

SISTEMATSKA MINERALOGIJA

prijediplomski studij Geologija (36213)

vježbe + predavanja (3+3)

ECTS 7



Nositelj: doc. dr. sc. Andrea Čobić

Asistent: Laura Posarić, mag. geol.

DEFINICIJA MINERALA

International Mineralogical Association – Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (IMA–CNMNC):

“In general terms, a mineral is an element or chemical compound that is normally crystalline and that has been formed as a result of geological processes.” (Nickel, 1995).

- **MINERAL** - *svaki element ili kemijski spoj koji je u pravilu kristaliziran i koji je nastao djelovanjem geoloških procesa*
 - ni ta definicija ne uključuje sve minerale i podložna je promjenama, usklađuje se s novim otkrićima
- pojam KRISTALIZIRANE TVARI odnosi se na pravilnu, periodičnu strukturu
- takva struktura korištenjem rendgenske difrakcije daje difraktogram koji može biti indiciran Millerovim indeksima
- iznimka su AMORFNI MINERALI, koji se mogu podijelit u dvije skupine
 1. minerali koji nisu nikad kristalizirali,
 2. metamiktni minerali.

DEFINICIJA MINERALA

Ad 1.) Minerali koji *nisu nikad kristalizirali*

- rendgen-amorfne tvari ne uzrokuju rendgensku difrakciju, ali se možda drugim metodama (pr. infracrvenom spektroskopijom ili visoko razlučujućom transmisijском elektronskom mikroskopijom) može pronaći organizirana struktura, npr. otkriju se SiO_4 grupe
- primjer je taloženje gelova iz otopine, nema dovoljno vremena za sređivanje kristalne strukture tvari (opal, hijalit)

Ad 2.) Metamiktni minerali

- metamiktni minerali su *nekad bili kristalizirani*
- radioaktivan element prisutan u kristalnoj strukturi minerala dovodi do nastanka metamiktnih minerala; radioaktivan element se raspada kroz α -raspad i narušava kristalnu rešetku; akumulacijom takvih događaja dolazi do amorfizacije minerala (npr. fergusonit, allanit, cirkon)
- takvi minerali zagrijavanjem rekristaliziraju, ali problem je utvrditi rekristaliziraju li u ono što su nekad bili ili u neku novu fazu

MINERAL ILI NE?

- Problem definiranja minerala kad su u pitanju tekućine
 - podrazumijevaju se tekućine nastale normalnim geološkim procesima
 - npr. voda se ne smatra mineralom, ali led da
 - npr. živa (iako na sobnoj temperaturi tekuća) se smatra mineralom
- Problem stabilnosti minerala
 - svi minerali nastaju pri točno definiranim fizikalno-kemijskim uvjetima, a neki minerali pri sobnoj temperaturi i tlaku nisu stabilni, prelaze u neku drugu polimorfnu modifikaciju, a neki se i potpuno raspadaju
 - polisintetska sraštanja – ne priznaju se kao novi mineral
- Problem izvanzemaljskih tvari
 - izvanzemaljske (ekstraterestričke) tvari (uzorci s Mjeseca, meteoriti, tektiti) smatraju se mineralima

MINERAL ILI NE?

- Materijali (kristalizirani) koje je proizveo čovjek – nisu minerali
- Materijali (kristalizirani) koje je proizveo čovjek, a priroda (geol. procesi) naknadno izmijenili – nisu minerali
- Živi organizmi često puta proizvode tvari sa svojstima minerala, npr. ljudske kosti po sastavu su jednake mineralima grupe apatita, ali ne priznaje ih se kao mineral, osim ako na njih nakon toga ne djeluje neka geološka sila koja ih izmijeni tako da od njih nastanu novi, tj. drugi minerali
 - npr. u kostima sisavaca (sastava kao apatit) može se pod utjecajem geoloških sila razviti mineral vivijanit
 - npr. u školjkama (sastava kao kalcit ili aragonit) može se razviti pirit

SISTEMATSKA MINERALOGIJA

- klasificira minerale prema određenim kriterijima
- starije mineralne sistematike, zbog nedostataka odgovarajućih, danas dostupnih istraživačkih metoda, nisu mogle klasificirati minerale na osnovu točnog elementnog sastava i kristalne strukture
- današnje klasifikacije minerala zasnivaju se na ***strukturnoj i kemijskoj srodnosti minerala*** (kristalokemijskim svojstvima)
- o klasifikaciji i nomenklaturi minerala brine **Međunarodna mineraloška asocijacija** (IMA) i njezina Komisija za nove minerale i mineralna imena (od 2006. pod nazivom Komisija za nove minerale, nomenklaturu i klasifikaciju – CNMNC)

Razvoj sistematske mineralogije na Sveučilištu u Zagrebu

1. 1874. god. – u Zagrebu osnovana Katedra za mineralogiju na čelu s profesorom *Gjuirom Pilarom*
2. 1876. god. – počinju redovita predavanja iz mineralogije i geologije (prva predavanja iz prirodnoslovlja na Sveučilištu u Zagrebu!)
3. 1. udžbenik mineralogije na hrvatskom jeziku za više razrede srednjih škola pod nazivom “Mineralogija i geologija” nastaje krajem 19. st. (napisali su ga J. Hochstetter i Bischung, a na hrvatski preveo *Mijo Kišpatić*)
4. Prvi sveučilišni udžbenik iz sistematske mineralogije napisao je profesor PMF-a i ravnatelj Mineraloškog muzeja *Fran Tućan* („Specijalna mineralogija” izdana u dva izdanja (drugo prošireno izdanje tiskala je Školska knjiga 1957. god. nakon smrti autora, a zaslugom njegovog nasljednika, akademika Stjepana Šćavničara)

Klasifikacija minerala

- zasniva se na strukturnoj i kemijskoj srodnosti (kristalokemijskim karakteristikama) minerala

- **STARA PODJELA:**

- **MIN. RAZRED:**

MIN. TIP

MIN. TIP

MIN. TIP:

... MIN. GRUPA

MIN. GRUPA:

... MINERAL

MINERAL

...

KLASIFIKACIJA MINERALA – NOVA PODJELA

1. **MINERALNI RAZRED:** na temelju glavnog *aniona* (O^{2-} , S^{2-} ...), *anionskog kompleksa* (OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , $Si_xO_y^{z-}$...) ili *nedostatka glavnog aniona* (samorodni elementi)
2. **MINERALNI PODRAZRED:** odnosi se na razrede borata i silikata
3. **MINERALNA OBITELJ:** grupe ili supergrupe sa sličnim strukturnim i/ili kemijskim svojstvima koja ih čine jedinstvenima; obitelj mogu činiti i dvije supergrupe
 - obitelj zeolita – svi članovi imaju kristalnu strukturu sa šupljinama, ali individualni minerali mogu pripadati različitim grupama (i supergrupama)
4. **MINERALNA SUPERGRUPA:** dvije ili više grupa u osnovi s istom kristalnom strukturom* i kemijski sličnim elementima** (npr. supergrupa epidota)
5. **MINERALNA GRUPA:** dva ili više minerala u osnovi s istom kristalnom strukturom* i kemijski sličnim elementima**
6. **MINERALNA PODGRUPA ILI MINERALNA SERIJA:** homologne ili polisomatske serije koje ne spadaju u strogu definiju mineralne grupe

*izotipska kristalna struktura; **elementi sa sličnim kristalokemijskim karakteristikama

MINERALNI RAZRED –

prema CNMNC - IMA, minerali su podijeljeni u **13 razreda**.

1. SAMORODNI ELEMENTI

- nastali su u prirodi bez djelovanja čovjeka

2. SULFIDI (uključujući i SELENIDE i TELURIDE)

- spojevi sa sumporom
- sulfidi su i genetski i kristalokemijski povezani sa selenidima i teluridima (svi se javljaju u istim uvjetima kristalizacije, a zbog sličnih kristalokemijskih svojstava javljaju se i izomorfne zamjene)

3. OKSIDI (uključujući i OKSIHIDROKSIDE i HIDROKSIDE)

- spojevi s kisikom

4. HALOGENIDI

- soli halogenih kiselina (kloridi, bromidi, jodidi, fluoridi)

5. KARBONATI

- soli ugljične (H_2CO_3) kiseline

6. NITRATI

- soli nitratne (HNO_3) kiseline

MINERALNI RAZRED

7. JODATI

- soli jodatne (HIO_3) kiseline

8. BORATI

- soli koje su u prirodi vrlo rijetke, no postoji velik broj različitih mineralnih vrsta, jer su na poseban način elementi vezani u njihove strukture
- bor ima mogućnost koordinacije 3 i 4 što isto pridonosi raznolikosti minerala borata, čak i na istom lokalitetu

9. SULFATI (i OKSISOLI SELENA, TELURA i KROMA)

- sulfati najčešće nastaju kao produkt oksidacije sulfida

10. FOSFATI (i OKSISOLI ARSENA i VANADIJA)

- soli fosforne/fosfatne (H_3PO_4), arsenatne (H_3AsO_4) i vanadatne (H_3VO_4) kiseline

11. MOLIBDATI i VOLFRAMATI

- soli molibdatne (H_2MoO_4) i volframatne (H_2WO_4) kiseline

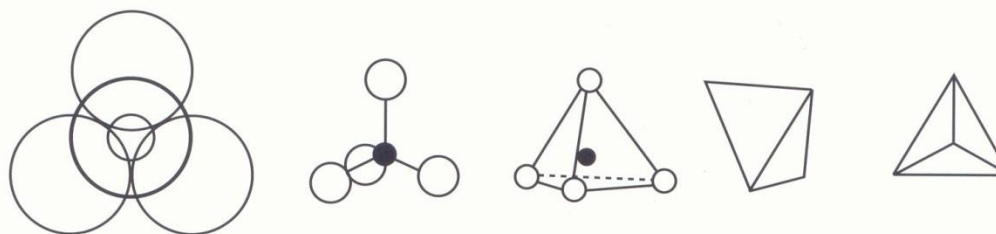
MINERALNI RAZRED

12. ORGANSKI MINERALI

- uglavnom spojevi nekog elementa s nekom organskom (pr. formijatnom, oksalatnom) kiselinom

13. SILIKATI

- razred s brojnim mineralnim vrstama
- često su vrlo kompleksni
- osnova im je SiO_4 tetraedar (Slika 1.) (silicijev koordinacijski broj je 4)



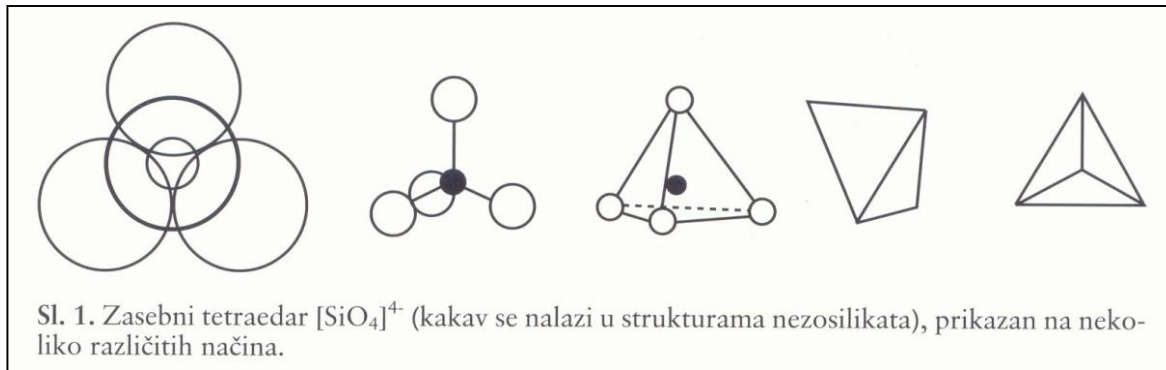
Sl. 1. Zasebni tetraedar $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (kakav se nalazi u strukturama nezosilikata), prikazan na nekoliko različitih načina.

- mogućnost polimerizacije SiO_4 tetraedara upravo je razlog što postoji puno mineralnih vrsta silikata

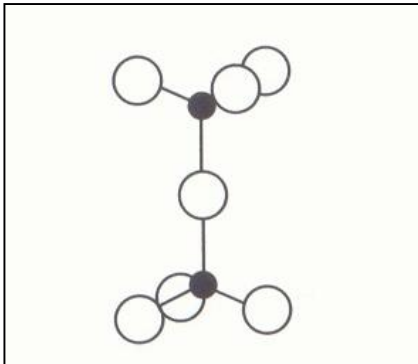
MINERALNI PODRAZRED

- odnosi se na razrede borata i silikata pri čemu se s obzirom na način vezivanja tetraedara grupiraju strukturno slični minerali
- Primjer silikata:

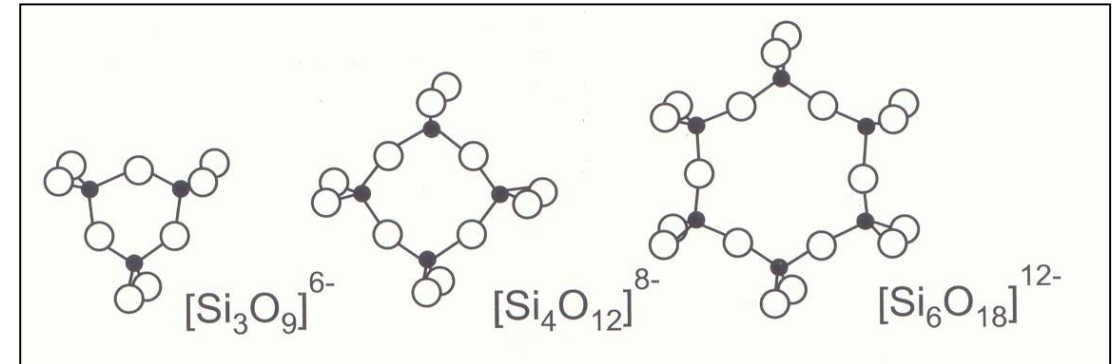
NEZOSILIKATI



SOROSILIKATI



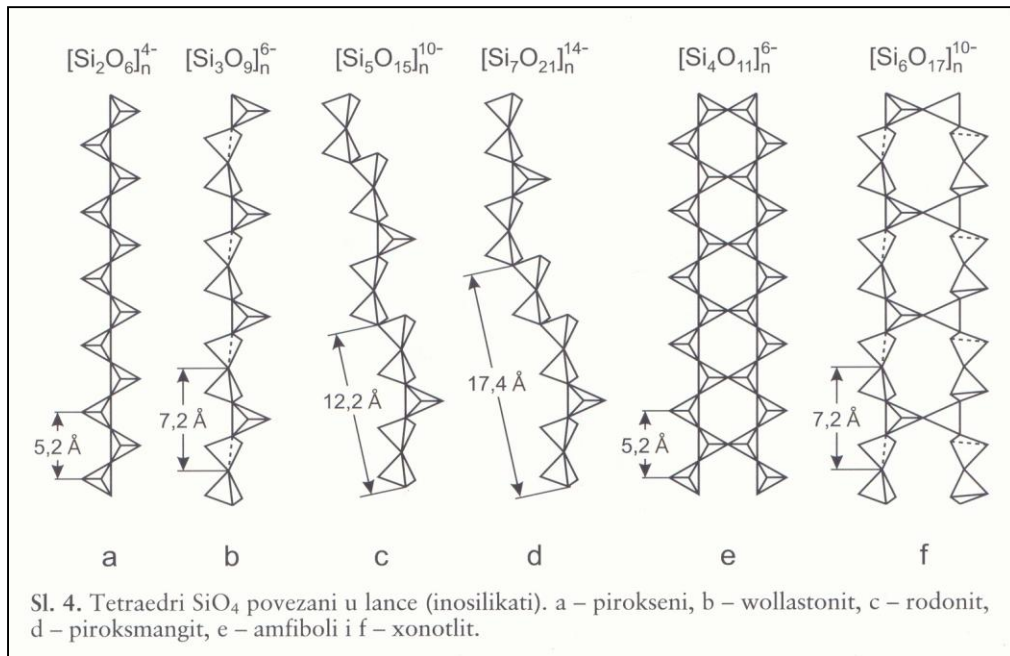
CIKLOSILIKATI



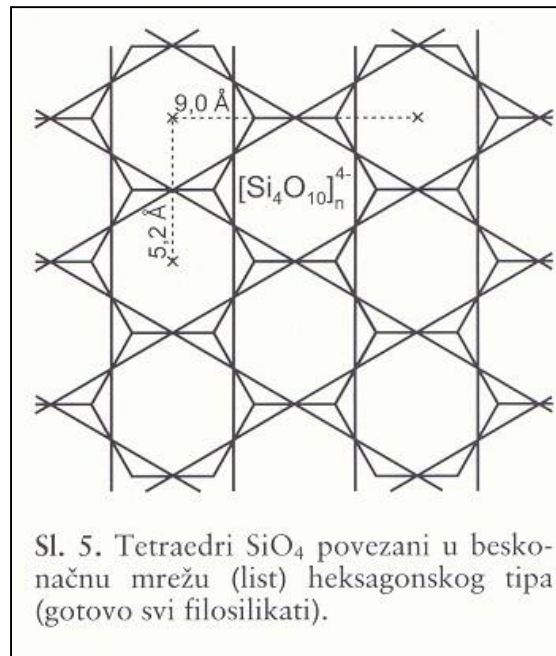
MINERALNI PODRAZRED

- odnosi se na razrede borata i silikata pri čemu se s obzirom na način vezivanja tetraedara grupiraju strukturno slični minerali
- Primjer silikata:

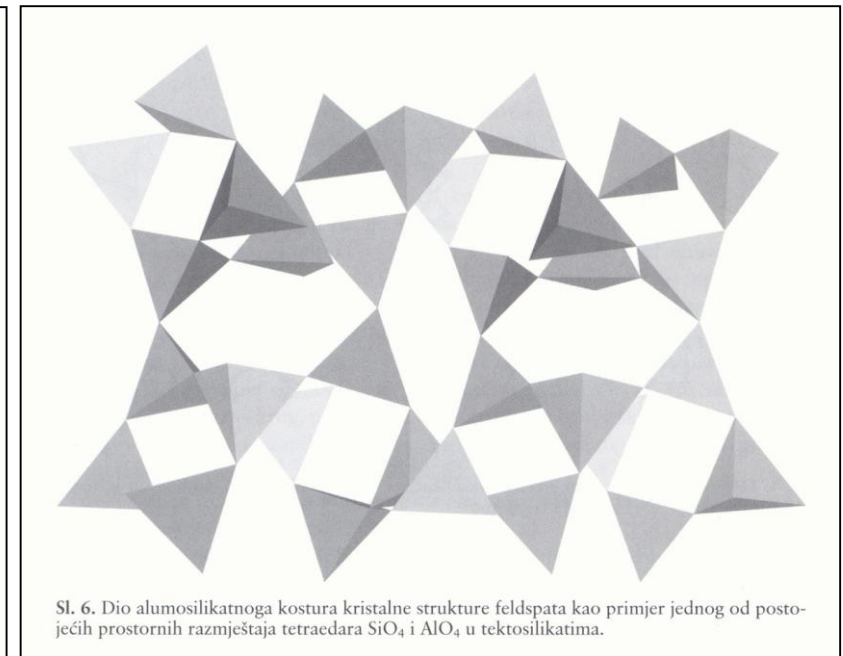
INOSILIKATI



FILOSILIKATI



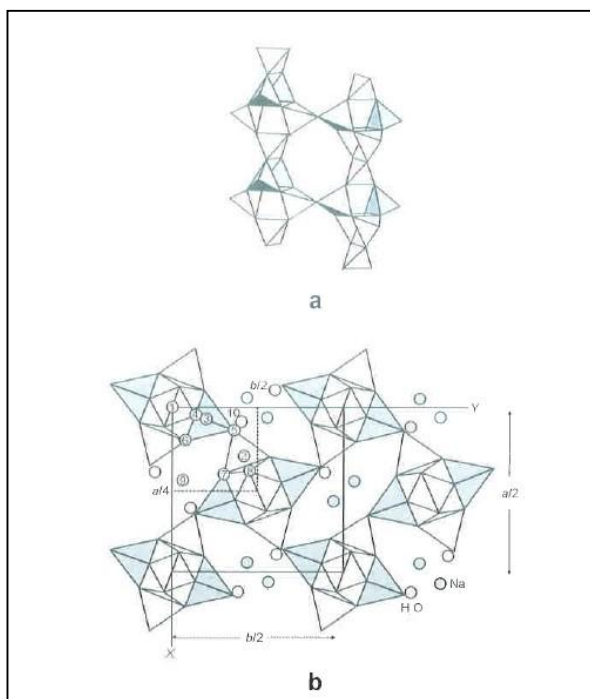
TEKTOSILIKATI



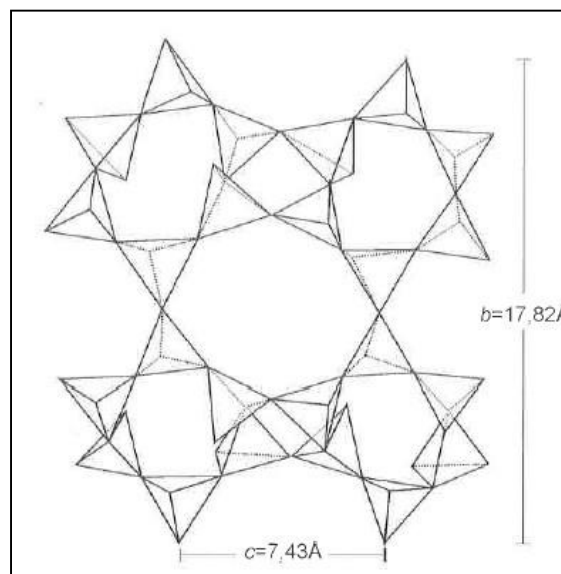
MINERALNA OBITE LJ

- grupe ili supergrupe sa sličnim strukturnim i/ili kemijskim svojstvima koja ih čine jedinstvenima; obitelji mogu činiti i dvije supergrupe
- PRIMJER: obitelj zeolita – svi članovi imaju kristalnu strukturu sa šupljinama, ali individualni minerali mogu pripadati različitim grupama (i supergrupama)

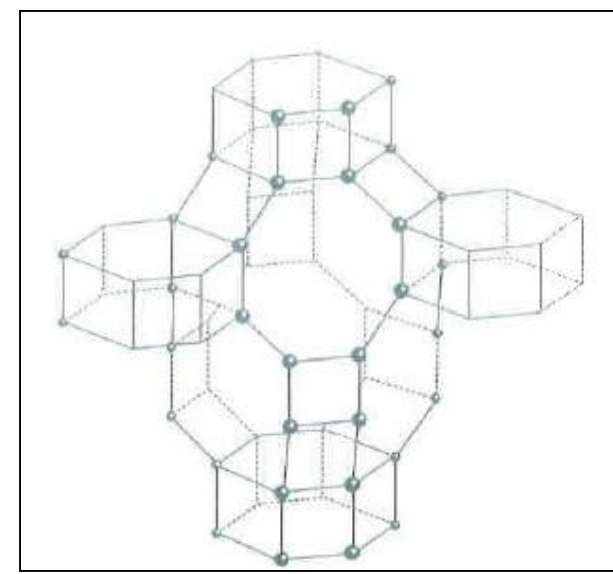
VLAKNASTI
PR. NATROLIT



LISTASTI
PR. HEULANDIT

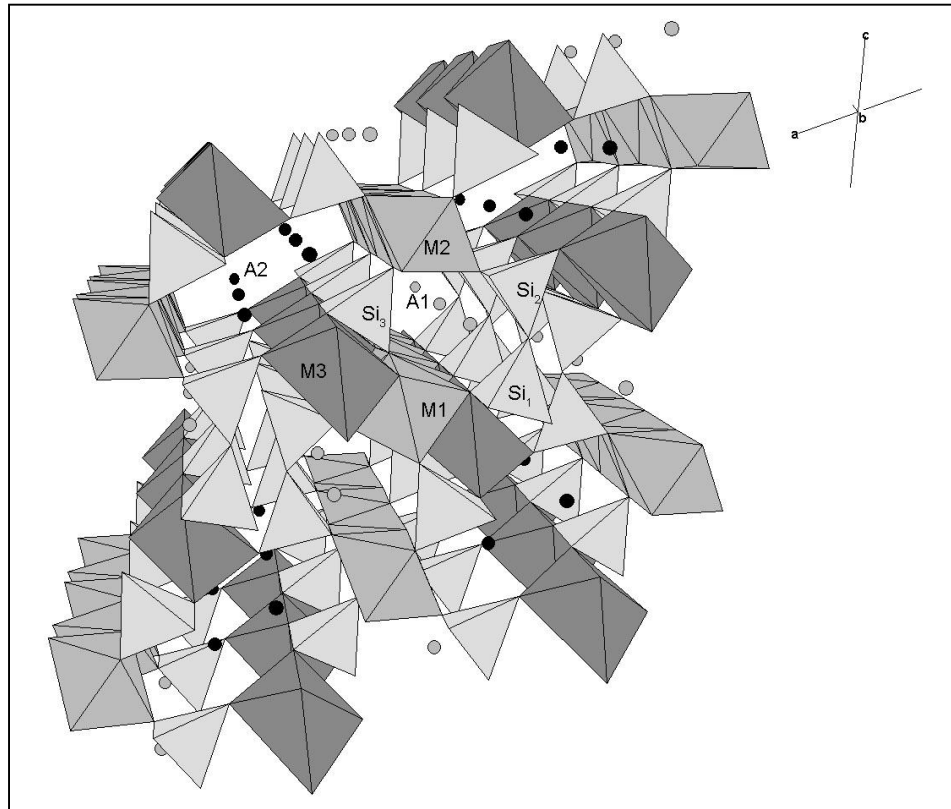


KOCKASTI
PR. KABAZIT



MINERALNA SUPERGRUPA

- dvije ili više grupa u osnovi s istom kristalnom strukturom* i kemijski sličnim elementima**
- PRIMJER: supergrupa epidota



- DIJELI SE NA:
 1. GRUPA KLINOZOISITA
 2. GRUPA ALLANITA
 3. GRUPA DOLLASEITA

MINERALNA GRUPA

- za klasifikaciju minerala u mineralne GRUPE, potrebno je dodatno poznavati kristalnu strukturu minerala
- mineralnu grupu čine minerali koji imaju isti tip strukture i kod takvih minerala, u većini slučajeva, postoji mogućnost IZOMORFNIH ZAMJENA, odnosno pojava ČVRSTIH OTOPINA
- ČVRSTE OTOPINE (KRISTALI MJEŠANCI) su minerali kod kojih je jedan ili više položaja u strukturi zaposjednut atomima (ionima) dva ili više elemenata
→ npr. postoji potpuni niz čvrstih otopina između rompskih modifikacija $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ i $\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
- limitirajući faktor o kojem ovisi hoće li neki atom (ion) biti zamijenjen s drugim je njegova veličina, odnosno razlika u veličini između atoma (iona) i njegove potencijalne izomorfne zamjene koja ne smije prelaziti 15%

MINERALNA GRUPA - primjer

- npr. mineralnu grupu – grupu kalcita čine minerali:
- - kalcit CaCO_3
 - gaspeit $(\text{Ni}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{CO}_3$
 - magnezit MgCO_3
 - otavit CdCO_3
 - rodokrozit MnCO_3
 - siderit FeCO_3
 - smithsonit ZnCO_3
 - kobaltokalcit CoCO_3



MINERALNA GRUPA - iznimke

- iako MINERALNU GRUPU u suštini čine minerali koji imaju isti tip strukture, postoji i nekoliko iznimki:
 1. npr. **grupu ugljika** čine dijamant (C) i grafit (C), iako ta dva minerala imaju različite strukture
 2. npr. **grupa sillimanita – andaluzita – kianita** sastoji se od tri minerala koji imaju istu (identičnu) stehiometriju (sva tri imaju kemijsku formulu Al_2SiO_5) no različitu strukturu
 - to je zapravo polimorfna modifikacija koja ima 3 oblika i svaki oblik je vezan za određene temperaturno-tlačne uvjete
 - razlog zbog kojeg su ova 3 minerala svrstana u istu grupu je taj što su sva 3 minerala izuzetno značajna za petrologiju i petrolozi su ih uvijek zajedno proučavali
- ima minerala koji imaju unikatni tip strukture; oni se razmatraju samostalno, ne stavljaju se svi unikati u jednu grupu



NOMENKLATURA MINERALA

- danas je na svijetu poznato, tj. na popisu IMA-e se nalazi **6200** (siječanj 2026.) minerala (<https://cnmnc.units.it/>)
- godišnje se otkrije oko 100 novih minerala

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- Mineral ima točno određen kemijski sastav, ali ne i konstantan – ČVRSTE OTOPINE
- stoga poseban problem predstavlja nomenklatura minerala - čvrstih otopina, za koju CNMNC daje općenite smjernice

Postoje **tri** kategorije čvrstih otopina:

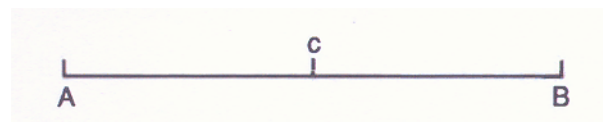
1. **Kompletne čvrste otopine** (kompletan niz čvrstih otopina) bez sređivanja strukture (neograničeno miješanje)
2. **Čvrste otopine (niz čvrstih otopina)** kod kojih je prisutno sređivanje strukture
3. **Parcijalne čvrste otopine** (ograničeno miješanje)

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

1. Kompletne čvrste otopine (kompletan niz čvrstih otopina) bez sređivanja strukture

- Budući da je u ovakvim slučajevima prisutno neograničeno miješanje iona u strukturi; u dvokomponentnom slučaju imena kristala mješanaca određuju krajnji članovi (A i B na slici 2):

Slika 2.



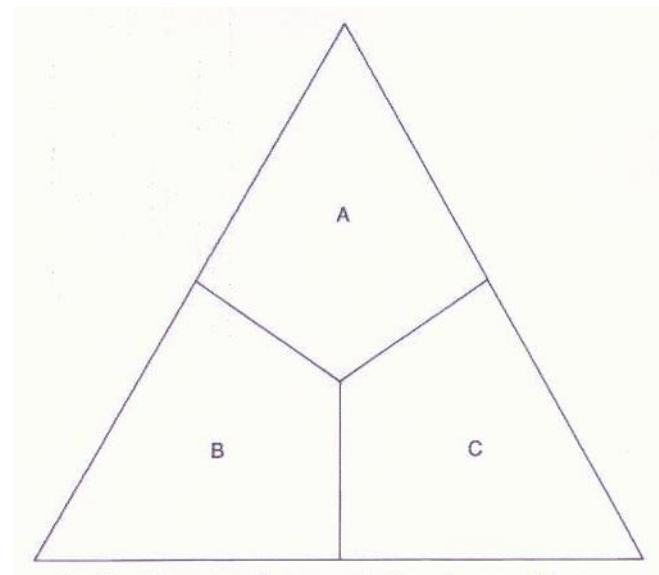
- cijeli niz podijeljen je na dva dijela i granica je točno na sredini (50% atoma/ionu A i 50% atoma/ionu B) (na slici označeno sa C)
- Imena svih članova od točke A do točke C dogovorno nose naziv krajnjeg člana A, a od točke B do točke C krajnjeg člana B (“pravilo 50%”)
 - npr. **niz olivina** $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ u kojem se ime forsterit primjenjuje za članove raspona od Mg_2SiO_4 do MgFeSiO_4 , a ime fayalit (fajalit) za članove raspona od MgFeSiO_4 do Fe_2SiO_4 .

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- analogno sa dvokomponentnim sustavom, “pravilo 50%” primjenjuje se i u nomenklaturi trokomponentnih (ternarnih) sustava (Slika 3.)



Slika 3.



- polja A, B i C na Slici 3. označavaju raspon sastava članova, tj. članove koji nose ime pripadajućeg krajnjeg člana
- npr. serija **apatita** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$ čiji krajnji članovi nose nazive; pr. A = fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, B = hidroksilapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ te C = klorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$.

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- također analogno s dvokomponentnim i trokomponentnim sustavom, “pravilo 50%” primjenjuje se i kod višekomponentnih (multikomponentnih) sustava
- tamo se svakoj izostruktornoj fazi koja ima različite kemijske elemente dominantne na specifičnom mjestu u strukturi dodjeljuje zasebno ime
- npr. minerali iz serije monacita, u kojima mogu doći različiti elementi rijetkih zemalja (REE) na određenom položaju u strukturi
 - REE koji dominira na određenom položaju u strukturi određuje sufiks (Levinsonov nastavak) koji se piše iza imena minerala
 - npr. monacit-(Ce) (Ce,La,Nd,Th)PO₄
monacit-(La) (La,Ce,Nd)PO₄
monacit-(Nd) (Nd,La,Ce)PO₄

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

2. Čvrste otopine (niz čvrstih otopina) gdje je prisutno sređivanje strukture

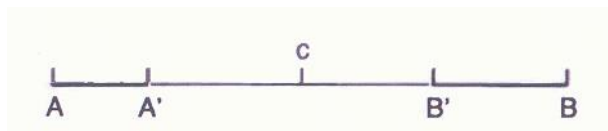
- ako se negdje u nizu između dva krajnja člana čvrste otopine pojavi takav član čija je struktura drugačija od strukture krajnjih članova, odnosno ako dođe do sređivanja strukture, uređena faza može dobiti novo ime drugačije od imena krajnjih članova (novi mineral!)
- npr. dolomit je mineral kemijske formule $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ za kojeg bi mogli reći da sadrži točno 50% kalcitne (CaCO_3) i 50% magnezitne (MgCO_3) komponente, ali se njegova struktura razlikuje od strukture kalcita i magnezita pa je nazvan novim mineralom
- kod ovakvih slučajeva CNMNC preporuča da ime uređene faze novootkrivene u postojećoj seriji čvrstih otopina bude izvučeno iz imena krajnjih članova niza ili barem povezano sa njima (kod dolomita to nije slučaj)



NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

3. Parcijalne čvrste otopine (ograničeno miješanje)

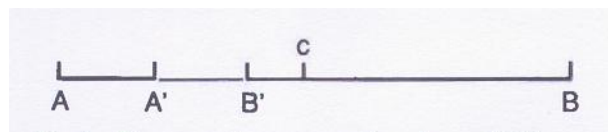
- ako se negdje u nizu između dva krajnja člana čvrste otopine pojavi područje nemiješanja, odnosno članovi određenog kemijskog sastava nisu prisutni, odnosno zbog nekih razloga ne mogu postojati, generalno se nomenklatura članova niza vrši po “pravilu 50%”, ali se svaki pojedini slučaj gleda zasebno
- npr. postoji li slučaj kao na Slici 4.; kaže se da će ime krajnjeg člana A nositi svi članovi niza od A do C, iako je poznato da su mogući, tj. postojani samo krajnji članovi raspona od A do A`. Također, ime krajnjeg člana B nosit će svi članovi niza od C do B, iako je poznato da su mogući, tj. postojani samo krajnji članovi raspona od B` do B.



Slika 4.

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- npr. postoji li slučaj kao na Slici 5. da se područje nemiješanja (engl. miscibility gap) nalazi na jednoj strani oznake 50%, javlja se pitanje koje će ime nositi članovi koji prelaze oznaku 50% i zalaze u područje koje bi inače trebalo nositi ime drugog krajnjeg člana (područje B'-C na Slici 5.), a nakon njih slijedi područje nemiješanja pa drugi krajnji član

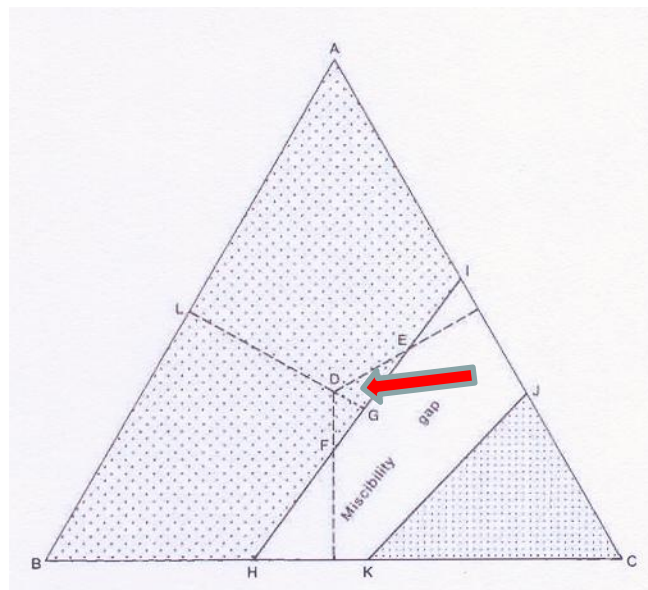


Slika 5.

- CNMMN preporuča da, ako je problematično područje malog raspona ($<10\text{mol}\%$) nosi naziv krajnjeg člana B, a ako je raspon problematičnog područje značajniji ($>10\text{mol}\%$), onda neka nosi ime krajnjeg člana A

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

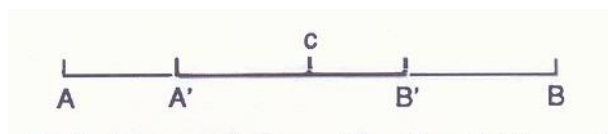
- analogno se razmatraju i trokomponentni (ternarni) i višekomponentni sustavi u kojima se javljaju područja nemiješanja
- npr. kod situacije koja je prikazana Slikom 6. vidljivo je područje označeno slovima FGED koje bi prema “pravilu 50%” trebalo nositi ime krajnjeg člana C ili zasebno ime, no preporuča se, ako je to problematično područje malog raspona, da mu se ne daje zasebno/novo ime



Slika 6.

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- npr. postoji li slučaj kao na Slici 7. da se područje mogućih kristala mješanaca nalazi s obje strane oznake 50%, a ne proteže se ni do jednog krajnjeg člana, preporuča se samo jedno ime za mineral koji obuhvaća navedeni raspon kemijskog sastava, ako je taj raspon mali, a dva imena, čija bi granica bila oznaka 50% ako je taj raspon prilično velik

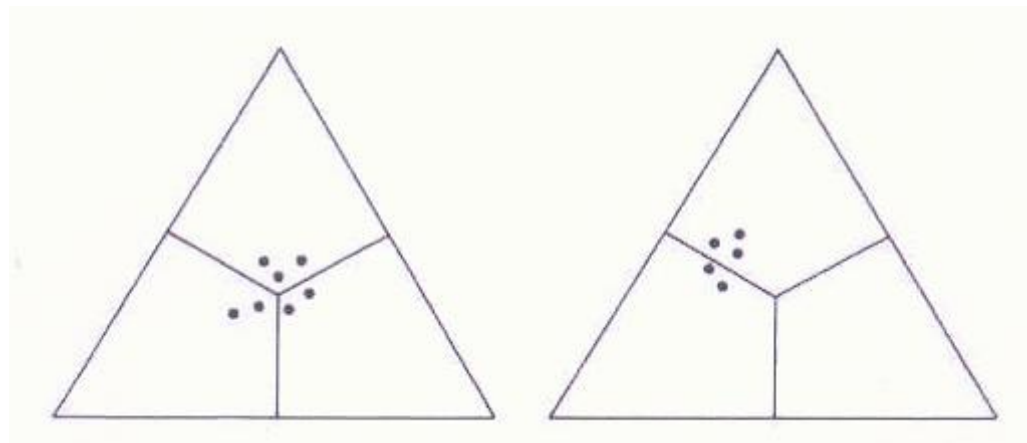


Slika 7.

- npr. pentlandit $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$, čiji je sastav centriran oko vrijednosti $\text{Ni:Fe}=1:1$, a krajnji članovi ne postoje

NOMENKLATURA ČVRSTIH OTOPINA

- Analogno s prethodno navedenim dvokomponentnim sustavom, ista se situacija može dogoditi i kod trokomponentnih sustava
- npr. može se dogoditi da su poznati/mogući samo članovi određenog kemijskog sastava koji u ternarnom dijagramu zauzimaju mjesta blizu jedan drugome u nekom dijelu dijagrama (Slika 8.)



Slika 8.

- ako je područje postojanja kristala mješanaca relativno malo, preporuča se jedno ime, a ako je relativno veliko više (2 ili 3) imena

HOLOTIP, KOTIP, NEOTIP

HOLOTIP - onaj uzorak kojega označava autor koji ga opisuje, koji ga prvi put opisuje i koji označava sva svojstva kakva taj mineral mora imati; holotip mora biti pohranjen u muzeju

KOTIP - uzorak sa kojeg su dobiveni kvantitativni podaci dostatni i važni za opis minerala; čest je slučaj da holotip i kotip nisu sačuvani (pr. za kalcit)

NEOTIP - uzorak koji je sačuvan, a na kojem je opisano neko za mineral važno svojstvo; na neotipu se još utvrđuju svojstva ili se ista pobijaju

DEFINIRANJE NOVIH MINERALA

- Sistematika minerala – nije konačna, još uvijek se novi minerali otkrivaju, stari pobijaju (diskreditiraju) ili izmjenjuju
- Komisija za nove minerale, nomenklaturu i klasifikaciju - CNMNC odlučuje je li predložen novi mineral zaista novi, je li koji stari mineral krivo nazvan, postoji li više imena za isti mineral, treba li se diskreditirati koji mineral, odnosno njegovo ime i sl., a postoje i pisani naputci za prijavu novih minerala s jasno navedenim kriterijima.

LITERATURA

1. Bermanec, V. (1999): Sistematska mineralogija – mineralogija nesilikata. Targa, Zagreb, 264 str.
2. Burke, E. A. J. (2006): A mass discreditation of GQN minerals. The Canadian Mineralogist, Vol. 44, pp. 1557-1560.
3. Nickel, E. H. (1992): Nomenclature for mineral solid solutions. American Mineralogist, Vol. 77, pp. 660-662.
4. Nickel, E. H. & Grice, J. D. (1998): The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: Procedures and guidelines on mineral nomenclature, 1998. The Canadian Mineralogist, Vol. 36, pp. 3-16.
5. Slovenec, D., Bermanec, V. (2003): Sistematska mineralogija - mineralogija silikata. Denona, Zagreb, 359 str.