

MINERALOGIJA

KRISTAL

Definicija:

- trdno telo
- periodična prostorska razvrstitev kemičnih sestavin
- ravne ploskve
- stalni koti
- nastanek: naravni, umetni procesi
- anorganske, organske spojine

MINERAL

Definicija:

- kristalna vrsta, nastala v naravi (tudi umetno)

Razvrstitev mineralov

Strunzova klasifikacija

- okrog 3500 mineralov (200 pogostih) (leto 2000)
- delitev glede na kemično sestavo:
 - 33% silikatov
 - 16 % sulfidov, fosfatov, arzenatov, vanadatov
 - 10 % oksidov in hidroksidov
 - 8 % sulfatov, kromatov, molibdatov, volframatov
 - 7 % nitratov, karbonatov, boratov
 - 5 % samorodnih prvin, haloidov
- delitev glede na strukturo:
 - 31 % monoklinska singonija
 - 22 % rombična singonija
 - 12 % kubična singonija
 - 10 % trigonalna singonija
 - 9 % tetragonalna singonija
 - 8 % heksagonalna in triklinska singonija

Uporaba mineraloških podatkov

- rudarstvo
- metalurgija
- agronomija
- gradbeništvo

Izvor imen mineralov

- kemična sestava (kuprit)
- osebna imena (zoisit), armalcolit (leto 1969) $(\text{Fe}_{0,5} \text{Mg}_{0,5})\text{Ti}_2\text{O}_5$, ki pri padcu temperature in $p < 5$ kbar preide v ilmenit FeTiO_3
- zemljepisna imena (dravit)
- barva (azurit)
- oblika (tetraedrit)
- fizikalne lastnosti (barit, ortoklaz)

Kemična formula minerala

Primer: NaCl - halit
CaSO₄ · 2H₂O - sadra
K(Mg,Fe,Mn)₃[(OH,F₂)AlSi₃O₁₀] - biotit
Al⁽⁶⁾Al⁽⁴⁾ [OSiO₄] - sillimanit

MINERALNA PARAGENEZA

Definicija:

- združba mineralov v določenem geološkem okolju
- zaporedje nastajanja mineralov (ameriška klasifikacija)

Naključna parageneza n.pr. kromit v peščenjaku

Parageneza zaradi zakonitosti nastanka: n.pr. kromit, piroksen, olivin v ultramafičnih kamninah

Vodilni (ime parageneze) in **spremljajoči** minerali

Zaporedje nastajanja

Primer:

granit: apatit → cirkon → sljude → glinenci → kremen (kot zadnji)

Faze – generacije → paragenetski diagram, kvantitativno vrednotenje

Paragenetski diagram

- zaporedje nastajanja mineralov (uporaba optičnega mikroskopa) - generacije
- količinska razmerja
- medrudne tektonske faze

Nahajališča mineralov – rudišča

- rudni minerali → kovinski minerali
- jalovina – minerali, ki niso uporabni za pridobivanje kovine → nekovinski minerali

NASTANEK MINERALOV

- magmatsko območje
 - pod površino Zemlje
 - visoka temperatura in tlak,
 - različna kemična sestava magme
- metamorfno območje
 - pod Zemljno površino
 - spremenjena temperatura in tlak (praviloma povišana)
 - različna kemična sestava matične kamnine
- sedimentno območje
 - na Zemljini površini
 - atmosferska (nizka) temperatura in tlak
 - različna kemična sestava vodne raztopine (matične kamnine)

Endogeni procesi: procesi magmine diferenciacije, ki povzročijo nastanek magmatskih kamnin oz. procesi, ki so se dogajali v Zemljini notranjosti in jih povzročajo energija Zemlje

Eksogeni procesi: procesi zaradi delovanja zunanje (sončne) energije. T in p sta nižja kot pri endogenih procesih → klastične in kemične usedline

Metamorfoza: preobrazba. Proces (endogeni), ki jih pretrpe minerali, če pridejo zaradi geoloških pojavov v spremenjene fizikalno kemične razmere, pri katerih niso več obstojni

MINERALNA SESTAVA ZEMLJINE SKORJE

Glavni minerali v Zemljini skorji

Vrsta	število min.	delež
Silikati	471	25
Sulfidi in selenidi	237	12
Oksidi	176	9
Fosfati	172	9
Sulfati	142	5
Arzenati	110	5
Borati, karbonati, hidroksidi	~350	~12

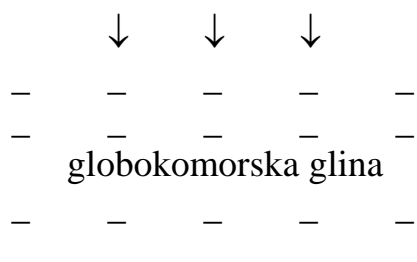
Srednja mineralna sestava v Zemljini skorji

Plagioklazi	40 mas. %
K – glinenci	18
Pirokseni in amfiboli	16
Kremen	13
Magnetit, hematit	4
Sljude (muskovit, biotit)	3
Kalcit	1,5
Dolomit	0,1
Ostali	~5

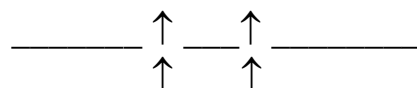
Oceanska skorja

debelina 6 – 20 km

voda



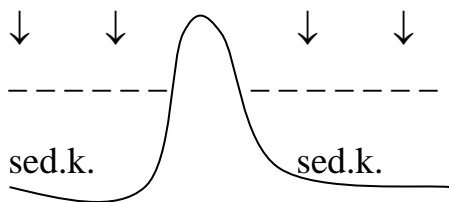
bazaltna lava



gabro (magm. kamnina)
primarna kamnina, nastala ob
nastanku Zemljine skorje

Celinska skorja

debelina: 25 – 50 km



magmatska kamnina
primarna kamnina, nastala ob
nastanku Zemljine skorje

metamorfna kamnina

KEMIČNA SESTAVA ZEMLJINE SKORJE

- 99,4 % Zemljine skorje gradi 12 prvin:
 - 47 mas. % kisik
 - 28 silicij
 - 8 aluminij
 - 5 železo
 - 4 kalcij
 - 3 natrij
 - 2 kalij
 - 2 magnezij
 - < 0,5 titan, vodik, fosfor, mangan

Delitev prvin po Goldschmidtu

- litofilne (kamninotvorne) prvine → litosfera
alkalijske in zemljoalkalijske prvine, Al, Si, ...
- halkofilne (halkos gr. – baker) → Zemljin plašč → sulfidi
Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, ...
- siderofilne (sideros gr. – železo) → Zemljino jedro
Fe, Ni, Co, ...
- atmofilne → atmosfera
N, O, C (CO₂), H (H₂O), žlahtni plini
- hidrofilne → hidrosfera
H, O, C, Na, K, Ca, Mg, Cl, Br, J, ...

I. MINERALI MAGMATSKEGA OBMOČJA

Zemljina skorja – **magma** (prihaja iz zgornjega plašča) - **magmatske kamnine**:

globočnine (plutoniti), visoka T in p

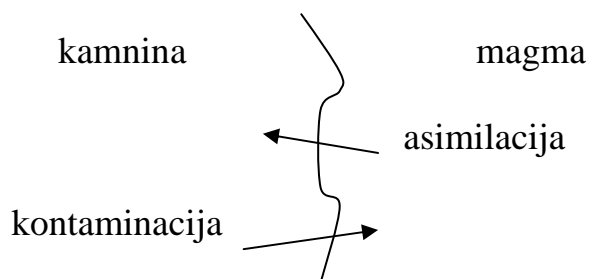
predornine (vulkaniti), visoka T in nizek p

- Pri najvišji T ($>1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) in p je na razpolago malo kisika (redukcijsko okolje) in malo lahkoahlapnih komponent \rightarrow minerali, katerih kationi imajo nižja oksidacijska stanja (n.pr. več Fe^{2+} kot Fe^{3+}), brezvodni minerali, minerali brez CO_3 , SO_4 , PO_4 , F, Cl itd.
- Pri T $\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$: magma obogatena z lahkoahlapnimi komponentami (F, Cl, PO_4)
- Pri T $< 400\text{ }^{\circ}\text{C}$: vodni minerali, veliko lahkoahlapnih komponent – **pneumatolitska faza**
- Pri T $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$: veliko vodnih mineralov – **hidrotermalna faza**

Interakcija med okolno kamnino (prikamnino) in telesom magme:

asimilacija

kontaminacija



Kristalizacija magme:

Minerali z visokim tališčem (MgO , FeO , Fe_2O_3)

Sledi kristalizacija mineralov z Na_2O , K_2O

Bogatenje SiO_2

Primeri: tališča oksidov

Oksid	T tališča, $^{\circ}\text{C}$
MgO	2800
CaO	2500
Al_2O_3	2050
SiO_2	1700
Fe_2O_3	1500

Spreminjanje kemične sestave magme:

- Frakcionirana kristalizacija magme
- Gravitacijska diferenciacija magme

POIMENOVANJE MINERALOV IN KAMNIN GLEDE NA KEMIČNO SESTAVO

Mafične kamnine: bogate z minerali, ki vsebujejo veliko MgO, FeO (olivin, pirokseni, amfiboli, biotit)

Femični minerali (bazični, temni)

Felzične kamnine: bogate z minerali, ki vsebujejo veliko SiO₂, Al₂O₃, alkalijskih oksidov (glinenci, glinenčevi nadomestki, minerali kremenice, muskovit)

Salični minerali (kisli, svetli)

Ločba magmatskih kamnin

ultramafične (veliko MgO, FeO, Fe ₂ O ₃)	< 45	mas.% SiO ₂
Mafične	45 – 55	mas.% SiO ₂
Kamnine srednje sestave	55 – 65	mas.% SiO ₂
Kisle (veliko Na ₂ O, K ₂ O, SiO ₂)	> 65	mas.% SiO ₂

Pegmatit

- zelo debelozrnata kisla magmatska kamnina
- skrajna diferenciacija kisle magme, bogate z lahkohlapnimi komponentami (H₂O, CO₂, HF, ...) pri ≈ 700 °C
- Pojavljanje na robu magmatskih teles in v prikamnini.
- Mineralna sestava: kremen, ortoklaz, mikroklin, plagioklaz (albit), sljude (muskovit, biotit), minerali Li, Be, Th, Nb, Ta, ...
- Gospodarski pomen: izkoriščanje glinencev in drugih nekovinskih mineralov (sljude, kremen)

Preglednica: semikvantitavna vsebnost bistvenih mineralov v magmatskih kamninah

	Femični minerali		Salični minerali		
	piroksen, amfibol, biotit (olivin)		plagioklazi anort. albit	K glinenci	kremen
Ultramaf. k.	-----				
Mafične k.	-----		----		
k.sred.sest.	-----		-----	----	
kisle k.	-----		-----	-----	----
pegmatiti	---		-----	-----	-----

MINERALI V MAGMATSKIH KAMNINAH, MINERALI MAGMATSKEGA OBMOČJA

Kremen, tridimit SiO_2

Alkalni glinenci:

Ortoklaz, sanidin KAlSi_3O_8

Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (do 5 mas.% an)

Plagioklazi:

Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 5 – 10 mas.% an

Oligoklaz 10 – 30

Andezin 30 – 50

Labradorit 50 – 70

Bytovnit 70 – 90

Anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ >90

Nadomestki glinencev:

Levcit KAlSi_2O_6

Nefelin $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$

Sljude:

Muskovit $\text{KAl}_2[(\text{OH},\text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

Biotit $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn})_3[(\text{OH},\text{F})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2$

Amfiboli $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5[(\text{OH},\text{F})_2\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$

Pirokseni $(\text{Ca},\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Olivin $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$

Apatit $\text{Ca}_5[\text{F}(\text{PO}_4)_3]$

Cirkon ZrSiO_4

Magnetit $(\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{2+})\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$

Ilmenit FeTiO_3

Titanit $\text{CaTi}[\text{OSiO}_4]$

MINERALNA SESTAVA NEKATERIH MAGMATSKIH KAMNIN

Ultramafične kamnine

Peridotiti: olivin

Pirokseniti: piroksen

Hornblenditi: amfiboli

Karbonatiti: kalcit, dolomit

Mafične kamnine

Gabro (globoč.), diabaz in bazalt (pred.): plagioklaz (>50 an), piroksen, amfibol

Kamnine srednje sestave

Diorit (glob.), andezit (pred.): plagioklaz (30-50 an), amfiboli, pirokseni

Monzonit (glob.), latit (pred.): plagioklazi (30-50an), ortoklaz (-sanidin), piroksen, amfiboli, biotit

Sienit (glob.), trahit (pred.): ortoklaz (-sanidin), plagioklazi (<30an), amfiboli

Kisle kamnine

Tonalit (glob.): plagioklazi (30-50an), kremen, biotit, amfiboli

Granodiorit (glob.): plagioklazi (<30an), kremen, ortoklaz, amfiboli, biotit

Dacit (pred.): plagioklazi (30-50an), kremen, ortoklaz (+-sanidin), amfiboli

Granit (glob.): ortoklaz, plagioklaz (<20an), kremen, muskovit, biotit

Riolit (pred.): sanidin, kremen, plagioklaz (<20an), amfiboli

RUDIŠČA

Definicija:

- ekonomsko zanimiva nahajališča rudnih (kovinskih) in nekovinskih mineralov
- ekonomsko nezanimiv del mineralne snovi v nahajališču – jalovina

- Nastanek nahajališča:

Separacija magme

Frakcionirana kristalizacija

Gravitacijska diferenciacija

- Nahajališča v ultramafičnih in mafičnih kamninah: kromit, pentlandit, platina, diamanti, apatit
- Nahajališča v mafičnih kamninah: magnetit
- Nahajališča v sienitu: magnetit, hematit

Kontaktna metamorfoza

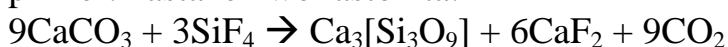
- kisle magme (granodiorit do granit) ↔ apnenci in dolomit

- $T = 600 - 1000 \text{ }^\circ\text{C}$

- Difuzija iz magme: H_2O , SiF_4 , FeCl_2 , AlCl_3

- marmor s kontaktno metamorfnimi minerali: granati, diopsid, hedenbergit, wollastonit, ilvait, vezuvian

- primer: nastanek wollastonita:



- primer: nastanek rudnega minerala hematita (pirometasomatoza):



Kristalizacija iz hidrotermalnih raztopin

- T 100 – 375 °C
- zaradi T, p, pH, izmenjalnih reakcij v raztopini in prikamnini
- različni viri nastanka vode, bogate s solmi
- nastanek rudnih in jalovinskih mineralov
- Spremembe prikamnine:
 - Okremenitev,
 - Piritizacija,
 - Kaolinitizacija,
 - Sericitizacija,
 - Kloritizacija,
 - Biotitizacija
- Hidrotermalna rudišča:
 - Žilno-impregnacijska
 - Žilna
 - Metasomatska

Metasomatoza

Definicija: proces kemične in mineralne presnove kamnin zaradi delovanja hidrotermalnih raztopin. N.pr. rudni mineral je nadomestil mineral kamnine, v kateri nastopa.

Nadomeščanje je možno zaradi večje topnosti minerala jalovine glede na topnost rudnega minerala. Mineral jalovine prehaja v hidrotermalno raztopino, rudni mineral pa se iz nje izloča (obarja).

II. MINERALI SEDIMENTNEGA OBMOČJA

Avtigeni minerali:

Kremen, kalcedon

Alkalni glinenci: ortoklaz, albit

Kaolinit $Al_4[(OH)_8Si_4O_{10}]$

Montmorillonit $(Al,Mg)[(OH)_2Si_4O_{10}]Na(H_2O)_4$

Kloriti

Kalcit, dolomit, anhidrit, sadra, halit, silvin,

Carnallit $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$,

Apatit (kolofan) $Ca_5[F(PO_4)_3]$

Goethit, lepidokrokrit α in β $FeOOH$

Siderit $FeCO_3$

Pirit in markazit FeS_2

Pogoji: normalna T (-20 do +50 °C) in p, vode bogate z O₂ (oksidacijski pogoji) in CO₂ (kisle vode, nizek pH)

Posledica: razpad (preperevanje) magmatskih in metamorfnih mineralov

Primer:

Brezvodni minerali → vodni minerali

Glinenci → glineni minerali (kaolinit, montmorillonit, illit)

Glineni minerali → boksit (boehmit, diaspor, gibbsit)

Ultramafične kamnine, serpentinit → magnezit

Delitev sedimentih kamnin glede na način nastanka

Klastične sedimentne kamnine

Kemične sedimentne kamnine

Organske sedimentne kamnine

Nastanek klastične sedimentne kamnine:

Matična (magmaška) kamnina



ΔT, voda

Mehansko preperevanje



Erozija (delovanje vode, vetra, gravitacija)

Transport (odnašanje iz mesta preperevanja)



Sedimentacija (odlaganje)

Usedlina



Diageneza

Sedimentna klastična kamnina: alotigeni minerali

Diageneza

Definicija: sedimentacija. Skupnost procesov strjevanja, zlepljanja, konsolidacije usedline v trdno kamnino pri normalnih pogojih p in T (primer: klastične in kemijske sedimentne kamnine)

Epigeneza

Definicija: drugotni procesi, ki so povzročili kakršnokoli naknadno spremembo v kamnini. N.pr.: prekristalizacija, rast konkrecij, kristalizacija koloidov, cementacija, dehidracija in rehidracija (primer: kemijske sedimentne kamnine)

Primeri:

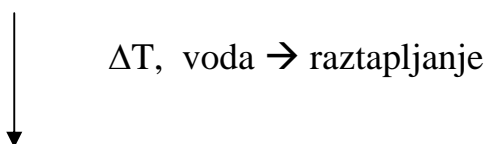
- diagenetski apnenec (oborjen iz raztopine) lepi klastične delce apnenčeve breče
- diagenetski apnenec (oborjen iz raztopine), ki ga sekajo žilice kemičnega diagenetskega kalcita
- gline: klastični delci kremenca iz magmatskih kamnin, diagenetski kremen kot posledica raztapljanja glinenca iz magmatskih kamnin

Alotigeni minerali

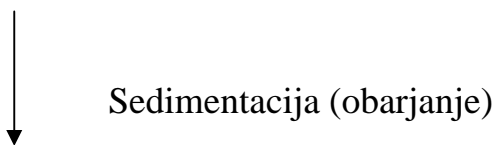
Definicija: minerali, ki sestavljajo sedimentno kamnino, nastali pa so v času nastajanja primarne magmatske ali metamorfne kamnine in so bili v novo nastalo sedimentno kamnino prinešeni

Nastanek kemične sedimentne kamnine:

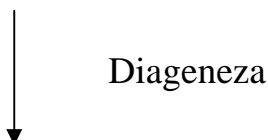
Matična (magmaška) kamnina



Transport v obliki prave raztopine z mesta preperevanja



Usedlina



Sedimentna kemična kamnina: avtigeni minerali

Avtigeni minerali

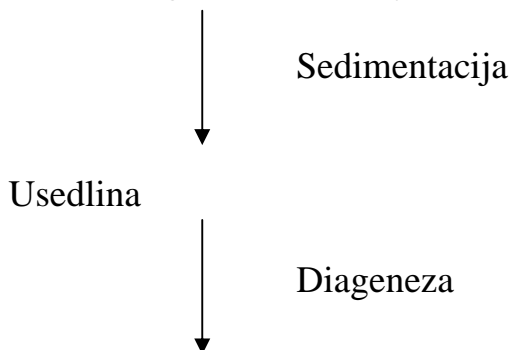
Definicija: avtigeni minerali so nastali hkrati s sedimentno kamnino, v kateri se nahajajo

Kemične sedimentne kamnine:

- evaporiti: halit, silvin, anhidrit, sadra, ...
- karbonatne kamnine: kalcit, dolomit s Pb – Zn rudišči
- kremenične kamnine: opal, kalcedon, kremen
- fosforiti: apatit, kolofan
- Fe – rude: goethit, lepidokrokit, siderit
- Mn – rude: piroluzit, psilomelan, rodohrozit

Nastanek organske (organogene) sedimentne kamnine:

Ostanki organizmov (školjke, skeleti)



Sedimentna organska kamnina: ostanki organizmov in avtigeni minerali (kot vezivo)

III. MINERALI METAMORFNEGA OBMOČJA

Magmatska kamnina, sedimentna kamnina → ugrezanje → p, T → metamorfoza

Minerali metamorfnega območja:

Kremen

Alkalni glinenci: otroklaz, albit

Muskovit, sericit

Biotit

Zeoliti: natrolit, skolecit, heulandit

Kloriti: klinoklor, proklorit

Amfiboli

Pirokseni: hipersten, omfacit

Disten, sillimanit, andaluzit

Stavrolit

Granati: pirop, almandin

Zoisit, epidot

Primer:

1. Apnenec → marmor (debelozrnat kalcit)

2. Kremenov peščenjak → kvarcit

3. Metamorfoza bazalta:

- bazalt je mafična magmatska kamnina:
 - bazični plagioklazi, femični minerali (piroksen), steklasta osnova
- visoka T (do 700°C), nizek p (**celinska skorja**):
 - zeolitski facies (zeoliti)
 - facies zelenih skrilavcev (klorit) ($T < 400\text{ °C}$)
 - amfibolitski facies (rogovača) ($T < 600\text{ °C}$)
 - granulitski facies (piroksen) ($T < 700\text{ °C}$)
- p narašča, T nizka (**oceanska skorja** – cona subdukcije)
 - facies modrih skrilavcev (glavkofan – moder amfibol)
 - eklogitski facies (piroksen - omfacit, granati)

Facies (po Eskoli)

Definicija: kamnine v kemičnem ravnotežju po metamorfozi (Δp , ΔT) s stabilnimi minerali – **indeksni minerali**.

Facies predstavljajo značilni stabilni minerali v dani kamnini, ki je pretrpela določeno stopnjo metamorfoze.

Nahajališča v metamorfnih kamninah: so redka

Primeri: obogatitev sedimentnih rudišč z metamorfozo:



OBLIKE NASTOPANJA MINERALOV

Nastanek mineralov

Iz taline: ohlajanje pod T tališča

Iz raztopine: obarjanje zaradi prenasičenja (izhlapevanje topila, povečevanje koncentracije topljenca)

Kristalne klice → kristali

Majhna in počasna sprememba →	malo klic →	veliki kristali
Hitra sprememba →	veliko klic →	veliko majhnih kristalov
Zelo hitra sprememba (preohlajanje) →		gel

Neovirana rast → pravilno omejen kristal

Ovirana rast → kristalna zrna. Zrna rastejo v preostalem prostoru, vendar imajo kljub temu enako kemično sestavo in strukturo oz. zgradbo

Hitra rast → kristalni skeleti (dendriti). Smeri rasti kristalov so nepravilno zavite in lomljene. Rast v razpokah v kamninah (ledene rože na oknih).

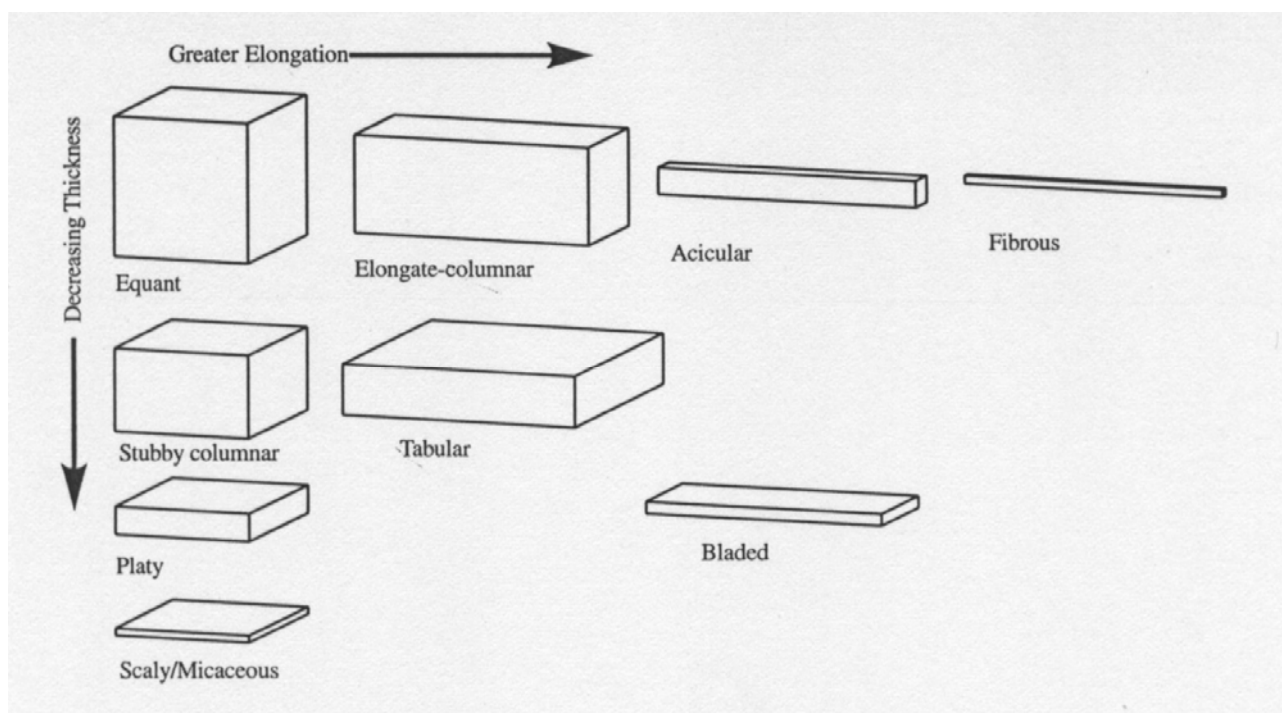
Habitus – razvoj

Izometričen (enakomeren): minerali s kubično singonijo (granati)

Stebričast: heksagonalna, trigonalna singonija (kremen, apatit)

Ploščičast: heksagonalna, tetragonalna singonija (muskovit, biotit)

Slika:



Kristalizacijska sposobnost

Nastopanje kristalov

- prosti kristali: razvite končne terminalne ploskve
- kristačne kope, družice: rast v eni smeri iz ravne podlage
- geode (mandlji): sekrecije, konkretije
- žarkoviti agregati, snopičasti agregati
- vlaknat, protast agregat
- oolitski agregat
- sige (drobnoigličaste) - prevleke, natečne strukture – agregati (stalaktiti, stalagmiti, stebri)
- prsten agregat, oprh