steni mogu biti alotigeni i obrnuto. Kvarc, na primer, kao fragment (klast) u pesku je alotigeni mineral, kvarc kao sastojak cementne mase u peščaru je autigeni mineral.

Hemijske sedimente stene uglavnom izgrađuju autigeni minerali - stoga hemizam hemijskih elemenata malo varira. S druge strane klastični sedimenti sadrže pretežno alotigene sastojke i mineralne i hemijske varijacije su znatne.

Može se, međutim, zaključiti da se neki minerali sedimentnih stena javljaju samo kao autigeni, drugi samo kao alotigeni ali znatan deo mineralnih komponenata nekada je alotigen a nekada autigen (sl.33).



Sl.33. Minerali sedimentnih stena

Posebno mesto zauzimaju minerali glinâ. Po nekim autorima to su tipični autigeni minerali koji se stvaraju ili u procesu sedimentacije ili u procesu diagenetske konsolidacije. Po drugima, deo glinovitih minerala je komponent ostatka raspadanja te su i gline, bar delom, klastični sedimenti, nastali taloženjem ovih iz daljine prenetih minerala.

Autigeni minerali u steni mogu dati veoma korisne podatke o uslovima stvaranja sedimentne stene; alotigeni govore o geološkoj građi područja odakle je materijal prinošen kada je sedimentna stena stvarana.

5.2.7. Sklop sedimentnih stena

Kao i kod magmatskih stena tako i kod sedimentnih pod sklopom podrazumevamo *strukturu* i *teksturu* - tj. uzajamne odnose sastojaka, način vezivanja zrna i ispunjenost prostora.

5.2.7.1. Strukture sedimentnih stena

Pod strukturom sedimentne stene podrazumeva se fizička grada uslovljena međusobnim odnosima, veličinom i formom zrna odnosno minerala koji stenu izgrađuju. Struktura je, dakle, posledica svih procesa koji su prethodili stvaranju jedne sedimentne stene.

Strukture sedimentnih stena delimo na: **klastične, kristalaste, amorfne i organogene.**

Klastične strukture karakteristične su za sedimentne stene izgrađene od fragmenata cementovanih prirodnim vezivom. Pojedine tipove klastičnih struktura razlikujemo uglavnom:

- po obliku zrna (fragmenata);
- po veličini zrna (granulometrijski sastav);
- po količini fragmenata u odnosu na cement, odnosno po načinu vezivanja fragmenata (kod vezanih klastičnih stena).

Zrna u klastičnim sedimentima prema obliku mogu biti (sl.34):

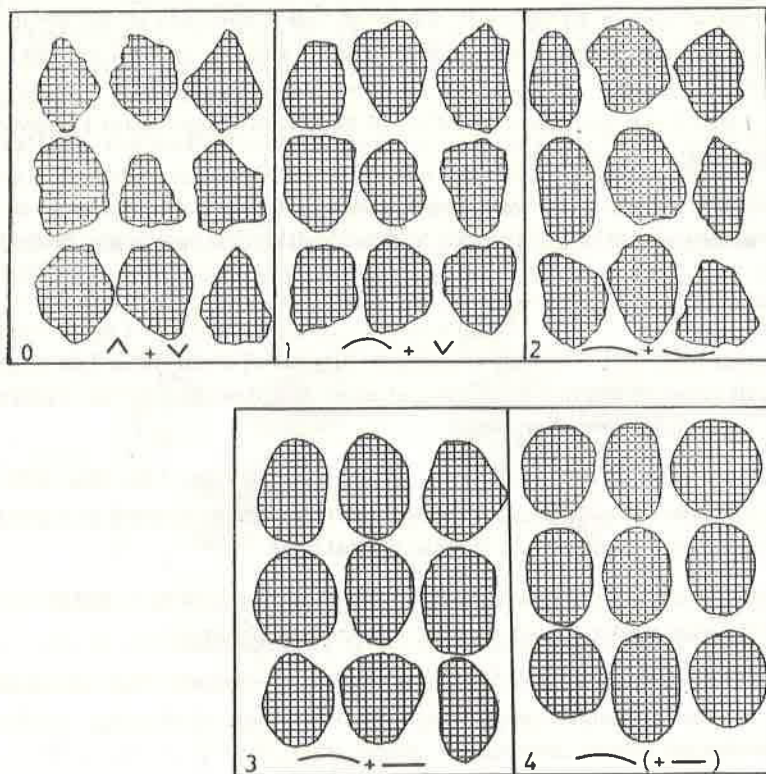
- nezaobljena (uglasta);
- poluuglasta (subuglasta);
- poluzaobljena (subzaobljena);
- zaobljena i
- dobro zaobljena (okrugla ili ovalna).

Klasificiranja na bazi veličine zrna kod klastičnih sedimentnih stena nisu standardizovana. Ovde ćemo predložiti najprihvaćeniju. Prema veličini fragmenata (granulometrijskom sastavu) klastične strukture delimo na:

- **psefitske** (grubo-zrne klastične strukture) sa veličinom zrna preko 2 mm;
- **psamitske** (srednje-zrne klastične strukture) sa veličinom klasta između 0,05 i 2 mm;
- **alevritske** (sitno-zrne klastične strukture) sa veličinom zrna od 0,005 i 0,05 mm, i
- **pelitske** (fino-zrne klastične strukture), sa veličinom zrna ispod 0,005 mm.

Pored klastičnih struktura koje pokazuju ujednačenu krupnoću fragmenata i pripadaju jednoj klasi (dobro sortirani), postoje slučajevi kada su fragmenti u steni različite krupnoće i pripadaju dvema (slabo sortirani) ili trima klasama (nesortirani).

Po načinu vezivanja (cementovanja) i odnosu količine cementa i fragmenata možemo razlikovati (uglavnom kod peščara) nekoliko klastičnih struktura, odnosno nekoliko tipova cementa koji bliže određuju klastičnu sedimentnu stenu (sl.35).



Sl.34. Oblici fragmenata u klastičnim stenama, oznake:

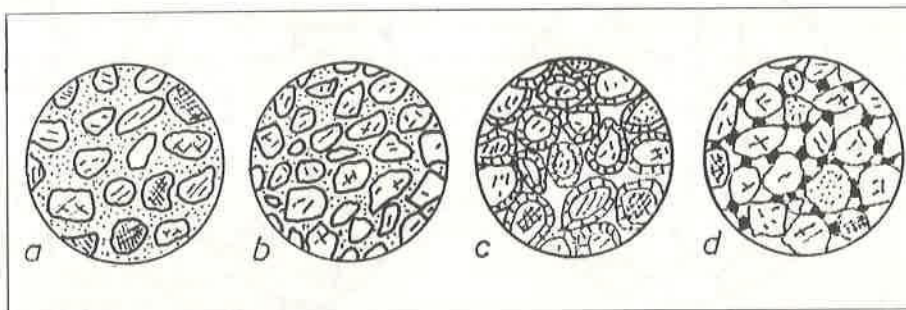
0. Uglasti

1. Polunglasi

2. Poluzaobljeni

3. Zaobljeni

4. Dobro zaobljeni



Sl.35. Tipovi cementa kod klastičnih sedimentnih stena (po Belousovu, 1972):

a. Bazalni

b. Meduprostorni

c. Cement oblaganja

d. Kontaktni

Klastične strukture sa bazalnim cementom - fragmenti se nalaze u cementnoj masi koja čini 30-50% stene a međusobno se ne dodiruju ("plivaju u cementu").

Klastične strukture sa cementom u porama ili sa **prostornim cementom**, kada cement ispunjava sve međuprostore ali se zrna delimično dodiruju (cementa je manje nego u prethodnom slučaju, 10-30%).

Klastične strukture sa cementom koji oblaže fragmente ali ne ispunjava sav prostor između zrna. Količina cementa, koji se javlja kao film oko fragmenata, čini do 10% ukupne mase stene. Pri tome se može raditi o dva slučaja: o **krustifikaciji** (obavijanju) - cement je prinesen i obično je različit od fragmenata i **regeneraciji** - materijal fragmenata i cementa je isti.

Klastične strukture sa kontaktnim cementom. Cement se javlja samo na dodiru fragmenata i količina vezivnog materijala kod ovakvih struktura je mala. Poslednja dva slučaja su obično samo faze u formiranju potpuno očvršle stene te su karakteristični za poluvezane sedimente.

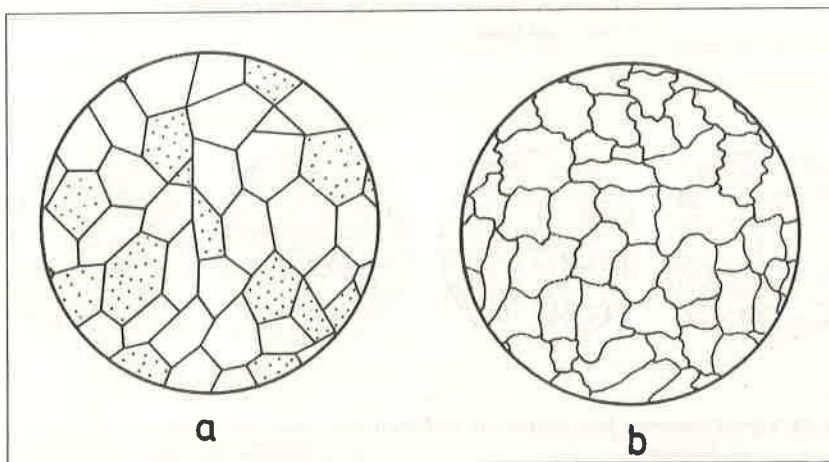
Cementni materijal u jednoj vezanoj sedimentnoj steni može biti raspoređen ravnomerno ili neravnomerno. U drugom slučaju mogu se razlikovati u jednoj steni različiti tipovi cementacije (vezanosti).

Treba napomenuti da stepen poroznosti cementovane klastične sedimentne stene direktno zavisi od načina cementovanja. Najslabija poroznost, je u principu je kod bazalnog cementa, a najveća u slučaju kontaktnog.

Na jednoj uprošćenoj tabeli klastične strukture mogle bi se prikazati na osnovu njihovih bitnih pokazatelja čije su osobine tekstualno objašnjene.

Kristalaste strukture karakterišu se **autigenim zrnima koja su međusobno neposredno srasla**. Kristalaste strukture, slično klastičnim, takođe se razlikuju po načinu srastanja i po veličini zrna.

Srastanje zrna može biti po manje-više ravnim površinama, **mozaično**, ali je često i po nazubljenim površinama, **implikaciono** (sl.36).



Sl.36. Kristalaste strukture: a. mozaična, b. implikaciona

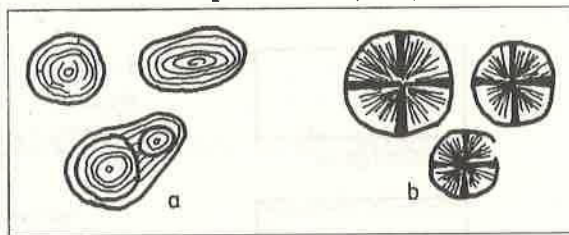
Veličina zrna može biti ujednačena ili neujednačena. Prema dimenzijama zrna razlikuju se:

- *makrokristalaste strukture*, zrna vidljiva okom,
- *mikrokristalaste strukture*, pojedina zrna razlikuju se tek pod mikroskopom,
- *kriptokristalaste strukture*, pojedina zrna ne vide se ni pod mikroskopom.

Amorfne strukture sreću se kod gelnih sedimenata. Karakterišu se trakastom građom i bubrežastim oblicima. Naročito su česte kod brzo izlučenih silicijskih sedimentnih stena. Amorfne strukture su nestabilne i kod starijih tvorevina prelaze u kriptokristalaste ili mikrokristalaste.

Oolitske i sferolitske strukture su specifični strukturni varijeteti hemijskih sedimenata (sedimentnih stena) i karakterišu se kuglastim i elipsoidalnim tvorevinama gde se kao centar kristalizacije (izlučivanja) obično javlja zrno peska ili fosil. Ove strukture sreću se često kod karbonatnih, fosfatnih, gvožđevitih i aluminijskih sedimentnih stena.

Oolit su koncentrično slojevite građe. Dimenzije tih tvorevina su različite. Ako su veličine preko 2 mm zovemo ih *ptzolitima* (sl.37).



Sl.37. Građa oolita (a) i sferolita (b)

Sferolitske strukture karakterišu se sferolitima, kristalastim agregatima koji se sastoje od tankih igličastih kristala radialno raspoređenih oko centara kristalizacije.

Organogene ili biogene strukture definisane su prisustvom većih količina organskih (fosilnih) ostataka čiji vrsta, oblik i veličina često utiču na opšti izgled stene.

5.2.7.2. Tekstura sedimentnih stena

Tekstura je određena rasporedom čestica u masi sedimentne stene i ispunjenošću prostora.

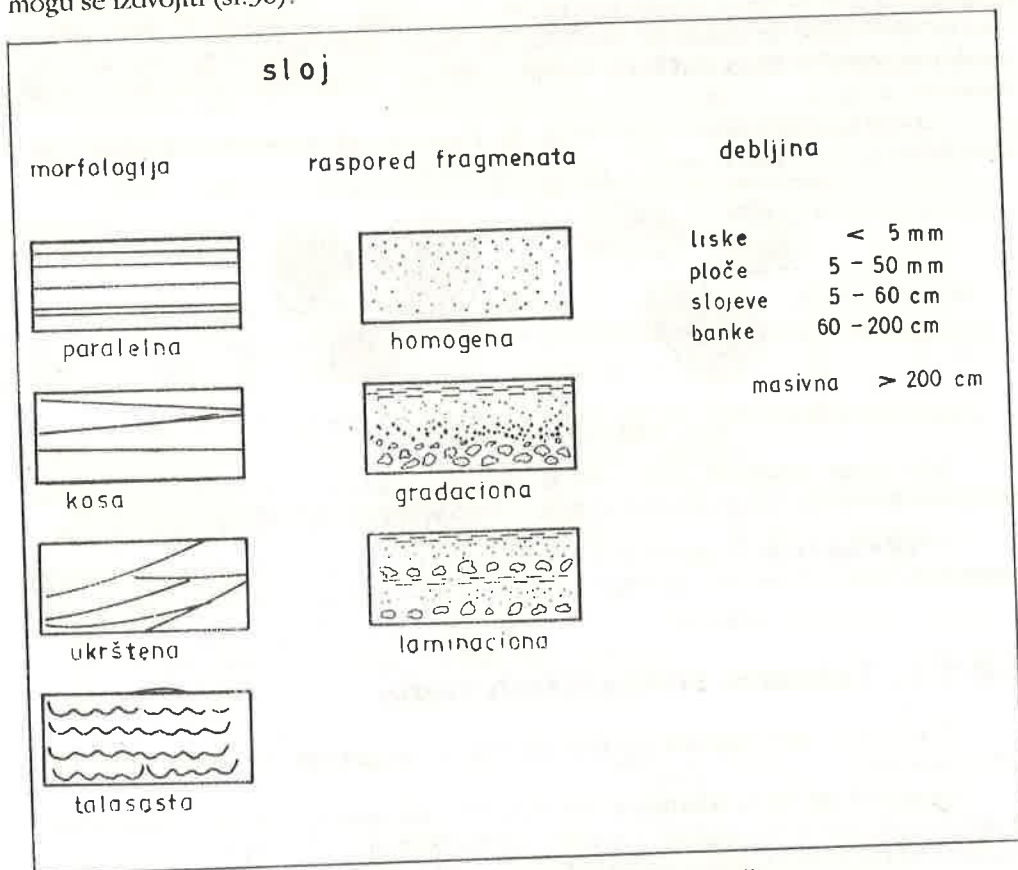
Jedna od osnovnih teksturnih karakteristika sedimentnih stena je slojevitost. Zbog ove osobine sedimentne stene nazivaju se slojevite stene. *Slojem tnače nazivamo geološko telo koje ima manje-više jednorodan sastav i koje je ograničeno paralelnim ili subparalelnim graničnim površinama (slojnim površinama ili površinama slojevitosti)*. Slojevi u najvećem broju slučajeva imaju veliko horizontalno i malo vertikalno prostiranje. Materijal ispod ispitivanog sloja čini njegovu podinu a iznad sloja povlatu ili krovinu. Po prostiranju slojevi se istančavaju ili isklinjavaju. Prema debljini sloja razlikujemo (po M. Lukoviću, 1950 god.):

- *liske* debljine ispod 5 mm;
- *ploče* debljine 5-50 mm;
- *slojeve* debljine 5-60 cm;
- *banke* debljine 60-200 cm, i
- *masivne sedimentne* stene debljine sloja preko 2 metra.

U pogledu orijentacije mineralnih komponenata u sedimentnim stenama izdva-
jamo:

- *homogene teksture*, gde se zapaža odsustvo orijentacije mineralnih zrna;
- *planparalelne teksture*, kod kojih lističasti minerali (liskuni, hloriti) pokazuju paralelnu ili subparalelnu orijentaciju;
- *imbrikacione teksture*, sa manje-više paralelnom orijentacijom spljoštenih valutaka;
- *brečaste teksture*, specifičan slučaj kao tektonski polomljenih a zatim ponovo vezanih sedimentnih stena.

U pogledu rasporeda čestica u stenskoj masi jedne slojevite sedimentne stene mogu se izdvojiti (sl.38):



Sl.38. Različiti tipovi slojevitosti i laminacije

- *homogena slojevitost*, sa ujednačenom granulacijom u celoj debljini sloja;
- *gradaciona slojevitost*, nastaje kao rezultat relativno brze, pulzacione, sedimentacije a najbolje je izražena kada je taloženje iz suspenzije u stajaćim vodama. Uzroci pojave sukcesivne gradacione slojevitosti mogu biti sezonske promene sedimentacije, podvodna kličjenja itd;
- *kosa slojevitost*, nastaje u vezi sa prekidom ili variranjem u sedimentaciji na nagnutim površinama;
- *laminacija*, višestruko smenjivanje materijala različite krupnoće ili boje.

Morfologija slojevitih tekstura uslovljena je uglavnom načinom kretanja transportnog sredstva iz koga je taložen sediment. Stoga slojevitost može da bude paralelna ili horizontalna (morfološki najzastupljeniji tip). Javlja se u slučajevima odsustva kretanja transportnog sredstva u neposrednoj sedimentacionoj zoni (dublji delovi vodenog basena). Kosa slojevitost karakteriše se kratkim, brzo isklinjavajućim slojevima, koso nagnutim prema povlatnoj odnosno podinskoj površini. Česta je kod eolskih, priobalnih i lagunskih sedimenata. U istim, plitkim uslovima, gde je uticaj talasa i vodenih strujanja veliki sreću se *ukrštena i talasasta slojevitost*.

Pri razmatranju sklopa jedne sedimentne stene uvek posmatramo i boju sedimenta jer je to jedan od važnih determinacionih kriterijuma. Pri tome je od posebnog interesa i vreme pigmentacije gde razlikujemo:

- *nasledenu boju*, koju su fragmenti imali pre deponovanja;
- *singenetsku boju*, nastalu za vreme sedimentacije;
- *dijagenetsku boju*, nastalu za vreme dijageneze;
- *bipergenetsku boju*, koja je postdijagenetska boja sedimentne stene.

5.2.8. Podela sedimentnih stena

Zbog velike raznovrsnosti u sastavu, sedimentne stene možemo podeliti na osnovu više kriterijuma:

- na osnovu *načina postanka* (geneze) sedimentnih stena, i unutar ove podele;
- na osnovu *dijagenetskih karakteristika* i,
- na osnovu *granulometrijskih karakteristika* i sastava stena.

Prema načinu postanka sedimentne stene delimo, kao što smo ranije pomenuli, na tri velike grupe:

- ***klastične sedimentne stene***, mehaničke sedimente, ili terigene sedimentne stene koje nastaju od ostataka raspadanja ili mehaničkog detritusa;
- ***hemijske sedimentne stene***, homogene sedimentne stene ili mineralogene, koje nastaju taloženjem iz rastvora, a vode uglavnom poreklo iz rastvora raspadanja;
- ***organogene sedimentne stene*** u čijem su stvaranju presudnu ulogu imali biljni ili životinjski organizmi.

Na osnovu stepena dijageneze ili litifikacije, sedimentne stene delimo na:

- *nevezane sedimente*;
- *poluvezane sedimente*;
- *vezane sedimentne stene*.

Podela sedimentnih stena samo na bazi geneze ima nedostataka jer postoji mnogo prelaznih tipova i mnogo izuzetaka. Gline, na primer, nastaju kao klastične sedimentne stene ili na mestu gde se feldspat kaoliniše. Krečnjaci nastaju kao organogene stene, kao hemijski talozi i kao klastične sedimentne stene itd.

Zbog svega ovoga, pri prikazivanju sedimentnih stena nećemo se striktno vezati ni za jednu od navedenih sistematika već ćemo primeniti jednu kombinovanu genetsko-teksturnu podelu (sl.39). Osim toga, uz sedimentne stene prikazaćemo i jednu grupu stena koje su po načinu deponovanja sedimenti, ali je materijal izvorno vulkanski - *vulkanoklastične stene*, čiji je materijal nastao radom vulkana.

Klasifikacija sedimentnih stena		
genetska	dijagenetska	kombinovana
<i>klastične - terigene</i> <i>organogene</i> <i>hemogene - mineralogene</i>	<i>nevezane</i> <i>poluvezane</i> <i>vezane</i>	<i>klastične - terigene stene</i> <i>glinene stene</i> <i>karbonatne stene</i> <i>laporci</i> <i>hemijske i biohemijske stene</i>

Sl.39. Kombinovano genetsko-materijalna tabela sedimentnih stena

5.2.8.1. Klastične sedimentne stene

Klastične sedimentne stene, najrasprostranjenije sedimentne stene Zemljine kore, nastale su transportom i sedimentacijom ostataka raspadanja ili mehaničkog detritusa.

Sistematika klastičnih sedimentnih stena, mehaničkih taloga ili terigenih sedimentnih stena kako ih sve nazivaju, bazira se na granulometrijskoj podeli. Na osnovu krupnoće fragmenata klastične sedimentne stene podeljene su na:

- *psefite*, čija krupnoća zrna prelazi 2 mm. Prema nekim sistematikama ove stene se nazivaju i ruditi;
- *psamite*, krupnoće zrna između 0,05-2 mm. Ove stene nazivaju i arenitima;
- *alevrite*, krupnoće zrna od 0,005-0,05 mm;
- *pelite*, krupnoće zrna ispod 0,005 mm. Alevrolite i pelite u nekim sistematikama nazivaju skupno lutitima.

U američkim klasifikacijama sedimentnih stena granice između pojedinih grupa klastičnih stena su nešto drugačije. Psefiti su iznad 2 mm, psamiti od 0,06 do 2 mm, alevriti od 0,004 do 0,06 mm a peliti ispod 0,004 mm.

Sljedeći kriterijum sistematike kod klastičnih sedimentnih stena je stupanj povezanosti čestica odnosno stepen diageneze. Ovi sedimenti u prirodi se javljaju kao rastresiti, kao poluvezani i kao vezani.

Prirodno vezivno sredstvo ili cementna materija kod poluvezanih ili vezanih stena ove grupe može biti vrlo različito po sastavu, boji i čvrstini. Najčešći prirodni cementni materijali su *karbonatni*, *silicijski*, *glinoviti*, *laporoviti* i *gvožđeviti*. Odnos količine fragmenata i cementne materije, kao što je već izloženo, može biti vrlo različit.

U narednim poglavljima daćemo prikaz važnijih grupa klastičnih sedimentnih stena a uz njih ćemo prikazati i vulkanoklastične stene.

S obzirom na specijalan položaj vulkanoklastičnih stena, jer predstavljaju u neku ruku prelazni tip između magmatskih i sedimentnih stena, one će biti prikazane pre ostalih klastičnih stena.

Vulkanoklastične stene

Grupa vulkanoklastičnih stena genetski je vezana za magmatske stene jer materijal za njihovo formiranje potiče direktno iz vulkana (nije bilo faze raspadanja a transport je specifičan). Ipak, ove su stene po načinu pojavljivanja, po uslovima stvaranja i po morfološkim karakteristikama klastične stene. Prema načinu formiranja, učešću lavičnog, vulkanoklastičnog i terigenog materijala ove stene delimo na:

- *lavoklastične*, u koje spadaju lavobreče;
- *piroklastične*, u koje ubrajamo vulkanske breče, vulkanske aglomerate i tufove;
- *sedimentno-piroklastične*, u koje ubrajamo tufite.

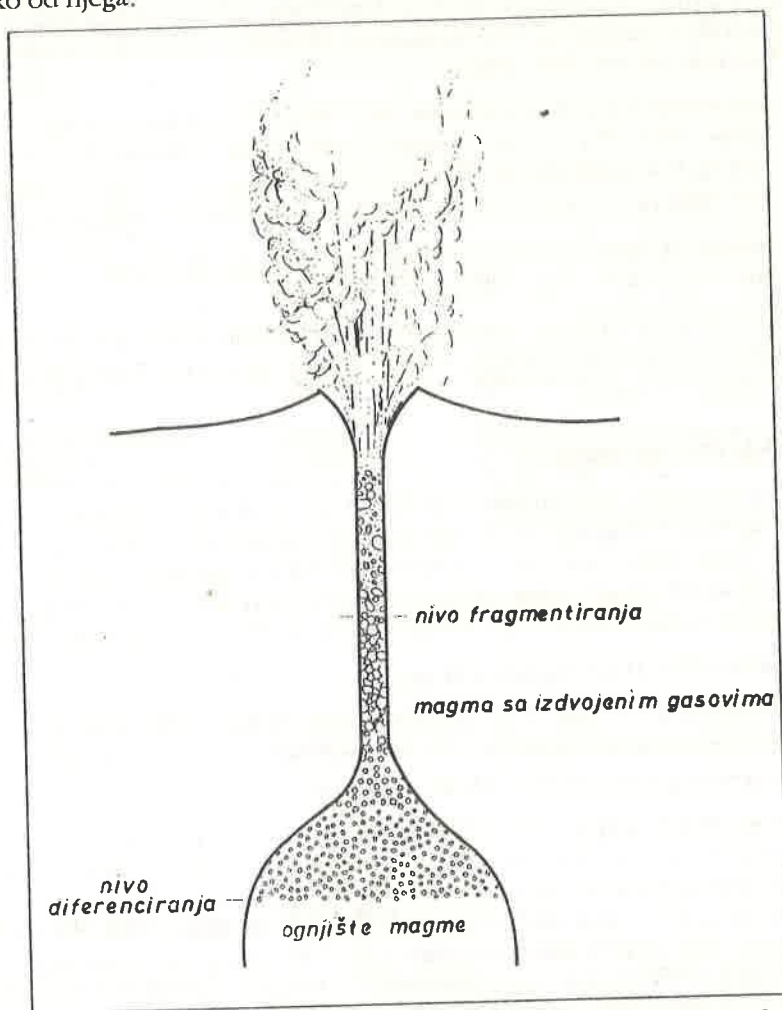
Mada se prema krupnoći fragmenata kod piroklastičnih stena mogu izdvojiti one koje bi odgovarale psefitima i psamitima, pa čak i alevrolitima, prikazaćemo ipak sve vulkanoklastične stene skupa jer takvo klasiranje, usled specifičnih uslova postanka, često nije moguće. U vulkanskom aparatu mogu se izdvojiti dva nivoa na kojima dolazi do formiranja vulkanoklastičnog materijala: nivo diferencijacije volatila u vidu mehura u magmi i nivo fragmentiranja magme pod uticajem već izdvojenih gasova u fluidne ili delimično očvršle delove (sl.40).

Vulkanski materijal fragmentiran eksplozijom može biti različite veličine i oblika. Ako je razbijeni materijal čvrst (već iskristalisana lava) komadi su uglastih oblika. Od još polutečnog materijala lave formiraju se fragmenti oblika kapljica. Uglasti fragmenti preko 32 mm nazivaju se *blokovi*, zaobljeni (oblika kapljice) nazivaju se *vulkanskim bombama*. Fragmenti krupnoće između 32 i 4 mm nazivaju se *vulkanski lapili* a ispod 4 mm *vulkanski pesak* i *vulkanski pepeo*. Pod *vulkanskom prašinom* podrazumevaju se čestice ispod 0,25 mm.

Najkrupniji fragmenti, bombe i blokovi padaće najbliže vulkanskom krateru. Lapili, pesak, pepeo i prašina mogu biti nošeni vetrom veoma daleko od vulkana.

Lavoklastične i piroklastične stene (grčki: *πυρροσ* - vatra, *κλασσο* - slomljen) nastaju prilikom vulkanskih erupcija koje su praćene eksplozijama. Lava pod velikim

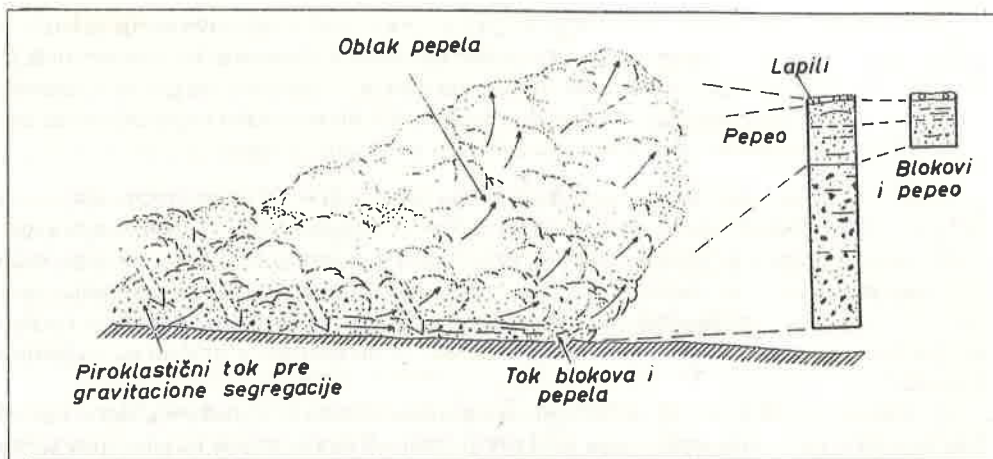
pritiskom probija čep kratera koji sprečava izlivanje i, zavisno od pritiska gasova, vrši se fragmentiranje i lave i okolnih stena kroz koje lava prolazi. Fragmenti različite veličine i oblika formirani na ovaj način, bivaju odbačeni u blizinu vulkana ili delom i vrlo daleko od njega.



Sl.40. Šema vulkanskog aparata sa različitim nivoima promena od magmatskog ognjišta do eksplozivne erupcije

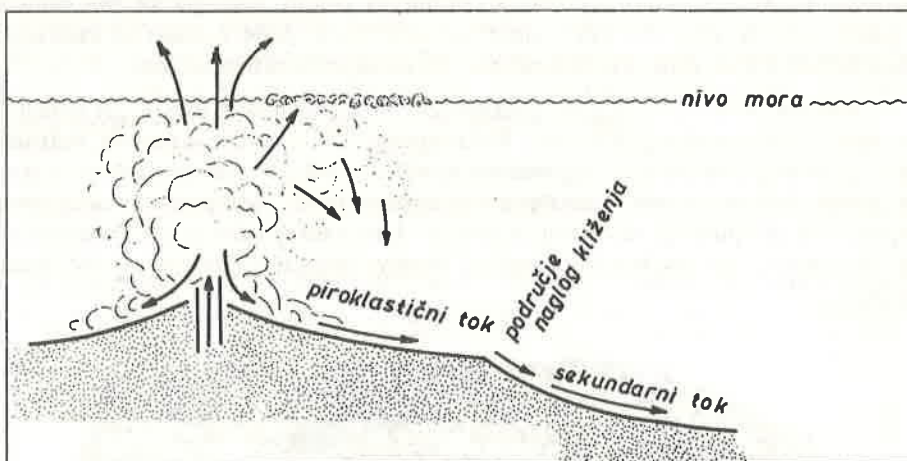
Materijal se taloži kao normalni klastični sediment (slično eolskim sedimentima). U basenima on se često meša sa postojećim sedimentnim materijalom te se na taj način stvaraju veoma raznovrsne mešane stene.

Subaerske erupcije u zavisnosti od veličine fragmenata i jačine vetra (koji je zbog naglih promena temperature vazduha uvek prisutan) izvršice manje ili veće sortiranje materijala. Najkrupniji fragmenti ostaće u blizini centra erupcije, dok pesak, a naročito pepeo u vidu turbulentnog kretanja mogu otići veoma daleko, i preko 300 km. Primeri su: Santorini na Teri, Krakatau na Javi i Katmai na Aljasci, pri čemu se stvaraju prostrane kaldere. Taloženjem ovog materijala stvaraju se najfinije vulkanoklastične tvorevine (sl.41).



Sl.41. Ponašanje fragmenata lave pri subaerskim eksplozivnim erupcijama

Pri submarinskim eksplozivnim vulkanskim aktivnostima kretanje je uslovljeno samo prisustvom morskih struja. Ovde se sreću i podvodni tokovi. Na kosim površinama ponekad ima i prekida usled naglih kliženja, što stvara slabije sortirane tvorevine jer se one mešaju sa normalnim sedimentima (sl.42).



Sl.42. Eksplozivne submarinske erupcije

Od vulkanskih blokova i nezaobljenog grubozrnog materijala uopšte obrazuju se **vulkanske breče**. Obično su vezane sitnozrnim materijalom krupnoće peska i pepela. Ako je ova međumasa (matriks) od vulkanskog pepela onda takvu breču nazivamo **tufobreča**. Često se međutim, vulkanske breče vezuju tako što nagomilani blokovi bivaju zaliveni kasnije izlivenom lavom. Ovako vezane vulkanske breče - koje nazivamo **lavobreče**, vrlo su kompaktne i veoma ih je teško makroskopski razlikovati od normalnih lava (katkad čak i mikroskopski). Razlikovanje je lako samo u slučajevima kada su fragmenti po boji, strukturi ili sastavu različiti od lave koja ih vezuje.

Nagomilavanjem vulkanskih bombi nastaju stene koje nazivamo **vulkanskim aglomeratima**. Vulkanski aglomerat je po načinu pojavljivanja i postanka veoma

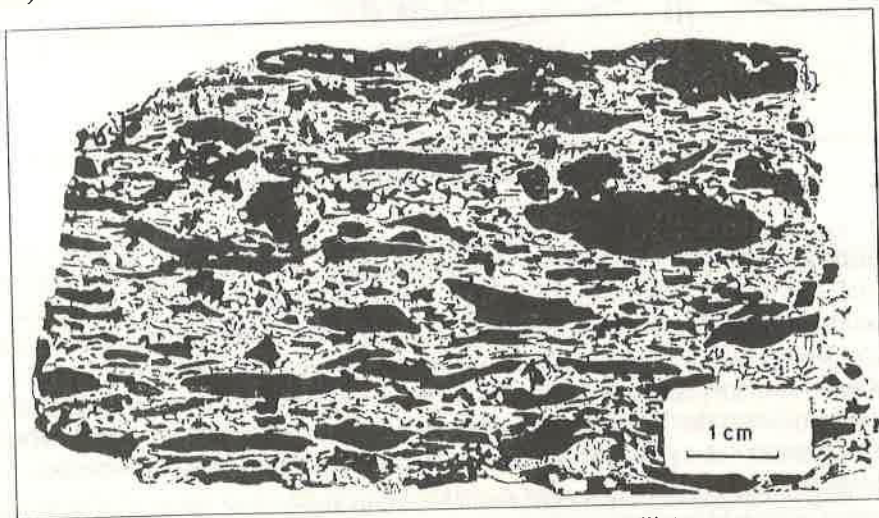
sličan vulkanskoj breči ali su kod njega fragmenti zaobljeni. I način vezivanja je isti kao kod vulkanskih breča. Pošto su bombe koje izgrađuju aglomerate izbacivane dok je magma bila u tečnom ili polutečnom stanju, one imaju koncentričnu građu i nepravilan oblik (zbog stalne rotacije u toku hlađenja najsličniji su obliku kapljice). Najčešće im je tekstura mehurasta, naročito u perifernim partijama bombe.

Sitniji vulkanoklastični materijal obično putuje i dalje. Nošen vetrom, vodom ili drugim transportnim sredstvom, može otići vrlo daleko. Ovaj materijal obrazuje **vulkanske tufove** (ili **tufove**, kako ih uobičajeno nazivamo) koji imaju mnogo veće rasprostranjenje nego vulkanske breče i aglomerati. Ime su dobili ime po italijanskoj reči **tufa** - meka, rastresita peskovita masa (stena). Obično se javljaju u slojevima i pošto su daleko transportovani, u basenima gde se talože mešaju se delimično sa terigenim materijalom.

Tuf je izgrađen od uglastih fragmenata stena, minerala izgrađivača stena i/ili od fragmenata vulkanskog stakla. Ime nosi prema prirodi stene koja je fragmentirana, na primer: **andezitski tuf**, **kvarcitijski tuf**, **riolitski tuf**, **itd.** Na osnovu sadržaja fragmenata stakla, kristalastih stena ili fragmenata minerala, tufove delimo na **vitroklastične**, **litoklastične**, **kristaloklastične** i **mešovite**.

Vezivanje tufova najčešće se vrši zbijanjem čestica pod pritiskom viših masa. Vrlo se često, međutim, događa da se vezivanje vrši slepljivanjem čestica usled preliivanja tufa novodošlom lavom. Tom prilikom lava može sama ako je tuf porozan, vezati fragmente ili ih pak samo zagrejati i delimično stopiti, tako da se oni sami vežu (stopljeni tufovi). Ove dve vrste stena vrlo su kompaktne i teško se razlikuju od normalnih lavâ te ih mnogi istraživači na terenu determinišu kao lave.

Posebnu vrstu tufova čine **ignimbriti** (sl.43) koji se stvaraju pri specifičnim erupcijama piroklastičnog materijala kao suspenzije fragmenata minerala, vulkanskog stakla i gasovitog komponenta. Ignimbriti sadrže sočivca ali i mlazeve vulkanskog stakla (tzv. *ffame*) koji su nastali u završnoj fazi konsolidacije kada je došlo do povećanja temperature kristalizacije lave zbog naglog odlaska lakoisparljivog komponenta, usled čega su pojedini, već iskristalisani sastojci ponovo stapani (uglavnom kvarc, feldspati i staklo).



Sl.43. Ignimbrit sa Flegrejskih polja (Italija)

Tufovi su veoma podložni izmenama. Pri tome se naročito lako menjaju varijeteti sa dosta stakla, vitroklastični tufovi. Najčešće promene su silifikacija i pretvaranje u glinovite minerale. Od tufova se na taj način stvaraju naslage glina izgrađenih od monmorijonita - tzv. *bentoniti*. U našoj zemlji, na primer, bentonitskih glina ima na Crnogorskom primorju.

Ako piroklastični materijal padne u basen u kojem se već vrši normalna sedimentacija, tada dolazi do njegovog mešanja sa glinovitim materijalom, peskom, šljunkom, itd. Stene obrazovane na ovaj način, koje su izgrađene delimično od vulkanoklastičnog a delimično od sedimentnog materijala, nazivaju se *tufiti*. Količina vulkanskog materijala u ovim stenama jako varira, od 30 -90%.

Pojave vulkanskih breča, aglomerata, tufova i tufita veoma su česte. Srećemo ih u skoro svim vulkanskim centrima. U Srbiji značajnih pojava donjokrednih breča i aglomerata, kao i tufova i tufita ima u Timočkoj eruptivnoj oblasti. Tufova i breča tercijarne starosti i velikog rasprostranjenja ima kod Srebrenice i na Rudniku, u Ibarskoj dolini, od Ušća na severu do Zvečana, Sokolice i Majdana kod Titove Mitrovice na jugu, na planini Rogozni, zatim na Radanu (područje Leca), u kratovsko-zletovskoj oblasti, Marijevu i Kožuflu u Makedoniji. U Crnoj Gori postoji prostrano područje sa trijaskim vulkanoklastičnim stenama kvarekeratofirskog, keratofirskog, kvareporfiritskog i porfiritskog karaktera. Ono se proteže severnom Crnom Gorom između Visitora i Ljubišnje, a nastavlja se u Bosnu, u područje Kalinovika. Drugi pojas vulkanoklastičnih i tufoznih stena proteže se Crnogorskim primorjem između Bara i Budve (pojas zelenih stena nazvan "pietra verde"). U Sloveniji su poznati tufovi u dolini Kokre, kod Piračice itd. Stopljenih tufova i ignimbrita ima na Rudniku u Srbiji, na Radanu (područje Leca), u okolini Kratova kao i na drugim mestima.

Tufovi mogu poslužiti i kao dobar građevinski materijal ako su dobro vezani. Porozni su i laki (zapreminska težina svega 1,4 -2) i lako se obrađuju a dobar su izolator. Jačina nošenja im je vrlo promenljiva.

Bentonitizirani tufovi upotrebljavaju se u livarstvu i rudarstvu, zatim u industriji cementa, za proizvodnju insekticida, industriji guma, boja, sapuna, olovki, hartije itd.

Psefiti

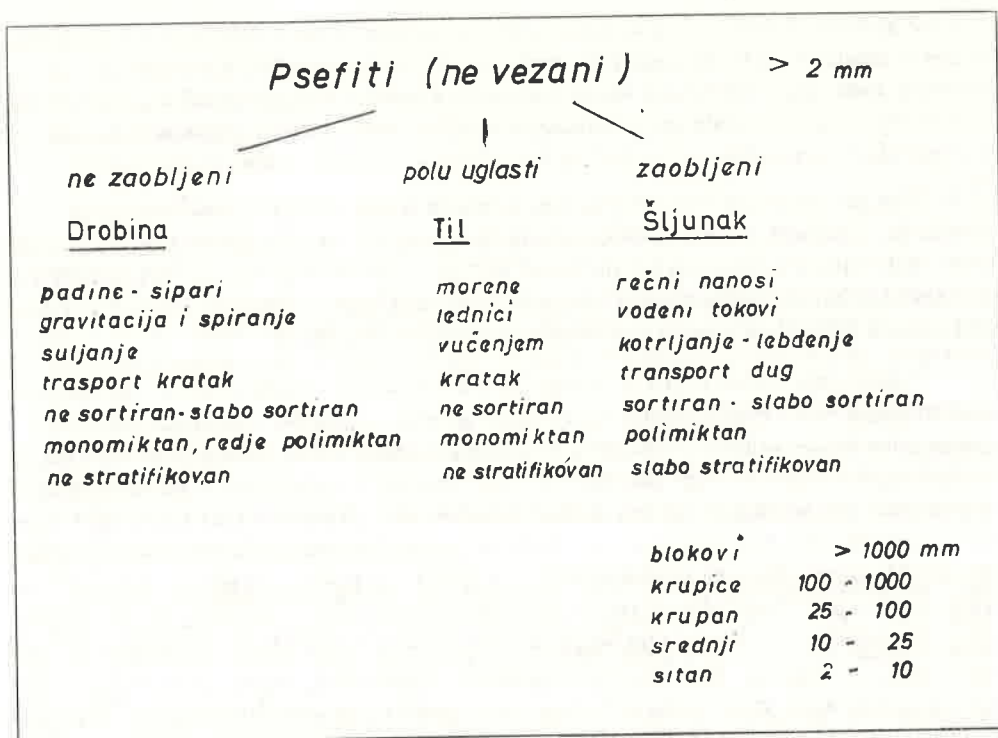
U grupi psefita prikazaćemo sledeće važnije predstavnike:

<i>nevezani</i>	<i>drobina i šljunak</i>
<i>vezani</i>	<i>breča i konglomerat</i>

Drobina

Drobina ili šut predstavlja rastresiti, nevezani, materijal izgrađen od odlomaka stena uglastih ivica čija veličina zrna premaša 2 mm.

Drobina se stvara čisto mehaničkim drobljenjem stena na padinama brdâ. Sa mesta fragmentiranja ovaj materijal gravitacija nosi niz padine, ili se eventualno spira kratkotrajnim bujicama, pri čemu transport nikad nije dug. Zbog ovako kratkog transporta fragmenti u drobinu uvek imaju uglaste ivice. Osim toga, mala dužina transporta ima kao posledicu veoma slabo ili nikakvo klasiranje materijala po krupnoći, te se zajedno sreću blokovi preko jednog metra i fragmenti veličine par centimetara (sl.44).



Sl.44. Osnovne karakteristike psefitskih nevezanih stena

Drobina se najčešće javlja u terenima izgrađenim od krečnjaka i dolomita, mada se može naći kod svih stena.

Prema sastavu drobina može biti *homogena i heterogena*. Homogena drobina izgrađena je od fragmenata jedne vrste stene, a heterogena od nekoliko vrsta. Mnogo su, međutim, češće homogene drobine, zbog toga što je transport kratak, te je mogućnost mešanja minimalna. Drobina nam, iz ovog razloga, može poslužiti i za određivanje sastava terena koji se iznad nje nalazi (naročito ako je teren pokriven ili vrlo strm).

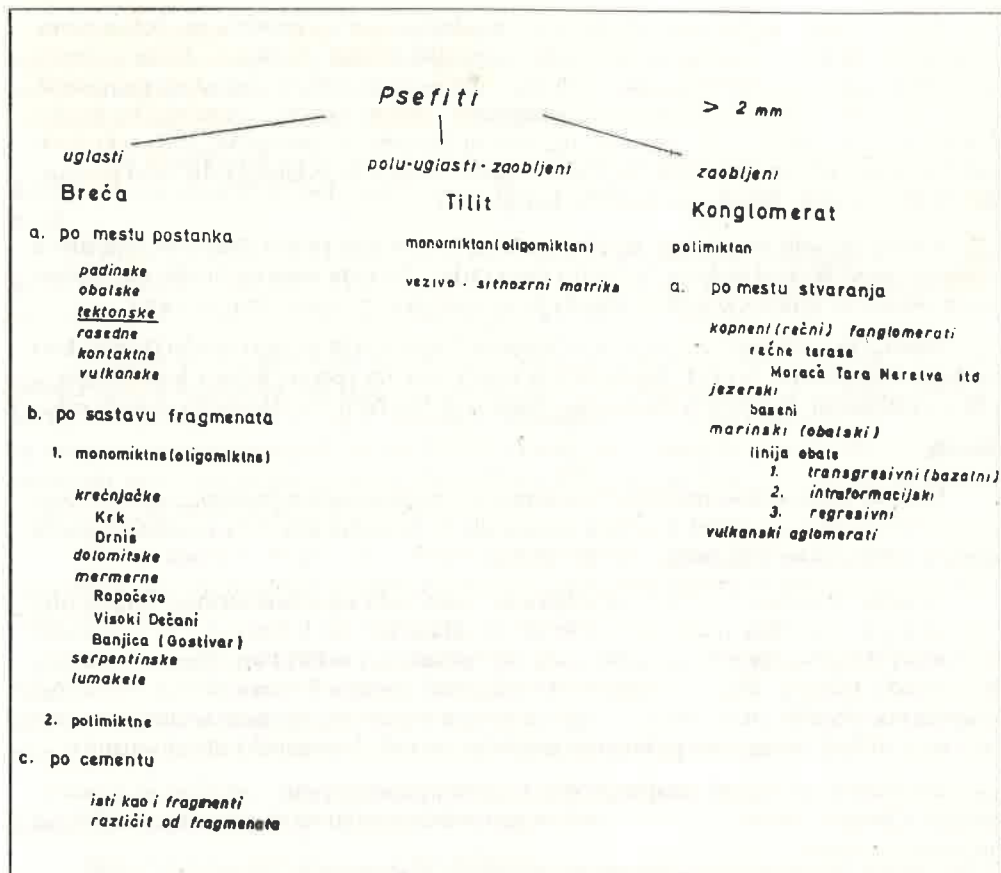
Ova rastresita psefitska stena ima vrlo malu primenu. Upotrebljava se lokalno za nasipanje železničkih pruga, za izgradnju podloga puteva i u nekim slučajevima za izradu betona.

Breča

Drobina vezana ili cementovana nekim od prirodnih vezivnih sredstava, naziva se *breča*. Ime je dobila po latinskoj reči *breccta* - lomljeni kamen.

Breča se sastoji od nezaobljenih fragmenata jedne ili više vrsta stena i vezivne supstance. Veličina fragmenata i odnos količine fragmenata prema vezivnoj masi su različiti (sl.45). Pošto je osnovni materijal iz koga breče nastaju neklasiran po krupnoći (drobina), to su fragmenti breče obično vrlo različitih dimenzija.

U brečama se, osim fragmenata stena, nalaze i fragmenti skeleta i ljuštura organizama, a neke breče su sastavljene isključivo od takvih fragmenata. To su najčešće ljuštore školjki ili fragmenti kostiju. Takve breče u kojima prevlađuju organski fragmenti nazivaju se *lumaketama*.



Sl.45. Osnovne karakteristike psefitskih vezanih stena

Prema načinu postanka, odnosno prema geološkom procesu koji dovodi do fragmentiranja, breće delimo na:

- **padinske**, kada su nastale od padinskog (siparskog) materijala;
- **obalske**, nastale u priobalskim regionima mora ili jezera usled razornog dejstva talasa;
- **tektonske**, nastale drobljenjem materijala fragmentiranog na rasednim površinama;
- **vulkanske**, (o kojima je već bilo reči), nastale vezivanjem grubozrnog nezaobljenog vulkanoklastičnog materijala;
- **kontaktne**, nastale lomljenjem okolnih stena ili perifernih partija plutona i potom zahvaćanih magmom kod raznih vrsta intruzija i dr.

Podela breća vrši se i na osnovu sastava fragmenata na: *krečnjačke, dolomitske, mermerne, serpentinske, heterogene itd.* Kao i kod drobine i ovde preovlađuje homogeni materijal, jer fragmenti od kojih je breća nastala nisu dugo transportovani.

Cement u brećama može biti vrlo različit. Ili je doveden spolja ili je nastao rastvaranjem materijala same drobine. Obično je cement istog sastava kao i sama breća ali se sreće i cement drugačijeg sastava.

Prema načinu pojavljivanja za breće možemo reći da su u najvećem broju slučajeva *neslojevit* stene. Obično su masivne teksture jer nisu stvarane u vodenoj sredini nego najčešće na kopnu.

Breče imaju raznovrsnu primenu u građevinarstvu, naročito za dekorativne svrhe. Koliko je breča uspešan dekorativni materijal svedoči to što se danas u nedostatku skupih prirodnih breča proizvode se veštački materijali sa izgledom prirodnih. Najviše se cene dobro cementovane mermerne, serpentinske i krečnjačke breče, naročito ako su lepih boja. One se uglavnom koriste za oblaganje (arhitektonski kamen) i izradu ukrasnih predmeta (kamena galanterija), pepeljarâ, pribora za pisanje, vaza itd. Brečama se oblažu stepeništa, kamini i dr.

U našoj zemlji brečâ koje se eksploatišu ima na više mesta. Najcenjenija breča je iz sela Ropočevo kod Sopota (u blizini Beograda). To je mermerna breča, vrlo dobro vezana, sa lepim šarama skladnih blagih boja u sivim i crvenkastim tonovima.

Osim u Ropočevu brečâ ima i kod Visokih Dečana u Metohiji i u selu Banjici kod Gostivara (mermerne breče). Krečnjačkih breča ima na ostrvu Krku i kod Drniša u srednjoj Dalmaciji. Padinskih breča ima dosta u dolini Neretve, Morače i drugih reka.

Šljunak

Šljunak je *zaobljeni* materijal u kojem *krupnoća valutica prelazi 2 mm*. Ovakav materijal nalazimo u rečnim koritima sadašnjih ili nekadašnjih reka (srednji i gornji tokovi) i priobalskim regionima mora i jezera.

Veličina valutica i stepen zaobljenosti jako variraju. Najkrupnije fragmente, preko 1 m, u prečniku nazivamo *blokovima*. Materijal od 0,1 m do 1 m nazivamo *krupicama*. *Krupan šljunak* obuhvata valutice između 0,1 m i 25 mm, *šljunak srednjeg zrna* između 10 mm i 25 mm i najzad *sitan šljunak* između 2 mm i 10 mm. Variranje oblika valutica kod šljunka uslovljeno je i dužinom transporta i vrstom materijala. Zato se pri istoj dužini transporta pojavljuju kuglaste, jajaste, koturaste i druge valutice.

Ukoliko je materijal krupniji bliži je primarnom ležištu i obično je i manje zaobljen. Obrnuto, sitniji i dobro zaobljen materijal ukazuje na dug transport i daleka primarna nalazišta.

Zbog veoma dugog transporta omogućeno je prikupljanje materijala sa raznih terena zbog čega je šljunak u najvećem broju slučajeva *beterogen*. Ovo naročito važi za rečne šljunkove. Samo ako je prikupljeni šljunak sa terena jednolične litološke građe on može biti homogenog sastava.

Klasiranja po krupnoći kod šljunka su obična pojava. Osim toga, kod šljunka se često zapaža slojevitost a katkad i kosa slojevitost.

Najveću primenu šljunak je našao u izradi betona i posteljica savremenih puteva, jer ima sposobnost relativno brzog sleganja.

Da bi se šljunak upotrebio za beton mora se osloboditi nečistoća, naročito glinovitih primesa. Najkvalitetniji šljunak je onaj koji se sastoji od valutica kvarca i kristalastih stena. Krupnoća valutica betonskog šljunka ne sme da pređe veličinu pesnice dok se najboljim smatra šljunak srednjeg zrna.

Šljunak se u našoj zemlji eksploatiše u velikim količinama za industriju betona i putogradnju u dolinama velikih reka - Dunava, Morave, Save, Drave i drugih. Šljunka ima i u primorju, ali se dobar šljunak za građevinarske svrhe mora prati od morske vode odnosno od soli iz nje.

Konglomerat

Šljunak cementovan nekim od prirodnih veziva daje stenu koja se naziva *konglomerat*. Ime je dobio od latinske reči *conglomerare* - nagomilavati. Krupnoća valutica i stepen zaobljenosti su kao kod šljunka.

Konglomerat je stena koja se sastoji od zaobljenih krupnih fragmenata stenâ koji mogu biti homogenog ili heterogenog sastava. Homogeni konglomerati nazivaju se *monomiktini*, a heterogeni *polimiktini*. Češći su heterogeni konglomerati. Vezivna supstanca može biti različita - karbonatna, silicijska, laporovita itd.

Boja konglomerata zavisi kako od boje fragmenata tako i od vezivne supstance. Konglomerati mogu biti beli, sivi, šareni, crveni (kada su vezani gvoždevitim cementom).

Prema vrsti valutaka razlikujemo *kvarcne, dolomitske, krečnjačke, heterogene konglomerate i dr.* Po mestu postanka razlikujemo *rečne i obalske* konglomerate dok se konglomerati vulkanskog porekla nazivaju *aglomerati*.

Katkad se konglomerat označava prema geološkoj formaciji u kojoj leži, na primer crveni konglomerati u permu, ili verukano konglomerati i dr. Postoji i podela konglomerata i prema sredini stvaranja na *kopnene, jezerske i marinske*. Kopnjeni se mogu stvarati radom reka, vetra, lednika i vulkana. Glacijalni konglomerati imaju i posebno ime - nazivaju se *tiliti* (nevezani - til). Oni sadrže valutke sa strijama - tragovima (brazdama) trenja o korito glečera.

Konglomerati mogu biti i slojeviti i masivni. Ujednačenost krupnoće zrna uglavnom postoji mada se javljaju i slučajevi kada sortiranosti nema (fanglemerati), naročito kod tilita.

Prema geološkom mestu nastanka konglomerate označavamo kao *transgresivne* ako obeležavaju početak transgresivne serije, *intraformacijske* koji samo označavaju period prikupljanja gruboklastičnog materijala u seriji a ne prekid taloženja i *regresivne* koji obeležavaju završni deo sedimentacionog ciklusa.

Od aluvijalnog materijala dopremljenog u depresije u koje su nekada zalazila jezera i mora stvaraju se konglomerati molasa.

Konglomerat ima veoma ograničenu primenu. Upotrebljivost ove stene u građevinske svrhe zavisi od nekoliko faktora: od vrste valutica, od vrste cementa, stepena vezanosti valutaka i stepena obradljivosti materijala. Dobro vezani konglomerati upotrebljavaju se kao lomljeni kamen i, pošto se uglavnom dosta teško obrađuju, retko se koriste u građevinske svrhe.

Psamiti

U ovoj grupi klasičnih sedimentnih stena prikazaćemo sledeće najvažnije predstavnike:

nevezani pesak
vezani pešćar

Pesak

Sitnozrni nevezani materijal, zaobljenih zrna čiji prečnik varira između 0,05 mm i 2 mm nazivamo *peskom*.

Stepen zaobljenosti zrna peska zavisi od dužine transporta i vrste materijala u njemu.

Prema veličini zrna razlikujemo *krupnozrni* pesak sa prečnikom zrna od 0,5 - 2 mm, *srednjezrni* pesak od 0,25 - 0,5 mm i *sitnozrni* pesak od 0,05 - 0,25 mm. Katkad su u jednom pesku zastupljena zrna različitih veličina ali se pesak klasira po krupnoći bitnog komponenta.

Po sredini postanka pesak delimo na *eolski, rečni, jezerski i marinski*. Osim ovih vrsta postoji i vulkanski pesak koji je prikazan uz piroklastične stene.

Kao i ostali dugo transportovani klastični sedimenti, pesak ima obično heterogen a samo izuzetno homogen sastav. Ipak, veoma je čest pesak u kojem dominira samo jedan mineral. Ovakav pesak nazivamo monomineralnim ili *oligomiktinim*. Onaj pak pesak koji predstavlja agregat nekoliko mineralnih vrsta nazivamo polimineralnim ili *polimiktinim*.

Najzastupljeniji komponent peska je obično *kvarc*, i to iz više razloga. Prvo, što je ovaj mineral čest u magmatskim stenama i, drugo, što je otporan prema raspadanju te se dugo transportuje i lako koncentriše u nanosima. Pored kvarca dosta je zastupljen i *muskovit*. Javlja se u vidu sitnih ljuspica koje zbog svog oblika i male specifične težine lako dospevaju i u najudaljenije regione. Osim ovih minerala u pesku se koncentrišu, u manjim količinama, i zrna drugih otpornih minerala kao što su cirkon, rutil, apatit, granat, magnetit, turmalin i dr. U nanosima koji nisu pretrpeli naročito dug transport javljaju se i feldspati - uglavnom albit, ortoklas i mikroklin ali su i oni delimično kaolinisani. Osim fragmenata minerala manje transportovani pesak sadrži i sitne, zaobljene fragmente stena.

Prema mineralu čiji procenat u pesku preovlađuje ili je izrazito povećan pesak delimo na *kvarcni*, *feldspatski*, *liskunski*, *magnetitski* i dr. Najrasprostranjeniji je kvarcni pesak. Posle njega najčešći je pesak bogat liskunom i kvarcom koji nazivamo mešovitim peskom.

Pesak je dosta česta stena. U izgradnji tercijskih i recentnih naslaga igra važnu ulogu. Obično je uslojen a česta je kosa slojevitost.

Primena peska vrlo je raznovrsna. Najveće količine upotrebljavaju se u građevinarstvu za pravljanje maltera, zatim u livarstvu za pravljanje kalupa i u industriji stakla. Za malter se upotrebljavaju sve vrste peska, čak i dosta nečiste, ali se marinski pesak bez pranja ne može upotrebiti jer morski pesak zbog visokog sadržaja soli apsorbuje vlagu te zidovi ostaju trajno vlažni. Pesak *staklarac* mora biti veoma čist. Sadržaj silicije u njemu treba da prelazi 98% a štetnim supstancama smatraju se oksidi gvožđa i minerali glina. Livački pesak može biti sa nešto većim sadržajem štetnih komponenata ali industrija i ovde zahteva minimalno 95% SiO_2 i maksimalno 2% Fe_2O_3 .

Kvarcnog peska staklarca ima u Rgotini kod Zaječara. Debljina slojeva peska ovde iznosi 5 - 12 metara, u proseku je 8 metara. Pesak je beo, svetlosiv, žućkast ili zelenkast. Partije sa više nečistoća koriste se u livačkoj industriji. Peska staklarca ima u Solnju kod Skoplja i u vrtačama u okolini Valjeva. Ove vrtače, međutim, iako sadrže kvalitetan pesak, nepogodne su za eksploataciju što umnogome umanjuje vrednost ležišta. U Istri, nedaleko od Pule, postoje takode značajna ležišta kvarcnog peska koji se koriste za industriju stakla i livačku industriju. Ležišta imaju oblik sočiva a procenat SiO_2 u njima varira od 84 - 99%. U Sloveniji peska ima i kod Birčne Vasi.

Livačkog peska i peska za građevinske svrhe ima u Vlaškom Polju kod Mladencova gde se pesak eksploatiše na više pogona. Kod Banje Koviljače postoje takode nalazišta kvarcnog peska, veoma čistog ali neklasiranog, što mu umanjuje tržišnu vrednost. Ovaj pesak se pre upotrebe mora mleti. Pošto se mlevenjem dobijaju fragmenti nezaobljenih ivica smanjuje se propustljivost peska i time umanjuje njegova primenljivost u livačke svrhe.

Nečistog peska za građevinarstvo ima u okolini Vršca i u Deliblatskoj peščari. Pojava živog peska ima u Podravini i u Deliblatskoj peščari.

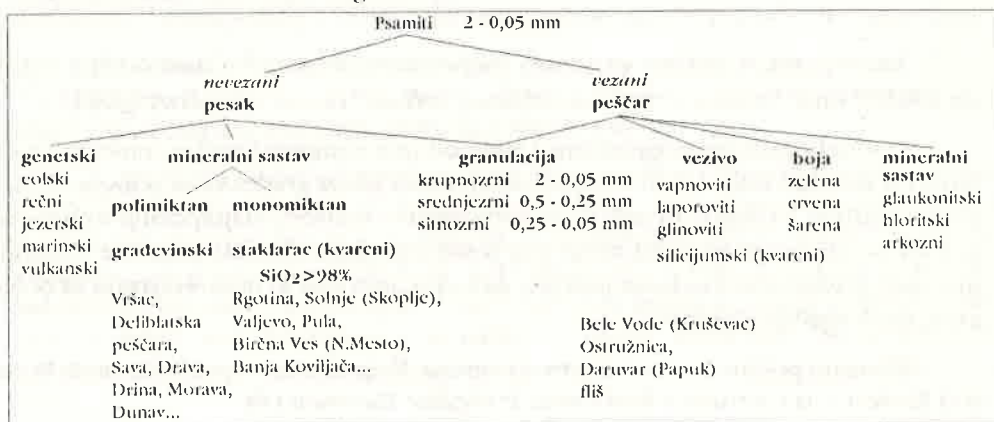
Pesak katkad može biti obogaćen raznim korisnim mineralima. Tako se u pesku može koncentrisati *monacit*, *zlato*, *magnetit*, *ilmenit*, *granat*, *dijamanti* itd. U našoj zemlji u nanosima Peka i Timoka ima koncentrisanog samorodnog zlata. Pesak kod Ulcinja obogaćen je ilmenitom i magnetitom.

Peščari

Pesak vezan prirodnim cementnim sredstvom daje stenu koja se naziva *peščar*. Krupnoća zrna i stepen zaobljenosti variraju isto kao kod peska, te razlikujemo krupnozrne, srednjzrne i sitnozrne peščare.

Peščari su stene izgrađene od delimično ili potpuno zaobljenih zrna *kvarca*, *ljuspica muskovita*, *feldspata*, zatim *cirkona*, *apatita*, *magnetita*, *granata*, *turmalina*, *odlomaka stena i katkada biotita*. Vezani su prirodnim cementima koji mogu biti različiti i po sastavu i po načinu vezivanja fragmenata. Najčešće je cement *vapnovit* (kalcijumkarbonatni), *laporovit*, *glinovit*, *dolomitski*, *silicijski*, *limonitski* (*gvožđeviti*), *organski* (*bituminozan*) itd. Vezivo kod peščara količinski može biti raznoliko. Kada je cementne materije vrlo malo tako da je koncentrisana samo na dodirima zrna dok su međuprostori prazni kažemo da je cement kontakti. Ova vrsta cementa karakteriše uglavnom slabo vezane peščare. Vezivo može i da oblepljuje fragmente ali da još uvek ne ispunjava kompletne međuprostore što je slučaj kod srednje vezanih peščara i najzad, ako je cement prostorni ili bazalni, smatra se da su peščari dobro vezani.

Podela peščara može biti različita (sl.46). Najčešće se vrši na osnovu cementne mase ili na osnovu sastava fragmenata.



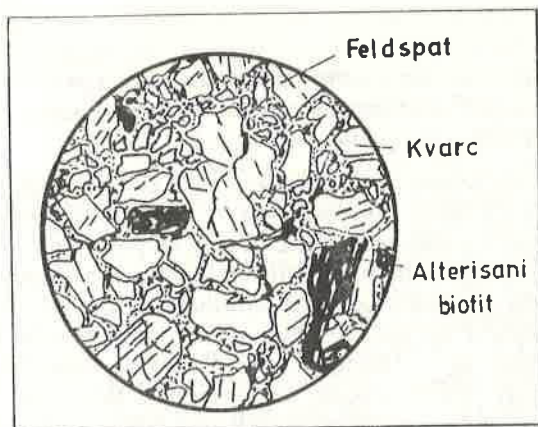
Sl.46. Podela psamita na osnovu različitih kriterijuma

Na osnovu vrste cementne mase peščare delimo na *vapnovite* (vezane karbonatnim vezivom), *laporovite*, *glinovite*, *gvožđevite*, *bituminozne*, *kvarcne* (u nekim sistematikama kvarciti ili silicijski peščari) itd.

Prema mineralnom sastavu razlikujemo *kvarcne*, *limonitske*, *glaukonitske*, *hloritske*, *litoklastične* (ako sadrže dosta odlomaka stena), *šarene* ili crvene (nazvane prema izgledu) itd.

Arkoze su peščari pretežno izgrađeni od kvarca (koji dominira) i feldspata dok je vezivo najčešće karbonatno. Sortiranost i zaobljenost fragmenata varira u širokim granicama. To su uglavnom krupnozrne stene, često se javljaju u blizini granitoida. Treba napomenuti da su permski peščari u istočnoj Srbiji uglavnom predstavljeni arkozama (sl.47).

Grauvake su izgrađene od odlomaka stena, kvarca i promenljive količine feldspata koji se nalaze u glinovito-sericitsko-hloritskom matriksu. Tamno sive su boje po čemu su i dobili ime. Pokazuju slabu sortiranost, sastojci su slabo zaobljeni. Od odlomaka stena obično su prisutni glinci, rožnaci, magmatske stene itd. Grauvake mogu pokazivati gradacionu slojevitost. **Tufozni peščari** pored klastičnih komponenta i veziva imaju i piroklastični komponent.



Sl.47. Arkoza (mikroskopski snimak)

Peščari su uglavnom dobro uslojeni, javljaju se u slojevima različite debljine. Često se veličina zrna i mineralni sastav menjaju i horizontalno i vertikalno u okviru serije ili samog sloja. Kod ovih stena sreću se kosa ili gradaciona slojevitost, pojave kuglastog ili paralelopipednog lučenja.

Kao i pesak, i peščari su veoma rasprostranjene stene. Čitavi odeljci nekih geoloških formacija izgrađeni su od peščara (veći deo perma u istočnoj Srbiji).

Upotrebljivost im je ograničena i zavisi od vrste cementa i načina cementovanja, zatim od sastava i veličine zrna. Najpovoljniji materijali za građevinske potrebe (oblaganje i zidanje) su sitnozrni peščari sa karbonatnim vezivom. Najotporniji su kvarcni peščari sa silicijskim vezivom ali se oni teško obrađuju. Sadržaj glinovite materije smanjuje građevinsku vrednost peščara, naročito onih koji se upotrebljavaju za oblaganje građevinskih objekata.

Korisnih peščara kod nas ima na više mesta. Najpoznatiji su peščari iz Belih Voda kod Kruševca, iz Ostružnice kod Umke, iz okoline Daruvara i dr.

Alevriti

U grupi alevrita prikazaćemo sledeće naivaznije predstavnike :

nevezani - Alevrit (prah)

vezani - Alevrolit

Les

Alevrit (prah)

Nevezani sediment alevritske grupe je **prah**. Izgrađen je od finih čestica veličine od 0,005 do 0,05 mm. Transportuje se uglavnom vodom ili vetrom. U sastav praha ulaze čestice *kvarca, feldspata, liskuna, karbonata, minerala glina i dr.*

Alevrolit

Vezana sitnozrna klastična stena nastala dijagenozom čestica praha naziva se **alevrolit**. To je kompaktna stena u čiji sastav ulaze isti minerali koji su navedeni kod praha: *kvarc, feldspat, liskun, karbonati, minerali glina*, dok je vezivo u ovim stenama u najvećem broju slučajeva *karbonatno, zatim glinovito* itd.

Alevroliti su slojevite stene, mada su slojevi uglavnom male debljine. Po spoljnjem izgledu liče na pešćare ali su sintijeg zrna. Često pokazuju postupne prelaze prema pešćarima.

Primena alevrolita je vrlo ograničena zbog načina pojavljivanja. Slojevi veće debljine mogu se koristiti kao građevinski kamen, ili za izradu kamenih ploča. Veće pojave su zapažene u istočnoj Srbiji.

Les

Vezane sedimentne stene nastale cementovanjem colskog alevritskog materijala nazivamo *lesom*.

Postaje pretežno u stepskim područjima sa bujnom, niskom vegetacijom (najčešće visokom travom). Ova vegetacija zaustavlja prašinu nošenu vetrom i sprečava njeno dalje odnošenje. Prašina inkrustira biljke i na taj način se u dugom vremenskom periodu mogu formirati prostrane i veoma debele naslage. Prekriva oko 7% ukupne površine Evrope, odnosno oko 4% površine Zemlje. U Kini, na primer, debljina lesnih naslaga dostiže i do 400 metara, u našoj zemlji i do 150 m. Les se kod nas javlja kao produkt glacijacije, kada su snažni vetrovi transportovali veoma fino zrne morenski materijal i deponovali ga u nižim područjima.

Po sastavu les može biti raznolik no obično je vrlo heterogen. Najzastupljeniji mineral među česticama su i ovdje *kvarc, feldspati, liskuni, karbonati i minerali glinâ*. Osim toga među česticama lesa sreću se i *odlomci stena*.

Les karakterišu dve teksturne osobine. Prvo, ova stena ima jako izraženu *cevastu gradnju*, to je porozna stena sa nizom vertikalnih šupljina. Cevasta tekstura lesa je posledica truljenja biljaka koje su bile obložene prašinom. Zbog takve grade les lako propušta sve površinske vode koje, cirkulišući kroz stenu, rastvaraju jedan deo kalcijum karbonatne materije iz nje. Ovaj se kalcijum karbonat kasnije izlučuje na dnu cevčica dajući tako kongregacije koje nazivamo lesnim lutkicama. Druga teksturna karakteristika je *odsustvo jasno izražene slojevitosti* te les više podseća na masivnu stenu.

Iako les smatramo alevrolitom, tj. vezanom stenom, ipak se mora reći da je stepen cementacije kod ove stene dosta slab (u odnosu na stenu koju smo nazvali alevrolitom - minimalan). Les je jedna od slabije vezanih, trošnih, stena jer ga i pod prstima možemo drobiti.

I pored ovakvih dijagenetskih karakteristika les je, međutim, tlo na kome se sasvim sigurno može graditi jer podnosi velika opterećenja. Ova osobina je posledica njegove cevaste grade zbog koje lako propušta vodu (za razliku od gline koje vodu zadržavaju). U lesu se, što je značajno, mogu zasjecati potpuno vertikalni odseci, bez opasnosti za odronjavanje.

Tek veoma dugim ispiranjem površinskim vodama koje odnose karbonatnu materiju a koncentrišu glinovitu, les može preći u lesnu ilovaču.

Upotrebljava se u ciglarskoj industriji kao sirovina za izradu svih vrsta građevinskih opeka. Naslaga lesa ima kod nas u Slavoniji, Mačvi i Vojvodini. Lesa ima i u okolini Beograda kod Višnjice (gde postoje brojne ciglane), zatim u Zemunu itd. Korisne lesne naslage u Banatu, na Titelskom bregu, imaju veliko rasprostranjenje i debljinu preko 40 metara.

Peliti

U ovoj grupi biće prikazane sledeće stene:

nevezane - Mulj

poluvezane - Gline

vezane - Glinci

Mulj

Mulj predstavlja nevezani pelitski sediment taložen u vodi. To je najfinija frakcija klastičnog detritusa. Mulj obično predstavlja materijal koji je vodom nošen vrlo daleko. Zbog velikog rastvaračkog dejstva vode ovaj materijal sadrži samo zaostale stabilne komponente, pretežno minerale glinâ.

Gline i glinci

Glinom nazivamo plastični poluvezan sediment nastao dijagenezom mulja, pelitskog materijala transportovanog vodom i istaloženog u vodenoj sredini. Osim glinâ koje postaju transportom i taloženjem muljevitog materijala, postoje i one koje su postale i ostale na mestu raspadanja primarnih stena. To su takozvane *rezidualne* ili *sedentarne gline*.

Ovaj pelitski materijal može biti vezan ili isušivanjem ili istiskivanjem vode pod pritiskom gornjih slojeva. Glina predstavlja srednji stadijum u dijagenezi muljevitog materijala. Pod uticajem pritiska, ili vrlo intenzivnim isušivanjem, ovaj materijal gubi plastičnost i prelazi u čvrstu slojevitou stenu koja se naziva glinac.

Gline i glinci su veoma rasprostranjene sedimentne stene. Sastoje se od minerala glinâ i raznih primesa. Pošto minerali glinâ nisu primarni minerali u magmatskim ili metamorfnim stenama, nego nastaju kao produkti hemijskog raspadanja primarnih stena - obično neki autori gline i ne shvataju u klastične sedimentne stene već kao hemijske tvorevine. S druge strane, ako se uzme u obzir da minerali glinâ uglavnom nisu autigeni, onda glinu svrstavaju kao klastične sedimente.

Među mineralima glinâ najvažniji su kaolinit, hidroliskuni (ilit), monmorijonit i drugi aluminijški silikati. Sporodnim sastojcima u glinama smatramo zrna kvarca i, veoma retko, cirkona, apatita, granata i drugih. Gline često kao primeše sadrže i hidrokside gvožđa koji stenu pigmentiraju crvenkasto, žuto ili mrkocrveno. Često sadrže i organske supstance (naročito bitumiju) koje im opet daju tamnosivu pa čak i crnu boju. Male količine mangana boje stenu zelenkasto.

U glinama može prevladivati jedan od minerala glinâ i tada su to monomineralne gline, ili je nekoliko minerala zastupljeno u približnim količinama, kada ih nazivamo polimineralnim. Prema mineralnom sastavu razlikujemo sledeće vrste glinâ:

- **kaolinitne ili vatrostatne gline**, koje su pretežno izgrađene od kaolinita. Često nastaju i kao produkti raspadanja na mestu, u neposrednoj blizini matične stene (obično granita). Upotrebljavaju se u industriji porcelana i elektroporcelana, zatim u livačkoj industriji kada moraju imati mali sadržaj gvožđa i visoku vatrostatnost;

- **monmorijonitske gline** izgrađene su pretežno od monmorijonita. Imaju jako izraženu osobinu bubrenja i apsorpcije organskih materijala. Koriste se u industriji fine keramike, tekstilnoj industriji, livačkoj industriji, industriji šećera i dr. Bentonitske gline su po sastavu monmorijonitske gline koje nastaju, kao što je pomenuto, izmenama vulkanskog pepela - tufova. Za industrijske potrebe bentonitske gline moraju imati bar 80% monmorijonita;

- **uma** ili suknarska zemlja takođe je monmorijonitska glina. U nekim krajevima naše zemlje narod je identifikuje sa bentonitskom glinom (Makedonija). To je glina sa velikom sposobnošću za upijanje masti te su je nekada upotrebljavali u suknarstvu po čemu je i dobila ime. Uma obično sadrži povećanu količinu magnezijuma i kalcijuma. Kao uma se koristila i svaka monmorijonitska masna glina uključivši i bentonit;

- **ilovače** su nečiste gline koje sadrže pesak i kalcijum karbonat. Upotrebljavaju se u ciglarskoj industriji ako sastav glinâ nije strogo standardizovan. Peskovita ilovača je nečista glina sa velikim sadržajem peska kao klastičnog komponenta;

- **laporovita glina**, sadrži kalcijom karbonat - obično 5 - 15%.

Prema mestu postanka gline delimo na *rečne, barske jezerske i marinske*. Specifično mesto ovde svakako zauzimaju sedentarne (rezidualne) gline o kojima je već bilo reči.

Gline su obično slojeviti do tankoslojeviti sedimenti, katkad nepravilno slojeviti, trakasti ili sočivasti. Kosa slojevitost, međutim, ovde nije karakteristična. Samo rezidualne gline obično nisu slojevite i sadrže dosta minerala primarne matične stene, pogotovo kvarca (ako ga je bilo u primarnoj steni) te se zbog toga za upotrebu moraju prečišćavati;

- **barske gline** imaju obično sočivast način pojavljivanja, onečišćene su šljunkom, peskom i organskom materijom, pri čemu je debljina sočiva redovito mala;

- **jezerske gline** su slojevite i mogu imati znatno rasprostranjenje. Sadržaj krupnije frakcije u glini raste prema obalskoj liniji. Ova ležišta daju dobre vatrostalne kaolinitiske gline;

- **marinske gline** stvaraju se u dubokomorskom i priobalnom regionu. U priobalnom delu materijal je slabije sortiran. Slojevitost je česta, ali se marinske gline javljaju i u obliku sočiva. Dubokomorske gline obično imaju veliko horizontalno rasprostranjenje i ujednačenu granulaciju i sastav;

- **šljunkovita ilovača** (lednička glina) nastaje od najsitnijeg materijala koji nije transportovan vodom nego ledom. Sem pelitskih čestica obično je u ovom sedimentu prisutno i dosta krupnijeg detritusa, po čemu je dobila ime. Zbog kraćeg transporta i manjeg dejstva vode na materijal, mnogo je heterogenijeg sastava nego obične gline. Po sastavu se ova glina dosta približava lešu. Ledničke gline nisu slojevite stene. Klasiranje materijala po krupnoći veoma je slabo. I šljunkovita ilovača može se upotrebiti u ciglarskoj industriji;

- **crvenica ili terra rossa** predstavlja pelitski materijal koji nastaje raspadanjem krečnjaka. Pri razaranju krečnjaka kalcijum karbonatna supstanca biva odnešena vodom a u ostatku raspadanja koncentrišu se oksidi i hidroksidi gvožđa i aluminijuma. Ime je dobila zbog karakteristične crvene boje koja potiče od povećanog sadržaja gvožđa. Uz okside i hidrokside gvožđa i minerala glinâ u ovim stenama koncentrišu se često i boksitni minerali (interesantni kao sirovina za dobijanje aluminijuma).

Kod nas pojavâ terra rosse i pojavâ ležišta boksita ima u krečnjačkim terenima Crne Gore i Dalmacije (ležišta boksita i gline kod Nikšića i druga);

- **uljni škriljci** su pelitske stene koje sadrže preko 10% organske materije, kerogena. To su tamnosive, tamnomrke ili žutomrke stene nastale u većim jezerima,

močvarama i plitkovodnim delovima šelfa. Kod nas su zapaženi u istočnom delu moravskog jezerskog basena i u nekim drugim neogenim jezerskim basenima Srbije.

Između glinaca i alevrolita postoje svi postupni prelazi:

- *alevroliti* mogu da sadrže do 50% pelitskih čestica,
- *glinoviti alevroliti* sadrže 50 - 75% glinovitih čestica,
- *alevrolitični glinci* sadrže 75 - 90% glinovitih čestica, i
- *glinci* sadrže 90 - 100% glinovitih čestica.

Gline su stene koje mogu, ako su čiste, predstavljati izvanredan materijal za industrijske potrebe. S druge strane, predstavljaju za građevinare veoma nepogodno tle za gradnju zbog osobine da ne propuštaju vodu. Na slojevima gline stvaraju se klizišta koja mogu da ugroze sve građevinske objekte. Nosivost glinâ je izuzetno mala, zapravo, ove stene podnose samo minimalna opterećenja. Zato se glinovita zemljišta pre gradnje elektrohemijski konsoliduju.

Pojave glinâ koje se koriste u industriji nisu retke u našoj zemlji. Vatrostalnih glinâ koje su sirovinna baza za industriju porcelana i elektroporcelana ima u selu Rudovci kod Arandelovca. Sloj gline deo je 3 - 11 metara i leži skoro horizontalno u pliocenskim sedimentima. Gline pripadaju kaolinitskom tipu, visoko su vatrostalne a rezerve su znatne.

U ležištu Metriš u Istočnoj Srbiji osnovni mineral je kaolinit uz koji se javljaju kao primese kvarc, muskovit, biotit, rutil, cirkon i dr. Ležište je obrazovano u priobalskom delu tercijarnog mora.

Razlaganjem granitske mase u laguni nastalo je kaolinitsko ležište Karačevo severno od Bujanovca. Step en kaolinizacije opada sa dubinom.

Keramičkih glinâ ima u kičevskoj oblasti u Makedoniji a glinâ ilitskog tipa kod Pehčeva, takođe u ovoj republici.

Bentonitskih glinâ ima na nekoliko mesta. Kod Petrovca na moru, gde su nastale alteracijom vulkanskih tufova trijask e starosti, na Vrdniku (Fruška gora), gde se bentonitske gline nalaze između slojeva uglja. U vreme dok je rudnik uglja bio aktivan glina se vadila kao sporedni produkt. Ove bentonitske gline su odličnog kvaliteta. Bentonitskih glinâ ima i u okolini Kumanova (Ginovci i Ranovac) i u zletovsko-kratovskoj oblasti.

5.2.8.2. Hemijske i organogene sedimentne stene

Sedimenti grupe hemijskih taloga nastaju obaranjem iz pravih ili koloidnih rastvora a materijal za njihovo stvaranje potiče iz *rastvora raspadanja*. Vreme taloženja ovih sedimentata i način stvaranja zavise od koncentracije rastvora, temperature, pritiska i dužine trajanja procesa.

Kod hemijskih sedimentata nema one proizvoljnosti u mineralnom sastavu koja se uočava kod klastičnih sedimentnih stena. Fretežno su izgrađeni od autigenih sastojaka koji se stvaraju kada i sama stena. Uslovi stvaranja stena razmatrani su ranije.

U hemijske taloge spadaju mnoge sedimentne stene. To su pojedine vrste krečnjaka, mermerni oniks, bigar, a zatim sedimenti sonih ležišta, silicijske sedimentne stene i gvoždavite sedimentne stene.

Organogeni, biogeni ili biohemijski sedimenti čine onu grupu sedimentnih stena u čijem sastavu dominantnu ulogu igra materijal biogenog porekla (organske materije ili anorganski delovi organizama). Ove stene najčešće su nastale akumuliranjem ljuštura mikro ili makroorganizama ili od ostataka biljaka. Pošto se nagomilavanje organogenog materijala u basenima najčešće vrši uz istovremeno taloženje drugih materijala iz vodenog rastvora, ispravnije ih je nazvati biohemijskim sedimentima.

Organogene stene nastaju kako *zoogeno* (od ostatka životinja) tako i *fitogeno* (od ostatka biljaka). Od zoogenih sedimenata najvažniji su, svakako, krečnjaci i dolomiti. Tu spadaju još i pisača kreda, silicijski sedimenti (siliciti) itd. Od fitogenih pomenimo dijatomejsku zemlju i druge.

U organogene (litogene) sedimente takode spada ugalj, a delimično i nafta i asfalt, ali o ovim stenama neće biti reči jer se one detaljno proučavaju u nauci o kaustobiolitima.

Pošto se hemijski sedimenti najčešće stvaraju zajedno sa biohemijskim, a katkad i smenjuju sa njima ove dve grupe stena prikazaćemo skupa.

Karbonatne stene

Karbonatne stene su pri sistematici sedimentnih stena izdvojene u posebnu grupu zbog velikog značaja koje imaju u građi Zemljine kore. Ove stene mogu pripadati grupi klastičnih stena, grupi hemijskih stena i grupi organogenih stena.

Krečnjaci

Krečnjaci su najrasprostranjenije karbonatne stene i jedne od najrasprostranjenijih sedimentnih stena uopšte. Katkad su čitave geološke formacije izgrađene samo od krečnjaka.

Pojavljivanje krečnjaka je raznovrsno. Mogu se javiti kao slojevi različite debljine (od tankopločastih do bankovitih krečnjaka) ili mogu biti neslojeviti kada ih nazivamo masivnim krečnjacima. Česte su nodularne i sočivaste teksture, kao i pojave stromatolita, tragovi kretanja crva itd. Uglavnom su jedri ili sitnokristalasti, kada im se zrna jedva vide golim okom. Prelom im je neravan a katkad i izrazito školjkast. Boja je različita u zavisnosti od primesa.

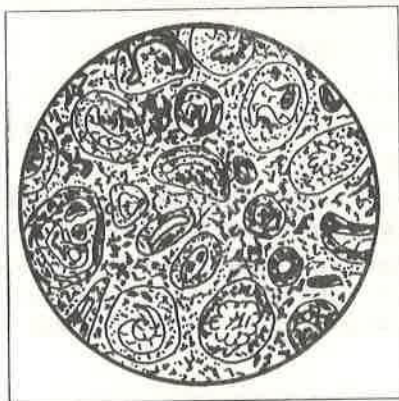
Sastavljeni su od *kalcita* ali su retko sasvim čisti. Obično sadrže hemijske primese gvožđa, mangana i magnezijuma, zatim primese gline, zrna peska, organsku materiju i drugo. Pošto se krečnjak lako rastvara u hladnoj sonoj kiselini (HCl), to se procenat nečistoća u njemu lako određuje na osnovu količine nerastvorljivog ostatka. Prema primesama krečnjake delimo na:

- *glinovite krečnjake*, sive ili sivobeke boje, sa do 5% glinovitih minerala;
- *laporovite krečnjake*, sive boje sa 5 - 25% glinovite supstance;
- *gvoždavite krečnjake*, sa sadržajem oksida gvožđa koji stenu pigmentiraju crvenkasto ili žuto;

- **manganovite krečnjake**, sa sadržajem mangana koji stenu boji plavičasto, zelenoplavo do sivo;
- **dolomitične krečnjake**, koji sadrže do 40% $MgCO_3$;
- **siliciozne krečnjake**, koji sadrže siliciju istaloženu u vreme stvaranja krečnjačke stene, tj. autigenu siliciju;
- **peskovite krečnjake**, koji sadrže zrna kvarca kao klastični komponent prinet u vreme stvaranja stene, tj. alotigenu siliciju;
- **bituminozne krečnjake** ili smrdljive krečnjake, sive do skoro crne boje koji sadrže organsku materiju.

Poseban slučaj predstavljaju silifikovani krečnjaci, koji sadrže manju ili veću količinu silicije, ali u vidu gnezdâ i mlazeva ili čak žilica, a koja je očigledno naknadno, posle dijageneze prineta u stenu hidrotermalnim rastvorima.

Krečnjaci, kao što je već rečeno, mogu nastati na više načina: kao hemijski sedimenti, kao organogeni sedimenti, kada nastaju uz aktivno učešće živih organizama i, najzad, kao rezultat mehaničkog raspadanja i pretaložavanja ranije stvorenih krečnjaka. Kao hemijski talozi stvaraju se i tzv. **litografski škriljci** (kriptokristalasti jasno uslojeni krečnjaci), zatim krečnjaci sonih ležišta i, uz manje ili veće učešće organizama, sprudni alohtoni krečnjaci (direktno izlučivanje karbonata iz morske vode). Organogeni krečnjaci redovno imaju ostatke fosila, u čiju ljušturu je ugrađivan kalcijum karbonat. Oni se u steni zapažaju nekada čak i makroskopski ali redovno mikroskopski. Ime dobijaju prema karakterističnom fosilu, *cefalopodski*, *brabiopodski*, *hipuritski*, *litotamnijski* i dr. (sl.48).



Sl.48. Organogeni krečnjak

Krečnjaci nastali kao mehanički talozi izgrađeni su obično od fragmenata, delimično ili potpuno zaobljenih, veličine najčešće zrna peska. Ovakve krečnjake prema američkoj terminologiji nazivamo **kalkarenittma**. Redje se javljaju krupnozrniji krečnjaci koji po dimenzijama zrna odgovaraju psefitima i koje nazivamo **kalkrudittma** ili sitnozrniji, pelitskih ili alevrolitskih dimenzija zrna, koji se zovu **kalklutitti**.

Američki autor Robert Folk (Falk, 1959) izvršio je klasifikaciju karbonatnih stena na sledeći način:

Krečnjake je podelio na jedanaest osnovnih tipova koje u bitnome izgrađuju tri osnovna komponenta:

- *alohemit*, koji pokazuju jasne tragove transporta (klastična krečnjačka zrna);
- *mikritski komponent*, mikrokristalasti kalcitski matriks veličine zrna od jednog do četiri mikrona, praktično predstavlja muljeviti matriks) i,
- *sparitski komponent* (sparitski kalcit), koji se u najvećem broju stena javlja kao cement koji ispunjava međuprostore a ponekad je nastao procesom rekristalizacije.

Krečnjaci se lako rastvaraju u kiselinama i to im je jedna od najvažnijih osobina po kojoj se na terenu lako razlikuju od ostalih karbonatnih stena, naročito od dolomita.

Primenjuju se u raznim granama privrede a stepen upotrebljivosti zavisi od čistoće mase, strukture, izgleda i načina pojavljivanja. Upotrebljavaju se u građevinarstvu, industriji gvožđa i čelika, poljoprivredi, hemijskoj industriji itd.

Krečnjak je dobar građevinski materijal. Jedri krečnjaci lepih boja upotrebljavaju se kao ukrasni kamen, naročito za pravljenje spomenika. Koriste se i kao kamen za zidanje zgradâ i za pravljenje kreča.

Krečnjak se dodaje kao topitelj u visokim metalurškim pećima pri topljenju gvožđa. Ovi krečnjaci prema zahtevima industrije treba da su što bogatiji kalcijom a moraju imati niske sadržaje magnezije, gvožđa, fosfora i sumpora.

U hemijskoj industriji koriste se samo visokokvalitetni krečnjaci kao i u industriji šećera gde sadržaj kalcijum karbonata mora biti veći od 95%.

U industriji stakla štetnim supstancama smatraju se oksidi gvožđa, mangana i hroma. U poljoprivredi se koriste trošni i meki krečnjaci i krečnjaci u mlevenom stanju.

U našoj zemlji krečnjaci su veoma rasprostranjeni. Ogromna područja Dinarida i Alpa, i u istočnoj Srbiji izgrađena su od krečnjaka, a ima ih i na drugim mestima. Najčuveniji kamenolomi za dobijanje građevinskog materijala nalaze se duž dalmatinske obale i na ostrvima. U livačke svrhe eksploatiše se krečnjak iz kamenoloma Popovac kod Paraćina i krečnjak sa obala Dunava kod Golupca itd.

Laporci

To su mešovite stene koje se jasno razlikuju od krečnjaka i po izgledu i po načinu pojavljivanja. Laporci su sitnozrne stene, žućkaste ili zelenkaste boje, koje se javljaju obično u slojevima male debljine. Najčešće su tankopločasti ili listasti. Javljaju se, međutim, katkada i kao debeloslojeviti (skoro masivni). Često se u njima sreće kuglasto lučenje.

Nekarbonatni deo u laporcima čine minerali glinâ - kaolinit, monmorijonit, ilit, a karbonatni deo kalcit ili rede dolomit (dolomitični laporci). Sporedni sastojci su isti kao kod krečnjaka.

Opisujući krečnjake rekli smo da one koji sadrže od 5 do 25% glinovite supstance nazivamo laporovitim. Prema odnosima ova dva komponenta, *karbonatnog i glinovitog*, izdvojeni su sledeći varijeteti - prema američkom geologu Petidžonu (Petijohn):

	% CaCO_3	glinoviti komponent
krečnjak	100 - 95 %	0 - 5 %
laporoviti krečnjak	95 - 75 %	5 - 25 %
vapnoviti laporac	65 - 75 %	25 - 35 %
laporac	35 - 65 %	35 - 65 %
glinoviti laporac	15 - 35 %	65 - 85 %
laporoviti glinac	5 - 35 %	85 - 95 %
glinac	0 - 5 %	95 - 100 %

Tehnička podela koja se koristi u industriji smatra laporcima stene sa 20 - 60% glinovitog komponenta, sa ponekad obaveznim obogaćivanjem rovne sirovine ili tufoznim ili karbonatnim komponentom.

Laporci se stvaraju u marinskim i jezerskim basenima uz istovremeno taloženje karbonatnog i glinovitog materijala.

Laporci se upotrebljavaju za dobijanje cementa. Nalazišta cementnih laporaca u našoj zemlji su u Ralji kod Beograda, na području Fruške gore kod Beočina, kod Novog Popovca, kod Denera Jankovića u Kačaničkoj klisuri, u okolini Splita (debelo bankoviti laporci) i kod Omiša, kod Trbovlja i Anhova u Sloveniji, kod Pljevalja u Crnoj Gori i na drugim mestima. Kod većine od navedenih mesta postoje i fabrike cementa (Beočin, Novi Popovac, Split, Denera Janković) a na drugima su u rekonstrukciji ili u gradnji. Time, međutim, nije iscrpna lista svih pojava cementnih laporaca, jer ovih stena, neophodnih za dobijanje toliko važnog građevinskog materijala, ima i na mnogim drugim mestima koja su u fazi ispitivanja.

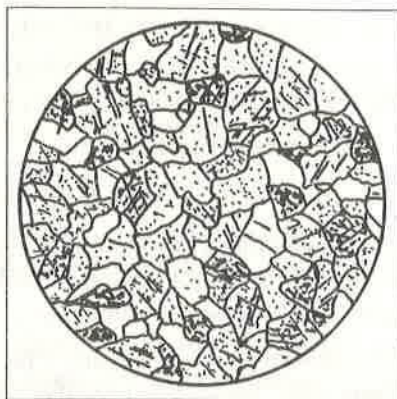
Dolomiti

Dolomiti su karbonatne stene izgrađene pretežno od minerala dolomita. Najvećim delom nastaju metasomatskim putem od krečnjaka. Imaju veliko rasprostranjenje i vrlo su često udruženi sa krečnjacima. Čisti dolomiti koji sadrže oko 45% MgCO_3 , vrlo su retki, dolomiti obično sadrže mnoge primese (sl.49).

Od krečnjaka se razlikuju po mlečno beloj boji i načinu raspadanja. Dolomiti se, naime, pri raspadanju lome u veoma sitne komade oštih ivica. Iako razlikovanje vrši se i pomoću sone kiseline jer su krečnjaci rastvorljivi a dolomiti nerastvorljivi u hladnoj razblaženoj HCl . Rastvaraju se tek u toploj kiselini sa penušanjem.

Prema primesama razlikujemo, kao i kod krečnjaka, *glinovite, laporovite, gvoždavite, bituminozne, silicijozne, peskovite i druge dolomite*.

Iako nastaju najčešće metasomatskim putem tokom dijageneze krečnjaka, postoje i dolomiti nastali direktnim taloženjem iz rastvora kao tipski hemijski sedimenti (obično u sonim serijama).



Sl.49. Dolomit (mikroskopski snimak)

Primena dolomita slična je primeni krečnjaka. Pečenjem se dobijaju razne vrste kreča. Služe i za spravljanje veštačkog đubriva i u hemijskoj industriji za dobijanje raznih magnezijских preparata.

Upotrebljivost u građevinske svrhe je daleko manja nego kod krečnjaka. U livačkoj industriji upotrebljivost je uslovljena procentom nečistoća.

Dolomiti se, kao i krečnjaci, u prostranim masama javljaju u Dinaridima i Alpima. Dolomita ima na Zlatiboru - područje Braneškog polja, kod Jarandola, Pranjana, Bosanskog Novog i na drugim mestima.

Bigar

Bigar je karbonatna stena koja se izlučuje iz vodenih rastvora sa sadržajem bikarbonata. Do izlučivanja dolazi usled gubitka ugljene kiseline. Bigar je hemijska sedimentna stena koja se stvara oko hladnih slatkih voda na mestima gde je vegetacija obilna. Izlučivanje kalcijum karbonata vrši se na taj način što biljke asimiliraju poluvezani CO_2 , a oko njih se izlučuje kalcijum karbonat koji ih oblaže. Zbog ovoga je bigar šupljikava stena i često ga nazivaju kalcijum karbonatni tuf. Bigar se stvara i oko vodopada, gde se iz vode, usled intenzivnog raspršivanja u sitne kapljice, gubi CO_2 , a taloži pelitomorfni kalcijum karbonat.

Bigar, ili kako ga u narodu nazivaju siga je neslojevitа stena šupljikave teksture. Kada je kompaktna i trakaste građe zove se travertin.

Prema mestu postanka bigar može biti *jezerski*, *rečni* i *izvorski*.

Bigar je kod nas dosta čest ali se javlja u manjim količinama. Ovaj čvrsti ali porozni materijal, koji predstavlja dobar građevinski kamen, lako se obrađuje i lako prima malter te se upotrebljava za gradnju kuća. Naročito je korišćen u gradnji naših srednjovekovnih manastira. Bigrovi lepих boja koji se dobro glačaju upotrebljavaju se kao arhitektonski kamen.

Pećinski nakit, stalaktiti i stalagmiti, koji se u karstnim pećinama stvaraju u toku veoma dugog vremenskog perioda takođe su vrsta bigra.

Izvorski bigar je rasprostranjen kod nas po obodu skopske kotline. Ima ga kod Katlanovske Banje i kraj Skoplja. Iz ležišta "Kučkovo" kod Skoplja rade se ploče koje se koriste i sada za oblaganje fasada. Bigra ima i u području Debra, blizu Ohrida, kod sela Boševa (Tikveš) i na drugim mestima.

Jezerskog bigra ima i na odsecima Kitke i kod Svetozareva.

Rečnog bigra ima kod manastira Bigar u okolini Pirota, zatim u selu Brasina u okolini Loznice, kod mesta zvanog Sige i u izvorišnom delu Ljiga.

Pojave bigra konstatovane su i kod Niške Banje.

Mermerni oniks

Ova stena je genetski vrlo slična bigru i sa bigrom je često i udružena. Postaje oko toplih i hladnih izvora čije vode sadrže kalcijum bikarbonat. Uglavnom je izgrađena od minerala *kalcita*, rede od *aragonita*.

Odlikuje se trakastom teksturom i veoma je jedra. Obično je prozirna u vrlo lepim bojama, najčešće žuta kao čilibar, žućkastozelena ili zelena, ili je pak crvenkasto bela ili siva, što zavisi od sadržaja gvožđa, mangana i magnezijuma u ovim stenama.

Vrlo se lako glača i upotrebljava se u dekorativne svrhe. Mermerni oniks predstavlja najskupoceniji luksuzni kamen za oblaganje i izradu kamene galanterije.

U našoj zemlji poznato je nekoliko nalazišta kvalitetnog mermernog oniksa. Najveće pojave su u okolini Tetova kod sela Leška. To je prozračan materijal sa vijugavim trakama koji podseća na ahat. Sivkasto bele je do zelenkaste boje. Sastoji se od kalcita i javlja se uz velike mase bigra. Sličan po kvalitetu i boji je i mermerni oniks iz sela Bogoslovca kod Svetog Nikole. Aragonitskog oniksa ima u mariovskom kraju. Lepe je mrkožute boje ali je krk i teško se obrađuje.

Mermernog oniksa ima kod sela Banjica u okolini Peći. Žućkaste je ili crvenkaste boje. Pojave mermernog oniksa su konstatovane na Venčacu kod Arandelovca i u Kreševu u Bosni. Kod Sijarinske Banje ima mermernog oniksa oko gejzira. Pojave se eksploatišu. Ovo mesto je, međutim, specijalno interesantno jer se i danas može pratiti stvaranje ove stene.

Pisaća kreda

Karbonatni organogeni sediment, veoma sitnozrn, jako porozan i higroskopan. Izgrađen je od mikroskopski sitnih karbonatnih ljušturica, foraminifera, čija veličina varira između 0,008 - 0,10 mm. Postaje u moru ali se može stvarati i u slatkim jezerima, kada su ostaci organizama retki i kada nastaje pretežno kao biohemijski ili hemijski talog.

Bele je boje, samo je od primesa često žućkasta, zelenkasta ili crvenkasta. Često sadrži zrna peska kao klastičnu frakciju. Osim toga, kao primeše u pisaćoj kredi sreću se i minerali glinâ i organska materija.

Obično je slojevita, ali se može javiti i u poluvezanim pa čak i rastresitim praškastim masama jer se lako drobi.

Pisaća kreda ima najraznovrsniju primenu. Najpre kao materijal za izradu krede za pisanje, kada se meša sa krečnim mlekom i pečenim gipsom da bi dobila čvrstinu, pošto je sama vrlo mekana. Upotrebljava se u fabricaciji gume i linoleuma, u pastama za zube, kao dodatak sredstvima za čišćenje i poliranje metala, za izradu kita i dr.

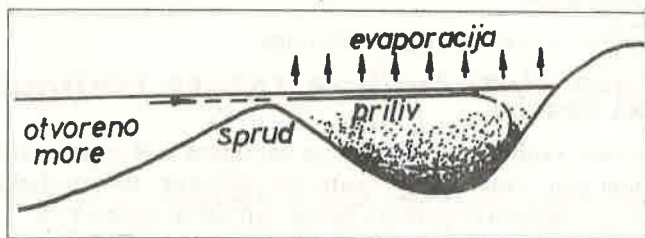
Najveće količine pisaće krede stvarane su u geološkom periodu kredi koji je po tome i dobio ime. Ekonomski najznačajnije pojave konstatovane su u Doveru u Engleskoj, u SSSR-u u području Bjelgoroda itd.

Kod nas je pisaća kreda malo rasprostranjena i uglavnom je lošeg kvaliteta. Nije stvarana u kredi nego je terciarne starosti. Pojave su konstatovane u okolini Titovog Užica i oko Kragujevca, kod Tutina, u Srpenici kod Bohinja i Radovni kod Blede, zatim manje pojave oko Bugojna, Donjeg Vakufa i Zvornika.

Naslage soli - evaporati

O naslagama soli detaljno će se govoriti u nauci o rudnim ležištima, stoga ćemo ih pomenuti samo u najkraćim crtama, kao članove grupe sedimentnih stena.

Naslage soli nastaju taloženjem iz rastvora i to obično u zatvorenim basenima i lagunama. Aridna i žarka klima ubrzavaju proces istaložavanja ovih stena. Obaranje iz rastvora nastupa kada se naglo poveća koncentracija rastvorenih soli u morskoj vodi - tj. kada priliv nove slane ili slatke vode bude slabiji od isparavanja (sl.50).



Sl.50. Stvaranje evaporata

Ležišta soli javljaju se u obliku slojeva ili izduženih sočiva. Često se preslojavaju sa glinama koje ih štite od naknadnog rastvaranja.

Najvažniji minerali sonih ležišta su halit (kuhinjska so), gips i anhidrit. Vrlo često se u sonim ležištima smenjuju slojevi halita sa slojevima gipsa i anhidrita. Redi su silvin, hloridi i sulfati kalijuma i magnezijuma.

Ležišta i pojave soli imaju u odnosu na ostale sedimentne stene malo rasprostranjenje. Praktičan značaj ovakvih stena je, međutim, veliki. Halit se upotrebljava u prehrambenoj industriji. Gips se koristi kao vezivni materijal, u hemijskoj industriji, poljoprivredi, industriji hartije itd.

Naslagâ anhidrita i gipsa ima u okolini Kragujevca, gipsa ima kod Debra i dolini Radike u Makedoniji a naslagâ soli u području Tuzle. Ležište soli u Tuzli ima oblik sloja u kojem leži deo glinovit proslojak. Debljina sloja kamene soli je ovde veoma promenljiva od 30 - 100 metara. Gipsa ima kod Prozora, Gornjeg Vakufa, Knina i Sinja.

Gvožđevite sedimentne stene

Ležišta gvožđa takođe se mogu stvarati kao tipske sedimentne stene. Hidroksidi i silikati gvožđa u obliku gela obaraju se obično kao ooliti. Na taj način mogu se formirati naslage ekonomskog značaja. Iz vodenih rastvora se pri povoljnim uslovima može izlučivati sitnoljuspasti hematit a u redukcionim uslovima iz vode koja sadrži CO₂ stvara se siderit.

U geosinklinalnim područjima prilikom intenzivnih submarinskih izlivanja bazičnih vulkanskih stena predaju se moru u vidu eskalacija velike količine gvožđa. Tako mogu nastati hematitske eskalaciono-sedimentna rudišta. Najverovatnije je da je na ovaj način formirano i jedno od naših najvećih rudišta gvožđa Vareš. Na sličan način formirana su i makedonska ležišta gvožđa Tajmište i Demir-Hisar (sideritsko-šamozitske rude gvožđa).

5.2.8.3. Silicijske sedimentne stene (siliciti)

Lidit ili silicijski škriljac

Lidit je dosta rasprostranjena sedimentna stena koju naročito često srećemo u paleozojskim stenama.

To je slojevita stena, najčešće tankopločasta, obično se smenjuje sa argilošistima (delimično metamorfisanim glinovitim stenama). Lidit je jedra i čvrsta stena. Preloma je ravnog i školjkastog. Obično je tamnosiva do crna jer redovno sadrži nešto neorganskih materija ali može biti mestimično i šarena, jer se u njoj katkad lokalno koncentrišu oksidi gvožđa.

Lidit je sitnozrni agregat kvarca koji je, sudeći po vlaknastim oblicima, najverovatnije lučen najpre kao kalcedon. Katkad sadrži i nešto opala, a kao primese organsku materiju i grafit.

Liditske stene su obično bogate i fosilima.

Dijatomejska zemlja

To je silicijski sediment organogenog karaktera koji se sastoji od veoma sitnih ljušturica i skeleta algi - dijatomeja. Često su, međutim, minerali glinâ, zrna peska, skeleti radiolarija i organska supstanca primešani ovom sedimentu.

Dijatomejska zemlja je meka, rastresita - slabo vezana stena, katkad i praškasta, koja po spoljnjem izgledu dosta podseća na pisaču kredu. Od nje se, međutim, lako razlikuje jer se ne rastvara u sonoj kiselini. Javlja se ponekad u slojevitim masama koje su često i trakaste.

Bele je boje, ali zbog sadržaja raznih primesa može biti žućkasta, zelenkasta, svetlosiva ili tamnosiva. Izvanredno je porozna i male zapreminske težine (0,4 -0,9). Stena je higroskopna, slabo provodi toplotu, zvuk i elektricitet i visoko je vatrostalna. Otporna je orema kiselinama.

Upotrebljava se uglavnom u izolacione svrhe. Za ove potrebe mora biti čista, sa sadržajem SiO_2 iznad 70% i malom zapreminskom težinom. Primenjuje se kao punilo u industriji hartije, gume, plastičnih masa, boja, lakova, sapuna, linoleuma, gramofonskih ploča.

U našoj zemlji pojave dijatomejske zemlje konstatovane su u selu Baroševac kod Lazarevca. U ovom nalazištu ona je bele boje i veoma čista, a debljina sloja iznosi 1,5 metar. Pojavâ dijatomejske zemlje ima i u ležištima Manastir, Premka, Pulić i Zović u marijovskom području i kod sela Vešje i Disan u negotinskom području SR Makedonije. Osim toga manje pojave zabeležene su u području Berova i Krive Palanke, ali sa visokim sadržajem gline. Dijatomejska zemlja konstatovana je i u okolini Zagreba.

Rožnaci

To su silicijske stene koje se u vidu konkreција, tankih slojeva ili proslojaka, redce banaka javljaju u marinskim glinovitim, laporovitim i karbonatnim sedimentima i vulkanoklastičnim stenama.

Rožnaci su kompaktne, jedre stene vrlo različite boje. Od primesa gvožđa, koje su obično neravnomerno rasporedene u steni, dobijaju žutu, smeđu, crvenkastu, žutomrku ili crvenomrku boju. Primeše mangana stenu boje zelenkasto ili plavozele-no. Glinoviti komponent u steni pigmentira sivo, a komponent titana zelenkasto. Samo su retko rožnaci beli i svetlosivi a često mogu biti šareni.

Sastoje se od nekoliko minerala silicijske kiseline, *opala, kalcedona ili kvarca*. U njima možemo naći mnogo ostataka mikroorganizama kao što su radiolarije i silicispongije.

Najveće količine rožnaca stvaraju se u vreme submarinskih izlivanja bazaltoidnih lavâ. Tom prilikom se morskoj vodi predaju velike količine silicije koju organizmi koriste za stvaranje ljuštura, ili se obaraju kao hemijski talog.

U našoj zemlji najčešće ih srećemo u okviru stena vulkanogeno sedimentnih formacija stvaranih u trijasu i juri u Dinaridima. Ove se formacije zbog obilja rožnaca u njima i nazivaju porfirit-rožnačka i dijabaz-rožnačka (prva je trijaske a druga jurske starosti).

5.2.9. Hemijski sastav sedimentnih stena

Sedimentne stene u najvećem broju slučajeva imaju jednostavan hemijski sastav - jednostavniji od magmatskih stena. Sa druge strane, pak, treba napomenuti da sedimenti u odnosu na magmatske stene nemaju stalnost hemijskog sastava. Ovo naročito važi za klastične sedimente koji materijal katkad prikupljaju sa vrlo različitih terena i stoga imaju izrazito heterogen sastav.

Tabela 3. Hemijski sastav nekih važnijih grupa sedimentnih stena

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	47,42	0,41	0,48	97,02	55,70	82,80	13,00
TiO ₂	0,54	-	-	-	0,60	-	nd.
Al ₂ O ₃ , 35,62	0,57	0,24	1,16	13,27	2,70	2,50	
Fe ₂ O ₃ , 1,89	0,45	0,36	0,82	5,10	1,00	0,75	
FeO	0,10	-	-	-	-	0,31	0,75
MnO	tr.	-	-	-	-	0,01	nd.
MgO	0,94	2,12	20,90	0,24	2,37	1,28	1,28
CaO	0,64	52,89	30,57	0,48	7,15	2,93	45,45
Na ₂ O, 0,93	-	-	-	1,51	0,50	1,86	
K ₂ O	0,18	-	-	-	2,27	2,61	1,86
H ₂ O	11,83	0,61	tr.	0,22	3,20	4,80	34,00

1. Kaolinitska glina Rudovci

2. Krečnjak iz Rupeljeva (po M. Illiću)

3. Dolomit iz Polumirra (po M. Illiću i S. Karamati)

4. Kvarcni pešćar (po J. Pamiću)

5. Les (po J. Pamiću)

6. Rožnac (sa Bjelasice, Crna Gora)

7. Laporac - Rajja (po M. Illiću)

Sedimentne stene mogu da budu izgrađene uglavnom od jednog minerala (monomineralne stene) ili mogu da predstavljaju agregat više minerala - polimineralne stene. Broj monomineralnih stena pri tome je među sedimentima mnogo veći i rasprostranjeniji nego kod magmatskih stena. Kao primer možemo navesti veoma rasprostranjene monomineralne sedimentne stene kao što su krečnjaci, dolomiti, kvarcni pesak, neki peščari, silicijske stene i mnoge druge. Monomineralne stene su pri tom mnogo češće kod hemijskih i biohemijskih sedimenta nego kod klastičnih. Ove stene stoga u bitnome i imaju veoma prost hemijski sastav.

Neke klastične stene, međutim, imaju veoma kompleksne i raznolike hemijske sastave pošto sastav ovih stena zavisi od vrste fragmenata i njihove heterogenosti, od vrste vezivne mase, od količinskih odnosa fragmenata i vezivne mase, itd. To se naročito odnosi na konglomerate, grauvake, neke peščare, laporce, gline i druge slične sedimentne stene.

5.2.10. Sedimentacione sredine

Pod pojmom sedimentacione sredine podrazumevamo područje u kojem se stvaraju sedimentne stene. Svaka sedimentaciona sredina okarakterisana je određenim sedimentacionim uslovima, što se neposredno odražava na vrstu ili strukturno-teksturne karakteristike jedne sedimentne stene.

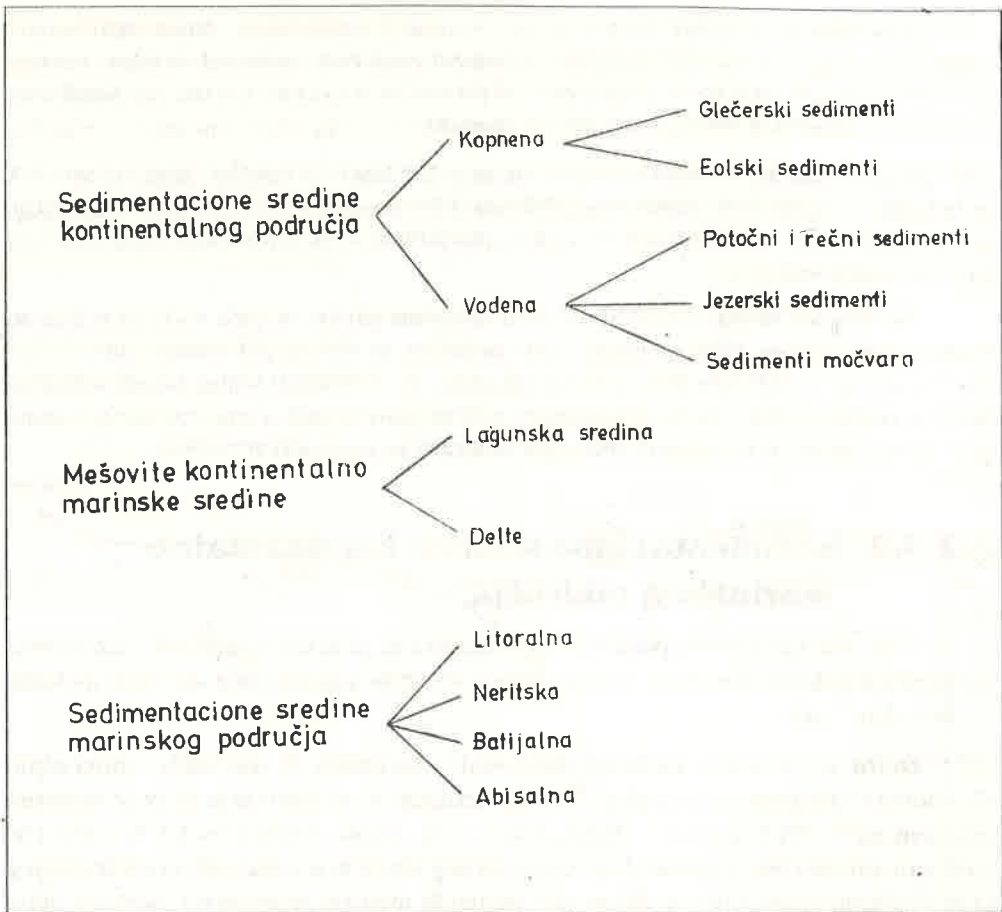
Najveći deo sedimentnih stena formira se u vodenoj sredini, i to u morima, a samo jedan mali deo ovih stena na kopnu.

Postoji više podela sedimentacionih sredina. Mi ćemo, međutim, prihvatiti šemu S. Karamate po kojoj razlikujemo tri tipa sedimentacionih sredina (sl.51):

5.2.10.1. Sedimentacione sredine kontinentalnog područja

Površina na kojoj se vrši deponovanje materijala leži regionalno iznad nivoa mora. Sedimentacione sredine ovog područja dele se na *kopnene* i *vodene*, u zavisnosti od toga da li je istaložavanje nastalo posle transporta vetrom i ledom ili posle transporta vodom. U prvom slučaju imamo mehaničke taloge ostatka raspadanja a u drugom slučaju kombinovane delom mehaničke a delom hemijske taloge.

Glacijalni sedimenti stvarani su u uslovima niskih temperatura (nivalna klima) uz skoro potpuno odsustvo organskih aktivnosti. U toku putovanja materijal je trpeo samo mehanička drobljenja te su fragmenti neklasirani, tj. stena je neslojevita i naglo se završava.



Sl.51. Sedimentacione sredine

U geološkoj prošlosti glečerske oblasti su zauzimale velika prostranstva (i kod nas - Šara, Prokletije, Durmitor i druge oblasti). Danas su, međutim, ograničene na polarna područja te je i stvaranje ovakve vrste sedimenata ograničeno.

Eolski sedimenti vezani su pretežno za pustinjske, polupustinjske i stepске oblasti (aridna klima). Materijal je transportovan vetrom, vrlo je sitnozrn i uglavnom nije hemijski razaran. Otuda u ovim stenama nailazimo i na hemijski neotporne minerale. Transportna energija vetra postepeno opada usled čega se u procesu deponovanja vrši i granulometrijska klasifikacija. Kosa slojevitost je česta karakteristika ovih sedimenata. Kod nas ovakvih sedimenata ima u Vojvodini, Mačvi, Semberiji, Deliblatskoj peščari itd.

Potočni i rečni sedimenti izgrađuju aluvijalne tvorevine i stvaraju se kako u rečnim koritima (stalno), tako i u vodoplavnim terenima (povremeno). Materijal se transportuje vodom i pri transportu se usitnjava i hemijski dalje razara. Sedimenti su pretežno klastičnog karaktera, ređe i lokalno hemijsko-organogenog. Pojavljuje se i normalna i kosa slojevitost a materijal je slabo klasiran do klasiran. Slojevi rečnih sedimenata naglo menjaju debljinu i često naglo isklinjavaju.

Jezerski sedimenti su klastični, hemijski i organogeni. Vrste sedimentata prisutne u nekom jezeru kao i njihov prostorni raspored zavise od: veličine basena (jezera), intenziteta kretanja vode u njemu, prozračnosti jezera, karaktera prinošenog materijala, klimatskih uslova i pH vrednosti vode.

U priobalnim zonama jezera stvaraju se gruboklastični i peskoviti sedimenti dok se hemijski i organogeni formiraju u dubljim delovima jezera. Sedimenti su sortirani, dobro uslojeni a prostiru se obično po celoj površini basena. U jezerima aridnih oblasti sreću se i soni sedimenti.

Sedimenti močvara stvarani su u uslovima plitke, stajaće vode sa relativno bujnom vegetacijom. Voda je slatka, rede brakična, sa niskim pH vrednostima (slabo kisela sredina) i izraženim redukcionim karakterom. Sedimenti koji se talože u močvarama su čestice praha i mulja donesene sa strane, rastvori soli u anacrobnim uslovima i ostaci vegetacije. U recentnim uslovima močvare su područja tresetišta.

5.2.4.2. Sedimentacione sredine kontinentalno marinskog područja

Prelazno (mešovito) područje okarakterisano je sedimentacionim sredinama prelaznog karaktera između kontinentalnog i marinskog područja u uslovima mešanja slatke i slane vode.

Delta je područje mešanja aluvijalnih, marinskih ili jezerskih i priobalnih sedimentata i predstavlja kompleksnu sedimentacionu sredinu koja je pod složenim uticajem mehaničkih energija rečnog toka, vetra, talasa, plime i oseke. Sedimentne tvorevine variraju od krupnozrnog do sitnozrnog klastičnog materijala kombinovanog sa neklasiranim tvorevinama. Uslovi sedimentacije menjaju se usled premeštanja delte i promena nivoa mora te su česta nagla smenjivanja materijala po granulaciji i kosa pa katkad i talasasta slojevitost.

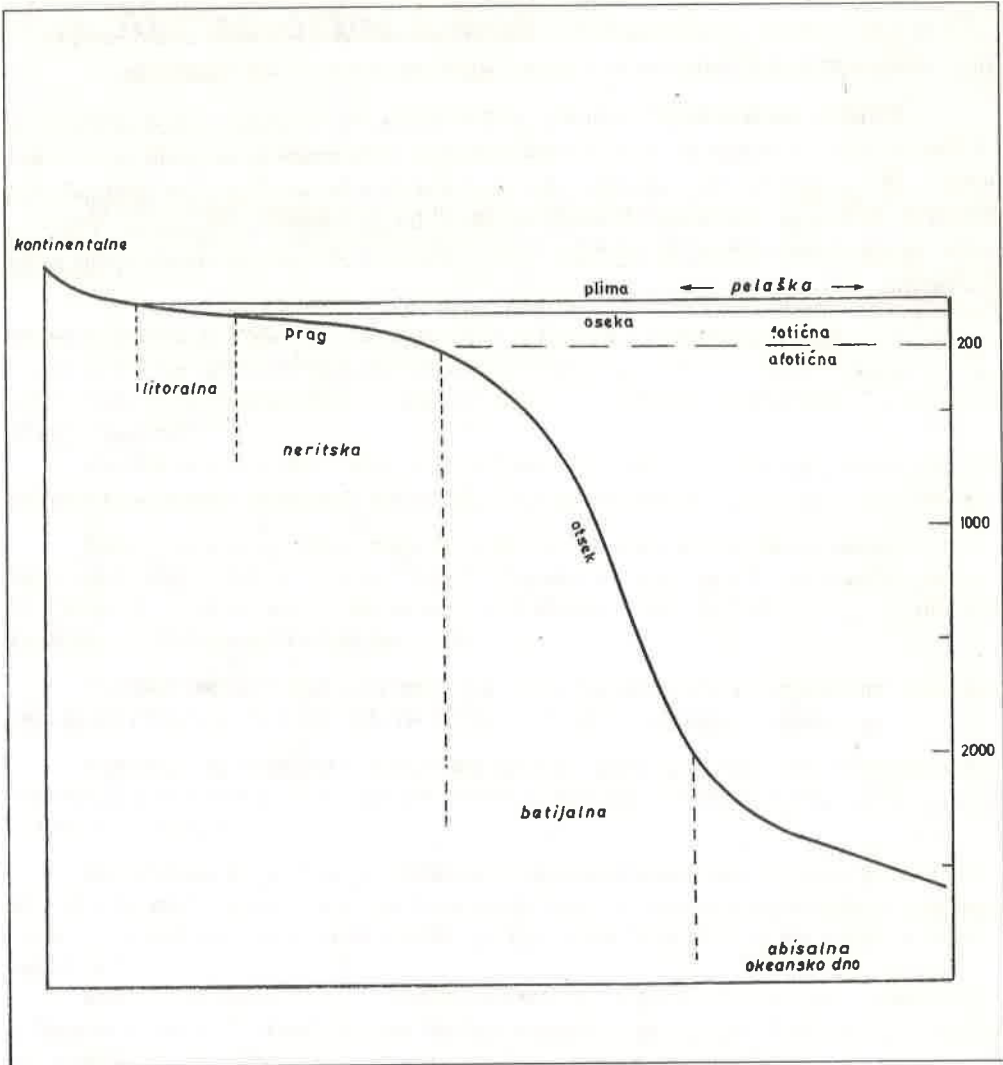
Lagunska sredina specifična je za lagune - plitke priobalne delove mora odvojene od otvorenog mora nekom prirodnom barijerom (sprud ili ostrvo). Lagune su stalno ili povremeno u vezi sa morem (za vreme plime, bure). Sa kopna se u lagune prenosi terigeni materijal i slatka voda a povremeni priliv morske vode pojačava stepen hemijske aktivnosti sredine. Isparavanje vode u lagunskim sredinama relativno je brzo, i stoga su one izvanredno povoljna područja za formiranje sonih ležišta (evaporiti). Osim soli, u lagunskoj sredini taloži se i fini mulj neorganskog i organskog porekla. Naročito su za ovo poslednje pogodni dublji delovi laguna, koji, zbog odsustva kisonika, omogućavaju stvaranje sedimentata bogatih organskim materijama.

5.2.10.3. Sedimentacione sredine marinskog područja

Marinska područja, kao oblasti u kojima se vrši sedimentacija, mnogo su značajnija od kontinentalnih regiona, kako po veličini, tako i po količini sedimentnih tvorevina. Druga važna karakteristika je geološka trajnost stvorenih sedimentata o kojoj retko možemo govoriti u kontinentalnoj sredini.

U marinskim sredinama stvaraju se sve vrste sedimenata, klastični, hemijski i organogeni. Pošto marinska sredina omogućava dobro sortiranje materijala, sedimenti su dobro klasirani po krupnoći i u najvećem broju slučajeva dobro uslojeni. Marinski sedimenti mogu imati značajno prostiranje i veliku (često stalnu) debljinu.

U marinskom području razlikujemo: *litoralnu zonu*, *neritsku zonu*, *batijalnu* i *abisalnu zonu*. Raspored navedenih zona prikazan je na sl. 52.



Sl.52. Marinske sedimentacione sredine

Litoralna zona ima, prema nekim autorima, karakter prelazne zone. Ona se prostire između područja maksimalne plime i minimalne oseke. Okarakterisana je snažnim radom talasa koji pokreću detritični materijal. Područje je širine do stotinak metara i u njemu nastaju grubozrni pesak i šljunak, ali se takođe mogu stvarati i neke vrste glinâ, zatim hemijski i organogeni sedimenti. Teksture stena su često talasaste.

Neritska zona ima izgled široke trake paralelne sa obalom mora, a prostire se od najniže oseke do dubine od oko 200 metara. Ovo je ujedno i granica prodiranja svetlosti. Tu se deponuju psamitski do pelitskih sedimenata i krečnjaci. Neritska zona smatra se jednom od najvažnijih sedimentacionih sredina. Procenjuje se, na primer, da se oko 80% sedimenata opšteg geološkog stuba stvaralo baš u geološkoj sredini neritskog sedimentacionog područja.

Batijalna zona obuhvata područje kontinentalnog odseka između dubinâ od 200 do 2000 metara. Sedimenti finih granulacija, karbonatni i bituminozni sedimenti (ako je sredina redukciona) su najvažnije tvorevine ove zone sedimentacije.

Abisalna zona zahvata područje sedimentacije sa dubinama ispod 2000 metara. Najvećeg je prostranstva. U abisalnim uslovima sedimentacije stvaraju se dubokomorski glinoviti sedimenti i silicijski organogeni sedimenti taloženi pod ujednačenim uslovima. Oni dugo vremena ne bivaju menjani. Imaju veliko prostranstvo, relativno malu debljinu, što s obzirom na dugo vreme taloženja ukazuje na veoma spori priliv materijala.

5.3. Metamorfne stene

Termin *metamorfizam* uveo je Čarls Lajl (Charles Luell) 1860. godine koji je tako nazvao promene u sedimentnim stenama, koje sa dubinom postepeno prelaze u škriljce.

Pod metamorfizmom se podrazumeva niz fizičko-hemijskih procesa u steni nastalih u uslovima drugačijim od onih pri kojima je ona stvarana. Stene se prilagođavaju novim uslovima menjajući svoj mineralni sastav i sklop (strukturu i teksturu). Najvažniji faktori preobražaja su *pritisak, temperatura i prisustvo fluida i gasova.*

Procesi koji se odigravaju na Zemljinoj površini ili na relativno maloj dubini, dejstvo atmosferilija, leda, soli, uticaja klime itd. isključuju se iz procesa metamorfizma.

Intezitet metamorfnih promena zavisi od pritiska, temperature, sastava stene, njene strukture i teksture. Sve stene nisu podjednako osetljive na metamorfne promene. Stoga je u pojedinim stenama ponekad veoma teško, ili čak nemoguće, utvrditi početak i stepen metamorfnih promena.

Sedimentne stene su uglavnom osetljivije na uticaj metamorfizma od magmatskih stena obzirom da su nastale na nižim pritiscima i temperaturama.

Metamorfne stene nastale od magmatskih stena nazivamo *orto metamorfnim stenama* a metamorfne stene nastale preobražajem sedimentnih stena nazivamo *para metamorfnim stenama*.

Ako je neka magmatska ili sedimentna stena samo delom metamorfisana (kada se uočavaju reliktnе strukture, pri čemu nema većih promena u mineralnom sastavu) onda se na ime primarne stene dodaje prefiks *meta* - (na primer *metapešćar, meta-gabro* itd.).

Kako je osnovni princip metamorfizma prilagođavanje stene novonastalim uslovima on podleže i određenim fizičko-hemijskim zakonima. Pomenućemo samo one koji su neophodni za osnovna shvatanja procesa metamorfizma.

Volumni zakon: *pri povećanju pritiska povećava se i stabilnost minerala manjeg molekulskog volumena, tj. njihove veće gustine.*

Osetljivost minerala na pritiske usko je povezana sa njihovim molekulskim volumenom. Hemijski komponenti (silicija, aluminija itd.) koji ulaze u sastav minerala imaju maksimalne i minimalne molekulске volumene. Sabiranjem svih maksimalnih ili minimalnih volumena oksida koji ulaze u sastav nekog minerala dobijamo maksimalni ili minimalni volumen datog minerala.

Ako mineral u prirodi ima molekulski volumen veći ili blizak maksimalno izračunatoj vrednosti, to znači da mu je kristalna rešetka jako razredena, tj. da je stabilan samo pri malim pritiscima. Ove minerale srećemo u vulkanskim magmatskim stenama, kod kontaktno metamorfnih stena (saniklin, kordijerit, andaluzit itd.).

Ako je izmereni molekulski volumen nekog minerala manji ili blizak minimalno izračunatom molekulskom volumenu, to znači da je njegova rešetka zbijena, tj. da su oni stabilni i pri veoma visokim pritiscima (u ovu grupu minerala spadaju Mg-Fe granati, disten, staurolit itd.).

Ako je pak izmereni molekulski volumen nekog minerala između maksimalno i minimalno izračunatog on je stabilan na različitim pritiscima, te pripada grupi "indiferentnih" minerala (feldspati, silimanit, volastonit itd.).

Rikeov princip: *rastvorljivost čvrstih tela povećava se pod uticajem pritiska.* Stoga je rastvorljivost mineralnih zrna u pravcu dejstva pritiska znatno veća nego u ostalim pravcima, dok je rast minerala ubrzan u pravcu upravnom na pritisak. Na taj način zrna dobijaju izdužen, pločast ili sočivast oblik čija je orijentacija upravna na pritisak. Svakako treba napomenuti da je pri dejstvu jakih usmerenih pritisaka često narastanje pojedinih zrna dok se neka resorbuju, što zavisi od njihovog položaja u odnosu na pravac dejstva pritiska.

Gipsovo pravilo faza određuje koliko minerala može biti prisutno u steni pri određenim **PT** uslovima. Ono glasi da *u steni, pri stabilnoj ravnoteži, mora biti onoliko minerala koliko ona sadrži osnovnih komponentata* (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO itd.).

Pojedini minerali, zbog sporosti preobražaja mogu biti prisutni i u uslovima pod kojima oni nisu stabilni. Oni, međutim, nisu obuhvaćeni Gipsovim pravilom faza.

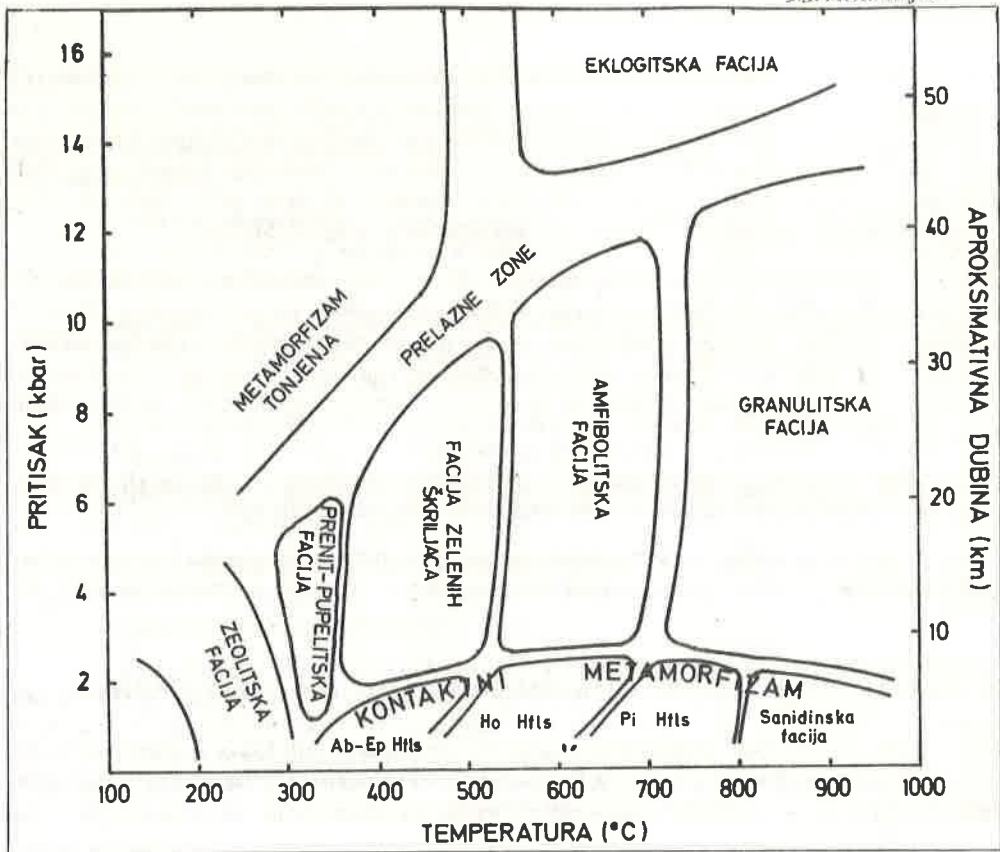
5.3.1. Vrste metamorfizma

Klasifikaciji i definiciji različitih tipova metamorfizma posvećuje se posebna pažnja.

Nagli razvoj petrologije metamorfnih stena poslednjih godina (naročito eksperimentalne) uslovio je znatno bolje razjašnjavanje pojedinih metamorfnih procesa usled čega se postojeće klasifikacije metamorfnih stena menjaju ili stvaraju nove (sl.53).

U Zemljinoj kori stene su usled temperaturnog gradijenta manje ili više zagrejane a zbog težine gornjih slojeva litosfere izložene različitim pritiscima. Često usled tektonskih pokreta dolazi do daljeg povišenja pritiska i temperature usled čega se vrši preobražaj stena i to na velikim područjima. Ovaj metamorfizam se naziva **regionalni dinamotermalni metamorfizam**.

Temperature u ovom metamorfizmu kreću se od 200° do 800°C a pritisak od 2-10 kbar. Usmereni pritisak (stres) ima značajnu ulogu samo u gornjim delovima litosfere.



Sl.53. Polja stabilnosti različitih metamorfnih facija na osnovu P-T stabilnosti pojedinih metamorfnih minerala.

Oznake:

Ab-epHfIs, albit-epidot hornfels facija

HoHfIs, hornblenda hornfels facija

PiHfIs, piroksen hornfels facija

Kada pritisak i temperatura dovoljno porastu u okviru ovog metamorfizma može doći i do delimičnog ili potpunog stapanja pojedinih vrsta stena koje se nazivaju *migmatiti*. Ova vrsta metamorfizma gde dolazi do stapanja stena naziva se **ultrametamorfizam**.

Postoji, međutim, metamorfizam koji je inverzan prethodno opisanim. Naime kada metamorfna stena koja je nastala u područjima visokih pritisaka i temperatura dođe u pliće nivoe gde vladaju niži pritisci i temperature, ona se menja prilagođavajući se novim uslovima; tada se formira mineralna asocijacija specifična za uslove nižeg stepena metamorfizma. Ovaj tip metamorfizma naziva se **retrogradni metamorfizam** ili **dijastoreza**.

Metamorfizam tonjenja vezan je za geosinklinalna područja ali ga srećemo i na platformama. Stene postepeno tonu u područja gde vladaju visoki pritisci dok se temperatura srazmerno ne povećava kao kod regionalnog metamorfizma (ona maksimalno dostiže oko 400-450°C).

Metamorfizam stena vezan za neposrednu blizinu tektonskih zona (raseda) naziva se **kataklastični metamorfizam**. Mehanička drobljenja stena osnovna su karakteristika ovog tipa metamorfizma.

Metamorfizam okeanskog dna javlja se u području riftnih zona. Usled širenja okeanskog dna (tzv. spredinga) stvaraju se različite pukotine duž kojih morska voda vrši promenu stena (uglavnom bazalta). Najčešće alteracije su formiranje monmorijonitskih glina koje su nastale devitrifikacijom stakla, zatim stvaranje kalcita i pojedinih minerala iz grupe zeolita itd. Svakako treba napomenuti da se pri ovom procesima mogu stvoriti i ekonomski interesantne koncentracije Cu, Ni, Mn itd.

U poglavlju o magmatskim stenama napomenuli smo da sve veće pokrete u Zemljinoj kori prate i magmatske stene. Prilikom intrudovanja (utiskivanja) magmi ili njenim izlivanjem ona dolazi u kontakt sa okolnim stenama pri čemu predaje toplotu okolnim stenama a u nekim slučajevima vrši se i razmena materije što zavisi od hemijskog sastava magme i okolnih stena. Ovaj tip metamorfizma naziva se **kontaktni metamorfizam**.

Kada su stene izložene uticaju hidrotermalnih rastvora one se takode menjaju. Ovaj tip metamorfizma naziva se **hidrotermalni metamorfizam**.

Ako je konsolidovana stena izložena uticaju *sopstvenog ostatka rastopa, odnosno lakotsparljivih sastojaka* ovaj tip metamorfizma naziva se **autometamorfizam**.

5.3.1.1. Regionalni dinamotermalni metamorfizam

Pod regionalnim dinamotermalnim metamorfizmom ili kraće *regionalnim metamorfizmom* podrazumeva se niz procesa koji se odvijaju u jednom području Zemljine kore a koji su posledica povišenih pritisaka i temperatura.

Pritisaci u regionalnom metamorfizmu mogu biti vrlo visoki, do nekoliko desetina kbara a temperatura i do iznad 800⁰C

Temperatura u regionalnom metamorfizmu raste sa dubinom i njen porast je određen temperaturnim gradijentom koji ponekad može biti veoma strm usled tektonskih pokreta ili intruzija magmatskih masa koje okolnim stenama predaju velike količine toplote.

U regionalnom metamorfizmu razlikujemo dve vrste pritisaka, *hidrostatički*, koji je posledica dubine na kojoj se vrši metamorfizam stena (opterećenje gornjih slojeva) i *stres*, koji je posledica dejstva orogenih sila.

U *plićim* delovima Zemljine kore pritisci se *prenose usmereno* te uticaj *stresa* preovlađuje. U *dubljim* delovima pak, pritisak se *ravnomerno prenosi* u svim pravcima te je uglavnom *hidrostatički*.

Mineralni sastav metamorfnih stena je u neposrednoj vezi sa temperaturom i pritiskom na kojima su one nastale. Stene stvorene u plićim nivoima Zemljine kore imaće minerale stabilne na stres i relativno niske temperature a koji će, idući ka dubini biti zamenjivani mineralima veće gustine, stabilnim na višim pritiscima i temperatura.

U regionalno metamorfnim stenama od posebnog značaja je ispitivanje stepena metamorfizma određenog područja koje nazivamo zoneografskim ispitivanjima.

Procesi i uslovi metamorfizma stena u stalnom su proučavanju tako da se zoneografski sistemi (klasifikacije metamorfita po stepenu i tipu metamorfizma) stalno dopunjavaju menjaju ili stvaraju novi. Stoga ćemo dati kratak prikaz samo onih klasifikacija koje se u nas najčešće koriste.

Zoneografski sistem Baroua i Tilija

Na osnovu ispitivanja metamorfnih stena u Škotskoj ovi autori su na osnovu takozvani *indeks minerala* karakterističnih za pojedine zone izvršili podelu regionalnog metamorfizma na:

- **bloritsku zonu** u kojoj je temperatura malo povišena, pritisak usmeren. Zona obuhvata stene od *prve pojave blorita do prve pojave biotita*. Ostali značajniji minerali ove zone su *sericit, albit, epidot itd;*
- **biotitsku zonu** u kojoj su pritisak i temperatura nešto viši. Obuhvata stene od *prve pojave biotita do prve pojave almandina*. Ostali značajni minerali su intermedijarni plagioklas, hornblenda, spesartin itd;
- **almandinsku zonu** koja je zona jačeg metamorfizma. Karakteriše se pojavom almandina i obuhvata stene *do pojave staurolita i distena;*
- **staurolitsku i distensku zonu** koja odgovara jakom metamorfizmu. Indeks minerali su *staurolit i disten i*
- **silimanitsku zonu** u kojoj je metamorfizam veoma jak, temperatura visoka a pritisak usmeren ili hidrostatički. Indeks mineral je *silimanit*, uz njega dolaze *ortoklas, pirokseni itd.*

Zoneografija Baroua i Tilija često se upotrebljava pri kartiranju. Ona, međutim, ima svojih nedostataka jer su karakteristični minerali uglavnom stres minerali te se ova podela može primeniti samo u terenima metamorfsanim pod uticajem ove vrste pritiska. Osim toga navedeni minerali nastaju uglavnom metamorfozom glinovitih stena koje su pri niskom i srednjem stepenu metamorfizma veoma osetljive, dok pri uslovima visokih pritisaka i temperatura pokazuju male promene.

Zoneografski sistem mineralnih facija (po Eskoli)

Ovaj sistem bazira se na podeli metamorfizma prema fizičko-hemijskim uslovima bez obzira na dubinski nivo. Eskola je u svojoj podeli obuhvatio pored regionalno metamorfnih i kontaktno metamorfne stene.

Nagli razvoj petrologije metamorfnih stena poslednjih godina korigovao je područja stabilnosti pojedinih "kritičnih" minerala usled čega su facije koje je dao ovaj autor "pomeren". Obzirom da se u našoj starijoj stručnoj literaturi veoma često koristila Eskolina podela facija metamorfnih stena, prikazaćemo je u narednom tekstu.

Mineralna facija obuhvata stene stvorene pod sličnim PT uslovima pri čemu je samo određen hemijski sastav stene uslovio i stvaranje određene asocijacije metamorfnih minerala. U klasifikaciji mineralnih facija svako određeno polje pritiska i temperatura ima odgovarajuću mineralnu asocijaciju u zavisnosti od osnovnog (primarnog) sastava stene koji je menjan.

Svaka od facija ima i svoje subfacije koje se karakterišu užim intervalima pritiska i temperatura:

- **facija zelenih škriljaca** obuhvata stene metamorfisane pri niskim temperaturama i relativno niskim pritiscima. Karakteristični minerali ove facije su *albit, muskovit, blorit, serpentin, talk, kalcit, dolomit, aktinolit itd;*
- **epidot-amfibolitska facija** obuhvata stene stvorene pri nešto povišenim pritiscima i temperaturama u odnosu na predhodnu faciju. *Prvo pojavljivanje biotita ukazuje na početak ove facije. Karakteristični minerali su blorit, epidot, biotit, aktinolit, almandin, hornblenda itd. Pojava bazičnijeg plagioklasa označava početak amfibolitske facije;*

- **amfibolitska facija** obuhvata stene nastale pri visokim pritiscima i temperaturama. Kao kritični minerali u ovoj faciji javljaju se *amfiboli (hornblenda)* i *intermedijarni plagioklas*. Karakteristični minerali u stenama ove facije su *hornblenda, andezin, diopsid, piro, almandin, staurolit, disten* itd;
- **granulitska facija** obuhvata stene nastale na visokim pritiscima i temperaturama. Karakteristični minerali su *granati, disten, silimanit, plagioklast, ortoklas, diopsid, bipersten* itd;
- **facija glaukofanskih škriljaca** karakteriše se *niskim temperaturama i vrlo visokim pritiscima*. Specifične mineralne asocijacije ove facije su: *glaukofan, lawsonit, jadeit, aragonit, ribekit* itd.

U okviru *kontaktnog metamorfizma* Eskola izdvaja sledeće facije:

- **albit-epidot-hornfels facija** kojoj pripada *spoljna zona kontakta*. Karakteriše se niskim do srednjim temperaturama i niskim pritiscima. Karakteristična mineralna asocijacija za ovu faciju je *albit, epidot, kalcit, blorit, tremolit, pirofilit, sericit* itd;
- **hornblenda-hornfels facija** odgovara *srednjoj zoni kontakta* gde vladaju srednje do visoke temperature dok je pritisak mali. Karakteristični minerali su *intermedijarni plagioklas, grosular, diopsid, kordijerit, andaluzit, biotit, muskovit, volastonit* itd;
- **piroksen-hornfels facija** obuhvata *stene sa samog kontakta* gde su visoke temperature (uz niske pritiske što je i karakteristika ovog metamorfizma). Karakteristična mineralna asocijacija je *bazični plagioklas, biotit, diopsid, enstatit, bipersten, korijerit, andaluzit, ortoklas* itd;
- **sanidinitaska facija** obuhvata stene koje su nastale na *vrlo visokim temperaturama, iznad 800⁰C i veoma niskim pritiscima*. Stvara se na *kontaktnu lave i podloge ili na obodima vulkanskih kanala*, kada je zagrevanje a zatim hlađenje veoma brzo.

Navedena klasifikacija se često koristi zbog svoje preglednosti. Ona, međutim, obuhvata samo stene nastale pri pravilnom regionalnom metamorfizmu.

Barovijan tip facije serija

Proučavajući regionalno metamorfne stene različitih područja Mijaširo (1961.) je zapazio da one često odskaku od navedenih podela koje su definisali Eskola, Barou i Tili itd. Stoga je ovaj autor definisao *faciju serija* koja predstavlja *određeni lokalitet sa određenom asocijaciom metamorfnih minerala* tj. da stene sa jednog užeg metamorfnog područja imaju određenu asocijaciju metamorfnih minerala karakterističnu za taj lokalitet.

Mijaširo je za osnovu svoje klasifikacije uzео indeks minerale Baroua i Tilija (u čast Baroua ovaj metamorfizam je i nazvao Barovijan tip metamorfizma) deleći ga na sledeći način:

facija zelenih škriljaca

- a. *kvarc-albit-muskovit-blorit subfacija,*
- b. *kvarc-albit-epidot-biotit subfacija,*
- c. *kvarc-albit-epidot-almandin subfacija i*
- a. *staurolit-almandin subfacija,*
- b. *disten-almandin-muskovit subfacija,*
- c. *silimanit-almandin-ortoklas subfacija.*

almandin-amfibolitska facija

Svaka od navedenih subfacija ima odgovarajuću asocijaciju metamorfnih minerala koji su karakteristični za ispitivano područje.

Novi termodinamički podaci dobijeni laboratorijskim proučavanjima pojedinih metamorfnih minerala omogućili su i direktna izračunavanja temperature i pritiska na kojima su oni stvarani. Ona se baziraju na sadržaju pojedinih katjona (uglavnom Ca, Mg i Fe) i njihovom međusobnom odnosu u takozvanim metamorfnim parovima (na primer granat-biotit, granat-piroksen itd.) a direktna su posledica PT uslova nastanka minerala.

Za ovakva izračunavanja neophodne su hemijske analize samih minerala koje se rade na elektronskoj mikrosondi.

5.3.1.2. Metamorfizam tonjenja

Kao što je pomenuto o poglavlju o vrstama metamorfizma **metamorfizam tonjenja** karakteriše se *visokim pritiscima i niskim temperaturama* (najviše do 400-450⁰C).

Metamorfizam tonjenja najčešće se javlja u sedimentima velike debljine (uglavnom piroklastitima) koji sadrže dosta vode, ili u zonama podvlačenja (subdukcije). Pri ovom metamorfizmu sklop stene (struktura i tekstura) ostaje sačuvan. Pojedini minerali, *lavsonit, jadeit* itd. isključivo nastaju pri ovom metamorfizmu.

Podeljen je na:

- *lomontit-prenit-kvarc faciju;*
- *pumpelit-prenit-kvarc faciju;*
- *lavsonit-albit faciju i*
- *lavsonit-glaukofan-jadeit faciju.*

Asocijacija minerala iz navedenih facija (lavsonit, pumpelit, glaukofan itd.) stabilna je na temperaturama do 450⁰C i pritiscima do oko 20 kbar.

Treba napomenuti da se u pojedinim podelama regionalno metamorfnih stena (na primer Tärner i Verhugen itd.) posebno izdvaja **zeolitska facija**. Ona predstavlja najniži stepen metamorfizma uopšte (kraj diageneze kao sedimentnog procesa i početak stvaranja minerala u metamorfnim uslovima). *Definisana je prvim pojavljivanjem lomontita i albita a iščezavanjem božlandita (mineral iz grupe zeolita) i analcima* čime se izdvajaju sedimentne stene od metamorfnih. Prema laboratorijskim podacima o stabilnosti pomenutih minerala zeolitska facija počinje na oko 200⁰C.

5.3.2. Sklop metamorfnih stena

Pod sklopom podrazumevamo strukturu i teksturu stene. Poznavanje strukturno-teksturnih osobina neke metamorfne stene veoma je značajno za interpretaciju uslova stepena metamorfizma, vreme nastanka pojedinih minerala, vrste primarnih stena od koje su nastali metamorfiti itd.

Strukture metamorfnih stena nastaju na dva načina: *procesom prekrystalizacije tj. rastom* novih minerala u čvrstoj ili delimično čvrstoj masi stene. Ovaj rast naziva se *blasteza* a strukture nastale na ovaj način nazivaju se **blastičnim strukturama**.

Druga grupa struktura nastala je *drobljenjem* dela ili čitave mase primarnih stena. Ove strukture nazivamo **klastičnim strukturama**.

Blastične strukture metamornih stena delimo na dve grupe:

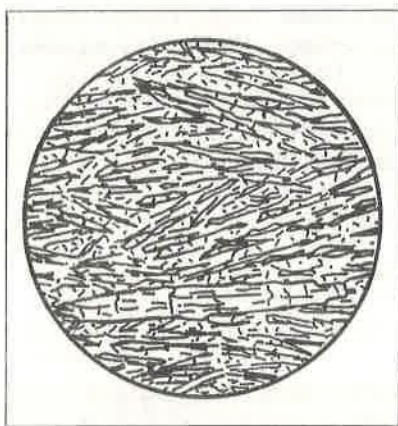
- *reliktnne strukture* kod kojih se još uvek zapaža primarna struktura stene i
- *singenetske strukture* koje su nastale istovremeno kada i metamorfne stene i koje ne sadrže elemente strukture primarne stene.

Obziorn da reliktnne strukture u osnovi imaju strukture primarnih sedimentnih ili magmatskih stena koje su više ili manje preinačene naziv strukture dobija se tako što se na naziv primarne strukture doda prefiks *blasto*. Na primer *blastoporfiriska struktura* je metamorfna struktura nastala od vulkanita koji imaju porfirsku strukturu, *blastopsamitska struktura* se javlja kod stena nastalih od peščara koji su pretrpeli samo delimične promene itd.

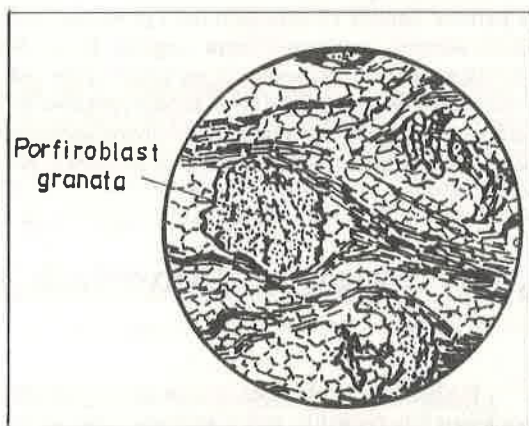
Kod *singenetskih struktura* prema veličini zrna izdvajamo dve grupe struktura: *homeoblastične strukture* gde su zrna stene ujednačenog oblika i *heteroblastične strukture* kod kojih su zrna različite veličine.

Od *homeoblastičnih struktura* razlikujemo:

- *leptidoblastičnu strukturu* koja se karakteriše prisustvom *listastih* minerala (liskuni, hloriti, talk itd);
- *granoblastičnu strukturu* kod koje se minerali javljaju u obliku *zrna*, obično izometričnog oblika (kvarc, feldspati, karbonati itd);
- *nematoblastičnu strukturu* (sl.54) koja se karakteriše prisustvom *prtkastih* minerala (amfiboli i pirokseni);
- *porfiroblastičnu strukturu* koja spada u grupu heteroblastičnih struktura. Ona nastaje kada pojedini minerali, zbog blasteze rastu brže od ostalih (nazivamo ih porfiroblastima). Struktura podseća na porfirsku (kod magmatskih stena), po kojoj je i dobila ime (sl.55). Porfiroblasti mogu biti veoma krupni. Tako su na primer granati iz amfibolita Adirondajka teški i do jedne tone.



Sl.54. Nematoblastična struktura (mikroskopski snimak)



Sl.55. Porfiroblastična struktura (mikroskopski snimak)

Treba napomenuti da metamorfne stene *mogu imati više struktura istovremeno* (granoblastičnu i lepidoblastičnu, nematoblastičnu i granoblastičnu itd), što zavisi od sastava stene.

Prema načinu srastanja sastojaka takođe razlikujemo više vrsta metamorfnih struktura:

- **mozaična** struktura, kod koje su zrna minerala srasla po manje-više ravnim površinama;
- **implikaciona** struktura, kod koje su zrna srasla po vrlo nepravilnim površinama, tj. zupčasto zadiru jedno u drugo itd.

U toku metamorfizma može doći i do stvaranja specifičnih struktura koje su posledica određenih metamorfnih procesa koji su dali datu metamorfnu stenu. Pomenućemo samo najvažnije:

- **kelefitski rubovi**, koji predstavljaju oreole oko zrna pojedinih minerala (granata, olivina, piroksena itd.) a nastali su kao reakcija pomenutih minerala sa mineralima drugačijeg hemizma;
- **pojkiloblastična** struktura, koja je nastala tako što je jedan mineral u toku rasta (blasteze) uklapao ostale (starije) minerale;
- **simplektitska** struktura, koja predstavlja veoma razvijenu implikacionu strukturu pri čemu je nemoguće odrediti koja su zrna uklopljena a koja uklapaju date minerale. Takve agregate nazivamo simplektitima.

Kataklastične ili **klastične strukture** nastaju drobljenjem stena usled tektonskih pokreta. Posle drobljenja obično se vrši i **rekristalizacija** te produkti drobljenja prelaze u granoblastične agregate. **Porfiroklastične strukture** su vrsta klastičnih struktura sa krupnijim (ne polomljenim) zrnima koje nazivamo porfiroklastima.

Prema načinu rasporeda sastojaka mogu se izdvojiti sledeće teksture:

- **škriljava tekstura**, karakteriše se paralelno, orijentisanim rasporedom sastojaka. Tu razlikujemo **folijaciju** u kojoj su minerali orijentisani u jednoj ravni i **lineaciju** (sl.56) u kojoj su minerali orijentisani duž nekog pravca (lineare).

Škriljava stena lako se cepa u ploče i table različite debljine. Ova tekstura nastaje dejstvom usmerenih pritisaka i karakteristična je za pliće nivoe regionalnog metamorfizma. Deljivost na ploče, međutim, ne mora biti samo posledica paralelne orijentacije sastojaka kod metamorfne stene. Ona može biti i prouzrokovana prisustvom sistema finih tankih paralelnih pukotina koje su nastale u toku metamorfizma (na primer klivaž itd.),

- **ubrana tekstura** je vrsta škriljave teksture gde minerali grade sisteme nabora. Ako su nabori veoma sitni kažemo da je tekstura **plistrana** (sl.57). Ubrane teksture se takođe sreću u plićim nivoima metamorfizma kao posledica dejstva usmerenih pritisaka;

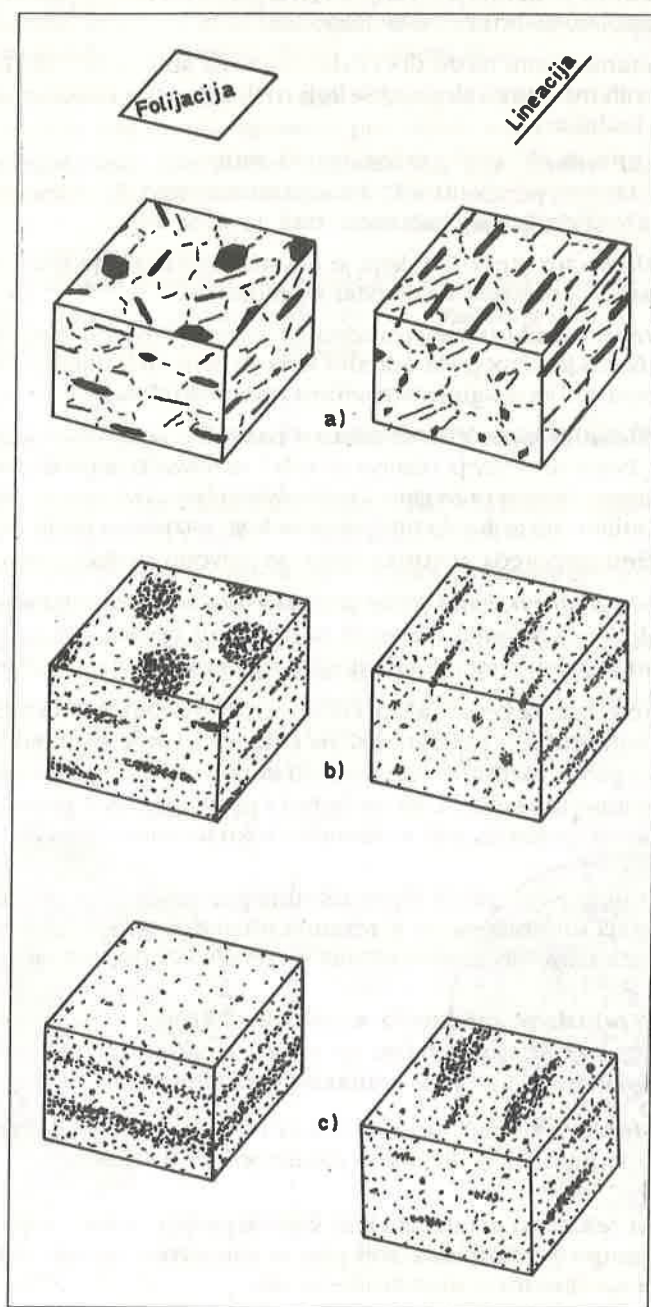
- **trakasta tekstura**, karakteriše se prisustvom traka. U njoj su sastojci grupisani u zone (trake) koje se naizmenično smenjuju. Ova tekstura je karakteristična za metamorfite dubokih nivoa i za zone kontaktnog metamorfizma;

- **okcasta tekstura** sadrži "okca" pojedinih minerala (obično kvarca ili feldspata). Ove teksture se najčešće javljaju kod metamorfita dubokog nivoa, naročito kod migmatita;

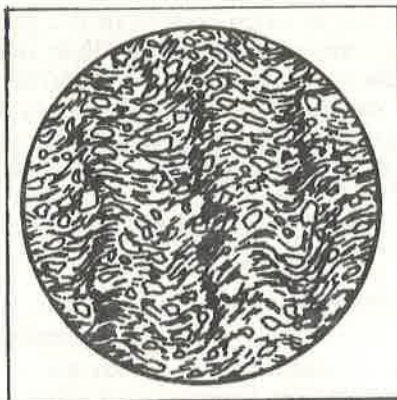
- **bobičava tekstura** je tekstura kod koje se javljaju bobice koje predstavljaju porfiroblaste ili grupe porfiroblasta koji leže u sitnozrnoj osnovi. Ova tekstura je karakteristična za spoljne zone kontaktnih oreola;

- **masivna tekstura** je tekstura kod koje su sastojci raspoređeni bez orijentacije. Za stenu ovakve teksture kažemo da ima homogen sklop;

- **injekciona tekstura**, nastaje ubrizgavanjem aplitoidnih rastopa nastalih parcijalnim stapanjem u okolne stene. Rastop može biti ubrizgavan po površini škriljavosti ili nepravilno. Ova tekstura je veoma česta kod migmatita (sl.58).



Sl.56. Folijacija i lineacija kod različitih vrsta stena



Sl. 57. Pilstrana tekstura
(mikroskopski snimak)



Sl. 58. Injekciona struktura

5.3.3. Klasifikacija regionalno metamorfnih stena

Regionalno metamorfne stene mogu se podeliti na više načina: prema mineralnom sastavu, prema teksturi, prema kristalinitetu itd.

Jedna od najčešće upotrebljivanih sistematika bazira se na *teksturnim karakteristikama* i deli stene regionalnog metamorfizma na *škriljave i masivne metamorfne stene*.

Stene prve grupe označavaju se obično kao *kristalasti škriljci* a druge grupe kao *masivne metamorfne stene*.

Potrebno je, međutim, napomenuti da oštra granica između ove dve grupe stena praktično ne postoji jer stene određenog sastava mogu u nekim slučajevima da budu masivne a u drugim škriljave i obrnuto. Navešćemo i primere: stena izgrađena od amfibola i plagioklasa, koja nastaje u nivoima gde je usmereni pritisak mali ima masivnu teksturu i naziva se amfibolit. Ako je formirana u plitkim nivoima sastojci stene pokazuju izrazitu i planarnu i linearnu orijentaciju, i stena se naziva amfibolski škriljac. Mermer je u bitnome masivna stena mada može nastati i u područjima usmerenih pritisaka kada zadobija škriljavu teksturu (mermerni škriljac) itd.

Prema teksturnim karakteristikama, kao što je pomenuto, regionalno metamorfne stene se dele na:

kristalaste škriljce

grupa škriljaca

filiti, mikašisti

gnajsevi, amfiboliti

masivne metamorfne stene

eklogiti

granuliti

mermeri

kvarciti

Prema stupnju kristaliniteta metamorfne stene se mogu podeliti na dve grupe: stene *visokog kristaliniteta* kod kojih sastojke možemo razlikovati golim okom i stene *niskog kristaliniteta* kod kojih je razlikovanje sastojaka golim okom praktično nemoguće. Stepenn kristaliniteta ne zavisi od stupnja metamorfizma stene. Stene visokog kristaliniteta mogu biti formirane u uslovima nižeg stepena metamorfizma i obrnuto.

U narednom izlaganju prikazaćemo svaku od navedenih grupa.

5.3.4. Grupa škrljaca

Grupa škrljaca obuhvata srednjezrne do krupnozrne stene srednjeg do visokog kristaliniteta sa izraženom škrljavošću po kojoj su dobili i ime.

Vodeći minerali grupe škrljaca su filosilikati ili inosilikati (muskovit, hlorit, aktinolit, termolit), epidot, cojsit itd. Od feldspata u stenama ove grupe najčešće se sreće albit, ponekad ortoklas. Ime dobijaju prema *vodećem mineralu*, hloritski škrljac, hloritsko-sericitiski škrljac, aktinolitski škrljac itd. Ove stene mogu biti orto i para porekla. Nastaju metamorfozom laporaca, piroklastita i vulkanskih stena (naročito bazita, spilita, keratofira itd.). Pomenućemo samo najvažnije.

5.3.4.1. Hloritski škrljci

Stene srednjeg do visokog kristaliniteta ali *niskog stepena metamorfizma*. Izgrađene su uglavnom od *hlorita i kvarca*. U hloritskim škrljcima takođe se mogu javiti albit, sericit, epidot, cojsit i manganov granat (spesartin). Kada se količina sericita povećava pokazuju prelaz ka silitima. Pojavom veće količine feldspata prelaze u hloritske gnajseve. Interesantno je da mogu biti i monomineralne stene (izgrađene samo od hlorita). Često se, zbog karakteristične boje, nazivaju *zelene stene*.

Hloritski škrljci mogu biti *orto i para porekla*. Orto nastaju metamorfozom bazičnih magmatskih stena a para od bazičnih piroklastita ili dolomitično-laporovitih sedimenata.

Struktura stene je *lepidoblastična* a tekstura *škrljava* (veoma retko masivna ili slabo škrljava). *Zelene* su boje. Veoma su mekane stene, naročito ako je sadržaj kvarca mali.

Sa porastom stepena metamorfizma u ovim stenama se javljaju biotit (reakcijom sericita i hlorita), prelazni plagioklas (od albita i cojsita) itd.

Hloritski škrljci su česte stene u našim kristalastim terenima. Pojave monomineralnih i slabo škrljavih hloritskih škrljaca konstatovane su oko Preševa i Orahovca.

5.3.4.2. Aktinolitski škrljci

Aktinolitski škrljci su takođe stene srednjeg do visokog kristaliniteta, niskog stepena metamorfizma. Izgrađeni su od *aktinolita, tremolita, albita, epidota, cojsita i ponekad kvarca i hlorita*. Od sporednih minerala karakterističan je leukoksen. Zelene do sivozelene su boje. Strukture su *nematoblastične* sa elementima *granoblastične, škrljave* teksture. Nastaju metamorfozom bazičnih stena i njihovih piroklastita

ili od dolomitičnih laporaca. Najčešće se javljaju uz zelene stene. Sa porastom stepena metamorfizma ove stene prelaze u amfibolite.

5.3.4.3. Talkni škriljci (talkšisti)

To su stene *niskog stepena metamorfizma*, ponekad mogu biti visokog kristaliniteta. Uglavnom prate serpentinite.

Zelenkaste su boje, *lepidoblastične* strukture a *škriljave* često i *plistrane* teksture.

Izgrađene su uglavnom od *talka*. Nastale su *regionalnom metamorfozom peridotita i serpentinita*. Pojedini autori smatraju da su prilikom stvaranja ovih stena važnu ulogu imali i hidrotermalni rastvori. Spadaju u grupu tipskih *orto stena*. Sadržaj kvarca u njima jako varira. Takođe mogu biti prisutni hlorit, kalcit, magnetit, hromit itd.

Talkni škriljci su sirovina za dobijanje industrijskog talka koji ima raznovrsnu primenu u keramičkoj industriji, industriji guma, hartije, kozmetike itd.

5.3.4.4. Filiti

Grupa filita obuhvata stene sitnog zrna (niskog kristaliniteta) i dobro izražene škriljave teksture.

Izgrađeni su od *sericita i kvarca* (koji je znatno manje zastupljen). Ljuspice sericita pokazuju izrazitu planarnu i linearnu orijentaciju. Osim sericita i kvarca u ovim stenama sreću se *hlorit, albit, rekristalisana organska materija* ili, retko, *biotit*.

Povećanjem sadržaja kvarca ove stene prelaze u *kvarcilit*.

Struktura filita je *lepidoblastična*. Tekstura *škriljava*, često *ubrana* ili *plistrana*. Cepaju se lako po ravnima škriljavosti. Tada obrazuju tanke, ravne ploče, koje su zbog prisustva sericita uvek sjajne (karakterističan svilast sjaj).

Ime dobijaju prema najzastupljenijem mineralu, sericitski filiti, sericitsko-hloritski filiti, albit-sericitsko-hloritski filiti itd.

Filiti *nastaju metamorfozom glinovitih stena*. Između glinaca i filita postoji prelazna grupa stena *argilošisti*, stene pelitske do metapelitske strukture, tamnosive do crne boje, zemljastog izgleda i izrazito škriljave teksture. Na ravnima škriljavosti, međutim, nemaju sjaj koji je karakterističan za filite jer još uvek sadrže minerale glinā dok je količina sericita u njima uglavnom mala.

Ako su dovoljno čvrsti i pločasti filiti i argilošisti mogu se upotrebiti za pokrivanje krovova (*krovnj škriljci*).

Argilošisti koji sadrže do 10% bituminozne materije nazivaju se *uljani škriljci*. Ovakve stene imaju potencijalno veliki značaj kao energetske sirovine.

Filiti su kod nas dosta rasprostranjene stene, naročito u paleozoiku. Dobrih krovnih škriljaca ima u zapadnoj Srbiji, istočnoj Bosni, Baniji i u Makedoniji.

U poslednje vreme koriste se i kao izolacioni materijal pri izgradnji tunela i drugih podzemnih prostorija.

5.3.4.5. Mikašisti

Veoma rasprostranjena grupa stena srednjeg i visokog kristaliniteta. *Lepidoblastične* su strukture, a *škriljave* teksture. Tipske *parastene* jer nastaju metamorfozom glinâ na srednjem i visokom stupnju metamorfizma.

Mikašisti su izgrađeni od *liskuna* (uglavnom muskovita, retko biotita) i *kvarca* kao osnovnih sastojaka. Od ostalih aluminijaskih minerala koji su karakteristični za ove stene treba pomenuti *disten*, *silimanit*, *staurolit*, *granate*, *kordijertit*, *alkalne feldspate* itd. Količinski odnosi navedenih minerala znatno variraju. Povlačenjem liskuna mikašisti prelaze u kvarcite a povlačenjem kvarca u liskunske škriljce. U područjima gde se mikašisti javljaju sa granitima česte su pojave K-feldspata u ovim stenama koji je najverovatnije metasomatski prinet u stenu.

Mikašisti koji u svom sastavu imaju feldspate pokazuju prelaze ka gnajsevima.

Izrazito su škriljave stene, mada se sreću i varijeteti sa porfiroblastima granata, distena, staurolita itd. Retko su trakaste teksture.

Otporni su prema hemijskom raspadanju ali lako podležu mehaničkom raspadanju.

U našoj zemlji su dosta rasprostranjeni u kristalastim terenima Rodopa, srpsko-makedonske mase, u Dinaridima itd. gde se smenjuju sa gnajsevima i ostalim škriljcima.

5.3.4.6. Gnajsevi

Gnajsevi su stene srednjeg do krupnog zrna, visokog stupnja metamorfizma i visokog stepena kristaliniteta. Mogu biti *orto* i *para* porekla.

Ortognajsevi nastaju metamorfozom granita i njima srodnih stena. Ponekad pokazuju postupne prelaze ka granitima (kada imaju sačuvanu reliktnu, zrnastu strukturu)

Paragnajsevi nastaju preobražajem arkoznih peščara a često i feldspatizacijom škriljaca.

Potrebno je ipak napomenuti da su mogući svi prelazi između orto i para gnajseva što kod proučavanja ovih stena stvara velike teškoće, naročito prilikom definisanja primarnih stena od kojih su nastali.

Mogu biti različite strukture: *granoblastične*, *lepidoblastične*, *nematoblastične*, *porfiroblastične* itd. Tekstura im je *škriljava*, *masivna*, *okcasta*, *trakasta*, *ubrana* itd.

Izgrađeni su od *kvarca*, *alkalnog feldspata* i *liskuna* (muskovita i biotita). Ponekad se umesto liskuna može javiti i *hornblenda* ili *piroksen*.

Kvarc je obično najzastupljeniji mineral u ovim stenama (naročito kod paragnajseva. Javlja se u zrnima različite krupnoće koja redovno pokazuju mehaničke deformacije.

Od feldspata prisutni su *ortoklas* i *mikroklin*, ponekad i *albit*.

Liskuni u gnajsevima obično pokazuju jasnu planarnu orijentaciju.

Od *metamorfnih minerala* u gnajsevima se javljaju *granat, disten, staurolit, silimanit, kordijerit itd.*

Raspadanje gnajseva je kao i kod granita, samo što ovde površine škrljavosti predstavljaju preferirane ravni duž kojih je olakšana cirkulacija vode čime je proces, u odnosu na granite, znatno ubrzan.

Sitnozrni gnajsevi slabije izražene škrljavosti mogu se upotrebiti kao građevinski kamen.

Gnajsevi su u našoj zemlji veoma rasprostranjene stene. Ima ih u kristalastim terenima Pelagonida (Babuna, u okolini Prilepa, na Kajmakčalanu), srpsko-makedonske mase (Stalać, Bujanovac, Vranje, Lebane, Vršac) itd.

Kao građevinski kamen gnajsevi se eksploatišu kod Vršca, Stalaća i Prilepa. U gnajsevima Selečke planine u Makedoniji zapažene su značajne koncentracije distena, koji se i eksploatiše.

5.3.4.7. Amfiboliti

Stene visokog kristaliniteta i visokog stupnja metamorfizma. Mogu biti *orto i para porekla*. Nastaju metamorfozom bazaltoidnih magmatskih stena (orto amfiboliti) ili na račun bazičnih tufova i laporaca (paraamfiboliti). Međusobno razlikovanje ove dve grupe stena je izuzetno teško. Imaju isti hemijski sastav, strukturu itd. pa se prilikom njihovih proučavanja mora biti izuzetno obazriv, naročito prilikom definisanja primarne stene od kojih su nastali.

Ponekad su u ovim stenama reliktnne strukture dobro sačuvane (blastofitska, blastoporfirska, blastopsamitska itd.).

U najvećem broju slučajeva imaju *nematoblastičnu strukturu*, ali mogu biti i *porfiroblastične*. Škriljave su ili masivne su teksture, mada se sreće i *trakasta* (smenjivanje belih feldspatskih traka i partija sa amfibolima).

Zelene su do tamnozelene boje. Izgrađene su od *amfibola i plagioklasa (andezina)*. U njima se još nalaze *granat, epidot, cojsit, kalcit, hlort, sfen, magnetit itd.*

U starijoj literaturi naziv amfibolit koristio se za stene masivne teksture dok se za škrljavu stenu istog sastava koristio izraz amfibolitski škrljac. Potrebno je takođe pomenuti i stenu amfibolski škrljac - termin koji se takođe koristio ranije, koji podrazumeva amfibolsku stenu bogatu kvarcom i koja je najverovatnije para porekla. U savremenoj petrologiji se, usled nejasno definisane granice između pomenutih varijeteta stena koristi samo termin amfibolit.

Amfiboliti mogu biti dobar građevinski materijal, naročito ako su masivne teksture. Rasprostranjeni su u Pelagonidima, srpsko-makedonskoj masi gde se javljaju kao dajkovi ili silovi u gnajsevima i mikašistima. Veoma retko grade veće mase. Većih pojava amfibolita ima u okolini Bujanovca.

5.3.5. Masivne metamorfne stene

5.3.5.1. Eklogiti

To su *masivne* metamorfne stene visokog stupnja metamorfizma i visokog kristaliniteta. Nastaju na vrlo visokim pritiscima i temperaturama, metamorfozom bazičnih stena, najverovatnije u odsustvu vode (tzv. suvi sistemi).

Izgrađeni su od *granata i omfacita* (natrijskog piroksena). U malim količinama sreće se plagioklas ili hornblenda. Izrazito teške stene.

Od granata u ovim stenama javljaju se almandin ili pirop (rede) koji su obično idiomorfno razvijeni. U amfibolskim eklogitima Ogošta granati su veličine ljudske šake.

Kao sporedni sastojci javljaju se sfen, rutil, kvarc, magnetit itd.

Struktura stene je *granoblastična i porfiroblastična* (kada granat uklapa piroksen). Tekstura ovih stena je kao što je pomenuto masivna.

Javljaju se retko, obično kao sočiva u gnajsevima (tzv. obični eklogiti), kao trake i sočiva u peridotitima ili u ofiolitskoj asocijaciji stena (gde eklogiti najverovatnije vode poreklo iz gornjeg omotača).

Kod nas ih ima u području Bojnika (Lebane), na Pohorju u Sloveniji itd.

5.3.5.2. Granuliti

Granuliti su stene koje nastaju pri veoma visokim pritiscima i temperaturama (slično eklogitima), kada muskovit nije stabilan i zamenjuje se kalijским feldspatom i aluminijским silikatima (distenom, silimanitom).

Bele, sive, sivo zelene, tamno zelene pa i crne su boje. *Masivne*, su teksture, a *granoblastične* strukture. Skoro redovno su sitnozrni.

Postoje dve vrste granulita. *Leukokratni*, nastali metamorfozom granitoida, gnajseva ili sedimentnih stena (peščara) koji sadrže *ortoklas, kvarc, natrijski plagioklas i granat*. Javljaju se disten, silimanit i dr. Od sporednih minerala česti su rutil i cirkon.

Druga vrsta su melanokratni granuliti (ili crni granuliti) koji su nastali metamorfozom bazaltoidnih stena ili laporovitih sedimenata. Izgrađeni su od *bazičnog plagioklasa, ortopiroksena i granata*. Od akcesornih minerala sreću se klinopiroksen, kvarc, magnetit i drugi.

Javljaju se kao trake, sočiva u gnajsevima (leukokratni granuliti), retko grade veće mase. Crni granuliti asociirani su sa amfibolitima.

5.3.5.3. Mermeri

Mermeri su stene *masivne* teksture nastale *metamorfozom krečnjaka i dolomita*. Prema mineralnom sastavu razlikujemo kalcitske i dolomitske mermere pri čemu su krečnjački mermeri znatno više rasprostranjeni.

Mermeri mogu nastati i termokontaktno ali su oni znatno manje zastupljeni.

Strukture su *granoblastične*, različite veličine zrna. Čisti mermeri izgrađeni su od zrna *kalcita* ili *dolomita* koja su obično izometrična i zupčasto do mozaično srasla. Pri obradi mermera veoma je važna veličina zrna i način njihovog srastanja.

Teksture su, kao što je pomenuto masivne, ali postoje i *škriljavi* mermeri kada ih obično nazivamo *mermernim škriljcima*.

U mermerima se mogu sresti muskovit, kvarc, albit, hlorit, grafit itd. Naročito može biti veliki sadržaj muskovita ako je mermer nastao metamorfozom glinovitog krečnjaka. Mermere bogate liskunima koji lokalno imaju elemente lepidoblastične strukture nazivamo *cipolini*.

Boja mermera zavisi od njegove čistoće. Ako su čisti bele su boje i saharoidnog sjaja. Usled sadržaja primesa mogu biti zelenkasti, plavkasti, crvenkasti, sivi pa i crni. Crna boja potiče od organske materije i veoma je nepostojana.

Mermeri su u našoj zemlji veoma rasprostranjene stene. Upotrebljavaju se kao građevinski kamen, dekorativan kamen i za izradu skulptura. Za dekorativne svrhe najbolji su sitnozrni mermeri jer se najlakše i najbolje poliraju. Za skulpture se takode uzimaju finoizrni mermeri i to isključivo kalcitski. Štetne primese kod mermera predstavljaju pirit, magnetit, kvarc i organska materija.

Najpoznatija nalazišta mermera su Venčac (kod Arandelovca), Pletvar (kod Prilepa) na ostrvu Braču, kod Gostivara, Batočine itd. Osim navedenih nalazišta postoje brojne manje mase ovih stena koje se eksploatišu i koriste u lokalnoj gradnji.

5.3.5.4. Kvarciti

Kvarciti su metamorfne stene u kojima kvarc čini više od 80% mase stene. To su izrazito *para stene* nastale metamorfozom kvarcnih peščara sa silicijskim vezivom ili od rožnaca. U tehničkoj literaturi ovim stenama se pribrajaju i mnoge druge silicijske stene (dijagenetski stvoreni kvarciti, hidrokvarciti i dr.) ali petrografski pojam kvarcita obuhvata samo metamorfne stene nastale od peščara i rožnaca.

Kvarciti su *granoblastične strukture*. Ponekad mogu imati sačuvanu strukturu kvarcnih peščara (blastopsamitsku). U tim slučajevima primarna klastična zrna kvarca su nešto krupnija a rekristalisala silicijska vezivna masa obrazuje sitnozrne vence oko primarnih zrnca (heteroblastična struktura).

Teksture su *masivne* mada ima i škriljavih kvarcita. Kvarcna zrna su u ovim stenama često zupčasto srasla što steni daje veliku čvrstinu.

Kvarciti su uglavnom monomineralne stene *izgrađene od kvarca*. Čisti kvarciti su bele boje ali su najčešće, zbog primesa, sivi, mrki ili crni. Pojavom liskuna prelaze u kvarc-mikašiste. Kao sporedni sastojci u kvarcitima se javljaju disten, grafit, silimanit, epidot i dr.

Kvarciti se koriste u metalurgiji za pravljenje dinasa- vatrostalnih opeka. U hemijskoj industriji primenjuju se u izradi različitih materijala otpornih prema kiselinama. U građevinarstvu primena im je ograničena, naročito kao građevinskog kamena, jer su zbog velike čvrstine jako teško obrađuju.

Pojava kvarcita u našoj zemlji ima na više mesta. Eksploatišu se u rejonu Gostivara, Gnjlana i Vranja.

5.3.6. Ultrametamorfizam i migmatiti

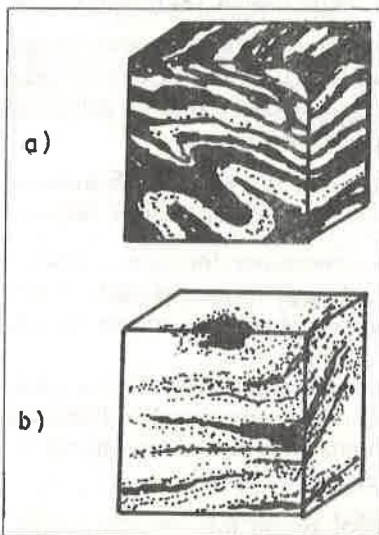
U područjima Zemljine kore gde vladaju uslovi visokih pritisaka i temperatura dolazi do delimičnog ili potpunog stapanja stena. Taj metamorfizam naziva se *ultrametamorfizam*. Stepenn metamorfizma, kao što je pomenuto, pre svega zavisi od sastava stena koje se metamorfišu. Kisele stene se stapaju na znatno nižim temperaturama od bazičnih. Od minerala prvi u rastop idu kvarc i feldspati. Oni u početku stvaraju intergranularni rastop koji predstavlja mobilni komponent u datoj sredini. Rastop može očvrnuti na istom mestu gde je stvoren a može, usled tektonskih pokreta (pritisaka), biti pokrenut i koncentrisan na drugim mestima u vidu gnezdâ (okaca) ili traka i mlazeva. Pri tim procesima vrši se razdvajanje stopljenog materijala (tzv. *neosome*) od nagomilanja bojenih minerala (tzv. *paleosome*) koje je ostalo čvrsto.

Pojava stapanja stena bez obzira na intenzitet procesa naziva se *anateksis*. On može biti parcijalan i potpun. Štene koje nastaju parcijalnim anateksisom nazivamo *migmatitima*. Potpunim anateksisom stvaraju se nove granitske magme.

Migmatiti su stene izgrađene od primarnog materijala (*paleosome*) i stopljenog, aplitoidnog materijala (*neosome*).

Na osnovu teksturnih karakteristika razlikujemo sledeće vrste migmatita:

- **embrešiti**, migmatiti sa očuvanom škrljavom teksturom. Mogu biti okcasti, amigdaloidni, trakasti itd;
- **agmatiti**, migmatiti sa brojnim fragmentima metamorfnih stena različite veličine koji leže u granitoidnom materijalu (imaju brečastu teksturu);
- **epiboliti**, migmatiti sa trakastom teksturom gde se smenjuju partije svetlog (granitnog) i tamnog (primarna stena) materijala (sl.59a);
- **nebuliti**, migmatiti sa rasplnutom (nejasnom) granicom u odnosu na okolne stene (sl.59.b).



Sl.59. Migmatiti: a. epibolit, b. nebulit

Proces migmatizacije može biti izazvan i pojavom sintektonskih intruzija. Ovakav kombinovani ultrametamorfizam sa regionalnim uticajem intruzija naziva *plutonometamorfizam*.

Ultrametamorfizam, potpuni anateksis kao i migmatizacija mogu stvoriti ogromne količine rastopa koji ima pretežno granitski karakter. Smatra se da je jedan deo granitâ u Zemljinoj kori (po nekim autorima i svi graniti) nastao ovakvom mobilizacijom materijala iz dubokih delova Zemljine kore gde je i rastop očvrsnuo (iskristalisao) na mestu ili bio utisnut u više delove.

5.3.7. Dijaftoreza i dijaftoriti

Pod *dijaftorezom* ili *retrogradnim metamorfizmom* podrazumevaju se promene stena višeg stepena metamorfizma u uslovima *nižeg* stepena metamorfizma. Dijaftoreza je obrnut proces progresivnom regionalnom metamorfizmu.

Retrogradne promene trpe takode i stene konsolidovane na visokim temperaturama ako se nađu u uslovima niskog stepena metamorfizma.

Pri dijaftorezi primarna struktura i mineralni sastav mogu se delimično sačuvati, ili mogu biti potpuno izmenjeni kada je veoma teško odrediti da li se radi o dijaftoritu ili ne. Zapravo dijaftorezu je sa sigurnošću moguće utvrditi samo kada ona nije potpuna.

Dijaftorezom nastaju vrlo različite stene. Od amfibolita, na primer, izgrađenog od amfibola i intermedijarnog plagioklasa u uslovima facije zelenih škriljaca stvoriće se nova stena izgrađena od epidota, cojsita, albita, hlorita i kalcita. Uz to će uglavnom biti sačuvana primarna struktura ovih stena.

5.3.8. Kataklastični metamorfizam i kataklaziti

Prilikom intenzivnih tektonskih pokreta u Zemljinoj kori može doći do razlamanja i drobljenja stena. Ono može biti delimično, ponekad i retko potpuno.

Ovi metamorfni procesi prilikom kojih se *usled drobljenja menja struktura i tekstura stene pri čemu mineralni i hemijski sastav ostaju isti ili delimično izmenjen nazivaju se kataklastičan metamorfizam*.

U zavisnosti od intenziteta procesa formiraju se različite vrste stena:

-tektonske breče, koje se stvaraju u tektonskim zonama ili rasedima i izgrađene su od krupnih, otkinutih blokova stena koji su vezani sitnim, zdruzganim materijalom. Fragmenti stena obično dominiraju nad vezivnom masom. Interesantno je da su ovo uglavnom krupnozrne stene;

- **kataklaziti** nastaju pri intenzivnijim tektonskim procesima u odnosu na tektonske breče. U ovim stenama počinje združgavanje kvarca (pri čemu se stvaraju karakteristični venci oko drugih minerala). Liskuni su povijeni, feldspati takođe polomljeni i združgani. Često se uočava i hloritisiranje bojenih minerala, sericitizacija i kaolinitizacija stenske mase;
- **miloniti** su fino-zrnaste ili porfiroklastične stene nastale *veoma intenzivnim drobljenjem* primarnih stena. Redovno sadrže "okca" primarnih stena u granuliranoj osnovi. Pokazuju trakastu građu (smenjivanje traka po boji ili čak i po veličini zrna). Ove stene lako podležu hemijskim izmenama, na primer: usled cirkulacije vode dolazi do ispiranja gvožđa i kaolinitisanja pojedinih minerala pri čemu milonit prelazi u trošnu i slabo vezanu stenu.
- **filoniti** su stene *finog zrna*, po spoljnjem izgledu veoma slične filitima (ime ove stene dolazi od reči filit i milonit). Jasno su izražene škriljavosti zbog intenzivnog drobljenja koje je ova stena pretrpela. Rekristalizacija i neomineralizacija u ovim stenama vrši se uz istovremeno dejstvo usmerenih pritisaka što uslovljava stvaranje *kompaktnih, zbijenih, škriljavih sitnozrnih stena*. Potrebno je napomenuti da filoniti ponekad mogu biti i plisirani. Sadrže i minerale niskog stepena metamorfizma, *blorit, sericit, grafit itd.*

5.3.9. Kontaktni metamorfizam i kontaktno metamorfne stene

Pod kontaktnim metamorfizmom podrazumevamo sve promene koje se vrše na okolnim stenama pod uticajem utisnute magmatske mase.

Ovaj metamorfizam može biti *statički i kinetički, termalni ili termalno-metasomatski*, ali je uvek lokalnog opsega i ograničen je na zonu kontakta oko intruzije gde se stvaraju ove stene.

Opšte karakteristike kontaktno metamorfnih stena su *odsustvo škriljavosti* i u najvećem broju slučajeva *zonarni karakter* koji je posledica naglog pada temperature od neposrednog kontakta do neizmenjene stene. On se ogleda u vrlo naglim promenama mineralnog sastava kod izohemijskog i alohemijskog kontaktnog metamorfizma.

Prema karakteru promena *kontaktni metamorfizam* može biti *izohemijski*, gde spada *termometamorfizam* (prouzrokovan samo pod uticajem toplote magmatskog tela bez međusobne hemijske reakcije), *alohemijski*, gde spadaju *kontaktno metasomatske stene i injekcioni metamorfizam* gde dolazi do izmene materije između magme i okolnih stena. U posebnu grupu kontaktnog metamorfizma spada *pirometamorfizam* koji se javlja na kontaktu *lave i okolnih stena*.

Pri uslovima kontaktnog metamorfizma posmatraju se dva osnovna faktora: *magma*, koja je pokrenuta iz ognjišta i posle nekog vremena uzdizana i intrudovana, i *okolne stene* u koje se magma utisnula.

Između magme i okolnih čvrstih, nezagrejanih stena (ili delom zagrejanih stena usled temperaturnog gradijenta) formira se zona u kojoj se obrazuju nove stabilne

asocijacije minerala nastale u novonastalim uslovima. Ova zona naziva se *kontaktni pojas (oreol)* koji delimo na dva područja. Područje *endokontakta* nalazi se u intrudiranoj magmatskoj masi i obuhvata periferni deo intruzije koji je usled asimilacije, odlaska vode i drugih faktora različit od sastava glavne mase magme i područje *egzokontakta* koje je vezano za okolne stene izmenjene pod uticajem intruzije. Endokontakt je uvek znatno manjih dimenzija od egzokontakta, ponekad i odsustvuje ili je veoma mali.

Intenzitet kontaktnog metamorfizma i širina oreola zavise od sledećih faktora (pomenućemo samo najvažnije):

- *veličine intruzije;*
- *dubine intruzije;*
- *karaktera magme;*
- *temperature magme i njenog stepena iskrystalisalosti;*
- *količine lakotsparljivih sastojaka u magmi;*
- *vrste okolnih stena i stepena njihove zagrejanosti;*
- *položaja intruzije u odnosu na okolne stene.*

Jedan od najznačajnijih faktora kontaktnog metamorfizma svakako je karakter (sastav) okolnih stena. Ispitivanjem je utvrđeno da je intenzitet metamorfizma jači a širina kontakta veća ukoliko je veća razlika u karakteru magme i okolnih stena.

Stoga se najveće promene zapažaju na glinovitim, karbonatnim i laporovitim stenama a najmanje na arkoznim peščarima koji imaju sastav sličan granitima.

Takođe je utvrđeno da diskordantne intruzije imaju šire kontaktne oreole od konkordantnih jer je mogućnost reakcije sa magmom veća ako intruzija seče veći broj površina slojevitosti ili škriljavosti.

5.3.9.1. Termokontaktni metamorfizam i termokontaktne stene

Stene termokontaktnog metamorfizma razvijaju se u kontaktnim oreolima oko dubljih ili plićih intruzija ako *nije došlo do privođenja materija iz magme u okolne stene, tj. kontaktni uticaj uslovljen je samo privođenjem toplote u okolne stene.*

Termometamorfizam se sreće kod bazičnih intruzija visoke temperature, ali vrlo siromašnih vodom i na kontaktima svih magmi sa glinovitim sedimentima koji predstavljaju sredine praktično neprobojne za migraciju materije iz magme.

Pri termokontaktnom metamorfizmu stvara se pojas izmenjenih stena u kojem se vide pojave rekristalizacije, premineralizacije, izmena strukturno-teksturnih karakteristika stena, pri čemu *nema promene* u hemizmu stena.

Najbolje razvijene termokontaktne oreole nalaze se na kontaktima kiselih magmi i glinaca. Neposredno uz kontakt formira se uzana *zona infekcionih stena* širine par a najviše nekoliko desetina metara.

Posle ove zone sledi zona *kornita*.

Korniti

Termokontaktne stene *granoblastične strukture* (koja se često naziva i kornit-ska), ponekad *porfiroblastične*. Ove stene se mogu formirati pod uslovima *piroksen-bornfels* *facije* ili *hornblenda-hornfels* *facije*.

Izgrađeni su od *blotita*, *augita*, *granata*, *kordijerita*, *andaluzita*, *feldspata*, *hornblende*, *epidota* itd. Teksture su *masivne* ili *trakaste*. To su obično sitnozrne stene, tamne boje i veoma tvrde. Nastaju, kao što je pomenuto, metamorfozom klastičnih sedimentnih stena (uglavnom pelitskih). Matriks (osnova stene) obično se sastoji od sitnih zrna feldspata, liskuna i kvarca u kojoj, kao porfiroblasti, leže gore pomenuti minerali. U kornitima koji su nešto udaljeniji od kontakta često se sreću i reliktno strukture, sačuvani klasti kvarca, feldspata, liskuna itd.

Zona kornita udaljavajući se od kontakta postepeno prelazi u zonu *bobičavih škriljaca*.

Veće pojave kornita zapažene su u kontaktnom oreolu Kopaonika, Boranje itd.

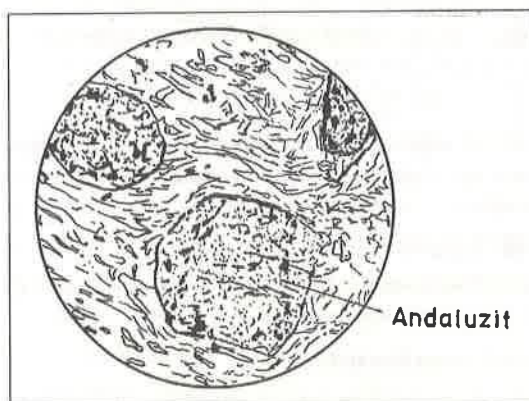
Bobičavi škriljci

Bobičavi škriljci (sl.60) su stene *porfiroblastične stene*, *bobičave teksture*. Bobice obično predstavljaju *porfiroblaste kordijerita*, *andaluzita*, *feldspata* itd. ponekad nepotpuno razvijenih a koji leže u sitnozrnoj lepidoblastičnoj osnovi (to su ustvari filiti sa porfiroblastima pomenutih minerala). Sitne ljuspe sericita daju steni folijativan sklop.

Udaljavajući se od kontakta veličina bobica i kristalinitet osnove se smanjuju te stene prelaze u filite ili argilošiste. Treba napomenuti da se ponekad bobičavi škriljci mogu sresti i na samom kontaktu kada se njihovo prisustvo objašnjava nedovoljno visokom temperaturom magme za potpunu rekristalizaciju pelitskih stena (pri čemu su stvoreni bobičavi škriljci umesto kornita).

Termokontaktom metamorfozom karbonatnih stena stvaraju se *mermert* koji su obično krupnozrni i lako se troše (osipaju).

Potpuno razvijen kontaktni oreol sa pomenutim zonama razvijen je na Kopaoniku i Boranji.



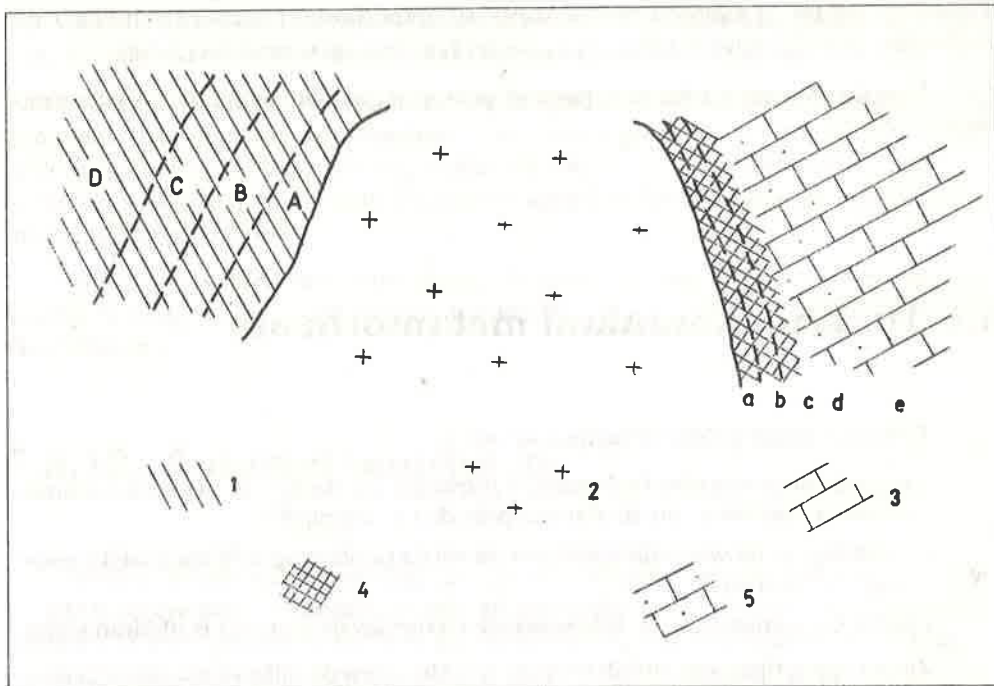
Sl.60. Bobičavi škriljac

5.3.9.2. Kontaktno metasomatske stene

Kontaktno metasomatske stene nastaju tako što magma, osim predavanja toplote, *vrši sa okolnim stenama razmenu lakoisparljivih i teškoisparljivih sastojaka*.

Reakcije su pritom složenije i intenzivnije ako je razlika u hemizmu između magme i okolnih stena veća (sl.61).

Najintenzivnija kontaktna metasomatoza vrši se između *kiselih vlažnih magmatskih stena i karbonatnih stena*. Metasomatski procesi pritom se odvijaju u oba smera, pri čemu se menjaju okolna stena i magmatska stena (uglavnom spoljni delovi). Stene stvorene prilikom metasomatskih procesa nazivamo **skarnovima**.



Sl.61. Šematski prikaz zonalnosti pri kontaktnoj metamorfozi škriljaca i karbonatnih stena: oznake:

1. Glinci i njihovi metamorfni produkti A-kornit, B-boblčavi škriljac, C-filit, D-glinci
2. Magma
3. Karbonatne stene
4. Merm.
5. Skarnovi

Skarnovi

Skarnovi su *trakaste do masivne* stene srednjezrne do grubozrne, bele do tamnozeleno boje, što svakako zavisi od mineralnog sastava ovih stena. Zavisno od karaktera magme kao i vrste karbonata (kalcita ili dolomita) skarnovi mogu imati veoma raznolik mineralni sastav. Pri tome će se zbog stalnog temperaturnog gradijenta u kontaktnom oreolu uvek ispoljiti zonarnost u rasporedu određenih minerala koji izgrađuju skarnove.

Skarnovi formirani *neposredno uz kontakt* sa velikim i dubokom intruzijama mogu biti izgrađeni od *augita, diopsida, hedenbergita, granata* (uglavnom *grosularsko-andraditiskog tipa*), *feldspata, vezuvijana, volastonita, magnetita* itd.

Skarnovi koji su stvoreni dalje od kontakta sadrže sledeće minerale: *tremolit*, *aktinolit*, *epidot*, *cojsit*, *plagioklas (albit do andezin)*, *malo volastonita i granata*, *prentita itd.*

Prilikom stvaranja skarnova sistem mora biti otvoren kako bi se oslobodio CO₂ iz karbonata.

Strukture su *granoblastične*, *retko nematoblastične porfiroblastične i pojki-loblastične*.

Skarnovi su interesantni kao nosioci orudnjenja. U unutrašnjoj zoni skarnova, neposredno uz kontakt, mogu se stvoriti značajne koncentracije *magnetita*, *volframita*, *molibdenita itd.* i obrazovati rudna ležišta. Tako su, na primer formirana skarnovska ležišta sa magnetitom na kontaktu granodiorita i karbonatnih stena na Kopaoniku (rudnici Suvo Rudište, Suva Ruda) i na Boranji u zapadnoj Srbiji.

Između skarnova i kornita postoje postupni prelazi. Takve stene nazivamo *skarnoidi*.

5.3.10. Endokontaktni metamorfizam

Endokontaktne promene javljaju se usled:

- *naglog hlađenja obodnih partija intruzije*, na dodiru sa hladnim okolnim stenama - promene su strukturne prirode i izohemijske;
- *usled migracije materija u jednom smeru* (iz perifernog dela magmatske mase u okolnu stenu) i
- *usled kontaminacije, tj. hibridizacije i asimilacije materija iz okolnih stena.*

Zbog naglog hlađenja plitkih plutona ima slučajeva da njihove margine očvrstnu kao veoma sitnozrne ili čak hipokristalasto porfirske tvorevine dok su centralni delovi iste mase normalno zrnaste strukture (na primer pluton Boranje). Ovako naglo zamrznute partije plutona nazivamo "*zamrznutim rubovima*" koji mogu dati veoma važan podatak o stepenu iskristalisanosti magme u toku njenog utiskivanja.

Zbog odlaska vode i nekih drugih komponenta u okolne stene endokontaktni deo ima različiti mineralni sastav od centralnog dela mase. Slično, usled asimilacije drugih materija iz stenâ u koje je utisnut, mogu se u endokontaktnoj zoni oreola formirati minerali koji nisu svojstveni magmatskim stenama: granati, kordijerit itd.

Asimilacija i kontaminacija magme može da bude parcijalna ili potpuna, kada se stvaraju magme drugačijeg sastava.

5.3.11. Pirometamorfizam

Pirometamorfizam predstavlja uticaj visokotemperaturnih lavâ na fragmente zahvaćenih stena ili na podlogu preko koje je lavâ izlivena. Pirometamorfizam je kontaktni metamorfizam visokih nivoa pod uticajem veoma zagrejanih lava, uglavnom bazalta, uz prisustvo viška kiseonika. Uticaj lave na okolne stene vremenski traje kratko ali su promene usled zagrevanja vrlo specifične. Pirometamorfizam se odvija pod uslovima *sanidinitske* ili eventualno *piroksen kornitske facije kontaktnog metamorfizma*.

Karbonatne stene u ovim uslovima daju skarnove veoma interesantnog sastava sa retkim kalcijским silikatima (larnitom, spuritom, monticelitom itd.).

Glinovite stene ili zahvaćeni fragmenti glinovitih stena kornitiziraju ili se na samoj površini preobražavaju u spečene stene slične cigli. Peščari se delimično stapaju, kada stopljena masa brzo očvršne usled čega se stvaraju devitrificirani peščari sa neobičnom asocijacijom minerala (kordijerit, spinel, tridimit, kristobalit itd.). kada ove stene nazivamo *bubitima*.

Može se reći da pirometamorfizam obuhvata izmene koje se vrše bez dejstva pritiska ili vodene faze ali na temperaturama koje su blizu tačke topljenja minerala okolnih stena.

5.3.12. Autometamorfizam

Pod pojmom *autometamorfizam* podrazumevaju se promene na stenama nastale uticajem *sopstvenih lakotisparljivih sastojaka* (H_2O , CO_2 itd.) koje se obično dešavaju na kraju procesa konsolidacije intruzivnog tela ili neposredno posle toga.

Prikažaćemo neke važnije autometamorfne procese koji dovode do stvaranja značajnih kompleksa autometamorfnih stena ili do izmena interesantnih kao prospekcijski kriterijum za istraživanje pojedinih metala (bakra, olova, cinka itd.).

5.3.12.1. Serpentinizacija i serpentine

Ako je vodi koja je primarno bila u peridotitima omogućen odlazak, stvoriće se normalne peridotitske stene. U slučaju da voda bude zadržana do temperatura od oko 400°C , ona reaguje sa olivinom stvarajući serpentin. Na ovaj način mogu nastati velike mase stena koje nazivamo *serpentinima*.

Preobražaj peridotita u serpentine može se, međutim, u prirodi vršiti i na druge načine (na primer regionalnom metamorfozoma ultramafita u prisustvu vode, uticajem hidrotermalnih rastvora, asimilacijom itd.). Iz navedenih razloga serpentiniti su svrstani u različite grupe stena. Po pojedinim autorima oni spadaju u magmatske stene, po drugim u metamorfne itd.

Serpentinitu su stene koje se najčešće javljaju u velikim masama. *Masivne* su teksture, ali ima i škriljavih, kada ih nazivamo serpentinskim škriljcima. Ove stene su obično *jako ispucale* i ispresečane žicama hrizotila, azbesta i drugih sekundarnih minerala.

Izgrađeni su od serpentina koji pokazuje mrežastu građu ako je nastao od olivina ili je rešetkast kada je nastao od piroksena. Od sporednih sastojaka sadrže *bromit, magnetit, talk itd.*

Zeleni su, tamnozeleni ili šareni.

Serpentinitu su značajni kao nosioci korisnih mineralnih sirovina. U njima se javljaju ležišta *blorita, azbesta i magnezita*.

Kao građevinski kamen ove stene su nepodesne jer su jako ispucale. Samo jedre partije serpentinita lepih boja upotrebljavaju se kao dekorativni kamen.

Rad u serpentinitima je veoma težak. U rudnicima sa podzemnom eksploatacijom i tunelima serpentinitu, usled procesa serpentinizacije, povećavaju svoju zapreminu usled čega se drobe i lome, pri čemu otežavaju eksploataciju u samom rudniku i predstavljaju veliku opasnost za rudare. Duž pukotina ovih stena (koje su, kao što je pomenuto veoma česte) propušta se velika količina vode što takode može zadati velike probleme u toku vadenja rude u pojedinim rudnicima.

U našoj zemlji ove stene su veoma rasprostranjene. Uglavnom su jurske, retko paleozojske starosti (Istočna Srbija). Najveće mase serpentinita nalaze se na Konjuhu i Ozrenu u Bosni, Maljenu, Zlatiboru u Srbiji, području Raduše u Makedoniji itd.

5.3.12.2. Autometamorfizam bazičnih magmatskih stena

Jedan od najčešćih metamorfnih procesa kod gabroidnih stena je *sosiritizacija*. Pod ovim pojmom podrazumeva se transformacija bazičnog plagioklasa u *albit, epidot i cojsit*. Uz sosiritizaciju skoro redovna je pojava *uralitizacije* piroksena ili njihove kloritizacije što je znatno ređe.

Ako se u kasno magmatskim rastopima javi i CO₂ dolazi do kalcitizacije pojedinih minerala (uglavnom plagioklasa).

Spilitizacija bazaltoidnih stena, ako voda potiče iz same magme, takode je proces autometamorfoze. Spilitizaciju i spilite prikazali smo uz stene gabra grupe te o njima u ovom poglavlju više neće biti reči.

5.3.12.3. Autometamorfizam kiselih magmatskih stena

Kod izlivnih kiselih magmatskih stena karakterističan autometamorfni proces (u subvulkanskom nivou) je *propilitizacija*, koju smo takode opisali kod dacita i andezita.

Jedan od najinteresantnijih autometamorfnih procesa koji zahvata granitoide je svakako *grajzenizacija*. Ostatak rastopa *bogat vodom i fluorom* i drugim gasovima vrši pneumatolitsko-hidrotermalnu izmenu granita i već iskristalisane feldspate pretvara u *muskovit, topaz, beril, turmalin, lepidolit, cinvaldit itd.*

5.3.13. Hidrotermalni metamorfizam i okolorudne promene stena

Hidrotermalni metamorfizam uzrokovan je dejstvom rastvora na stene i to uglavnom oko područja kanala po kojima cirkulišu. Stoga je vezan za blizinu tektonskih zona duž kojih rastvori dolaze iz dubljih delova Zemljine kore. Često je hidrotermalni metamorfizam teško odvojiti od autometamorfizma, a isto tako često se ova dva metamorfizma mešaju.

Hidrotermalne promene kod *ultramafita* manifestuju se pojavom serpentinskih zona oko tektonskih struktura. Osim serpentinizacije, za cirkulaciju kiselih rastvora u serpentinitima vezane su i pojave *talka* (mogu se formirati i talkne stene). Ovaj mineral je interesantan kao sirovina za industriju guma, kao punilo, zatim u kozmetici itd. Hidrotermalne promene u serpentinitima dovode do stvaranja *azbesta* i *magnezita* takođe značajnih mineralnih sirovina.

U stenama gablo grupe, takođe se oko većih ruptura sreću hlorit, sosirit, epidot, kalcit itd.

Za intermedijarne i kisele magmatske stene karakteristične hidrotermalne promene su *sericitizacija* i kasnije *glinovita alteracija feldspata*, *bloritizacija*, *epidotizacija* i *kalcitizacija* bojenih minerala i često intenzivna *silifikacija* koju prati impregnacija pirita.

Za nas su svakako najznačajnije one hidrotermalne promene koje se sreću u zonama izmena oko *rudnih žica* ili *rudnih tela* većih dimenzija i koje bi nam mogle poslužiti kao kriterijum pri prospekciji rudnih ležišta.

Pri istraživanju rudnih mineralizacija svakako treba prvo izdvojiti pojmove *hidrotermalne promene* od *okolorudnih izmena*, mada se ovi termini vrlo često poklapaju.

Hidrotermalne promene ne podrazumevaju *obavezno prisustvo rudne mineralizacije* kao što je slučaj kod *okolorudnih promena*. Tako na primer *bloritizacija* može biti samo hidrotermalna promena (bez mineralizacije), dok u slučajevima prisustva hloritizacije i rudnog komponenta hloritizacija može biti i *okolorudna promena*.

Okolorudno promenjene stene formiraju se pod dejstvom *istih rastvora koji su izvori orudnjenja* pri čemu je odlaganje rudne supstance bilo *istovremeno* sa ovim promenama ili na njihovom kraju. Postoje slučajevi (naročito ako su regionalnog karaktera) kada mineralizacija nastupa kasnije (tzv. propiliti, serpentiniti, alkalni metasomatiti itd.).

Pri prospekciji rudnih ležišta potrebno je svakako razdvojiti pojmove *hidrotermalne promene* i *okolorudne izmene*.

Pri proučavanju hidrotermalnih promena potrebno je razlikovati dva tipa hidrotermalnih metasomatita: *metasomatske procese* regionalnog karaktera i *okolorudne metasomatite*.

Metasomatski procesi regionalnog karaktera obično su autometasomatskog karaktera i stvoreni su na kraju magmatskog ciklusa (propiliti, serpentiniti itd.).

Okolorudni metasomatiti formiraju se u već konsolidovanim stenama i vrlo često potiskuju mineralne asocijacije metasomatita regionalnog karaktera (na primer stvaranje asocijacije sekundarnih kvarcita na propilitisanim andezitima.).

Od metasomatskih procesa regionalnog karaktera koji su skoro redovno prisutni kao spoljni oreoli okolorudno izmenjenih stena svakako je potrebno pomenuti *propilitizaciju*.

5.3.14. Propilitizacija i propiliti

Termin *propilit* prvi put je upotrebio Rihthofen (Richthofen) 1867 godine za faciju paleotipnih vulkanskih stena oko ležišta zlata i srebra u Sijera Nevadi. Nastao je od grčke reči *προπυλαιον* što znači predvorje tj. preneseno prethodnik.

Iako u širokoj upotrebi, *propilitizacija* kao proces do danas nije jednoznačno tumačena. Naime, pojedini autori su mišljenja da je propilitizacija proces autometasomatskog karaktera (autohidrotermalni) dok drugi smatraju da je to okolorudna izmena vezana za mlade hidroterme. Pomenuti autor ovaj termin nije genetski definisao.

M. Lazarević (1913.) je među prvim autorima u našoj zemlji koji se bavio problemom propilitizacije. On pod propilitizacijom podrazumeva *kompleksan regionalni proces izmena gornjo krednih-tercijarnih eruptivnih stena* granodioritske magme. Ona nastaje *postvulkanskim procesima* kao i rudna ležišta koja se sreću u propilitima, pri čemu napominje da proces formiranja rudnih ležišta ne mora biti u *uzročnoj vezi* sa propilitizacijom.

U novijoj literaturi najviše podataka o propilitizaciji srećemo u radovima M. Ilića. Ovaj autor proces propilitizacije definiše kao *autohidratisanje dacita i andezita ili propilitizaciju u pravom smislu*. Pri tome M. Ilić striktno odvaja propilitisanje od okolorudnih izmena stena. Na jednom mestu pomenuti autor kaže: *povezanost pojava rudnih ležišta i procesa propilitisanja utoliko se ispoljava što samo propilitisani dacito-andeziti mogu biti rudonosni*.

Po istom autoru propilitizacija napada samo bojene minerale. Od promena, pri ovom procesu, uočene su: *bloritizacija, epidotizacija, kalcitizacija, piritizacija itd.*

Odlučujuću ulogu pri tome imaju rastvori sa sadržajem CO_2 i H_2S . Procesi se odvijaju na temperaturama iznad 350°C .

Naknadna razaranja propilitisanih stena M. Ilić definiše kao *postpropilitiske preobražaje*. Autor pri tome razlikuje: preobražaje propilita pod uticajem rudnih rastvora i preobražaje u zoni površinskog raspadanja kada se vrši izbeljivanje stenske mase uz destrukciju svih komponenata.

U prvom slučaju vrši se dopunsko preobražavanje pri čemu se razaraju feldspati a od njih, kao i ostalih minerala, nastaju novi na sličan način kao i kod hidrotermalno ili okolorudno promenjenih stena.

U drugom slučaju razaraju se svi minerali, izuzev kvarca. Promene su postepene, te se može razlikovati više faza. Na kraju ovih promena stena se pretvara u izbeljen, šupljikav materijal, dosta sličan kvarcitima.

Propilitizaciju treba razlikovati od metamornih preobražaja koji dovode do stvaranja sličnih ili identičnih asocijacija.

Potrebno je napomenuti da se u propilitskim stenama ne zapaža izrazita temperaturna zonalnost koja je karakteristična za metamorfne procese ili za zone okolorudnih promena stena.

5.3.14.1. Okolorudni metasomatiti

Okolorudne promene predstavljaju jedan veoma kompleksan proces koji dovodi do stvaranja okolorudnog oreola, po pravilu mnogo šireg nego rudno telo i najčešće zonarnog karaktera.

Zonarnost okolorudnih promena zavisi od više faktora. Na nju svakako najviše utiču struktura rudnog polja, sastav stene na kojoj se vrši izmena, tektonski sklop područja, sastav alteracionih rastvora i zakonitost njihove evolucije, temperaturni režim u rudnom polju itd.

Karakter hemijskih reakcija koje rastvori vrše na steni domaćinu određeni su intervalima pritiska i temperaturama na kojima se reakcije odvijaju (pritisci do 1000 bara i temperature do oko 400°C), sastava i stepena alkaliteta rastvora itd. Ukoliko je temperatura viša i razlika u sadržaju alkalija i zemnoalkalija između stene i rastvora i što je veći sadržaj hlorida, sulfata i drugih anjona u rastvoru, reakcije su intenzivnije.

U narednom tekstu prikazaćemo dva najvažnija tipa okolorudnih metasomatita, *sekundarne kvarcite* i *okolorudne izmene* genetski vezane za žična ležišta.

5.3.14.2. Sekundarni kvarciti

Prema definiciji koju je dao Nakovnik (1964.) *sekundarni kvarciti predstavljaju formaciju rudosnih hidrotermalno izmenjenih stena vulkanogenih kompleksa*. Svi mineralni tipovi sekundarnih kvarcita odlikuju se prisustvom kvarca (ponekad i kalcedona i opala koji obično prelaze u kvarc), rutila, sulfida Fe i neobavezno prisutnim ali tipičnim visoko aluminijским mineralima, sulfatom Al, samorodnim sumporom itd. Po pravilu sekundarni kvarciti prelaze u neizmenjene stene preko produkata ranijih hidrotermalnih izmena, argilita ili propilita.

Sekundarni kvarciti obrazuju se iz *veoma kiselih rastvora bogatih sumporom* te su *uglavnom vezani za vulkanske kanale*. Prema mineralnim asocijacijama izdvojeno je nekoliko tipova (facija) sekundarnih kvarcita:

- *korund-andaluzitska*, sa bitnom mineralnom asocijacijom korund+andaluzit+kvarc i neobavezni dijaspor, topaz i muskovit;
- *dijasporska*, sa bitnom asocijacijom dijaspor+kvarc i neobavezni pirofilit, alunit, kaolinit i zunit;
- *alunitska*, sa bitnom asocijacijom alunit+kvarc i neobavezni dijaspor, kaolinit i zunit;

- *kaolinitiska*, sa kaolinitom i kvarcom uz prateći dijaspor, alunite i sericit;
- *pirofilitska*, sa pirofilitom i kvarcom uz prateće dijaspor, kaolinit i sericit;
- *sericitska*, sa sericitom i kvarcom uz neobavezne sulfide.

Primarni minerali vulkanskih stena bivaju zamenjeni sekundarnim, obično uz više faza i to: feldspati kvarcom, aluminijским mineralima i sericitom, dok su bojani minerali zamenjeni alunitom, pirofilitom, kaolinitom i takode sericitom. Magnetit se zamenjuje piritom.

Zonalnost facija sekundarnih kvarcita ide po sledećoj šemi:

- *neizmenjene stene*;
- *propiliti*;
- *sericitski kvarciti*;
- *pirofilitski kvarciti*;
- *kaolinitski kvarciti*;
- *alunitski kvarciti*;
- *andaluzitski kvarciti*;
- *korundski kvarciti*.

Uz sekundarne kvarcite vezana su ležišta andaluzita, korunda, dijaspora, alunita, pirofilita, sulfidnih ruda Cu, Pb, Zn, Au, Ag i ponekad Hg, Sb, As, Mo i Fe.

Najverovatnije je da u stvaranju facija sekundarnih kvarcita učestvuju i kasno-magmatski solfatarski procesi kao i uticaj descendentnih (atmosferskih voda).

U našim ležištima alteracije tipa sekundarnih kvarcita najizraženije su u području timočkog kompleksa (Istočna Srbija) i to u samom rudnika Bor (Tilva Roš), kao i na području između Bora i Majdanpeka (Čoka Marin). Osim pomenutih lokaliteta sekundarni kvarciti zapaženi su na Plavici (kratovsko-zletovska oblast) pri čemu se javljaju praktično sve pomenute facije sekundarnih kvarcita.

5.3.14.3. Okolorudne izmene vezane za žična ležišta

Među hidrotermalnim žičnim ležištima genetski vezanim za hipoabisalne i subvulkanske intruzije izdvajaju se *visokotemperaturna* (300-500⁰C), *srednjetemperaturna* (200-300⁰C) i *niskotemperaturna* okolorudna izmena (manje od 200⁰C). Svaka od navedenih grupa ima specifičnosti koje se odnose na morfologiju rudnih tela, sastav i način punjenja žice, karakter rude i najzad i vrstu okolorudne izmene stene.

Kod visokotemperaturnih izmena najtipičnija je *grafzenizacija* o kojoj je detaljnije bilo reči.

Sastav okolorudnih metasomatita srednjih i niskih temperatura je složen. Najčešći procesi na ovim temperaturama su *sericitizacija* i *adularizacija*, zatim *piritizacija*, *silifikacija*, *karbonatizacija* itd.

Za najveći broj rudnih ležišta olova, cinka, bakra, zlata, molibdena i dr. zonalnost okolorudnih izmena je sledeća:

- rudna žica;
- *K-feldspatizacija (adularizacija)*;
- *silikacija*;
- *sericitizacija*;
- *propilitizacija*

K-feldspatizacija kao proces neposredno prethodi mineralizaciji, dok su sinmineralizacioni procesi *silikacija* i delom *sericitizacija*, a ostali navedeni, su postmineralizacioni. Treba napomenuti da se *silikacija* javlja kao višefazan proces kao i *piritizacija* te on ne može biti indikator za prospekciju. Kod manjih ili nižetemperaturnih žica *K-feldspatizacija* izostaje ili biva zamenjena *sericitizacijom*. Uopšte su ova dva procesa u neku ruku komplementarna. Navedene promene u našoj zemlji javljaju se u Trepči, Novom brdu, Lecu, Brskovu, Šupljaj steni i drugim ležištima.

5.3.14.4. Okolorudne izmene vezane za porfiriska ležišta bakra

Porfiriska ležišta bakra vezana za štokverkske intruzije granodioritskog tipa pokazuju veoma specifičan tip alteracija koji je najdetaljnije opisan od Lovela i Džilberta (1970). Odlikuje se sledećim rasporedom alteracionih zona: *oko intruzije se javlja K-feldspatizacija zatim sledi zona sa filosilikatima, argilitiska zona i najzad propilitizacija. K-feldspatska zona* se odlikuje mineralnom asocijacijom *K-feldspat + biotit* ili *K-feldspat + hlorit*. U ovoj zoni rudnih minerala nema. U manjim ležištima ona katkad izostaje.

Zona sa filosilikatima karakteriše se mineralnom asocijacijom *kvarc, sericit i pirit*. Predstavlja i deo rudne zone odnosno početak područja sa porfirskom rudom bakra. Ova zona *uvek je prisutna* u navedenom tipu mineralizacije bakra.

Argilitiska zona karakteriše se prisustvom *minerala glina*, bliža je glavnoj rudnoj zoni. Piritu takode ima ali manje nego u filosilikatnoj zoni. U nekim ležištima ova zona je odsutna iz alteracione sekvence.

Propilitiska zona je spoljnja alteraciona zona koja je takode redovno prisutna u porfirskim ležištima bakra. *Hlorit, pirit, kalcit, epidot* su karakteristični minerali ove zone. Plagioklas ostaje svež ili slabo argilitisan.

5.3.14.5. Okolorudne promene vezane za vulkanogeno-sedimentna ležišta bakra

U našoj zemlji promene su karakteristične za ležišta bakra u dijabaz-rožnačkoj formaciji, i genetski su vezane za dijabaze ili spilite u kojima se bakar obično nalazi. Karakteristična okolorudna izmena je *hloritizacija* pri čemu hlorit potiskuje kompletnu mineralnu asocijaciju osnovne stene. Često je prisutna i *silikacija, epidotizacija* i ponekad *albitizacija*. Ovakve promene zapažene su u zapadnoj Srbiji (Lajkovača), u Čadinju itd.

Index pojmova

A

aktinolit	52
akvamarin	59
albit	40, 42
alkalni gabroidi	128
almandin	57
alofan	48, 50
alotriomorfizam	34
ametist	39
amfibol	51, 90
alkalni	51 - 52
monoklinični	51 - 52
rombični	51
andaluzit	56
andezin	42
andezit-bazalt	121, 125
andeziti	121
andradit	57
anhidrit	66
anizotropija	19
anklave	91, 108
anortit	40 - 42
anortozit	123
antigorit	47
antofilit	51
apatit	68, 110
apliti	106 - 107, 110

aragonit	65
asimilacija	91
asocijacija	
keratofirsko-spilitska	121, 137
augitska serija	53 - 54
automorfizam	33

B

batolit	94
bazalti	122, 125
alkalni	125
andezit-	125
kaloalkalni	125
nefelin-	126
paleo-	126
toleitski	125
bazaniti	128 - 129
bentonit	50
beril	59
bimštajn	111
biotit	45 - 46, 90, 107
biotitski peridotit	130
bitovnit	42
boniniti	121
bronzit	53
bronzititi	130, 132
brukit	62

C

ciklosilikati	38, 59
cinvaldit	45
citrin	39
cojsit	58

D

daciti	107, 115
dacito-andeziti	115
dajk	95
desmin	44
dijabaz, olivinski	126
dijabazi	122, 126
dijabazporfiriti	127
dijalag	54
dijalagiti	130, 132
dijamant	70
dijaspor	63
dikit	48
diopsid-hedenbergitska serija	53
dioriti	106, 119 - 120
dioritporfiriti	119 - 120
disten	56
doleriti	125
dolomit	65
dunit	130

DŽ

džipsit	63
---------	----

E

elementi	70
atmosfilni	74
halkofilni	74
litofilni	74
siderofilni	74
enstatit	53, 132

enstatit-hiperstenska serija	53
epidot	57
epidotska grupa	57
eseksiti	128 - 129

F

fajalit	55
fakolit	95
feldspat	40, 90
alkalni	90, 107
kalcijski	40
kalijski	40
natrijski	40 - 41
natrijsko-kalcijski	41
feldspatoidi	42
filipsit	44
filosilikati	37, 45, 47, 49
flogopit	45, 110
fluoriti	110
fonolit	118
formacija	
dijabaz-rožnačka	113, 127, 137
porfirit-rožnačka	113
forsterit	55
fosfati	68
fosforit	68

G

gabro-peridotiti	124
gabrodioriti	120
gabroi	122 - 123
gabroidi	106
alkalni	106, 128
gabropegmatiti	122, 124
gabroperidotiti	130
gabroporfiriti	122, 124
gejzirit	40
geološki termometar	87
gips	66
glaukonit	48
Goldšmit	73 - 74

gorski kristal	39
grafit	70, 110
grajzeni	111
grajzenizacija	111
granati	57
granodioritporfiriti	107, 114
graniti	107, 113
granitoidi	106
kvarcmonconitski	113
monconitski	113
obični	107
granitoidi	107, 113
granitporfiri	107, 109
granitski grus	108
granodioriti	106 - 107, 113
grinštajn	126
grosular	57
guano naslage	68

H

habazit	44
halit	67
haloidi	67
halozit	48
harcburgit	130
hematit	61 - 62
hidrargirit	63
hidroksidi	61, 63
aluminijuma	63
gvožđa	61
hidroliskun	48
hidrotermalna faza	93
hiperit	123
hipersten	53
hipersteniti	132
hloriti	46
hojlandit	44
homogen silikatni rastop	88
hornblenda	51 - 52, 107
hornblenditi	130, 132
hrizotil	47
hrizotil-azbest	131

I

I-graniti	108
idiomorfizam	33
ilit	48, 50
ilmenit	62
inkorporacija	91
inosilikati	37, 51, 53, 56
intruzije	
duboke	85
plitke	85
izomorfizam	22
izotropija	19

J

jadeit	54
--------	----

K

kalcedon	39
kalcit	64
kaldera	96
kaolinit	48 - 49
karbonati	64 - 65
karbonatiti	106, 133
karst	64
keratofiri	116, 118
kersantit	132 - 133
ripanjski	128
kimberliti	130, 132
klasifikacija	
hemijska	101
mineraloško-hemijska	101, 105
minerološka	101
po Rozenbušu	102, 105
Tregerova	102
komatiti	131
komponenti	
lako isparljivi	86
teško isparljivi	86
Konradov diskontinuitet	76
kortlandit	130

korund	63
kristal	19
blizanci	24, 66
centar simetrije	23
ivice	23
osa simetrije	23
pljosni	23
ravan simetrije	23
rogljevi	23
idiomorfni	98
osnovna masa	98
kristalni sistemi	
heksagonalni	24
kubični	24
monoklinični	24
rombični	24
teseralni	24
trigonalno-romboedarski	24
triklinični	24
ksenoliti	91
ksenomorfizam	34
kupa	96
kvarc	39, 107
piezooptički	110
kvarcdijabaz	126
kvarcdioriti	106 - 107, 113
kvarcdioritporfiriti	107, 114
kvarckeratofiri	107, 112 - 113
kvarclatiti	107, 114
kvaremonconiti	106
kvaremonconitporfiriti	107, 114
kvareporfiri	107, 112, 116
kvareporfiriti	107, 116

L

labrador	42
labradorizacija	124
lakolit	95
lampofiri	106, 132
latiti	119 - 120
lava	
arealne erupcije	95
centralne erupcije	95
linearne erupcije	95
lavsonit	60
led	61

lepidolit	45
lerzolit	130
leucit	42 - 43, 119, 126
leucitbazalti	128 - 129
leucitfonolit	119
leucitosfir	119
limonit	62
lipariti	111
liskuni	45
kalijski	45
litijski	45
litijsko-gvoždlevi	45
magnezijski	45
magnezijsko-gvoždlevi	45
natrijski	45
lomontit	44
lopolit	95
lučenje	
stubasto	115

M

magma	85 - 86
asimilacija	91
bankovito lučenje	96
bazična	86, 90
diferencijacija	88 - 91
diferencijacija gasnim transportom	91
diferencijacija istiskivanjem	91
dubina	92
frakciona kristalizacija	90
gravitaciona kristalizacija	
diferencijacija	90
hibridna	91
inkorporacija	91
intermedijarna	90
kinetička diferencijacija	89
kisela	86, 88, 90
konsolidacija	92 - 93
kontaminacija	91
kristalizacija	88
kristalizaciona diferencijacija	90
kuglasto lučenje	96
likvacija	89
lučenje	96
nepravilno lučenje	96
paralelopipedsko lučenje	96
pločasto lučenje	96
pritisak	87, 92

sastav	91 - 92	markazit	69
spoljni pritisak	87	melafiri	128
statička diferencijacija	89	meljnikovit	69
stubasto lučenje	96	metahalozit	48
suva	86	metasomatoza	34
temperatura	87	mikrograniti	109
ultrabazična	90	mikroklin	41
ultrakisela	90	mikrolit	112
unutrašnji pritisak	87	mineral	17
viskozitet	88	boja	25
vlažna	86	cepljivost	26
magmatska formacija	136 - 137	elastičnost	28
magmatske provincije		električne osobine	30
arktička	137	gustina	28
atlantska	136 - 137	koloidni	35
mediteranska	136 - 137	miris	30
paciifička	136	ogreb	25
tihokeanska	137	opip	30
magmatske stene		prelom	27
ašistne	106	radioaktivnost	30
afanatične	97	sjajnost	26
bazične	105	toplotne osobine	29
bitni sastojci	101	tvrdina	27
dlašistne	106	ukus	30
dubinske	102, 105, 107	minerali	19
fanerokristalne	97	alotriomorfni	97
hemijski sastav	135	amorfni	20
intermedijarne	105	bitni sastojci	82
izlivne	102, 111	boksitni	63
kenotipne	103	hipidiomorfni	97
kisele	105	ksenomorfni	97
melanokratne	102	magnetizam	29
mlade	103, 106	petrogeni	82
nezasićene	105	sporedni sastojci	82
prezasićene	105	mineta	132
primarne	101	MOHO diskontinuitet	75, 85
sekundarne	101	monconiti	106, 119
sklop	97	monconitporfiriti	119 - 120
sporedni sastojci	101	monmorijonit	48 - 49, 119
starije	106	morion	39
struktura	97	Mosova skala	27
subaerske	106	muskovit	45, 107
submarinske	106		
svetle	102		
tamne	102		
ultrabazične	105		
zasićene	105		
žične	102, 106, 109		
magmatski stadijum	92		
magnetit	61 - 62		
magnezit	65, 131		
makropetrografija	81		

N

nakrit	48
natrolit	43

nefelin	42 - 43
nefelinbazalti	128 - 129
nek	95
nezosilikati	37, 55 - 57
nivo	
abisalni	92
donji plutonski	92 - 93
gornji plutonski	93
hipoabisalni	93
subvulkanski	93
vulkanski	93
norit	123
Nova globalna tektonika	75 - 76

O

obsidijan	111, 134
ofiolitski kompleksi	130
oksidi	61, 63
aluminijuma	63
gvožđa	61
titana	62
oligoklas	42
olivin	55, 90
olivinski gabro	123
olivinski norit	123
omfacit	54
opal	39
ortoklas	40 - 42
ortopiroksen	53
ostrvski lukovi	78

P

paleo-bazalti	126
paleorjoliti	112
paleotrahiti	118
paragenetska asocijacija	36
paragonit	45 - 46
pegmatiti	92, 107, 109
feldspatski	110
liskunski	110
sa berilom	110
sa spodumenom	110

pegmatitski stadijum	92
pehštajn	111, 134
peridotiti	129
perliti	134
perovskit	62
petrogeneza	81
petrografske provincije	136
pigment	25
pikriti	130 - 131
pikritporfiriti	130 - 131
pillow	96
pillow lave	76, 97, 127
pirit	69
pirokseni	53
alkalni	53 - 54
monoklinični	53
rombični	53
pirokseniti	130, 132
pirop	57
plagioklas	41, 90
bazični	90
intermedijarni	90
kalcitisani	126
kiseli	90
sosiritisani	126
ploča	95
plovućac	111, 134
pluton	94
pneumatolit	93
polimorfizam	21
porfiri	118
porfiriti	119
površina	
MO110	75
Vihert-Gutenbergova	75
propiliti	122
propilitizacija	122
pumpelit	58

R

riftovi	77
riolit	107, 111
albitski	112
ripanjski kersantit	128

Rozenbuš	102
rubini	63
rudna ležišta	80
rutil	62

S

S-graniti	108
safiri	63
sanidin	41
sericit	41, 45
serpentin	47, 55
amorfni	47
listasti	47
vlaknasti	47
serpofit	47
sfen	58
sheted dykes	76
siderit	65
sijeniti	106, 116
alkalni	117
sijenitporfiri	116 - 117
sil	95
silikati	37
aluminijumski	56
silimanit	56
smaragd	59
sorosilikati	37, 59
sosirit	42
spersantin	57
spesarit	132 - 133
spilit-keratofirska asocijacija	112, 137
spiliti	122, 127
stena	80
hipokristalasta	97
holokristalasta	97
kristalinitet	97
staklasta	97
tekstura	100
vitrofirska	97
stene	
dubinske	116, 119, 123
hemijske	84
izlivne	83, 114, 117, 120, 125, 131

kataklastične	84
klastične	84
kontaktno metamorfne	84
magmatske	83, 85, 87, 89, 91, 93, 95, 97, 99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131, 133, 135, 137
magmatske, paleotipne	103
metamorfne	83 - 84
organogene	84
plutonske	83
polimineralne	82
regionalno metamorfne	84
sedimentne	83 - 84
sijenitske grupe	118
subaerske	83
submarinske	83
žične	114, 117, 120, 124, 130 - 131
struktura	
alotriomorfno zrnasta	98
hijalinska	98
hipidiomorfno zrnasta	98
hipokristalasto porfirska	98
holkristalasto porfirska	98
intersetalna	99
kumulatna	100
mirmekitska	99
ofitska	99, 126, 128
oligofirska	100
panidiomorfno zrnasta	98
pisanopegmatitska	109
pojkilitska	100
polifirska	100
porfiroidna	99, 131
porfirska	98
sferolitska	99, 128
trahitska	117
vitrofirska	98, 128
zrnasta	98
sulfati	66
sulfidi	69
sumpor	70

Š

štit	95
štok	95

T

talk	48, 55, 131
tefriti	128
tekstura	100
fluidalna	100
homogena	100
mandolasta	100, 126
mehurasta	100
planparalelna	100
škriljava	100
šlirasta	100
šljakasta	100
tektosilikati	37
teraliti	128
timociti	121
trahandeziti	121
trahiti	116 - 117
albitski	118
tremolit	52
tremolit-aktinolitska serija	51
troktolit	123
turmalin	59

U

ultramafiti	106
uralit	124
uvarovit	57

V

vebsteriti	130, 132
verlit	130
viskozitet rastopa	88
vitrofiri	134
voda	
higroskopska	17
koloidna	18
konstitucionalna	18
kristalna	18
mehanički uklopljena	17
u mineralima	17
zeolitska	18
vulkanska igla	96
vulkanska stakla	106, 134

Z

Zemlja	73
astenosfera	76
atmosfera	74
barosfera	74
jezgro	73 - 74, 76
kontinentalna kora	76
kora	74, 76
litosfera	74, 76
mezosfera	76
okeanska kora	76
omotač	76
SIAL zona	74
SIMA zona	74
sulfidno oksidna zona	74
zeoliti	43
zone subdukcije	77

Ž

žedrit	51
žica	95