

MINERALOGICKÝ SYSTÉM 3

FYLOSILIKÁTY

Velmi významná skupina silikátů, kde jsou tetraedry SiO_4 propojeny třemi vrcholy do nekonečných rovinných sítí s hexagonální nebo pseudo-hexagonální symetrií. Periodicky se opakuje motiv $\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}$ resp. $(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}^{3-}$. Tyto sítě jsou různě kombinovány s vrstvami oktaedrů a vytvářejí velké množství fylosilikátů typicky s výbornou štěpností podle báze 001.

Hlavní skupiny:

Skupina slíd

Skupina kaolinitu a serpentinu

Skupina chloritů

Skupina smektitů

Tzv. jílové minerály, často řazené jako samostatná skupina fylosilikátů, zahrnují minerály s velikostí částic pod 0,01 mm a patří k nim zejména fylosilikáty ze všech vyčleněných skupin, ale také jiné minerály (např. hydroxidy, zeolity).

Strukturní charakteristika

Ve fylosilikátech se vyskytují dva typy střídání vrstev: dvojrstevné struktury (vzácnější)

- tetraedrická + oktaedrická vrstva, spojené dohromady společně sdílenými kyslíky Příklady:

kaolinit a serpentintrojvrstevné struktury (častější)

- vrstva oktaedrů, sevřená mezi dvěma vrstvami tetraedrů SiO_4 Příklady:

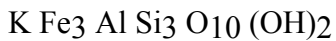
slídy (muskovit, biotit), chlority, smektity

Dvojrstevné a trojvrstevné struktury jsou na základě valence kationtů uvnitř oktaedrické vrstvy dále děleny :

- vrstvy s dvojnásobnými kationty (Mg, Fe) se označují jako trioktaedrické, kationty v oktaedrické vrstvě obsazují všechny oktaedrické pozice

tzv. brucitová vrstva – $\text{Mg}(\text{OH})_2$

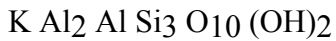
Příklad biotit (annit)



- vrstva s trojvaznými kationty (Al) je označena jako dioktaedrická, jsou obsazeny jen 2 ze 3 oktaedrických pozic (třetí je vakantní = prázdná)

tzv. gibbsitová vrstva – Al (OH)₃

Příklad muskovit



Skupina slíd

Obecný vzorec $\text{I M}_3 \text{ T}_4 \text{ O}_{10} (\text{OH},\text{F})_2$

I = K, Na, Ca

M = Li, Fe²⁺, Mg, Al, Fe³⁺

T = Si, Al

Vedlejší prvky: Ba, B, Mn, Zn

Nejdůležitější slídy:

Muskovit $\text{K Al}_2 (\text{Si}_3\text{Al}) \text{ O}_{10} (\text{OH})_2$

Illit $\text{K}_{0,7} \text{ Al}_2 (\text{Si}_3\text{Al}) \text{ O}_{10} (\text{OH})_2$

Annit $\text{K Fe}_3 (\text{Si}_3\text{Al}) \text{ O}_{10} (\text{OH},\text{F})_2$

Flogopit $\text{K Mg}_3 (\text{Si}_3\text{Al}) \text{ O}_{10} (\text{OH},\text{F})_2$

Biotit – termín běžně používaný v petrologii pro tmavé slídy složením mezi annitem a flogopitem.

Sericit – jemnozrná slída blízká muskovitu vznikající alterací minerálů.

Lepidolit - Li-slídy (trilithionit, polyolithionit, cinvaldit)

Margarit $\text{CaAl}_2 \text{ Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2$ – křehká slída

Slídy jsou většinou monoklinické

Typické substituce: Mn-Fe²⁺-Mg, Al-Fe³⁺, Si-Al, K-Na

Mísitelnost mezi jednotlivými členy skupiny slíd je různá, závisí i na PT podmínkách.

Vlastnosti:

Barva: kolísá u jednotlivých slíd.

Muskovit – světlý, bezbarvý, nazelenalý

Annit – černý

Flogopit – světle hnědý

Biotit – černý až hnědý

Lepidolit – světle fialový, bezbarvý

Výtečně štěpné podle 001, lupínky jsou pružné, T = 2,5-4,5, h = 2,7-3,3.

Výskyt:

Typické horninotvorné a velmi rozšířené minerály magmatických a metamorfovaných hornin (muskovit, biotit), ale objevují se běžně také v sedimentárních horninách (illit). Li-slídy pocházejí z pegmatitů a greisenů. Slídy vznikají ve velmi širokém rozsahu teplot a tlaků, výjimečně od podmínek zemského pláště (flogopit) až po vulkanické horniny (biotit) a diagenezi (illit).

Slídy jsou různě odolné vůči zvětrávání a hydrotermálním alteracím, ale zároveň bývají produktem těchto hydrotermálních alterací, např. muskovit zatlačuje andalusit aj. V sedimentárních horninách jsou stabilní muskovit a hlavně illit, zcela nestabilní je naopak biotit.

Využití:

chemické složení slíd je výborným indikátorem PT podmínek vzniku a také chemického složení mateřské horniny. Slídy mohou být i zdrojem některých vzácných prvků (Li, Cs).

Skupina chloritů

obecný vzorec: $A_{6-8}Z_4O_{10}(OH,O)_8$

A = Al, Fe²⁺, Fe³⁺, Li, Mg

Z = Si, Al, B

vedlejší prvky Mn, Ni, Cr

Hlavní minerály

klinochlor $(Mg_5Al)Si_3AlO_{10}(OH)_8$

chamosit $(Fe^{2+}_5Al)Si_3AlO_{10}(OH)_8$

monoklinické a triklinické

Vlastnosti:

Barva kolísá u jednotlivých chloritů, nejčastěji zelená s různými odstíny, výtečně štěpné podle 001, lupínky jsou křehké, T = 2,5-3,5, h = 2,6-3,2.

Výskyt:

Chlority se vyskytují v metamorfovaných horninách nízkého stupně až v sedimentárních horninách a na hydrotermálních žilách různého původu. Chlority nejsou odolné vůči zvětrávání a hydrotermálním alteracím a často jsou produktem těchto alterací, např. chloritizace biotitu.

Skupina kaolinitu a serpentinu

obecný vzorec $M_{6-4}Z_4O_{10}(OH)_8 \cdot nH_2O$

M = Al, Fe²⁺, Fe³⁺, Mg, vakance

Z = Si, Al, Fe³⁺

kaolinit, dickit, nakrit $\text{Al}_4 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$

serpentina blízke vzorci $\text{Mg}_6 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$

antigorit – lupenitý serpentín

chryzotil – vláknitý

Většinou monoklinické, méně rombické a triklinické.

Vlastnosti:

Barva kolísá - kaolinit bílý, serpentín zelený s různými odstíny, $T = 1-3,5$, $h = 2,6-3,2$. Výtečně štěpné.

Výskyt:

Vznikají přeměnou živců (kaolín) v granitech nebo olivínu (serpentin) v ultrabazických horninách při hydrotermálních alteracích nebo až v podmínkách zvětrávání (kaolín).

Využití:

důležité keramické suroviny, indikátory alterací a zvětrávání.

Skupina smektitů

Velmi důležitá skupina minerálů, které tvoří podstatnou část tzv. jílových minerálů. Jejich struktura podobná slídám.

Nejdůležitější minerály:

montmorillonit $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3} (\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

nontronit $(\text{Na})_{0,3} (\text{Fe}^{3+})_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Bentonit – jílovitá hornina s vysokým obsahem smektitů.

Vlastnosti:

Barva většinou světlá s různými odstíny, nontronit je zelenožlutý, jemnozrnné, $T = 1-2$, $H = 1,7-2,7$ podle složení. Typickým znakem je schopnost vázat (absorbovat) do struktury různé látky.

Výskyt:

Vznikají větráním nebo nízkoteplotní hydrotermální alterací různých hornin, hojně hlavně v sedimentárních horninách.

Využití:

velmi důležité keramické suroviny a látky schopné absorbovat.

Další důležité fylosilikáty

Mastek $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Pyrofylit $\text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Monoklinické, strukturně jsou blízké slídkám

Vlastnosti:

světlé zbarvení (bílé, nažloutlé, nazelenalé), výtečně štěpné podle 001, T = 1-2, H = 2,8

Jemnozrnné agregáty, vzácně radiálně paprscité (pyrofylyt)

Výskyt:

Hojné fylosilikáty vznikající během nízkého stupně metamorfózy, při nízkoteplotních hydrotermálních alterací a také při zvětrávání. Zvětrávání jsou částečně odolné.

Využití:

důležité suroviny.

TEKTOSILIKÁTY

Významná skupina silikátů s trojrozměrným skeletem tetraedrů SiO_4 , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky. Do dutin pak vstupují většinou relativně velké kationy, popř. H_2O a jiné aniony (Na, Ca, K).

Hlavní skupiny:

Skupina živců

Skupina foidů

Skupina zeolitů

Skupina živců

Důležitá skupina tektosilikátů, které patří mezi nejrozšířenější minerály v zemské kůře. Jsou podstatnými minerály většiny vyvřelých hornin a obvykle jsou hojné v mnoha metamorfovaných i sedimentárních horninách. Obecný vzorec AT_4O_8 nebo $\text{AT}_1(\text{T}_2)_3\text{O}_8$

A = Na, K, Ca

$\text{T}_1 = \text{Al}$

$\text{T}_2 = \text{Si, Al}$

minoritní prvky: Ba, Rb, Cs, Sr, Pb, P

Typické substituce: Na-K, Ca-Ba, Al- Fe^{3+} , NaSi – CaAl

Hlavní minerály:

Draselné živce: $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$

Sanidin $(\text{K}+\text{Na}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$

Ortoklas $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$

Mikroklin $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$

Sodnovápenaté živce - plagioklasy:

Albit $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$

Anortit $\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$

Jednotlivé členy (albit, oligoklas, andezín, labradorit, bytownit, anortit) Existuje neomezená mísitelnost mezi albitem a anortitem, malá mezi K-živci a anortitem. Mísitelnost klesá s teplotou.

Perthit – odmišlené mikroskopické albity v K-živci.

Amazonit – zelený mikroklín

Adulár – K-živec vznikající při hydrotermálních pochodech

Barnaté živce:

Celsian $\text{Ba Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$

Hyalofan (K,Ba) $(\text{Al}_2 \text{Si})_4 \text{O}_8$

Struktura

Všechny živce jsou charakterizovány trojrozměrným skeletem tetraedrů SiO_4 , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky. Do dutin pak vstupují velké kationy (K, Na, Ca, Ba).

Symetrie struktur a uspořádanost

Vysokoteplotní živce jsou monoklinické (sanidin) stabilní nad 1000 °C) – struktury jsou neuspořádané (distribuce kationtů Al a Si je nahodilá). S ochlazováním dochází v tetraedrických polohách T1 a T2 k uspořádávání Al a Si a to je příčinou poklesu symetrie na triklinickou.

Částečně uspořádanou strukturu má ortoklas, tato struktura je stále ještě monoklinická (vzniká pomalým ochlazováním pod 800 °C).

Dalším ochlazováním (pod 600 °C) vzniká úplně uspořádaný K-živec mikroklín (triklinický), má již pravidelně uspořádané Al a Si v tetraedrických polohách.

Vlastnosti:

Barva: bílá, většinou světlá s různými odstíny, $T = 6-6,5$, $h = 2.6-2.8$, Ba-živce mají vyšší hustotu, dobře až dokonale štěpné.

Výskyt:

Nejrozšířenější horninotvorné minerály vyskytující se různých typech magmatických (hlubinných i výlevných), metamorfovaných a často také sedimentárních hornin. V pegmatitech tvoří až několik m velké krystaly. Často také dochází k vzájemnému zatlačování živců, např. K-živec albitem nebo Ca-plagioklas albitem.

Živce jsou většinou málo odolné proti hydrotermálním alteracím a zvětrávání. Podléhají kaolinizaci a sericitizaci. Za nízkých teplot jsou stabilní albit a adulár, za vysoké teploty sanidin.

Využití:

důležitá keramická surovina. Jejich chemické složení odráží chemické složení horniny a je důležité pro odhad PT podmínek a pro geochemické interpretace.

Skupina foidů

Zastupují živce v magmatických horninách s deficitem SiO₂ a proto jsou označovány také jako „zástupci živců“. Jejich struktury sestávají z trojrozměrné sítě tetraedrů, které jsou obsazeny ionty Si⁴⁺ a Al³⁺ až od poměru 1:1 (v nefelínu NaAlSiO₄). Do jejich struktur ale často vstupují i další anionty, např. S, Cl, CO₃.

Nejdůležitější foidy:

nefelín (Na,K)AlSiO₄ hexagonální

sodalit Na₈Al₆Si₆O₂₄Cl₂ kubický

Vlastnosti:

zrnité agregáty podobné živcům, některé foidy ale mají pestré zbarvení, např. sodalit je jasně modrý, T = 5-6, H = 2,6-2,8, většinou dobře štěpné.

Výskyty:

Většina foidů je svým výskytem omezena na horniny (magmatické a metamorfní), ve kterých není nikdy přítomen křemen, vyskytují se buď současně s alkalickými živci, nebo bez nich (při větším deficitu SiO₂). Podléhají hydrotermálním alteracím.

Využití:

Jsou důležité geologické indikátory nízké aktivity Si v horninách.

Skupina zeolitů

Skupina minerálů, které mají specifickou strukturu a z ní odvozené specifické fyzikální a chemické vlastnosti. Zeolity mají strukturou složenou ze vzájemně propojených tetraedrů. Tato struktura je prostorově uspořádaná tak, že obsahuje otevřené prostory ve formě kanálů nebo dutin. Ty jsou obvykle vyplněny H₂O nebo kationy, které jsou vyměnitelné. Kanály jsou natolik velké, že umožňují i průchod příbuzných látek bez porušení struktury.

Obecný vzorec zeolitů

M_xD_y (Al_{x+2y} Si_{n-x-2y} O_{2n}) · m H₂O (Si > Al),

x a y se mohou rovnat

M = jednovalentní kationy (Na, K)

D = dvojvalentní kationy (Ca, Mg, Ba)

Al Si

Látky v kanálech H₂O

Typické substituce: CaAl – NaSi, 2Na – Ca□

Důležité zeolity:

natrolit, stilbit, heulandit, laumontit, harmotom, analcim, leucit, klinoptilolit, mordenit,

Vlastnosti:

převážně bílé až bezbarvé, T = 3-4, H = 2,0-2,2, nízké indexy lomu a dvojlom, vratná dehydratace při teplotách pod 400 °C, schopnost výměny kationů ve struktuře.

Výskyt:

Až na výjimky jde o typické nízkoteplotní a relativně nízkotlaké minerály vznikající zvětrávání silikátů při vysokém pH, diagenetickými pochody, hydrotermální alterací a regionální metamorfóze nízkého stupně. Typické horniny jsou např. vulkanické a subvulkanické tufy a skla, nízce metamorfované horniny dutiny ve vulkanitech, hydrotermální systémy na trhlinách hornin, alpská parageneze.

Využití:

Zachycení různých typů polutantů (radioaktivní látky, organické látky, SO₂), čištění různých látek v zemědělství, výroba papíru.

Shrnutí

1. Tato přednáška zahrnuje jen základní přehled hlavních minerálů ze skupiny fylosilikátů a tektosilikátů, ve skutečnosti je v těchto skupinách několik set minerálů.
2. Většina fylosilikátů má poměrně nízkou tvrdost 1-4, hustota kolísá, většinou je menší než 3, minerály vykazují výtečnou štěpnost. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (relativně vysoká tvrdost 5-6,5, hustota 2,5-3 a dobrá štěpnost); - zeolity (nízká tvrdost 2-5, nízká hustota 2,0-2,2 a dobrá štěpnost).
3. U fylosilikátů kolísá barva podle obsahu Fe (Mn), minerály s výraznou převahou Mg nad Fe (Mn) jsou bezbarvé, světle žluté nebo světle zelené, minerály bez Mg a Fe mají různé ale většinou světlé barvy. Minerály s vysokým obsahem Fe jsou tmavé – černé, zelené nebo hnědé. Tektosilikáty mají až na výjimky světlé zbarvení.
4. Minerály ze skupiny fylosilikátů obsahují střední až velké množství H₂O. Ve skupině tektosilikátů jsou dvě odlišné skupiny - živce (bez H₂O); - zeolity (vysoký obsah H₂O).
5. Minerály vznikají v širokém rozpětí teplot a tlaků (fylosilikáty a živce), nebo jen výhradně za nízkých teplot (zeolity).

6. Jen u části minerálů je nutné znát chemické vzorce (albit, K-živce, anortit, muskovit, flogopit). Je ale nutné znát hlavní prvky jednotlivých minerálů.

Shrnutí silikáty

1. Silikáty zahrnují s výjimkou křemene, kalcitu a dolomitu všechny důležité horninotvorné minerály.
2. S ohledem na jejich velmi rozdílné struktury (vzájemné provázání SiO_4 tetraedrů) a velmi rozdílné chemické složení (minerály obsahují vedle Si a O téměř všechny chemické prvky) se jejich vlastnosti poměrně výrazně liší.
3. Jejich barva kolísá především podle obsahu Fe (Mn), minerály s výraznou převahou Fe (Mn) jsou tmavě zbarvené (černé, hnědé, zelené, červené), minerály s Al, Na, Ca a Mg jsou většinou bezbarvé nebo světlé (žluté, nazelenalé, růžové, namodralé) s různými odstíny.
4. Hustota je závislá na struktuře a chemickém složení včetně obsahu H_2O . Minerály s vysokým obsahem Fe(Mn) a nízkým obsahem H_2O mají relativně vyšší hustoty (3-4), minerály obsahující pouze alkálie (Na, K), Al a Ca mají hustotu 2,5-3, pokud obsahují navíc vysoké množství H_2O , mají nízkou hustotu kolem 2.
5. Štěpnost je závislá na krystalové struktuře. Pokud minerál obsahuje strukturní roviny, které jsou spojeny jen více či méně slabými vazbami mají: výtečnou (slídy), dokonalou (amfiboly, živce), dobrou (pyroxeny) štěpnost nebo jsou naopak neštěpné (granáty).

Výskyt silikátů:

Silikáty nejsou až na výjimky (např. živce, jílové minerály, zeolity) důležité hospodářsky. Jsou ale podstatnou součástí většiny a hornin, vznikají v širokém rozpětí teplot a tlaků a jsou proto důležité pro geologické studie. Bez jejich detailní znalosti nelze odhadovat PT podmínky vzniku hornin nebo aktivity jednotlivých prvků.

Velmi zjednodušené rozdělení některých silikátů podle prostředí jejich vzniku:

a) zemský plášť (vysoká teplota a vysoký tlak)

magmatický (někdy metamorfní) původ

minerály - olivín, pyroxeny, pyrop, kyanit

b) střední až hlubší části zemské kůry (vysoká teplota a středně vysoký tlak)

magmatický nebo vysoce metamorfní původ

minerály - pyroxeny, olivín, amfiboly, živce, sillimanit, některé slídy

c) středně mělké části zemské kůry (vysoká až střední teplota, nízký až střední tlak)

vysoce až středně metamorfní (vzácně magmatický) původ

minerály - amfiboly, živce, almandin, cordierit, sillimanit, andalusit, staurolit, slídy

d) mělké části zemské kůry (střední teplota, nízký tlak)

středně až nízce metamorfní nebo hydrotermální původ

minerály - živce, amfiboly, epidot, andalusit, chloritoid, chlority, serpentín, smektity

e) povrchové a připovrchové části zemské kůry

diagenetický, zvětrávací, popř. nízkoteplotně hydrotermální původ

minerály - smektity, kaolin, chlority, serpentín, zeolity, některé slídy a živce

Část minerálů vzniká ve velmi širokém rozpětí tlaků a teplot např. turmalíny, takže se nedají využít pro odhad PT podmínek.

ÚVOD DO MINERALOGIE - NOVÁK

Historie mineralogie a její postavení:

Protože minerály bývají velmi nápadné a atraktivní, byla mineralogie už ve starověku vedle paleontologie (fosílie) a obecné geologie (např. vulkanická činnost) zakládající disciplínou geologických věd.

Teprve s postupem času a s vývojem techniky se od mineralogie postupně oddělovaly další obory:

- petrografie (objev polarizačního mikroskopu) popisující detailně mineralogické složení hornin
- geochemie (zdokonalení chemických analytických metod) zabývající se chováním chemických prvků během geologického vývoje.

Minerály (nerosty) jsou základními stavebními jednotkami různých typů hornin (žula, čedič) a ložisek nerostných surovin (vápence). Dále také řady technických hmot (např. beton), ale také některých biologických objektů (např. zuby, kosti).

Proto je studium minerálů základem pro většinu geologických disciplín, ale někdy i jiných vědeckých a technologických oborů.

Pouze detailní informace o chemickém složení minerálů a jejich vzájemných vztahů v jednotlivých typech hornin a často také o krystalové struktuře minerálů lze využít pro dostatečně důvěryhodné objasnění geologických procesů, ale někdy i uměle připravených látek.

Vztah k jiným vědním oborům

Nejbližšími obory mineralogie mimo oblast geologie jsou proto:

1. fyzika pevných látek (krystalové struktury, fyzikální vlastnosti)
2. anorganická chemie (chemické složení minerálů)

3. fyzikální chemie (vlastnosti prvků, vzájemné vazby prvků, stabilita minerálů za různých podmínek)

Vztah ke geologickým oborům

Geologie je široký vědní obor zabývající se studiem stavebních prvků Země, tj. hlavně hornin, minerálů a zkamenělin, ale také vody a environmentální problémů na ně vázaných.

Mineralogie má nejbližší k petrologii, geochemii a ložiskové geologii, ale stále více i k environmentálním oborům.

•**Petrologie** – věda zabývající se horninami. Ty jsou složeny výhradně z minerálů. Mineralogické složení hornin závisí na celkovém chemickém složení a na podmínkách vzniku (P-tlak, T-teplota, X-složení fluid), tj. stabilitě jednotlivých minerálů a minerální asociací. Bez dokonalé znalosti mineralogie nemohou být petrologické závěry dostatečně věrohodné.

•**Geochemie** – věda zabývající se pohybem prvků během geologických procesů - chování chemických prvků při geologických procesech je ovlivněno především charakterem (silou) vazby těchto prvků v minerálech a jejich stabilitě v různých podmínkách. Bez dokonalé znalosti mineralogie poskytuje geochemie jen část informací o chování prvků během geologického vývoje.

•**Environmentální mineralogie** – věda zabývající se minerály, které vznikly v souvislosti s různými procesy, které vedou ke znečištění životního prostředí (těžba surovin, zvětvávání staveb. Studium těchto minerálů je důležité především proto, že na ně jsou často vázané nebezpečné látky a právě jejich vazba v minerálu je důležitá pro jejich uvolnění do prostředí.

•**Krystalografie**

•**Ložisková geologie**

•**Strukturní geologie**

•**Regionální geologie**

•**Paleontologie**

•**Hydrogeologie**

•**Environmentální geologie**

Definice minerálu

•Anorganická stejnorodá přírodnina, jejíž složení lze vyjádřit chemickým vzorcem, většinou pevného skupenství, vzniklá přírodními pochody.

•Základem definice každého minerálu jsou tedy specifická krystalová struktura a specifické chemické složení. Atomy jednotlivých prvků nejsou uspořádány ve krystalové struktuře minerálů náhodně a pro jejich vstup do krystalové struktury platí řada pravidel.

Vzorce minerálů

Složení minerálů vyjadřujeme tzv. krystalochemickými vzorci.

Vzorce minerálů musí být tzv. elektroneutrální

kalcit	CaCO_3	$\text{CaO} + \text{CO}_2$	$\text{Ca}^{2+} + \text{C}^{4+} + 3\text{O}^{2-}$
forsterit	Mg_2SiO_4	$2\text{MgO} + \text{SiO}_2$	$2\text{Mg}^{2+} + \text{Si}^{4+} + 4\text{O}^{2-}$

olivín $(\text{Mg,Fe})_2 [\text{SiO}_4]$ minerál složený ze dvou složek

forsterit Mg_2SiO_4

fayalit Fe_2SiO_4

(Fe, Mg) – jeden prvek je zastupován dalšími prvky – pořadí určuje klesající množství kationtu

$[\text{SiO}_4]$ - aniontová skupina

Prvky vstupující do minerálů

Do minerálů vstupují všechny prvky známé v přírodě. Tyto prvky si můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

kationy

relativně malý iontový poloměr, elektropozitivní

např. Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , Si^{4+} • *aniony*

relativně velký iontový poloměr,

elektronegativní,

např. O^{2-} , F^- , Cl^- , S^{2-} , OH^-