



Mineralogija

Sveučilišni prijediplomski studij Znanosti o okolišu – 1. godina (253566)

Doc. dr. sc. Petra Schneider

akad. god. 2024./25.

Sadržaj

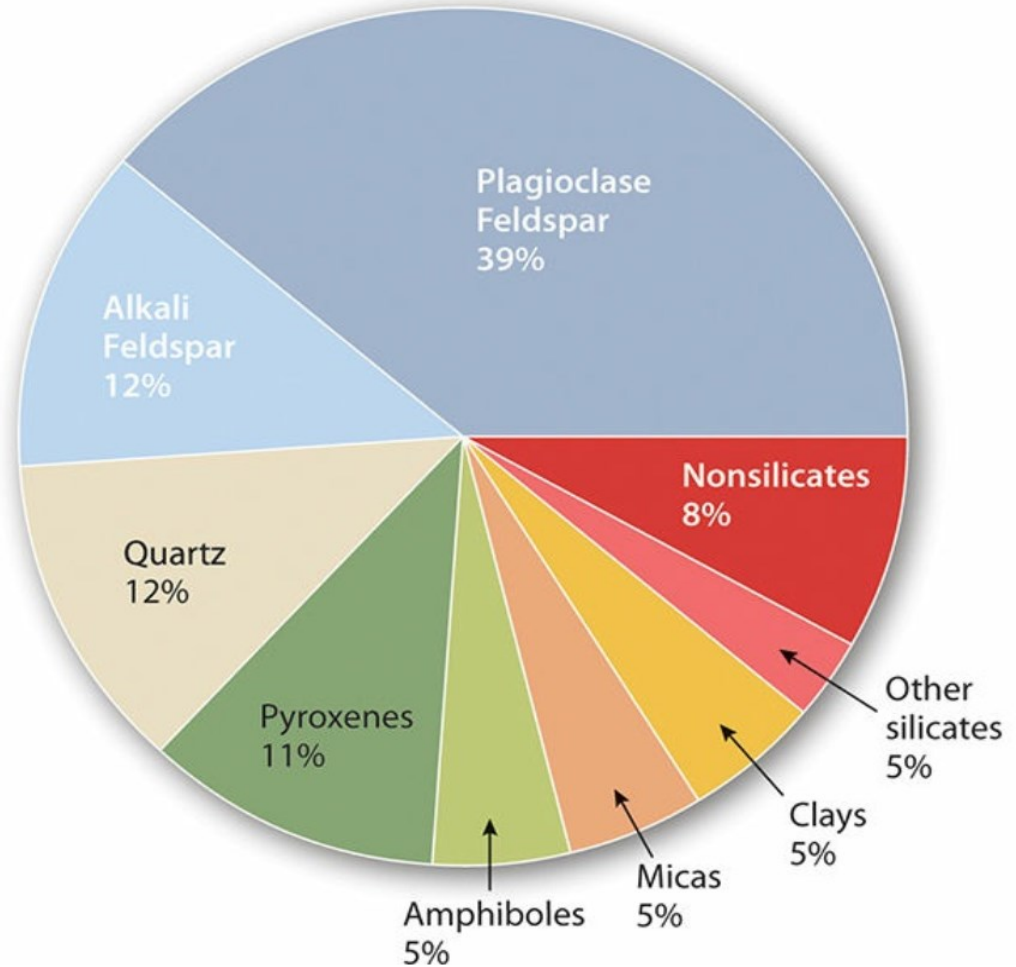
Razred 13. Silikati

- Struktura silikata
- Pregled odabranih nezosilikata
- Pregled odabranih nezosubsilikata
- Pregled odabranih sorosilikata
- Pregled odabranih ciklosilikata
- Pregled odabranih inosilikata



Razred 13. Silikati

- ! Najrasprostranjeniji minerali u Zemljinoj kori
- Silikati + kvarc = 90 % mase Zemljine kore
- Brojčano = 1/3 svih poznatih minerala



Preuzeto iz Klein & Philpotts (2013).

**udio različitih skupina minerala u sastavu
Zemljine kore**

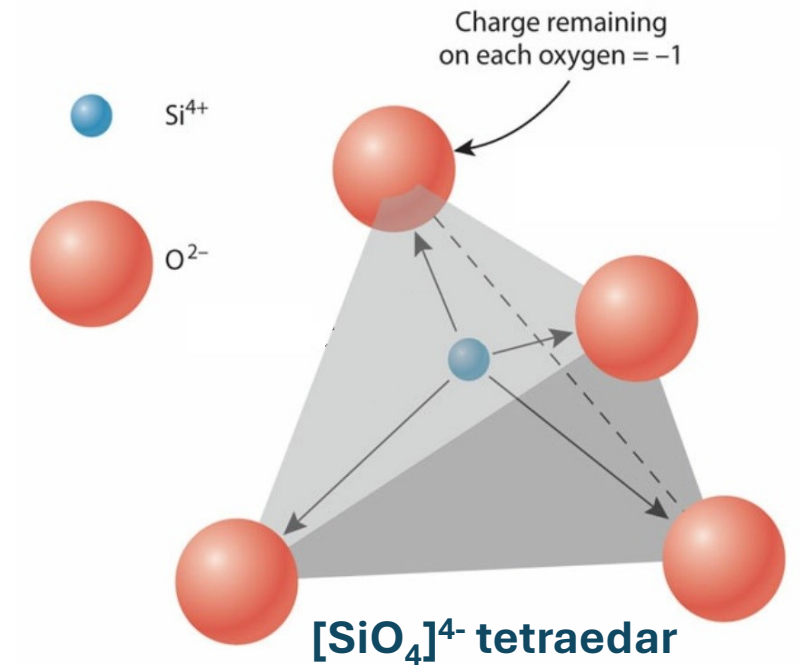
Razred 13. Silikati – struktura

Si uvijek vezan za O! *

[SiO₄]⁴⁻ tetraedar = osnovna gradbena jedinica u strukturi silikata

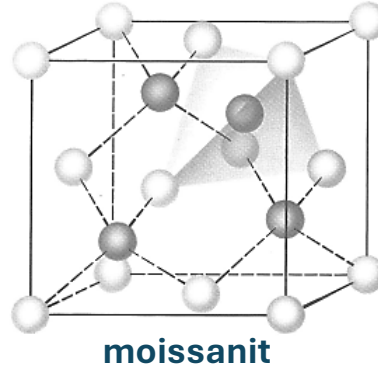
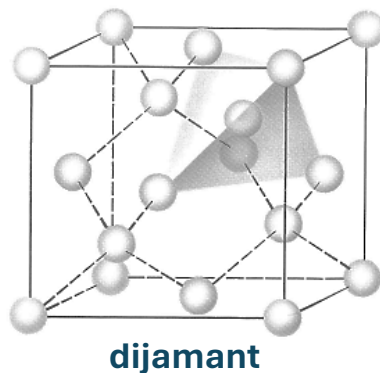
svaki O²⁻ ion dijeli ½ energije vezanja s jednim Si, dok je druga ½ veze dostupna za vezanje s drugim Si → polimerizacija

→ povezuju se na različite načine u strukturu → **različiti podrazredi**



* Iznimka: **SiC, moissanit**

- u meteoritima i kimberlitima
- sintetski kao imitacija dijamanta
- carborundum



Razred 13. Silikati – struktura

Razred: Silikati

Podrazred 1. Nezosilikati (ortosilikati)

- slobodni, izolirani $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedari

Tip 1.A Nesubsilikati

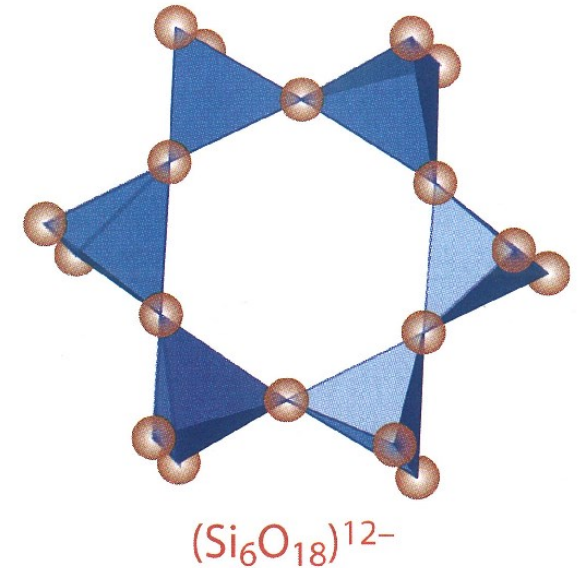
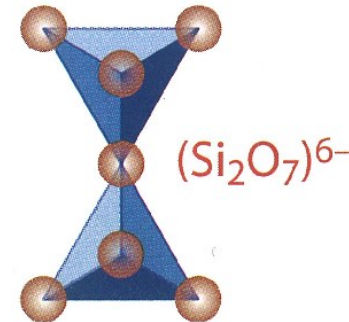
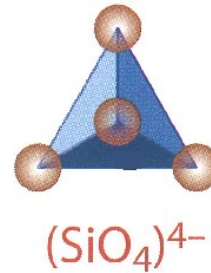
- s dodatnim anionima

Podrazred 2. Sorosilikati

- $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri se dodiruju jednim vrhom

Podrazred 3. Ciklosilikati

- $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri (3, 4, ili 6) vezani međusobno preko dva vrha (prvi sa zadnjim u nizu) → prstenaste anionske skupine



konačne anionske grupe
1, 2, 3, 4 ili 6 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedara

Razred 13. Silikati – struktura

Razred: Silikati

Podrazred 4. Inosilikati

- $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri vezani međusobno preko dva vrha $\rightarrow$ lančaste anionske skupine
- jednostruki lanci = grupa piroksena
- dvostruki lanci = grupa amfibola

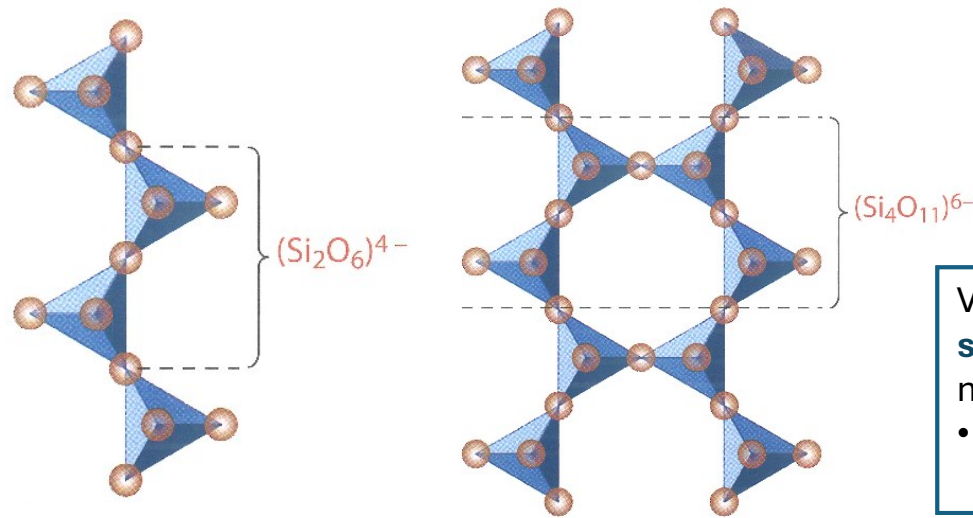
Podrazred 4.A Heterofilosilikati

Podrazred 5. Filosilikati

- $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri povezani međusobno u beskonačnu mrežu

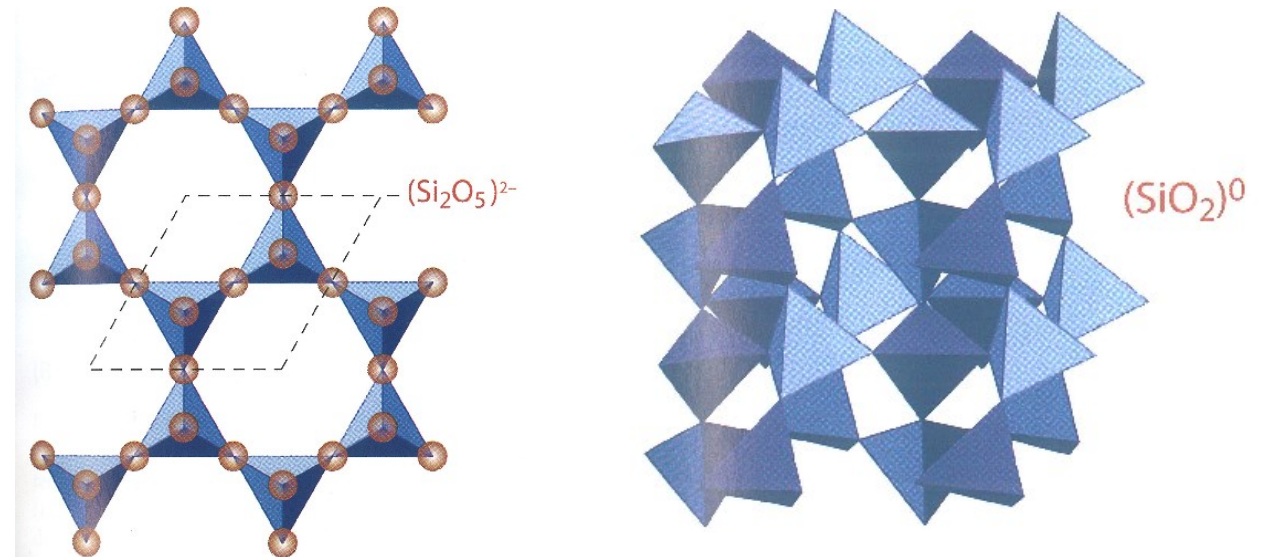
Podrazred 6. Tektosilikati

- $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri međusobno povezani preko sva četiri vrha



Većina silikata ima **nisku simetriju** $\rightarrow$ posljedica njihovog složenog sastava

- kubični su samo nezosilikati i tektosilikati



beskonačne anionske grupe

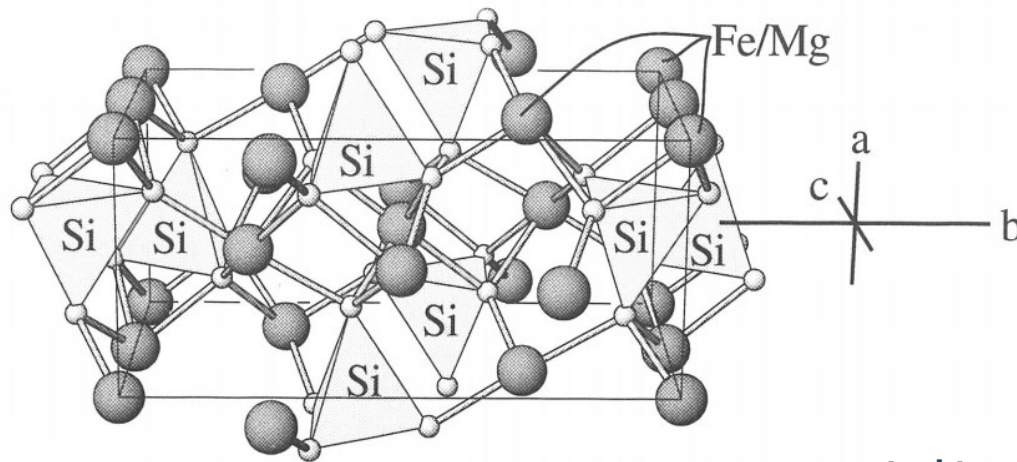
Razred 13. Silikati - struktura

Podrazred: nezosilikati

! Slobodni, izolirani $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedari

→ međusobno povezani ionskim vezama **pomoću intersticijskih kationa**

- atomi u strukturama nezosilikata gusto su pakirani → relativno veća gustoća i tvrdoća
- strukturne značajke uvjetuju čestu pojavu izometričnog habitusa
- često nedostaju i izraženi smjerovi kalavosti



struktura olivina



Razred 13. Silikati - klasifikacija

Podrazred: nezosilikati

Razred: Silikati

Podrazred: 1. Nezosilikati (ortosilikati)

1.1. Grupa fenakita

- fenakit $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$
- willemmit $\text{Zn}_2[\text{SiO}_4]$

1.2. Grupa olivina

- fayalit $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$
- forsterit $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$

1.3. Grupa granata

- pirop $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
- almadin $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
- spessartin $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
- grossular $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
- andradit $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$
- uvarovit $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$

1.4. Grupa cirkona

- cirkon $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$
- torit $\text{Th}[\text{SiO}_4]$
- coffinit $\text{U}[\text{SiO}_4]_{1-x}(\text{OH})_{4x}$

1.5. Grupa humita – kondrodita

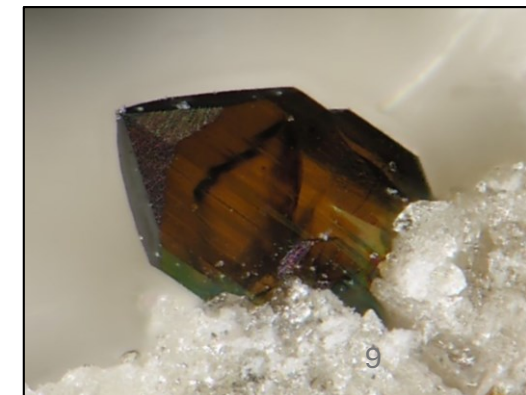
Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa olivina

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

FORSTERIT (Fo) $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$
FAYALIT (Fa) $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$

- Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)
- Habitus: zrnasti agregati, rijetko kratkostupičasti i debelopločasti kristali
- Tvrdoća: 7
- Gustoća: 3,27 – 4,32
- Kalavost: jasna po {010}, nejasna po {100}
- Lom: školjkast
- Boja: bezbojan, žutozelen, maslinastozelen, crn; tamnije obojenje s porastom udjela *Fa* komponente
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: magmatske ultrabazične i bazične stijene (**duniti** = stijene građene od >90% olivina), meteoriti
- Dodatno: kem. slabo otporni, alteracija u serpentine, talk, magnezit



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa olivina

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

FORSTERIT (*Fo*) $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$
FAYALIT (*Fa*) $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$

- Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)
- Habitus: zrnasti agregati, rijetko kratkostupičasti i debelopločasti kristali
- Tvrdoća: 7
- Gustoća: 3,27 – 4,32
- Kalavost: jasna po {010}, nejasna po {100}
- Lom: školjkast
- Boja: bezbojan, žutozelen, maslinastozelen, crn; tamnije obojenje s porastom udjela *Fa* komponente
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: magmatske ultrabazične i bazične stijene (**duniti** = stijene građene od >90% olivina), meteoriti
- Dodatno: kem. slabo otporni, alteracija u serpentine, talk, magnezit



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa olivina

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

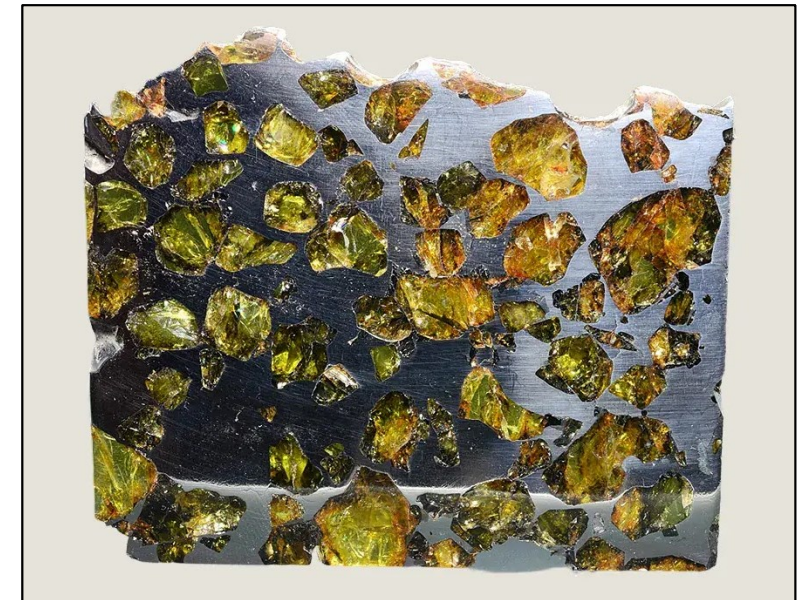
FORSTERIT (Fo) $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$

FAYALIT (Fa) $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	zrnasti agregati, rijetko kratkostupičasti i debelopločasti kristali
Tvrdoća:	7
Gustoća:	3,27 – 4,32
Kalavost:	jasna po {010}, nejasna po {100}
Lom:	školjkast
Boja:	bezbojan, žutozelen, maslinastozelen, crn; tamnije obojenje s porastom udjela <i>Fa</i> komponente
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	magmatske ultrabazične i bazične stijene (duniti = stijene građene od >90% olivina), meteoriti
Dodatno:	kem. slabo otporni, alteracija u serpentine, talk, magnezit



peridot (krizolit)
gemološki varijetet olivina



pallasit
kamenno-željezni meteorit s kristalima olivina

Razred 13. Silikati

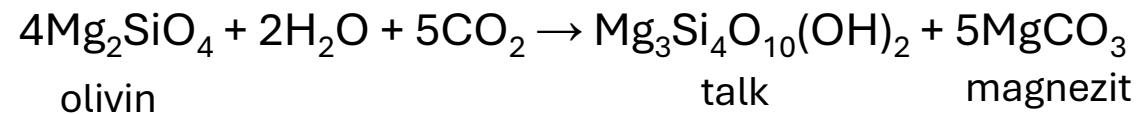
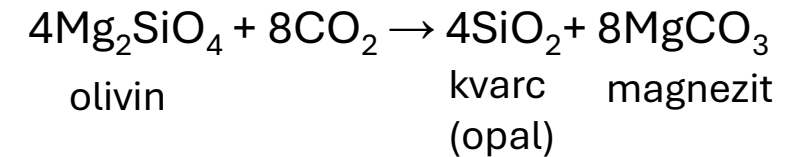
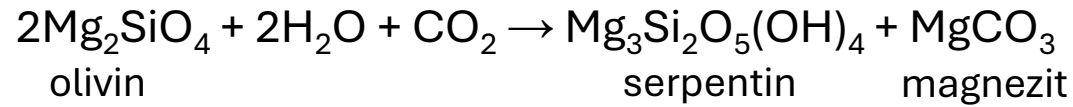
Podrazred: nezosilikati – Grupa olivina

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

FORSTERIT (Fo) $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$

FAYALIT (Fa) $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$

Alteracije:



+ Fe-oksidi, hidroksidi

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa granata

GRANATI $R^{2+}_3R^{3+}_2[SiO_4]_3$

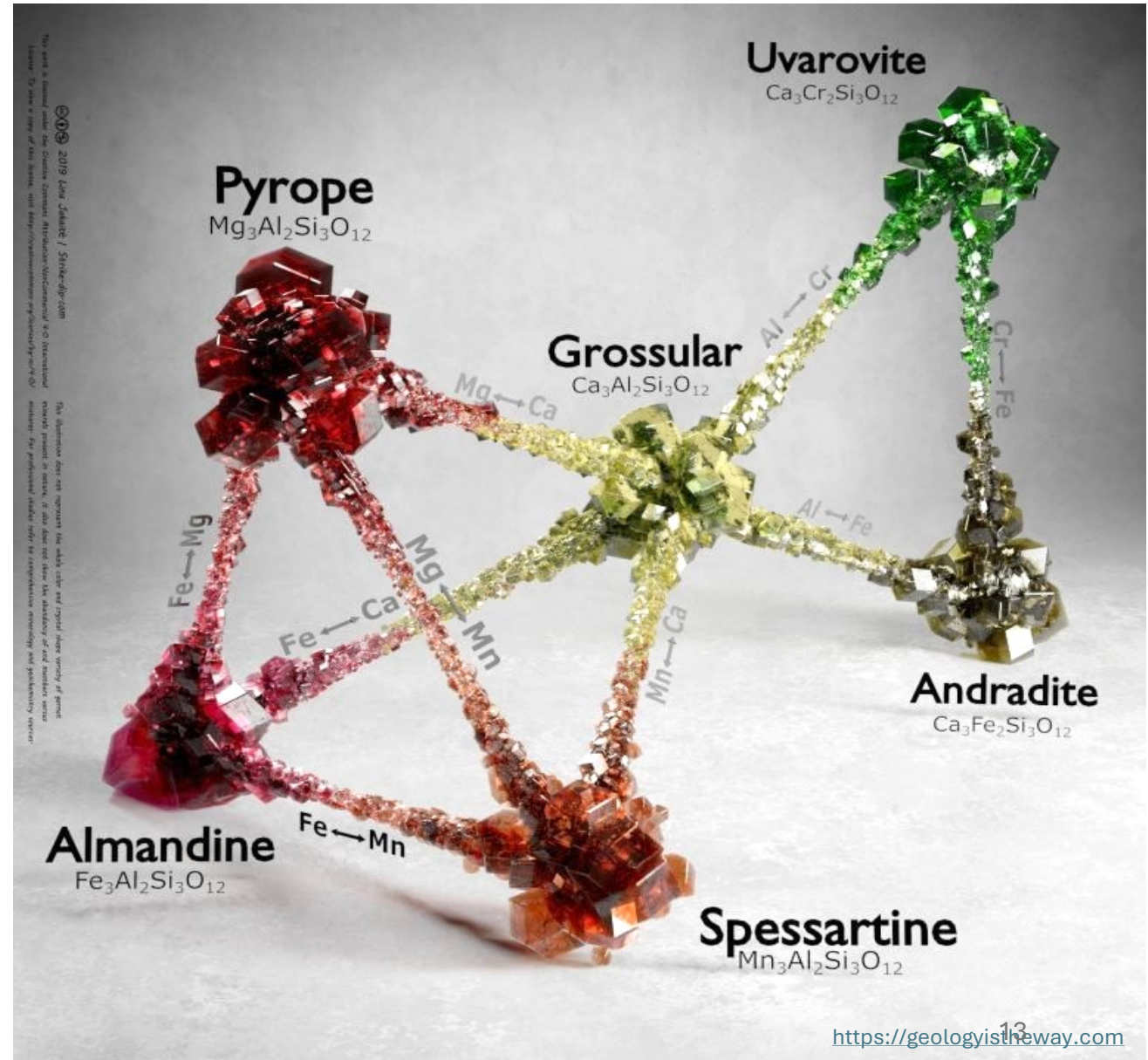
2 serije:

PIRALSPITI

- **pirop** $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$
- **almadin** $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$
- **spessartin** $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$

UGRANDITI

- **grossular** $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$
- **andradit** $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$
- **uvarovit** $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa granata

GRANATI $R^{2+}_3R^{3+}_2[SiO_4]_3$

Kristalni sustav: kubični ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: kombinacija rompskog dodekaedra i deltoidskog ikozitetraedra, dobro razvijeni kristali (osim uvarovita)

Tvrdoća: $6 \frac{1}{2}$ (ugranditi) – $7 \frac{1}{2}$ (piralspiti)

Gustoća: 3,58 – 4,32

Kalavost: nema

Lom: školjkast do neravan

Boja: bezbojan, žut, ružičasti, smeđi, crvenosmeđi, crveni, smaragdno zeleni (uvarovit)

Crt: bijel

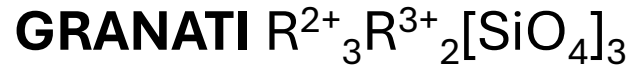
Sjaj: staklast do dijamantan

Pojavljivanje: dominantno metamorfni minerali;
u ultrabazičnim magmatskim stijenama (pirop);
u serpentinitima (uvarovit)



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa granata



Gemološki varijeteti:

- **rodolit** = ružičastocrven do ljubičasti varijetet piropa-almandina („češki rubin”)
- **hessonit** („*cinnamon stone*”) = narančastosmeđi varijetet grossulara
- **tsavorit (tsavolit)** = proziran zeleni varijetet grossulara
- **melanit** = crni varijetet andradita
- **demantoit** = zeleni varijetet andradita, vrlo visokog sjaja



rodolit



hessonit



melanit



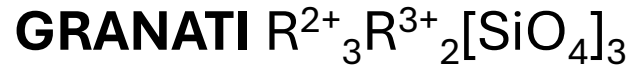
tsavorit



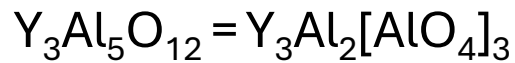
demantoit

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa granata

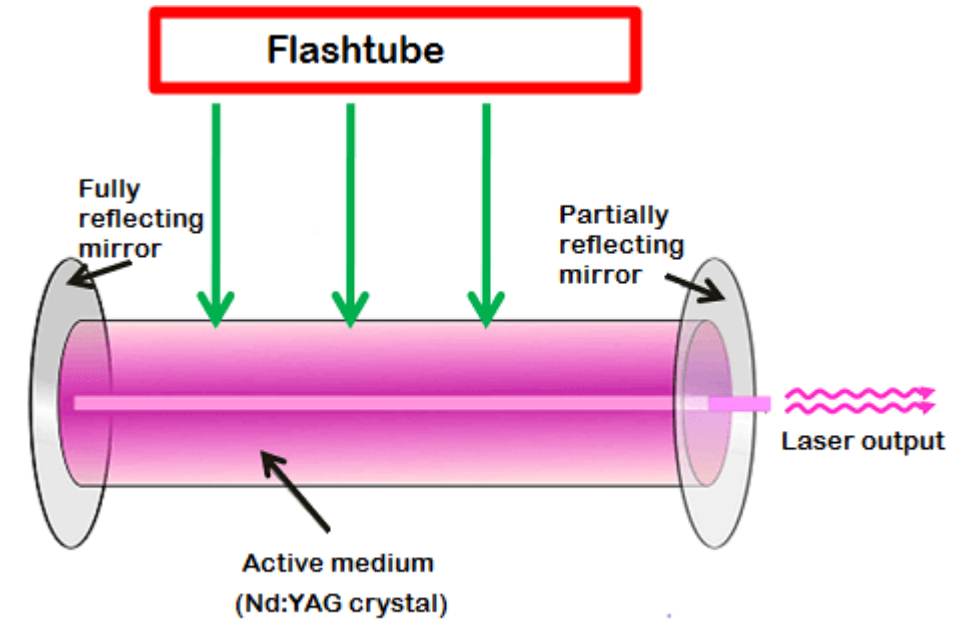


YAG GRANATI

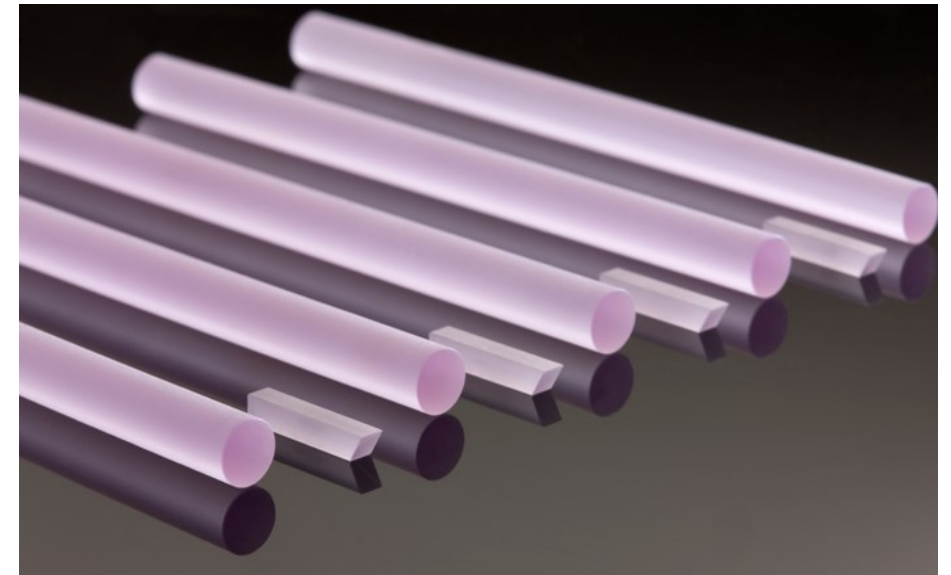


- sintetski materijal
- kubična struktura, izotropna (homogena) optička svojstva
- visoka termalna stabilnost (mali koef. term. širenja, velika termalna vodljivost)
- kemijska i mehanička stabilnost
- dopiranje s Nd (Nd:YAG), Ce (Ce:YAG), ...
- laseri* – znanstveni, medicinski

* engl. *light amplification by stimulated emission of radiation*
(pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja)



<https://www.physics-and-radio-electronics.com/physics/laser/ndyaglaser.html>



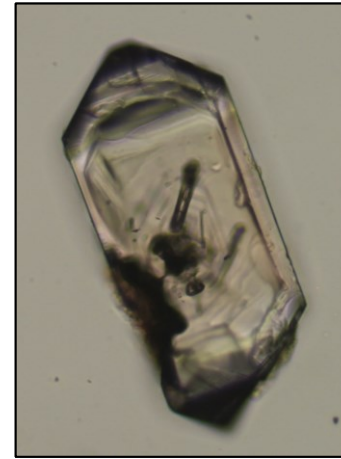
https://www.scientificmaterials.com/products/nd-yag_yttrium_aluminum_garnet.php

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa cirkona

CIRKON ZrSiO_4

- Kristalni sustav: tetragonski (4/m 2/m 2/m)
Habitus: kombinacija jedne ili više prizmi s dipiramidama, dobro razvijeni kristali
Tvrdoća: 7 ½
Gustoća: 4,65 – 4,70
Kalavost: nejasna po {110}
Lom: školjkast, neravan
Boja: bezbojan, žut, ružičasti, smeđi, crvenosmeđi
Crt: bijel
Sjaj: staklast do dijamantan
Pojavljivanje: akcesorni mineral u kiselim i neutralnim magmatskim stijenama; u metamorfnim stijenama; u sedimentima kao rezistat
Dodatno: kemijski vrlo stabilan; koristi se za određivanje apsolutne starosti; metamiktan od radiokativnog zračenja; ruda cirkonija i hafnija



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa cirkona

CIRKON ZrSiO_4

Gemološki varijeteti:

- **hijacint** = smeđe-crven varijetet;
žarenjem postaje plav ili žut
- **jargon** = bezbojan do žut varijetet



Izvor fotografija: <https://colorfirst.com>



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosilikati – Grupa cirkona

CIRKON ZrSiO_4

! cirkon $\neq$ kubična cirkonija ZrO_2



sintetska imitacija dijamanta

! Najstariji mineral na Zemlji

4,404 $\pm$ 0,008 mlrd. god. u metakonglomeratu
(Jack Hills, zapadna Australija)



LAB-GROWN DIAMOND

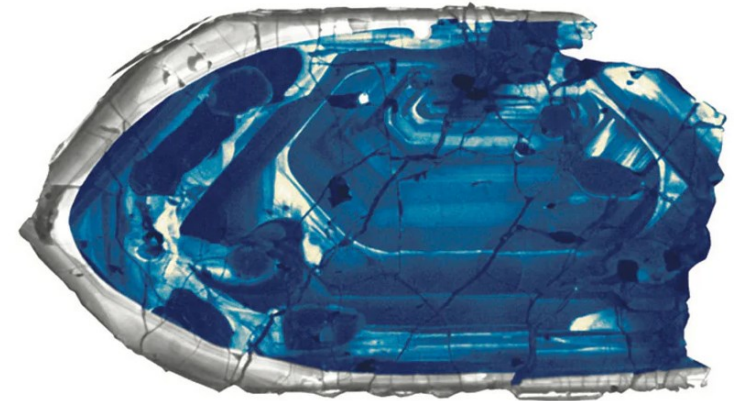


Mohs Scale Hardness: 10
Sharp Facet Edges
Dispersion (fire): 0.044

CUBIC ZIRCONIA



Mohs Scale Hardness: 8.5
Rounded Facet Edges
Dispersion (fire): 0.058–0.066



FALSE COLOR IMAGE OF THE OLDEST KNOWN ZIRCON
FOUND IN THE JACK HILLS FORMATION. ESTIMATED AGE
4,374,000,000 YEARS OLD.

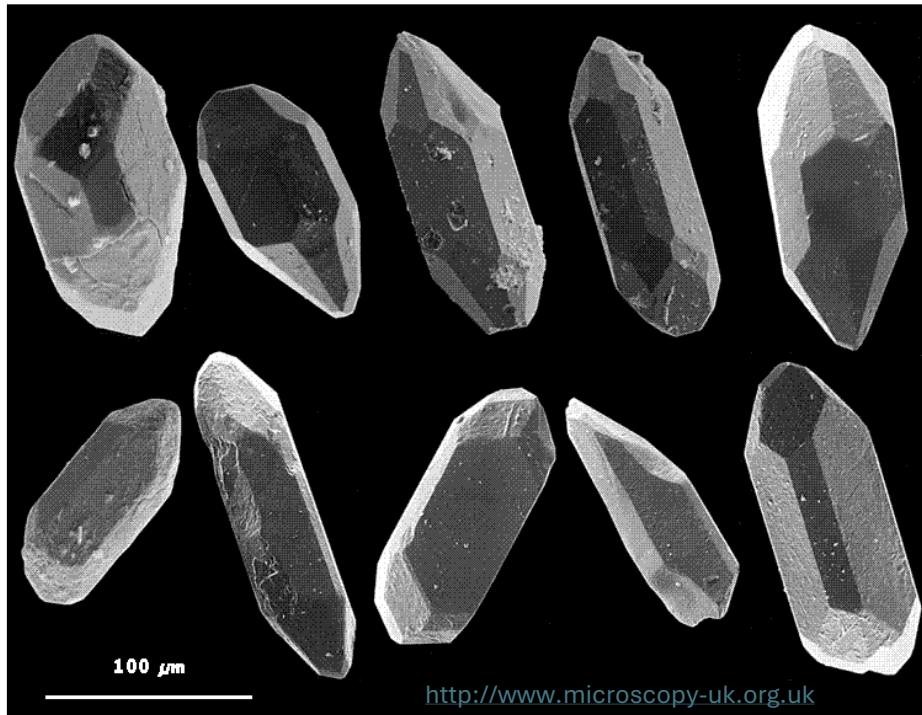
(SOURCE: VALLEY, JOHN W., ET AL. "HADEAN AGE FOR A
POST-MAGMA-OCEAN ZIRCON CONFIRMED BY ATOMPROBE
TOMOGRAPHY." NATURE GEOSCIENCE 7.3 (2014): 219-223.)

Razred 13. Silikati

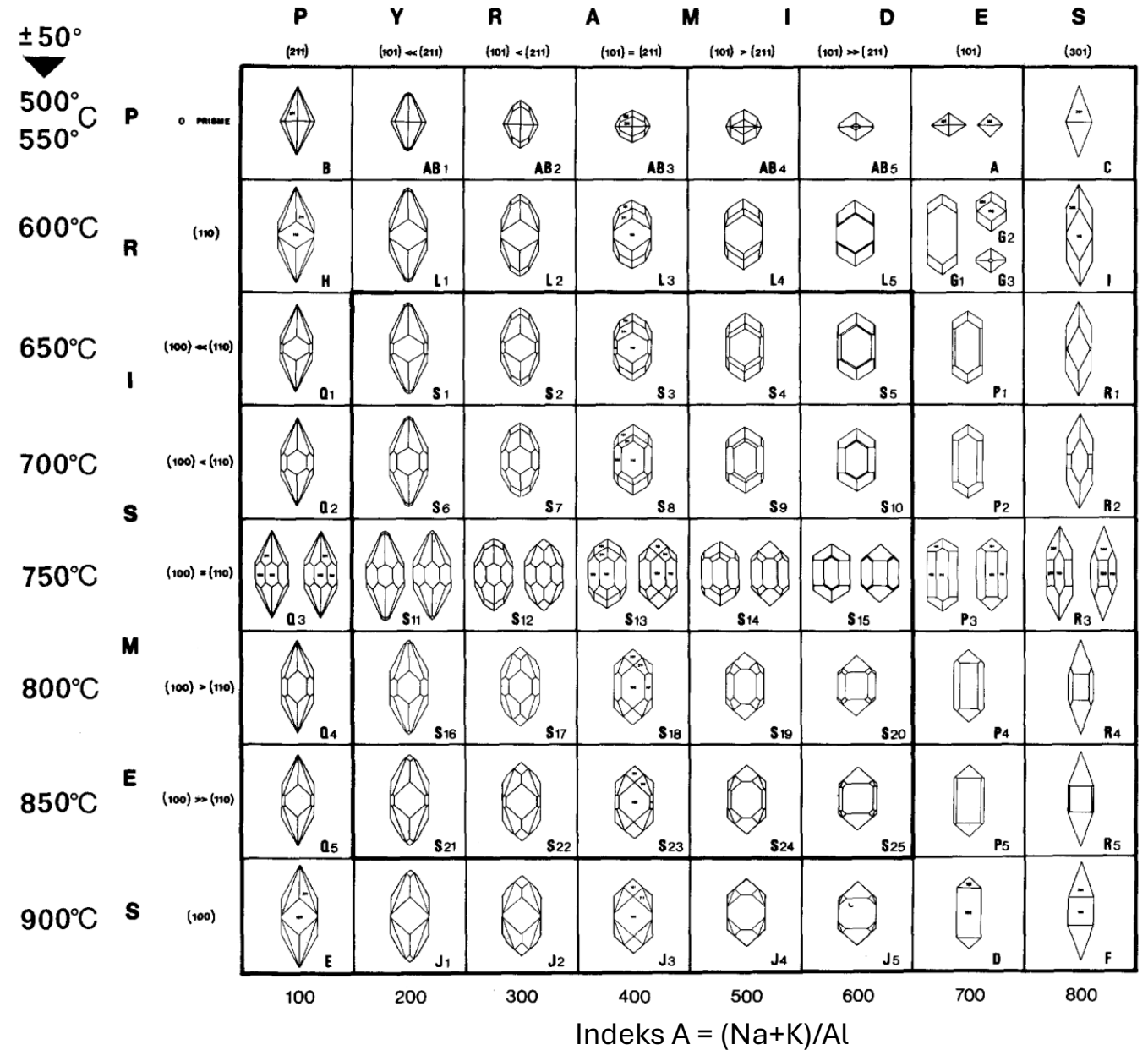
Podrazred: nezosilikati – Grupa cirkona

CIRKON ZrSiO_4

! Habitus ovisi o uvjetima postanka (temperaturi kristalizacije i sastavu magme).



<http://www.microscopy-uk.org.uk>



Razred 13. Silikati - klasifikacija

Podrazred: nezosubsilikati

Razred: Silikati

Podrazred: 1A. Nezosubsilikati

1.1A. Grupa sillimanita-andaluzita-kianita

- sillimanit Al_2SiO_5
- andaluzit Al_2SiO_5
- kianit Al_2SiO_5

1.2A. topaz $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F},\text{OH})_2$

1.3A. Grupa staurolita

- staurolit $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{O}_2 \text{Al}_9 [(\text{O}|\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]_4(\text{OH})_2$

1.4A. Grupa titanita

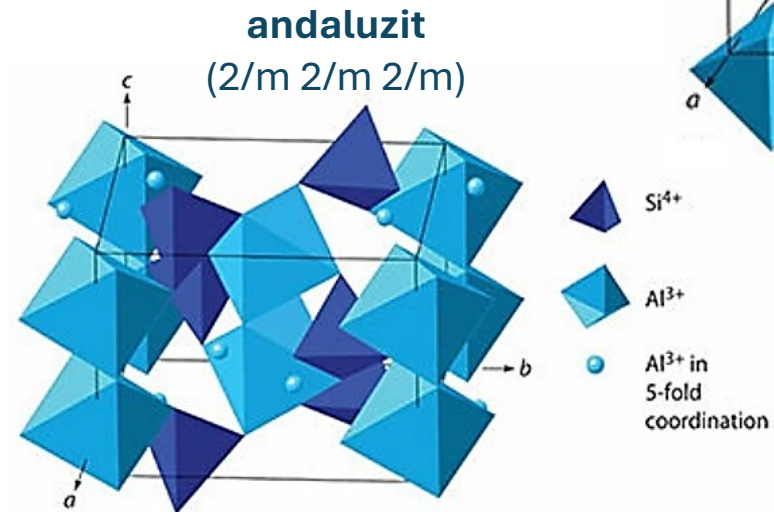
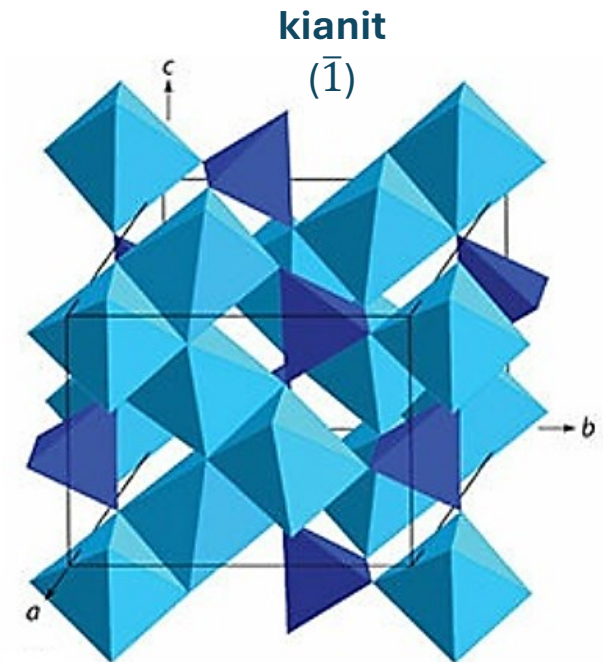
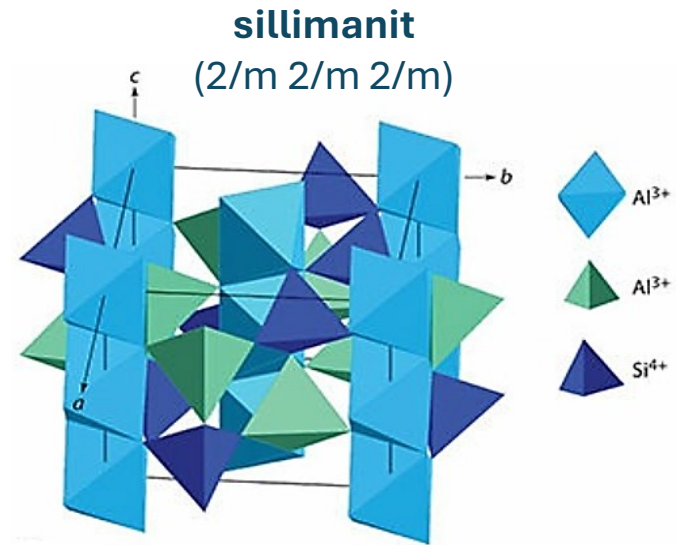
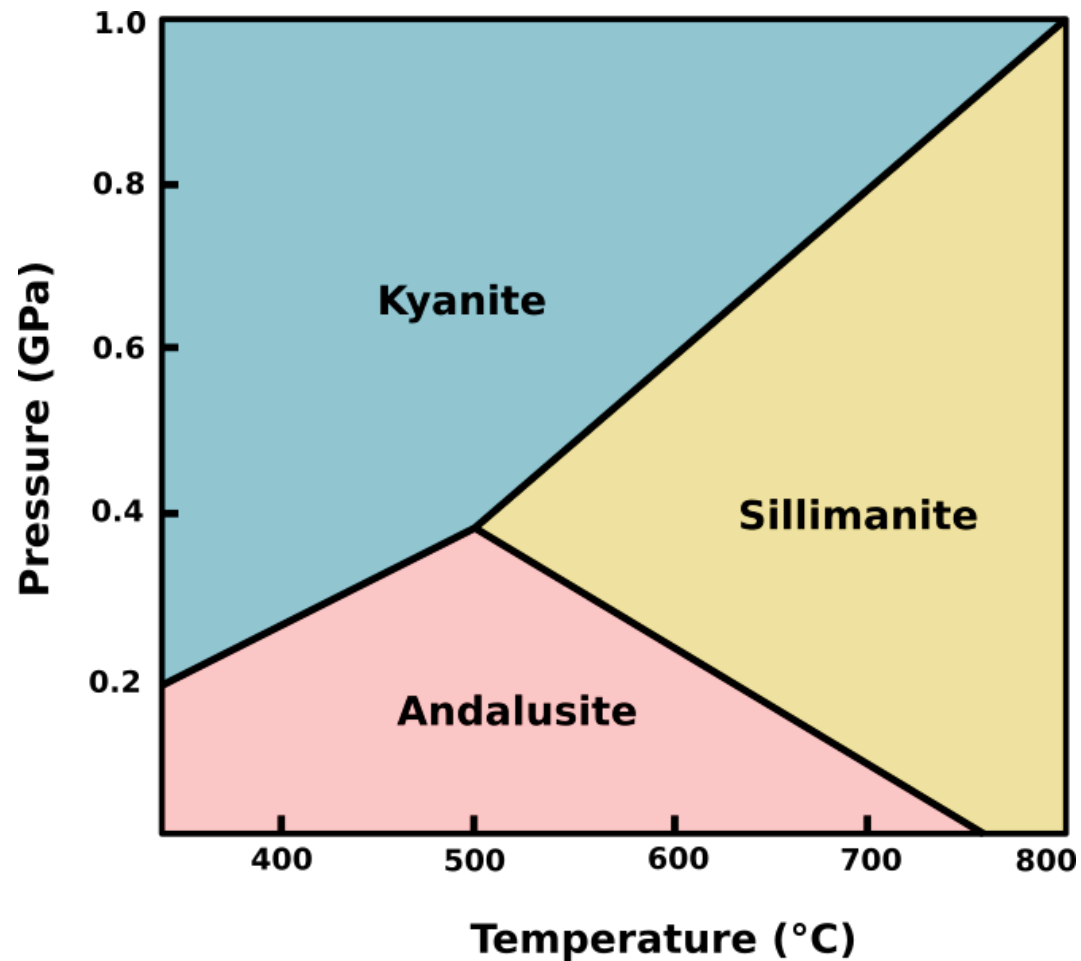
- titanit $\text{CaTi}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

1.5A. Grupa kloritoida

- kloritoid $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})_2\text{Al}_4 [(\text{O}|\text{SiO}_4]_2(\text{OH})_4$

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati – Grupa silimanita-andaluzita-kianita



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati – Grupa silimanita-andaluzita-kianita

SILLIMANIT Al_2SiO_5 , $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	dugoprizmatični kristali, vlaknast agregati
Tvrdoća:	7 ½
Gustoća:	3,25
Kalavost:	savršena po {010}
Lom:	neravan
Boja:	sivobijela do žuta
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast, sedefast do gotovo dijamantan
Pojavljivanje:	u visokotemperaturnim metamorfnim stijenama nastalima iz pelitnih protolita (gnajsevi, škriljavci)

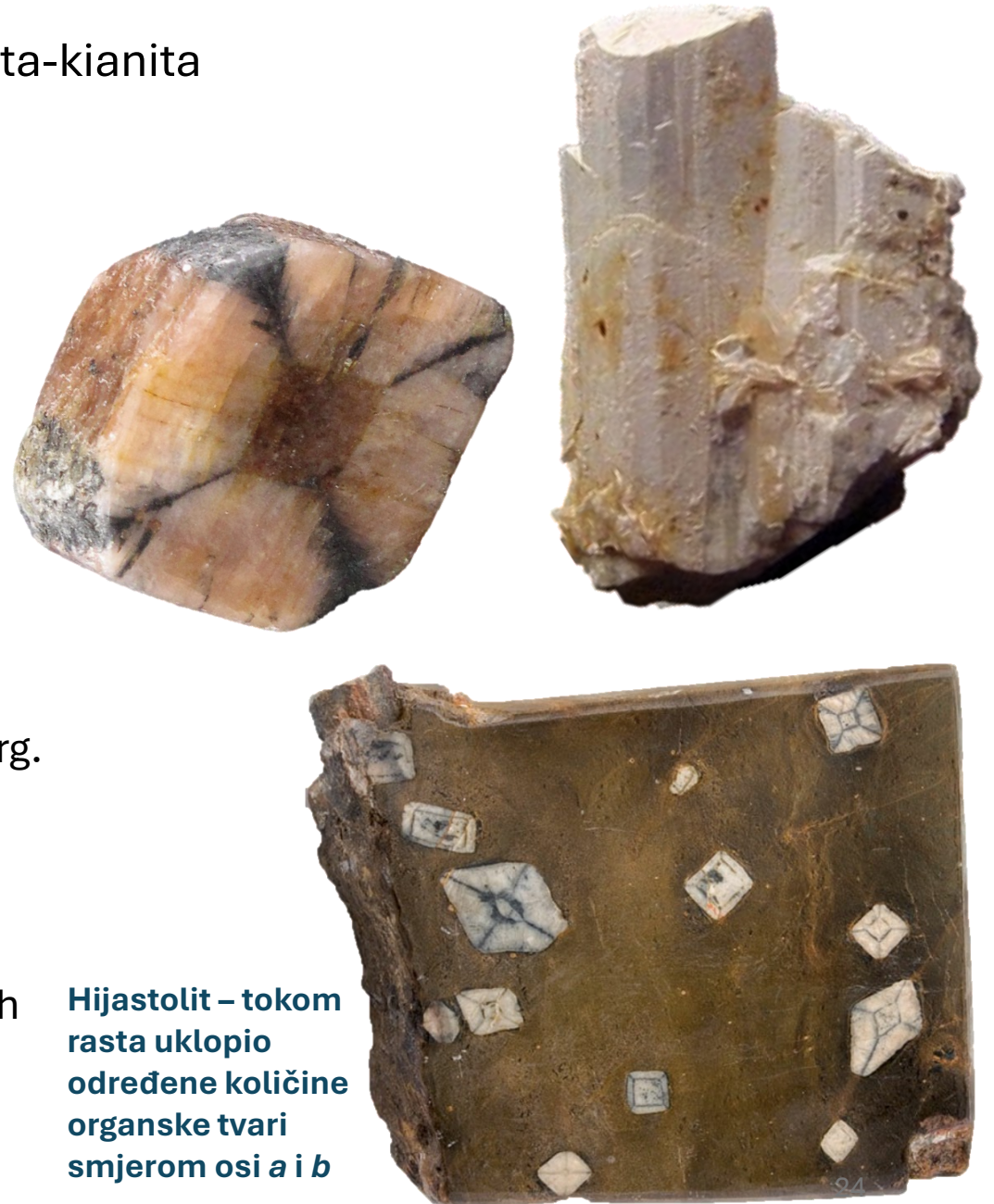


Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati – Grupa silimanita-andaluzita-kianita

ANDALUZIT Al_2SiO_5 , $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{V}}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	prizmatični pseudotetragonski kristali
Tvrdoća:	7
Gustoća:	3,1 – 3,2
Kalavost:	jasna po {110}
Lom:	neravan
Boja:	sivobijela, zelena, ružičasta; ponekad sektorski obojen sitnim česticama org. podrijetla (hijastolit)
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	u metamorfnim stijenama nastalima iz pelitnih protolita pod utjecajem visoke T (gnajsevi, škriljavci, hornfelsi); ponekad u granitima



**Hijastolit – tokom
rasta uklopio
određene količine
organske tvari
smjerom osi *a* i *b***

Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati – Grupa silimanita-andaluzita-kianita

KIANIT Al_2SiO_5 , $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{VI}}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

- Kristalni sustav: triklinski ($\bar{1}$)
- Habitus: pločastostupičasti kristali, izduženi po osi c i pločasti po {100}
- Tvrdoća: **ovisi o smjeru;**
npr. na plohama {100} u smjeru osi c iznosi 4 – 5,
a u smjeru osi b $6\frac{1}{2}$ – 7 (stari naziv **disten**)
- Gustoća: 3,1 – 3,2
- Kalavost: savršena po {100}, jasna po {010}
- Lučenje: po {001} zbog polisintetskih sraslaca
- Lom: neravan
- Boja: plavkast, siv, bijel, smeđi do gotovo crn (zbog čvrstih uklopaka), zelen
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast do sedefast
- Pojavljivanje: u metamorfnim stijenama nastalima iz pelitnih protolita (gnajsevi, škriljavci)
- Dodatno: epitaksijalna sraštanja sa staurolitom



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati

TOPAZ $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F,OH})_2$

Kristalni sustav:	rompski (2/m 2/m 2/m)
Habitus:	prizmatičan s dipiramidama na krajevima, plohe prizme vertikalno prutane
Tvrdoća:	8
Gustoća:	3,49 – 3,60
Kalavost:	savršena po {001}, ali teško se postiže
Lom:	neravan do školjkast
Boja:	bezbojan, žut, plavkast, zelenkast, ružičasti, smećkast
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	u pegmatitskim i pneumatolitskim žilama



Razred 13. Silikati

Podrazred: nezosubsilikati – Grupa staurolita

STAUROLIT $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{O}_2 \text{Al}_9 [(\text{O})(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]_4(\text{OH})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: stupićasti, prizmatski kristali
česti sraslaci u obliku pravokutnog ili kosokutnog križa

Tvrdoća: 7 – 7 ½

Gustoća: 3,75

Kalavost: jasna po {010}

Lom: neravan do školjkast

Boja: crvenosmeđa do crnosmeđa

Crt: sivkast

Sjaj: staklast do mastan; plohe mutne i hrapave

Pojavljivanje: nastaje regionalnim metamorfizmom, u gnajsevima i
škriljavcima

Dodatno: epitaksijalna sraštanja sa kijanitom



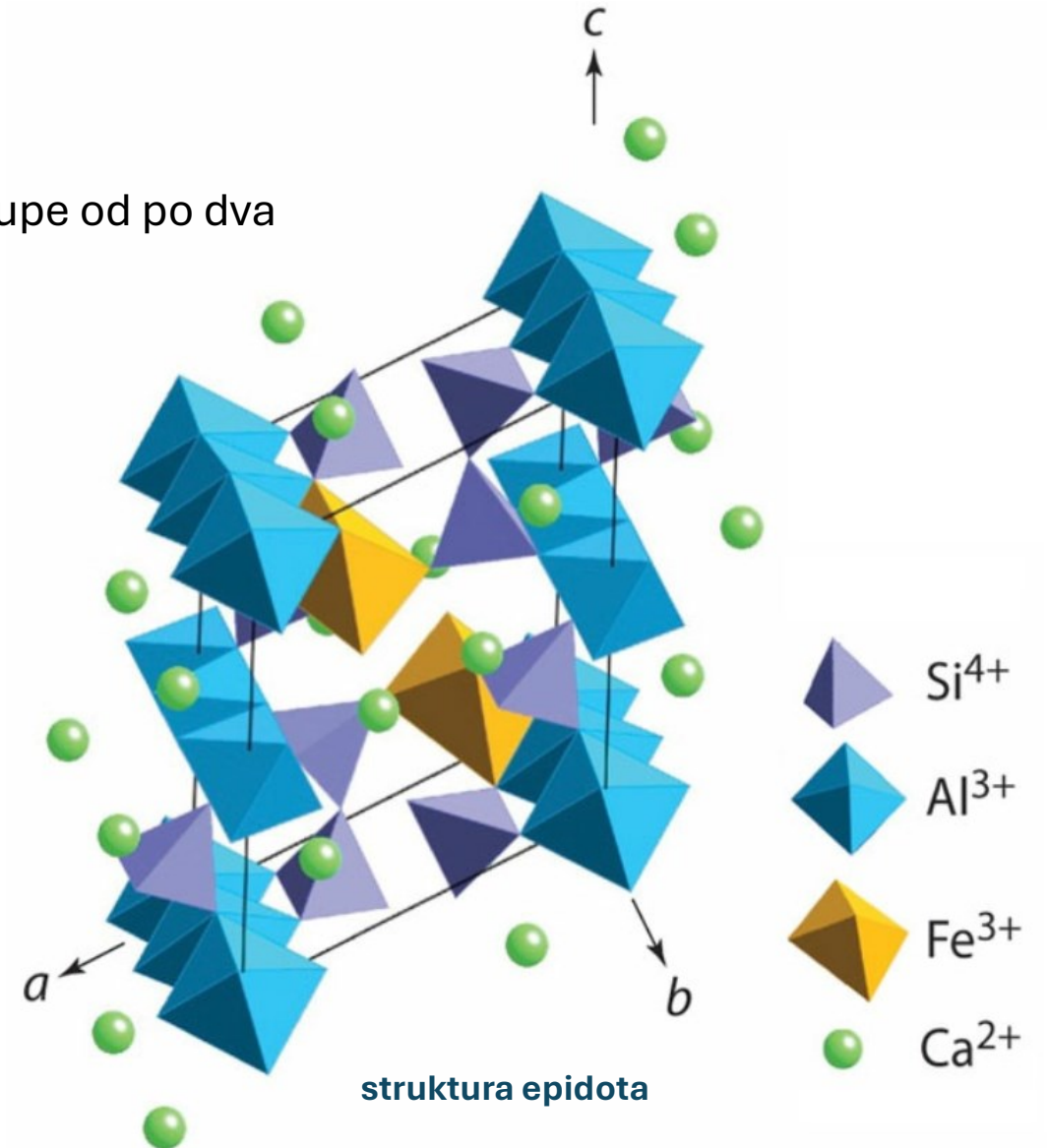
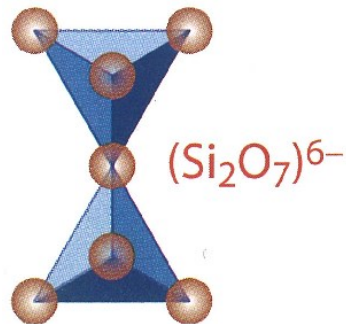
Razred 13. Silikati - struktura

Podrazred: sorosilikati

! $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri dodiruju se jednim vrhom

→ u kristalnoj strukturi sorosilikata prisutne su izolirane grupe od po dva međusobno povezana SiO_4 tetraedra

- **Si:O = 2:7**
- anionska skupina $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$



Razred 13. Silikati - klasifikacija

Podrazred: sorosilikati

Razred: **Silikati**

Postoji oko 70 minerala u ovoj skupini silikata, no većina se rijetko pojavljuje.

Podrazred: 2. **Sorosilikati**

2.1. Grupa melilita

2.2. Grupa lawsonita

2.3. Ilavit $\text{CaFe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

2.4. Hemimorfit $\text{Zn}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

izolirane grupe $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$

2.5. **Supergrupa epidota**

Grupa epidota

- **klinozoisit** $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
- **epidot** $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

Grupa allanita

- **allanit** $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Ca})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

Grupa dollaseita

2.6. **Zoisit** $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

2.7. Grupa pumpelleyita

2.8. Grupa vezuvijana

- **vezuvijan** $\text{Ca}_{19}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti})_{13}[\text{SiO}_4]_{10}[\text{Si}_2\text{O}_7]_4(\text{O}, \text{OH})_{10}$

izolirane grupe $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$
+
dodatna $[\text{SiO}_4]^{4-}$ grupa

Razred 13. Silikati

Podrazred: sorosilikati – Supergrupa epidota – Grupa epidota

GRUPA EPIDOTA $A_2M_3[ZO_4][Z_2O_7]O(OH)$

A = Ca, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Pb, Sr

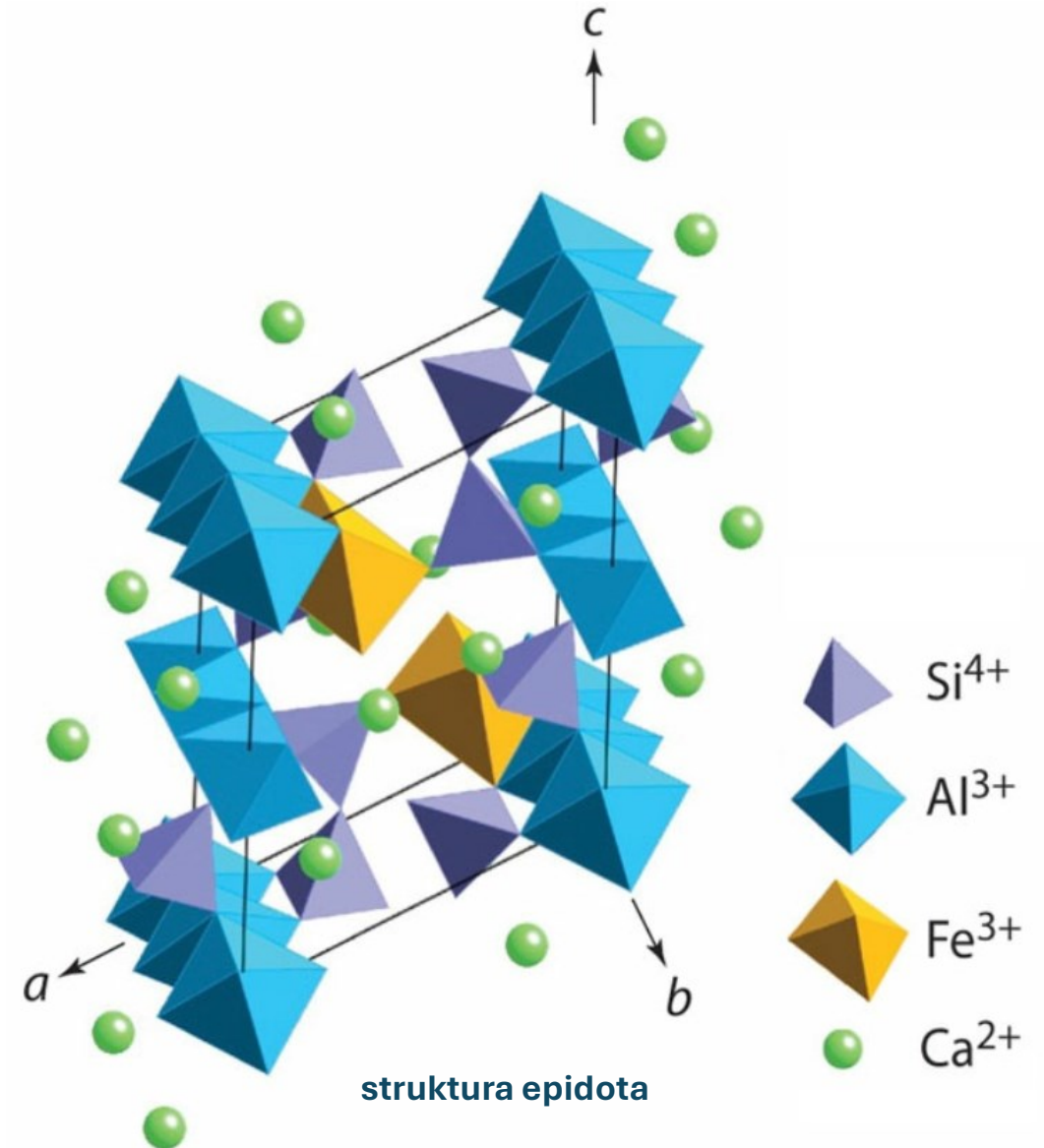
M = Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Ti, V, Mg

Z = Si, Be

EPIDOT $Ca_2(Fe^{3+}, Al)Al_2[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$

KLINOZOISIT $Ca_2Al_3[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$

ALLANIT $(LREE, Y, Ca)(Fe^{2+, 3+}, Al) Al_2[SiO_4][Si_2O_7]O$



Razred 13. Silikati

Podrazred: sorosilikati – Supergrupa epidota – Grupa epidota

EPIDOT $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

KLINOZOISIT $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	kristali izduženi i prutani duž osi <i>b</i> , česti polisintetski sraslaci po {100}; radialnozrakasti, zrnati i masivni agregati
Tvrdoća:	6 ½ – 7
Gustoća:	3,25 – 3,6
Kalavost:	savršena po {001}
Lom:	neravan do školjkast
Boja:	žutozelena do sivocrna (epidot); bezbojan, ružičast do narančast (klinozoisit)
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast do mastan
Pojavljivanje:	metamorfne stijene (pr. zeleni škriljavci, amfiboliti, mramori), hidotermalne žile
Dodatno:	pistacit – sinonim za epidot



epidot



klinozoisit

Razred 13. Silikati

Podrazred: sorosilikati

ZOISIT $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)

Habitus: izduženi kristali smjerom osi c, plohe prizme
vertikalno prutane

Tvrdoća: 6

Gustoća: 3,25 – 3,36

Kalavost: savršena po {010}

Lom: neravan do školjkast

Boja: siva, plava, crvena, ljubičasta, žuta, zelenosiva, smeđa;
može pokazivati trikroizam

Crt: bijel

Sjaj: staklast

Pojavljivanje: u metamrofnim stijenama (amfiboliti), u bazičnim
efuzivima, u hidrotermalnim žilama

Dodatno: gemološki varijetet **tanzanit** – ljubičasto, tamnoplavo,
sivoplavo



Razred 13. Silikati

Podrazred: sorosilikati – Grupa vezuvijana

VEZUVIJAN $\text{Ca}_{19}(\text{Al,Mg,Fe,Ti})_{13}[\text{SiO}_4]_{10}[\text{Si}_2\text{O}_7]_4(\text{O,OH})_{10}$

Kristalni sustav: tetragonski (4/m 2/m 2/m)

Habitus: dobro oblikovani kristali, kombinacije prizmi, dipiramida i baznog pinakoida

Tvrdoća: $6\frac{1}{2}$

Gustoća: 3,33 – 3,45

Kalavost: nejasna po {001}

Lom: neravan

Boja: (žuto)smeđa, zelena, rijetko ružičasta

Crt: bijel

Sjaj: staklast do mastan

Pojavljivanje: kontaktno-metamorfozirane stijene



Razred 13. Silikati – struktura

Podrazred: ciklosilikati

! $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri (3, 4, ili 6) vezani međusobno preko dva vrha (prvi sa zadnjim u nizu) → **prstenaste anionske skupine**

omjer Si:O = 1:3

Anion $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$

$\text{Si}^{4+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$ (B, Be)

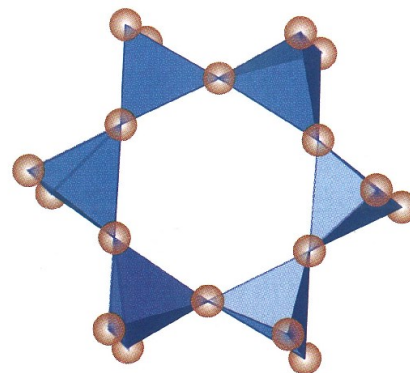
Si_3O_9 prsten

Si_4O_{12} prsten – rijetko

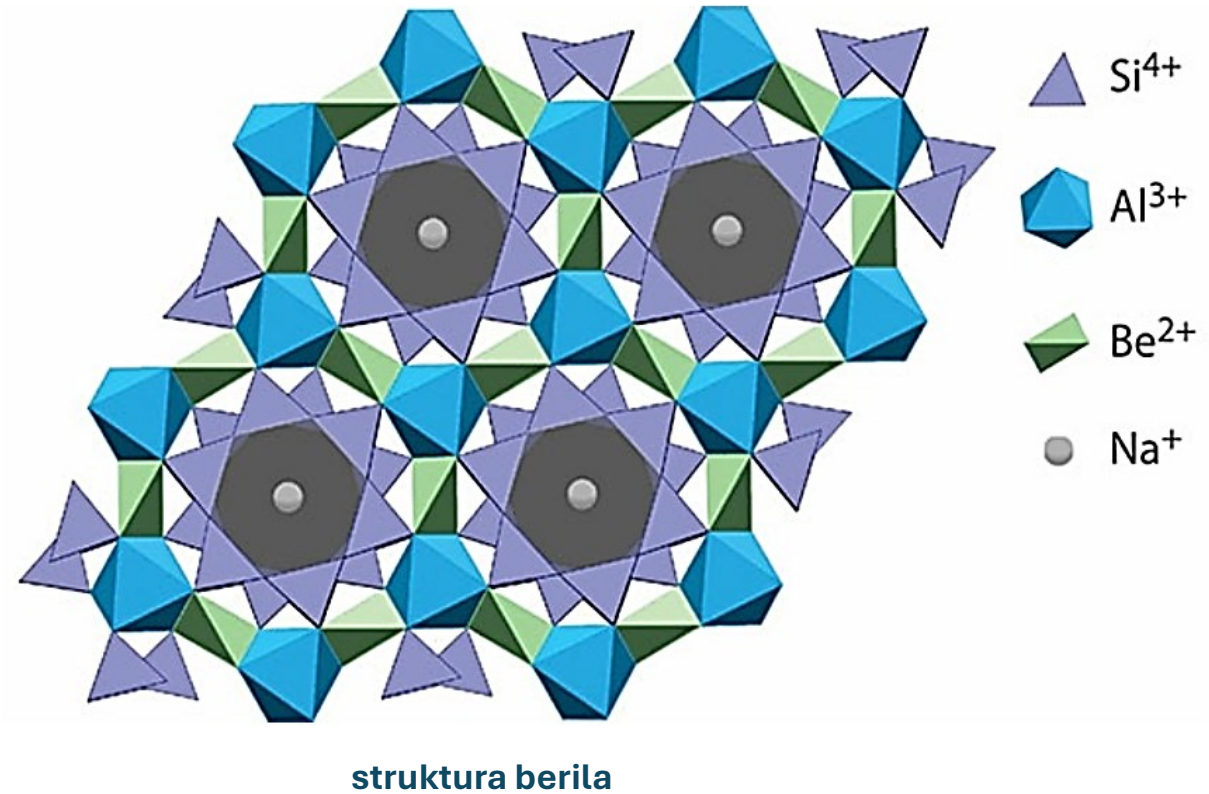
Si_6O_{18} prsten – česti ciklosilikati

općenito: $\text{Si}_n\text{O}_{3n}^{2n-}$

Anionska grupa **$[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$**



$(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{12-}$



Razred 13. Silikati – klasifikacija

Podrazred: ciklosilikati

Razred: **Silikati**

Podrazred: 3. **Ciklosilikati**

3.1. Grupa benitoita

- benitoit $\text{BaTi}(\text{Si}_3\text{O}_9)$

} izolirane grupe $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$

3.2. Grupa aksinita

- aksinit $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})\text{Al}_2(\text{BO}_3)\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})$

} izolirane grupe $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$

3.3. Grupa berila

- **beril** $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$

3.4. Grupa coriderita

- **cordierit** $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_5\text{O}_{18})$

3.5. Supergrupa turmalina

- **dravit** $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$
- **elbait** $\text{Na}(\text{Li}, \text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$
- **schorl** $\text{NaFe}^{2+}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$

} izolirane grupe $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$

3.6. Dioptas $\text{Cu}^{2+}_6\text{Si}_6\text{O}_{12} \cdot 6(\text{OH})_2$

Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Grupa berila

BERIL $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

Kristalni sustav:	heksagonski (6/m 2/m 2/m)
Habitus:	najčešće dugoprizmatski kristali s baznim pinakoidom, plohe prizme obično vertikalno prutane
Tvrdoća:	7 ½ – 8
Gustoća:	2,63 – 2,97
Kalavost:	slaba po {0001}
Lom:	školjkast, neravan
Boja:	bezbojan (var. gošenit), zelen (var. smaragd), plavozelen do plav (var. akvamarin), ružičast (var. morganit/vorobjevit), crven (var. bixbit), zlatnožut (var. heliodor), ...
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	kisele magmatske stijene: graniti, pegmatiti
Dodatno:	ruda berilija



heliodor



bixbit



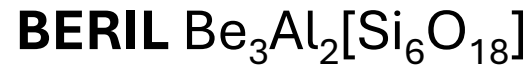
smaragd



akvamarin

Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Grupa berila

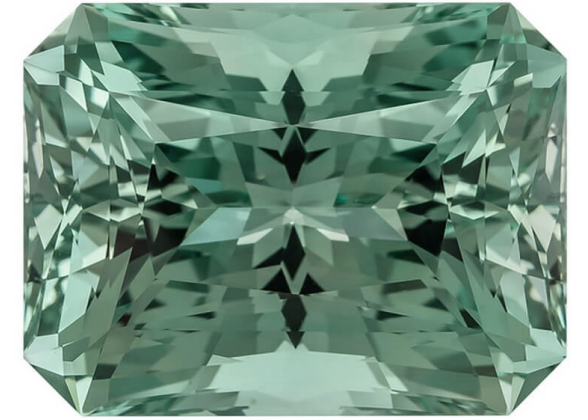


Gemološki varijeteti:

- **goshenit** = bezbojan
- **akvamarin** = svijetloplavi, plavozeleni ($\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$)
- **smaragd** = zeleni (Cr^{3+})
- **trapiche smaragd** = sektorski rast (uklapanje albita u berilu), iz Kolumbije
- **zeleni beril** = svijetlozelen (V^{3+})
- **helidor** = žuti (Fe^{3+})
- **morganit (vorobjevit)** = blijedoružičasti (Mn^{2+})
- **bixbit** = crveni (Mn^{3+})



trapiche smaragd



zeleni beril



goshenit



morganit (vorobjevit)

Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Grupa cordierita

CORDIERIT $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$

Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)

Habitus: kratkostupičasti kristali pseudoheksagonskog habitusa, prutanja paralelno s osi c;
najčešće zrnati agregati ili nepravilna zrna

Tvrdoća: 7 – 7 ½

Gustoća: 2,51

Kalavost: dobra po {100}, slaba po {001} i {010}

Lom: poluškoljkast

Boja: plava, siva, ljubičasta;
može pokazivati jak dikroizam
(plavoljubičasto – smečkasto)

Crt: bijel

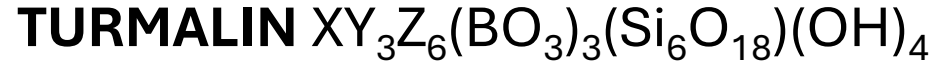
Sjaj: staklast

Pojavljivanje: u metamorfnim stijenama (hornfelsi, škriljavci, gnajsevi, granuliti)



Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Supergrupa turmalina

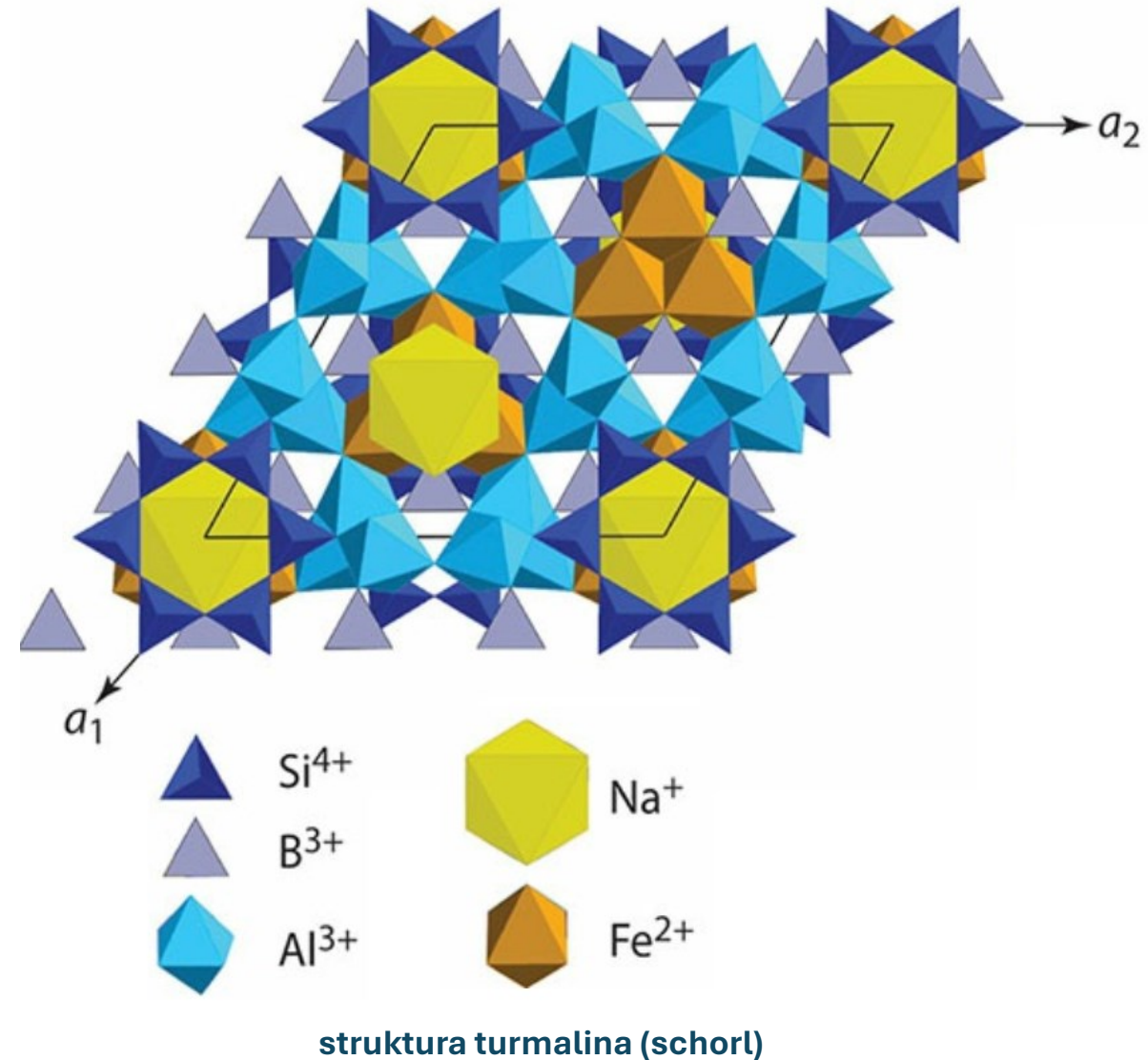


X = Ca, K, Na, □

Y = Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li, Mg, Mn^{2+}

Z = Al, Fe^{3+} , V^{3+} , Ti^{3+} , Cr^{3+}

buergerit	$NaFe^{3+}_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}O_3F$
kromdravit	$NaMg_3(Cr,Fe^{3+})_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
dravit	$NaMg_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
elbait	$Na(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
feruvit	$Ca(Fe^{2+},Mg)_3(Al,Mg)_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
foitit	$\square[Fe^{2+}_2(Al,Fe^{3+})]Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
liddicoatit	$Ca(Li,Al)_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH,F)_4$
olenit	$NaAl_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH)_4$
povondrait	$NaFe^{3+}_3Fe^{3+}_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(O,OH)_4$
schorl	$NaFe^{2+}_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$
uvit	$(Ca,Na)(Mg,Fe^{2+})_3Al_5Mg(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH,F)_4$

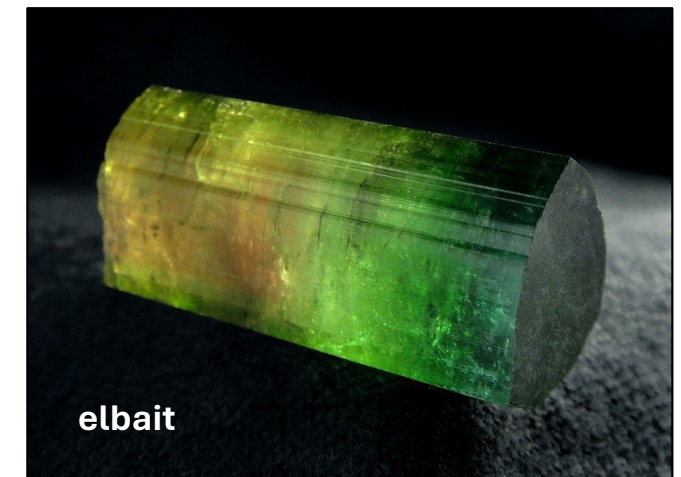


Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Supergrupa turmalina

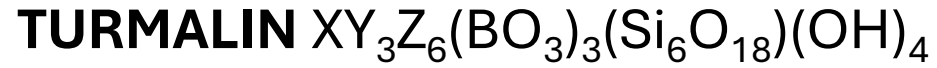
TURMALIN $XY_3Z_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$

Kristalni sustav:	heksagonski (3m)
Habitus:	kratkoprizmatški do dugoprizmatški kristali, često bez terminalnih ploha, ponekad igličasti, plohe prizme vertikalno prutane
Tvrdoća:	7 ½
Gustoća:	2,9 – 3,3
Kalavost:	nema
Lom:	neravan
Boja:	prozirni do neprozirni, ovisno o sastavu u svim bojama spektra; dravit – smeđi do crni; schorl – tamnozeleni do crni; elbait – bezbojan, ružičast, crveni, zeleni...
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	granitni pegamtiti, grajzeni
Dodatno:	piezoelektricitet, piroelektricitet



Razred 13. Silikati

Podrazred: ciklosilikati – Supergrupa turmalina



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati

! $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraedri vezani međusobno preko dva vrha → lančaste anionske skupine

- jednostruki lanci = **grupa piroksena**, anionska skupina $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$
- dvostruki lanci = **supergrupa amfibola**, anionska skupina $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$

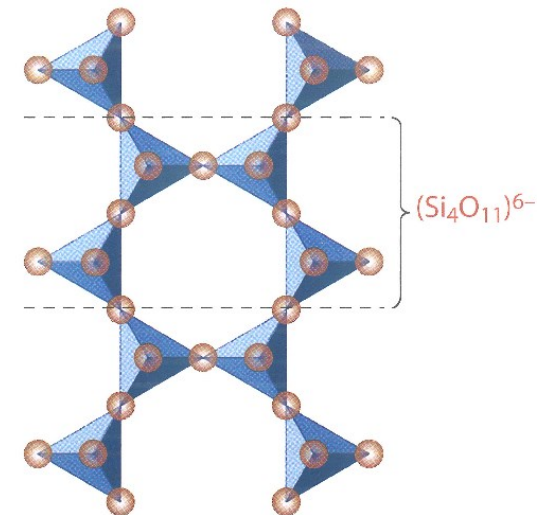
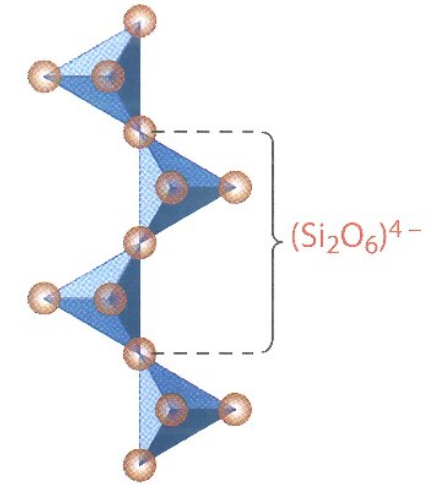
→ lanci su u strukturi položeni paralelno, a međusobno se povezuju kationima

Habitus: zbog lančaste strukture kristali inosilikata su izduženi, dugoprizmatski do vlaknasti

Kalavost: Veza Si-O u lancu jača je od ionske kojom su lanci međusobno povezani preko kationa → kalavost paralelno dužini lanca (dva seta pukotina)

Tvrdoća: relativno visoka (5 – 7)

Gustoća: relativno visoka (3,0 – 4,0)



Razred 13. Silikati – klasifikacija

Podrazred: inosilikati

Razred: **Silikati**

Podrazred: 4. **Inosilikati**

4.1. Grupa piroksena

Mg-Fe pirokseni

- **enstatit** $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$
- **ferosilit** $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

Mn-Mg pirokseni

Ca pirokseni

- **diopsid** $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- **hedenbergit** $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
- **augit** $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$

Ca-Na pirokseni

- **omfacit** $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$

Na pirokseni

- **jadeit** $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$
- **aegirin** $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$

Li piroksen

- **spodumen** $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

4.2. Piroksenoidi

Grupa wollastonita $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$

Rodonit $\text{CaMn}_4\text{Si}_5\text{O}_{15}$

Grupa piroksmanganita $(\text{Mn}, \text{Fe})_7\text{Si}_7\text{O}_{21}$

4.3. Supergrupa amfibola

Grupa Mg-Fe-Mn-Li amfibola

Grupa Ca amfibola

- **tremolit** $\square\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- **aktinolit** $\square\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$
- **fero-aktinolit** $\square\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$
- **hornblenda** $\square\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[\text{Si}_7\text{AlO}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$

Grupa Na-Ca amfibola

Grupa Na amfibola

- **glaukofan** $\square\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- **feroglaukofan** $\square\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- **riebeckit** $\square\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- **magnezioriebeckit** $\square\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

Grupa Na-Ca-Mg-Fe-Mn-Li amfibola

4.4. Xonotlit

Važni petrogeni minerali!

- Px = dominantno u magmatskim stijenama
- Amp = dominantno u metamorfnim stijenama

Razred 13. Silikati – struktura

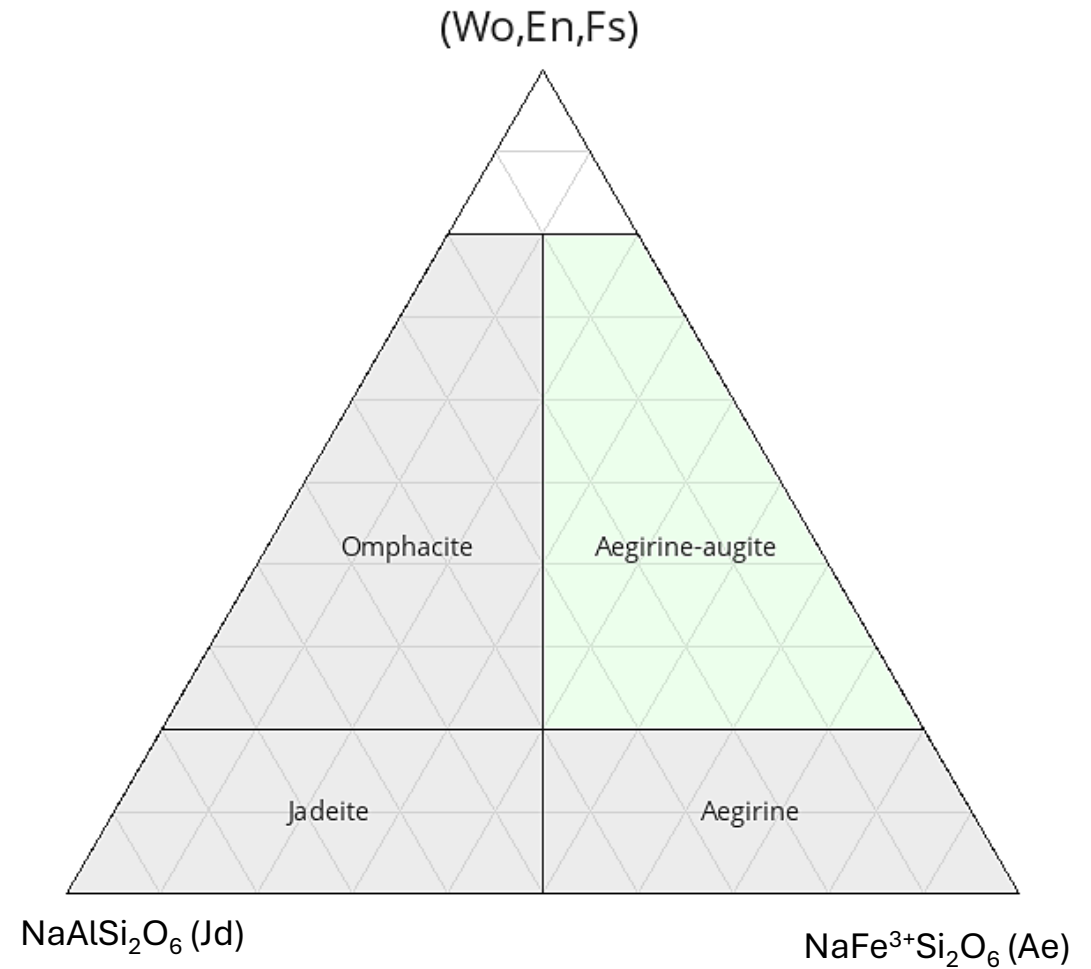
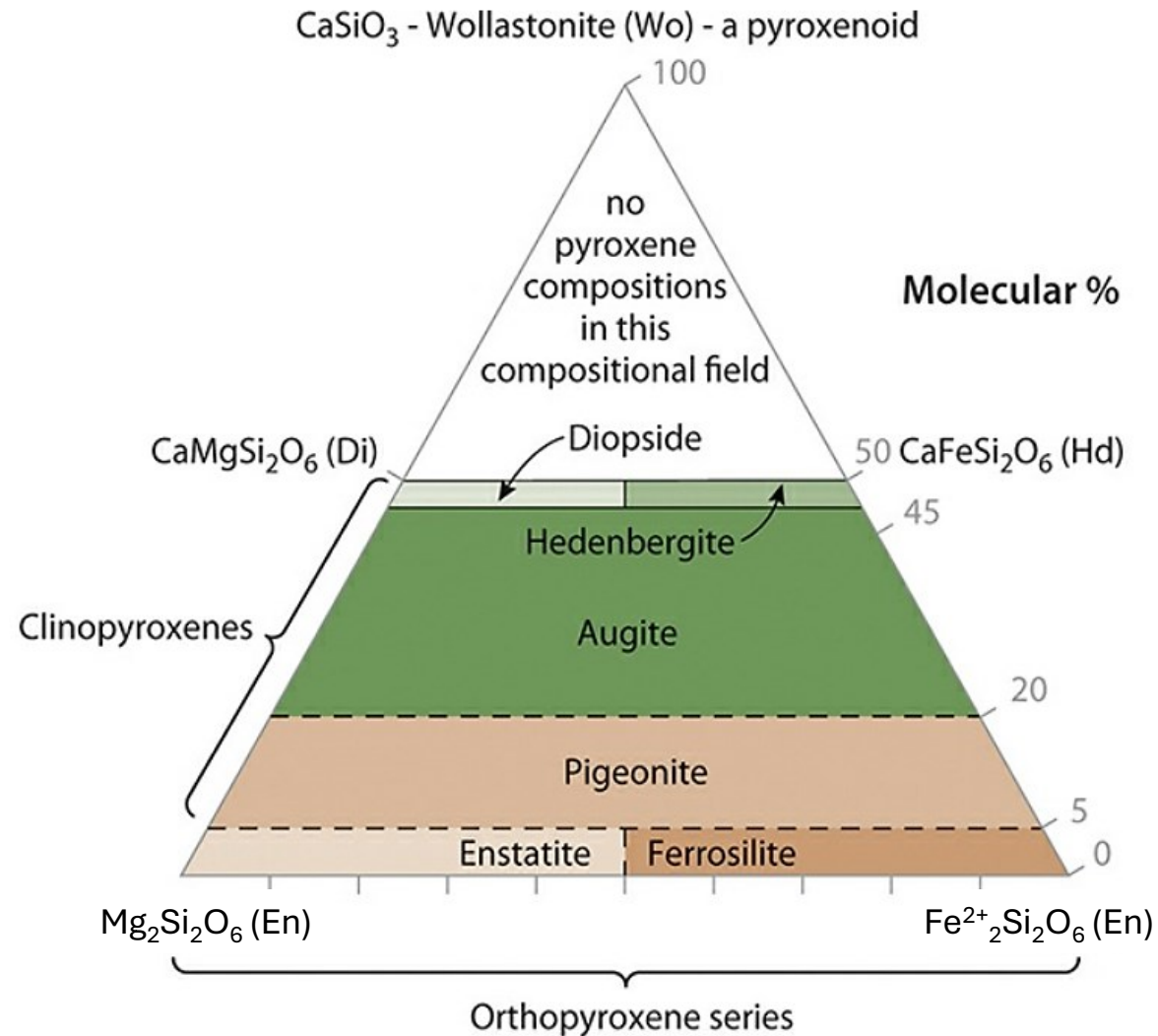
Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena

Preuzeto iz Slovenec & Bermanec (2003).

Ime minerala	Formula	Prostorna grupa
4.1.1. Mg-Fe pirokseni		
4.1.1.1. Enstatit (<i>En</i>)	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>Pbca</i>
4.1.1.2. Ferrosilit (<i>Fs</i>)	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>Pbca</i>
4.1.1.3. Klinoenstatit	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>P2_1/c</i>
4.1.1.4. Klinoferosilit	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>P2_1/c</i>
4.1.1.5. Pigeonit (pidžinit)	$(\text{Mg,Fe,Ca})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>P2_1/c</i>
4.1.2. Mn-Mg pirokseni		
4.1.2.1. Donpeacorit (donpeakorit)	$(\text{Mn,Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>Pbca</i>
4.1.2.2. Kanoit	$(\text{Mn,Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>P2_1/c</i>
4.1.3. Ca pirokseni		
4.1.3.1. Diopsid (<i>Di</i>)	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.3.2. Hedenbergit (<i>Hd</i>)	$\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.3.3. Augit	$(\text{Ca,Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.3.4. Johannsenit (<i>Jo</i>)	$\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.3.5. Petedunnit (<i>Pe</i>)	$\text{CaZnSi}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.3.6. Esseneit (<i>Es</i>)	$\text{CaFe}^{3+}\text{AlSiO}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.4. Ca-Na pirokseni		
4.1.4.1. Omfacit	$(\text{Ca,Na})(\text{R}^{2+},\text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i> , <i>P2/n</i>
4.1.4.2. Aegirin-augit (egirin-augit)	$(\text{Ca,Na})(\text{R}^{2+},\text{Fe}^{3+})\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.5. Na pirokseni		
4.1.5.1. Jadeit (<i>Jd</i>)	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.5.2. Aegirin (egirin) (<i>Ae</i>)	$\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.5.3. Kosmoklor (<i>Ko</i>)	$\text{NaCr}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.5.4. Jervisit (<i>Je</i>)	$\text{NaSc}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>
4.1.6. Li piroksen		
4.1.6.1. Spodumen (<i>Sp</i>)	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	<i>C2/c</i>

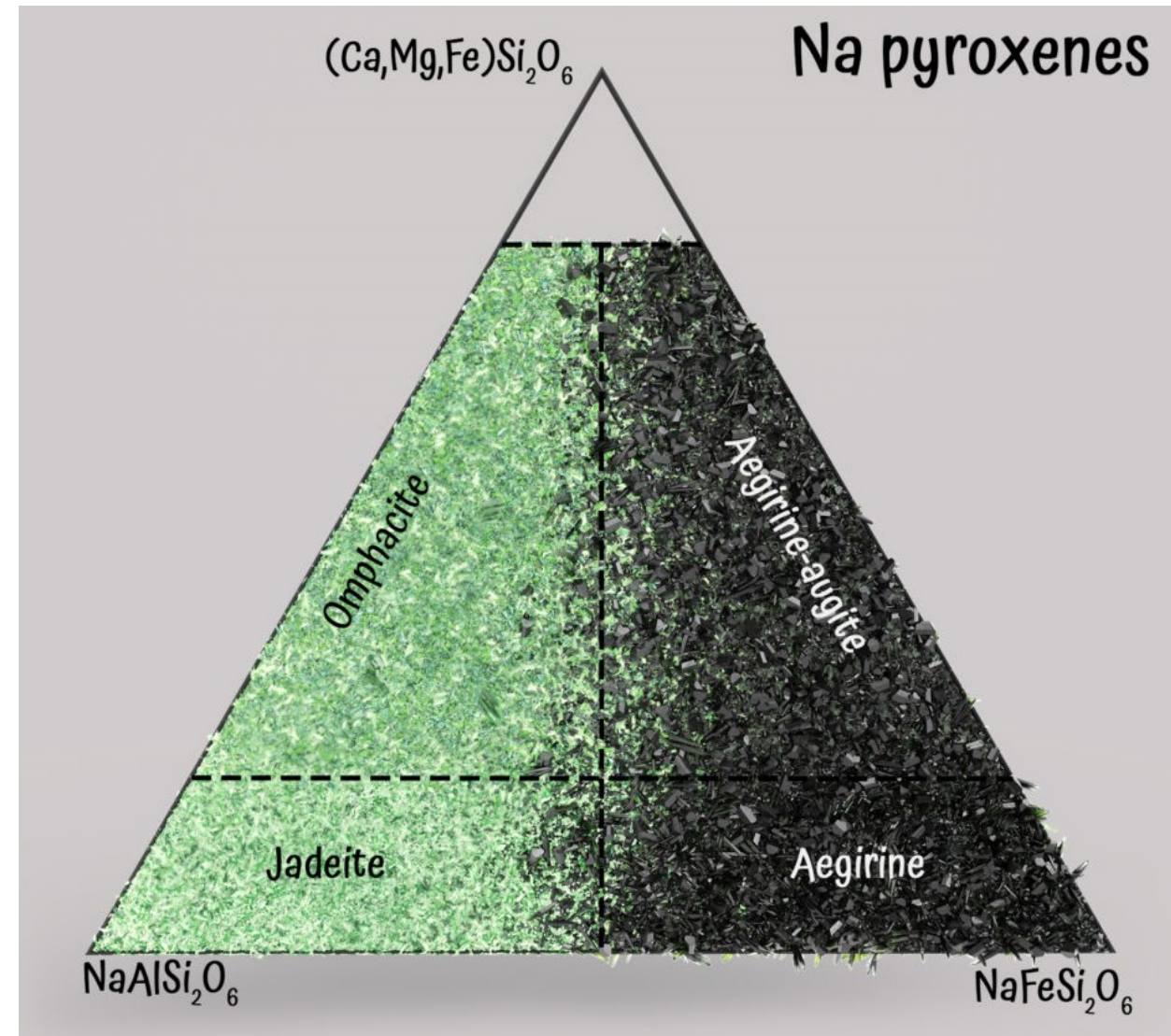
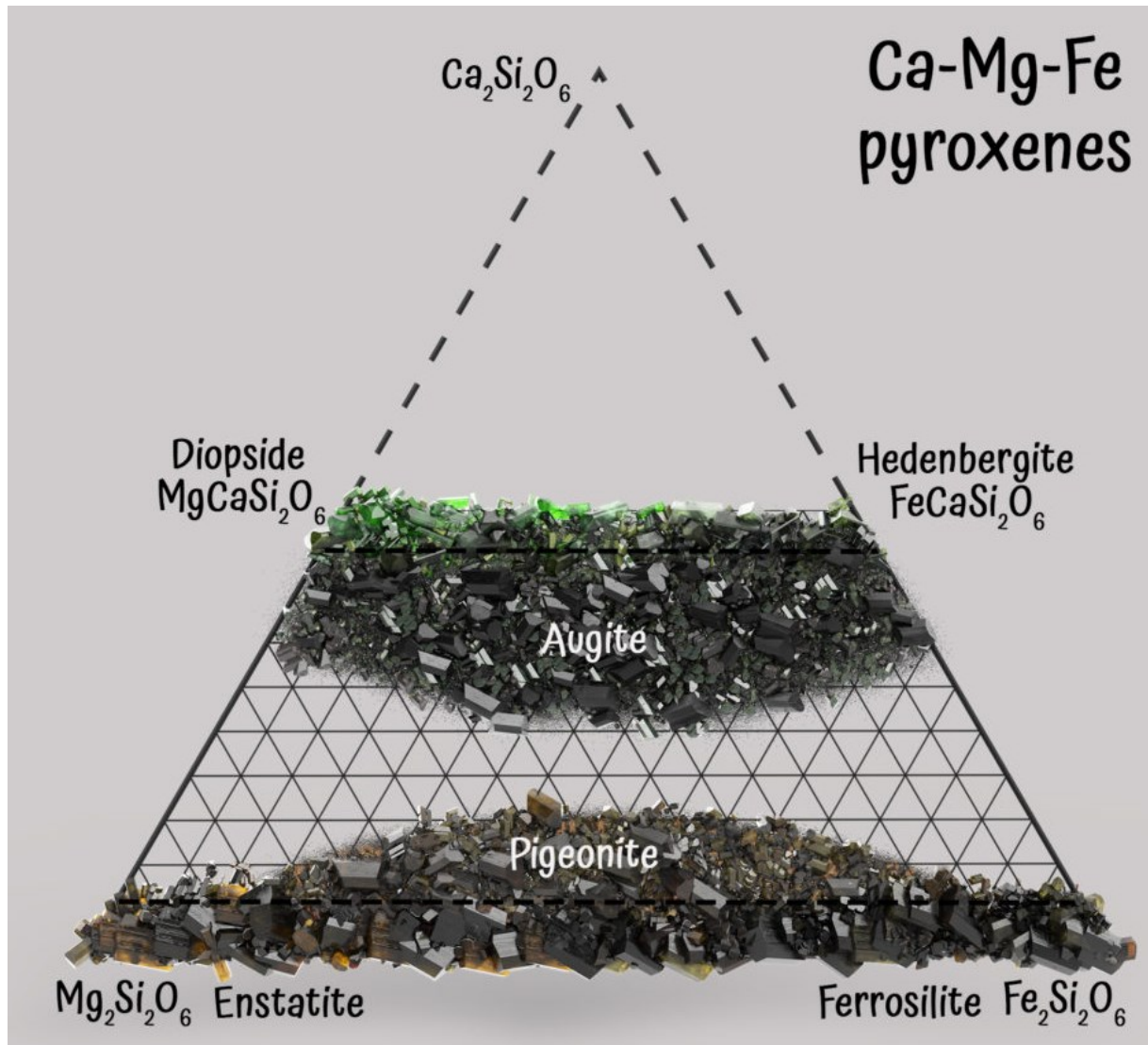
Razred 13. Silikati – struktura

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena



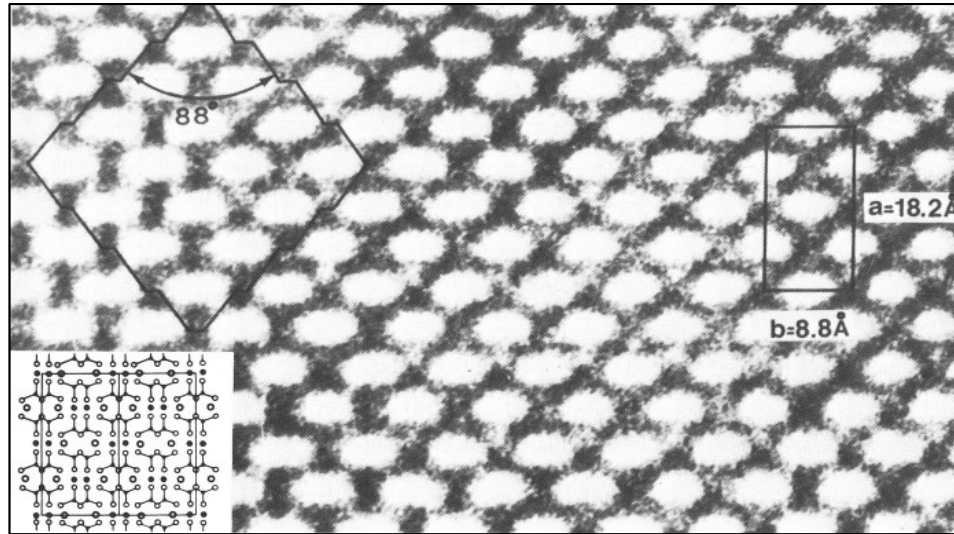
Razred 13. Silikati – struktura

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena

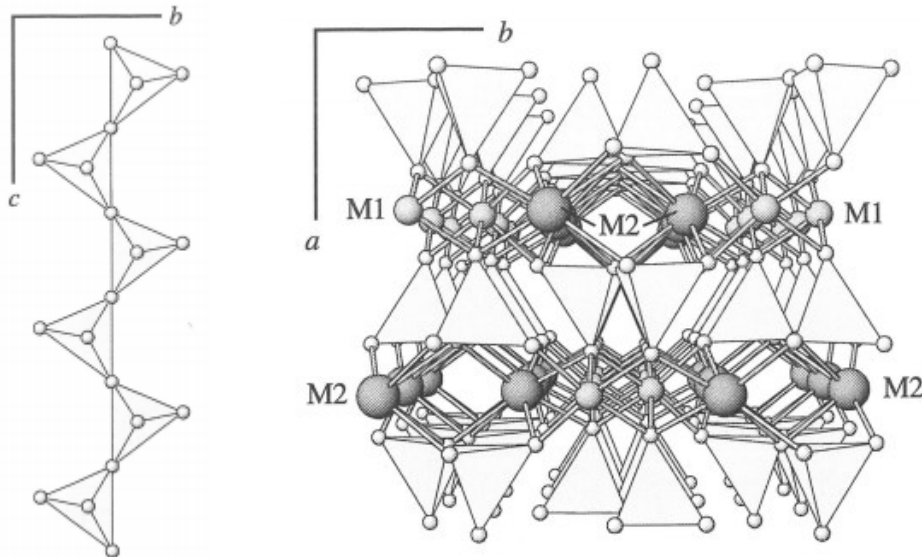


Razred 13. Silikati – struktura

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena



HRTEM snimka piroksena (a-b presjek)



Simetrija:

- rompska ($2/m\ 2/m\ 2/m$) = ortopirokseni (OPx)
- monoklinska ($2/m$) = klinopirokseni (CPx)

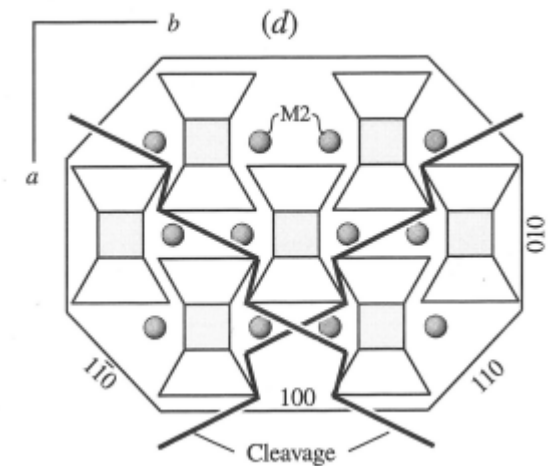
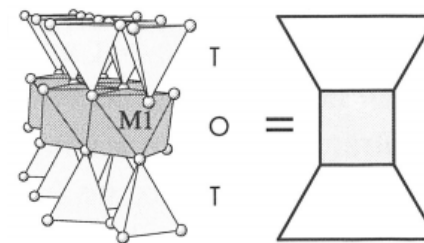
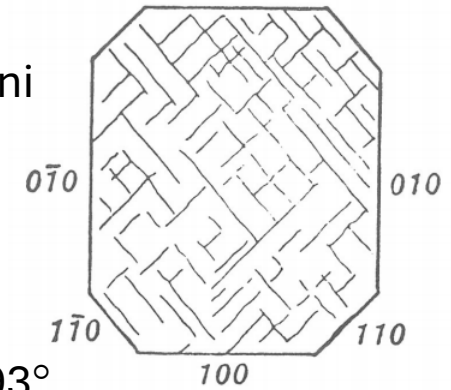
Habitus: kratkoprizmatični

Poprečni presjek: osmerostrani

Kalavost: dobra

- OPx – po $\{210\}$
- CPx – po $\{110\}$

2 sustava: kut = 92° , tj. 93°



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Ortopirokseni

ENSTATIT (*En*) $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

FEROSILIT (*Fs*) $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)

Habitus: kratkoprizmatski kristali;
često u kalotinastim tj. zrnastim agregatima

Tvrdoća: 5 – 6

Gustoća: 3,15 – 3,9

Kalavost: dobra po {210}

Lučenje: po {100}

Lom: poluškoljkast

Boja: bijela, svijetlosiva, žućkasta, zlatnosmeđa,
tamnosmeđa, crna (tamnije s porastom *Fs* komponente)

Crt: bijel do sivkast

Sjaj: staklast do polumetalan

Pojavljivanje: ultrabazične i bazične magmatske stijene;
pirokseniti = stijene građene od >90% Px

Dodatno: hidrotermalna alteracija u serpentine

Potpuni niz čvrstih otopina između En i Fs:

- enstatit (>90 % En)
- **bronicit** (90–70 % En)
- **hipersten** (70–50 % En)
- ferohipersten (50–30 % En)
- eulit (30–10 % En)
- ferosilit (<10 % En)



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

DIOPSID (*Di*) $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

HEDENBERGIT (*Hd*) $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$

Potpuni niz čvrstih otopina između Di i Hd.

- Kristalni sustav: monoklinski (2/m)
Habitus: kratkoprizmatski kristali, sraslaci dvojci ili polisintetski po {100}
Tvrdoća: 5 – 6
Gustoća: 3,3 – 3,5
Kalavost: dobra po {110}
Lučenje: po {100}
Lom: neravan do školjkast
Boja: bijela, siva, zelenosiva, tamnozeleno, zelenocrna (tamnije s porastom *Hd* komponente)
Crt: bijel do sivkast
Sjaj: staklast
Pojavljivanje: metamorfne stijene, ultrabazične i bazične magmatske stijene



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

AUGIT $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ti}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	kratkoprizmatski kristali, razvijene terminalne plohe
Tvrdoća:	5 – 6
Gustoća:	3,3 – 3,5
Kalavost:	dobra po {110}
Lučenje:	po {100}
Lom:	poluškoljkast
Boja:	zelenocrna, crna
Crt:	bijel do sivkast
Sjaj:	staklast do polumetalan
Pojavljivanje:	najrasprostranjeniji Mg-Fe mineral magmatskih stijena: bazične, neutralne; neke metamorfne stijene višeg (pr. granuliti)
Dodatno:	alterira u amfibol (uralit)

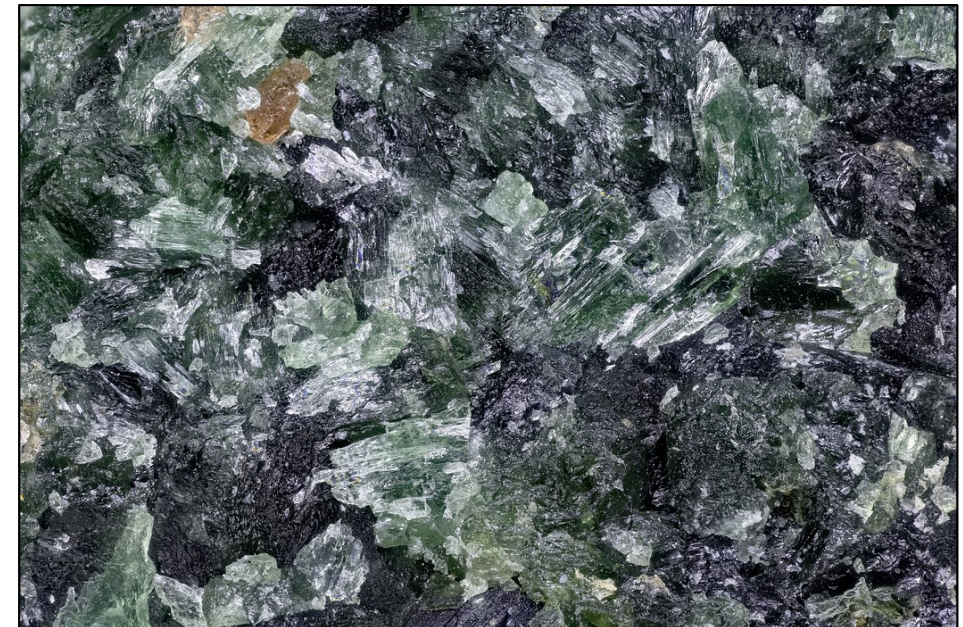


Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

OMFACIT $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})\text{Si}_2\text{O}_6$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	rijetko u većim kristalima, obično anhedralan u zrnastim i masivnim agregatima
Tvrdoća:	5 – 6
Gustoća:	3,16 – 3,43
Kalavost:	dobra po {110}
Lom:	poluškoljkast
Boja:	zelena, tamnozelena
Crt:	zelenaksto-bijel
Sjaj:	staklast do svilenkast
Pojavljivanje:	metamorfne stijene (visoki tlakovi!): glavni sastojak eklogita ; u kimberlitima

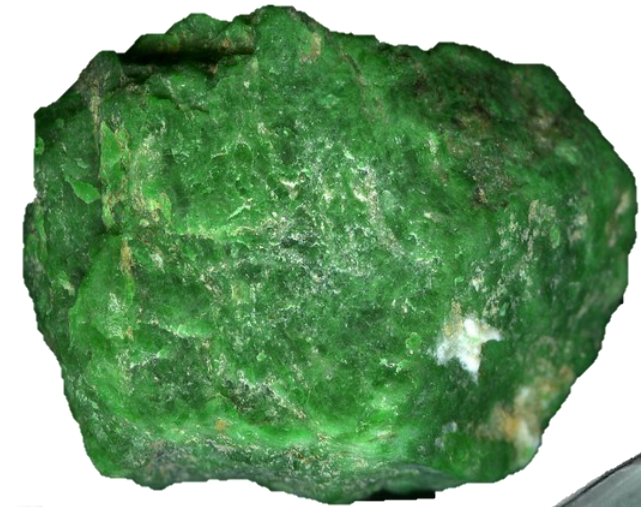


Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

JADEIT (*Jd*) $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	u gustim i žilavim agregatima sastavljenim od vlaknastih kristala
Tvrdoća:	6 ½ – 7
Gustoća:	3,33 – 3,35
Kalavost:	dobra po {110}
Lom:	neravan
Boja:	maslinasto do svijetlozelena; može biti i svih drugih boja (bijeli, blijedo ljubičasti, smeđ, plav, crven, narančast, žut)
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	metamorfni mineral u uvjetima visokog tlaka
Dodatno:	ukrasni kamen žad (engl. <i>jade</i>)



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

AEGIRIN $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: izduženi prizmatski kristali, igličasti
(ulazak Na u strukturu → promjena habitusa iz
kratkoprizmatskog u dugoprizmatski)

Tvrdoća: 6 – 6 ½

Gustoća: 3,35

Kalavost: dobra po {110}

Lom: neravan

Boja: tamnozeleno, crveno-smeđa, crna

Crt: žućkasto-siv

Sjaj: staklast

Pojavljivanje: alkalijske magmatske stijene



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Grupa piroksena – Klinopirokseni

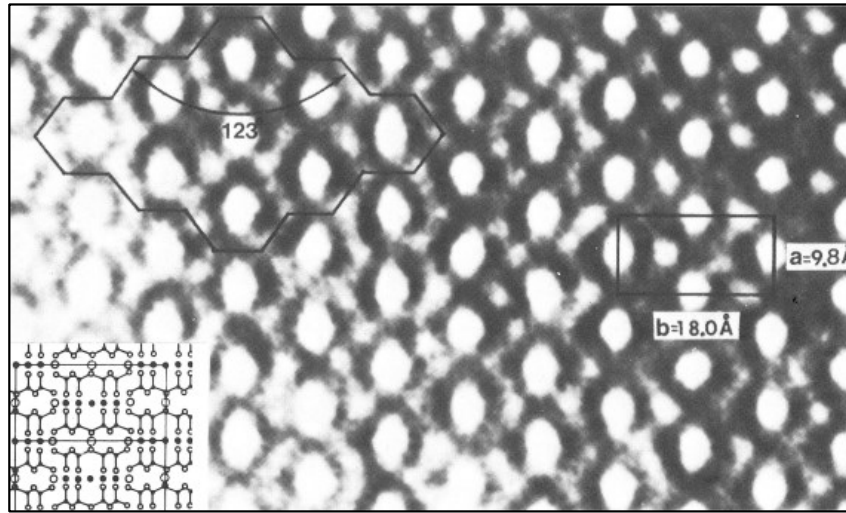
SPODUMEN (*Sp*) $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	kristali prizmatični i pločasti po {100}, vertikalno prutani
Tvrdoća:	6 – 7
Gustoća:	3,1 – 3,2
Kalavost:	dobra po {110}
Lučenje:	izrazito po {100}
Lom:	neravan do poluškoljkast
Boja:	bezbojan, zelenkastobijel, sivobijel, ružičast (var. kunzit), zelen do smaragdnazelen (var. hidenit), ljubičast
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	pegmatiti
Dodatno:	rudni mineral litija

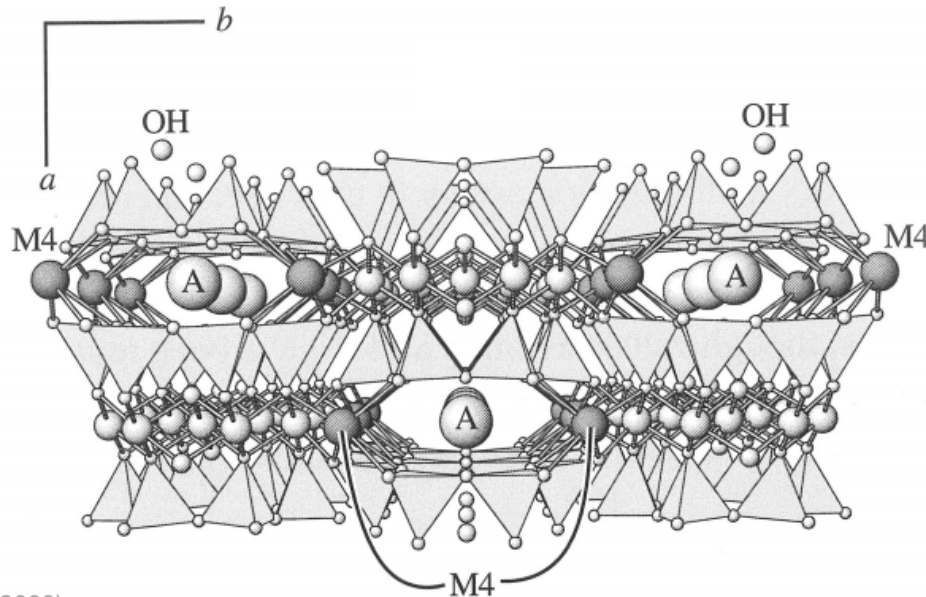
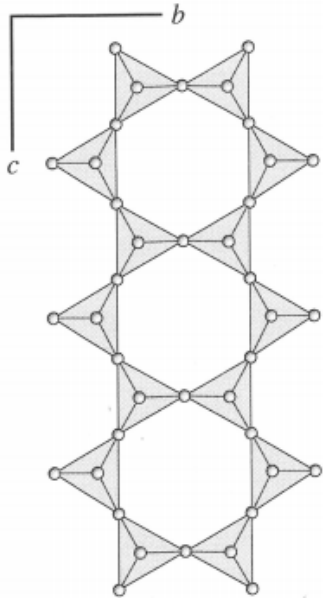


Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola



HRTEM snimka amfibola (a-b presjek)



Simetrija:

- rompska ($2/m \ 2/m \ 2/m$) = ortoamfiboli (OAmp)
- monoklinska ($2/m$) = klinoamfiboli (CAmp)

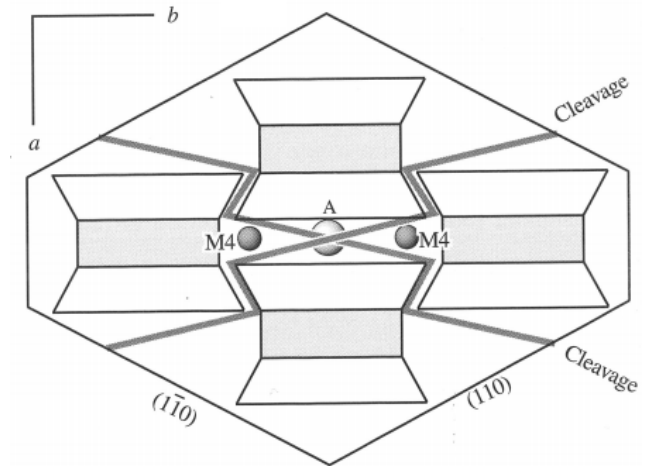
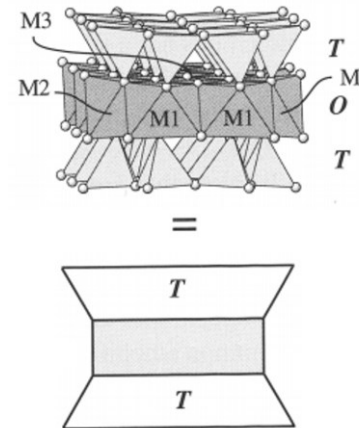
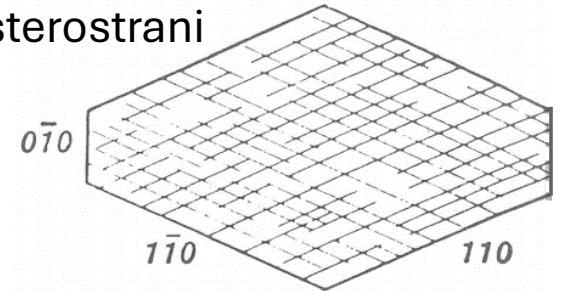
Habitus: dugoprizmatski, igličasti, vlaknasti

Poprečni presjek: romb ili šesterostrani

Kalavost: dobra

- OAmp – po $\{210\}$
- CAmp – po $\{110\}$

2 sustava: kut = 125° , tj. 124°



Amphibole supergroup				
Mg-Fe-Mn-Li group	Calcic group	Sodic-calcic group	Sodic group	Na-Ca-Mg-Fe-Mn-Li group
Anthophyllite	Actinolite	Aluminobarroisite	Arfvedsonite	Ferri-ottoliniite
Clinoferroholmquistite	Alumino-ferrotschermakite	Alumino-magnesiotalarmit	Dellaventuraite	Ferriwhittakerite
Cummingtonite	Alumino-magnesiotalarmit	Aluminotalarmit	Eckermannite	Ottoliniite
Ferri-clinoferroholmquistite	Aluminotalarmit	Barroisite	Ferric-ferronybøite	Whittakerite
Ferri-clinoholmquistite	Cannilloite	Ferribarroisite	Ferricnybøite	
Ferripedrizite	Chloro-potassichastingsite	Ferrikatophorite	Ferro-eckermannite	
Ferro-anthophyllite	Chloro-potassicpargasite	Ferri-ferrobarroisite	Ferroglaucophane	
Ferrogedrite	Edenite	Ferri-magnesiotalarmit	Fluoro-ferroleakeite	
Ferroholmquistite	Ferri-ferrotschermakite	Ferritalarmit	Fluoro-magnesiotalarmit	
Ferropedrizite	Ferritschermakite	Ferriwinchite	Fluoronybøite	
Fluoro-sodic-pedrizite	Ferro-actinolite	Ferrobarroisite	Fluoro-potassic-magnesiotalarmit	
Gedrite	Ferro-edenite	Ferrichterite	Glaucophane	
Grunerite	Ferrohornblende	Ferrowinchite	Kornite	
Holmquistite	Ferrokaersutite	Fluoro-alumino-magnesiotalarmit	Közulite	
Manganocummingtonite	Ferropargasite	Fluoro-potassic-richterite	Leakeite	
Manganogrunerite	Ferrotschermakite	Fluorichterite	Magnesiotalarmit	
Proto-anthophyllite	Ferrocannilloite	Katophorite	Magnesiotalarmit	
Protoferro-anthophyllite	Fluoro-edenite	Magnesiokatophorite	Nybøite	
Protomangano-ferro-anthophyllite	Fluoro-magnesiotalarmit	Magnesiotalarmit	Obertiite	
Sodicanthophyllite	Fluoropargasite	Parvowinchite	Potassicarfvedsonite	
Sodic-ferri-clinoferroholmquistite	Fluoro-potassichastingsite	Potassic-fluorichterite	Potassicleakeite	
Sodic-ferri-ferropedrizite	Hastingsite	Richterite	Potassic-magnesiotalarmit	
Sodic-ferripedrizite	Joersmithite	Tarmite	Riebeckite	
Sodic-ferro-anthophyllite	Kaersutite	Winchite	Ungarettiite	
Sodic-ferrogedrite	Magnesiotalarmit			
Sodicgedrite	Magnesiotalarmit			
	Magnesiotalarmit			
	Pargasite			
	Parvo-mangano-edenite			
	Parvo-manganotremolite			
	potassic-aluminotalarmit			
	Potassic-ferrisantalarmit			
	Potassic-ferropargasite			
	Potassic-hastingsite			
	Potassic-magnesiotalarmit			
	Potassic-magnesiotalarmit			
	Potassicpargasite			
	Potassicsantalarmit			
	Santalarmit			
	Tremolite			
	Tschermakite			

formula amfibola



K.B.=10-12

Na⁺

K⁺

K.B.=8

Ca²⁺

Na⁺

Mn²⁺

Fe²⁺

Mg²⁺

Li⁺

K.B.=6

Mn²⁺

Fe²⁺

Mg²⁺

Fe³⁺

Al³⁺

Ti⁴⁺

K.B.=4

Si⁴⁺

Al³⁺

OH⁻

Cl⁻

F⁻

Mills et al. (2009): The standardisation of mineral group hierarchies: application to recent nomenclature proposals. Doi: 10.1127/0935-1221/2009/0021-1994

Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola – Ca amfiboli

TREMOLIT $\square \text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

AKTINOLIT $\square \text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$

FERO-AKTINOLIT $\square \text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: dugoprizmatski kristali bez terminalnih formi;
radijalno-igličasti i vlaknasti agregati;
česte sraslačke lamele po {100}

Tvrdoća: 5 ½ – 6

Gustoća: 3,0 – 3,45

Kalavost: dobra po {110}

Lom: neravan do poluškoljkast

Boja: bezbojan, bijel, siv, blijedozelen, tamnozelen;
(tamnije s porastom udjela Fe)

Crt: bijel

Sjaj: staklast, svilenkast

Pojavljivanje: metamorfne stijene (niska T): škriljavci (zeleni!),
mramori



Razred 13. Silikati

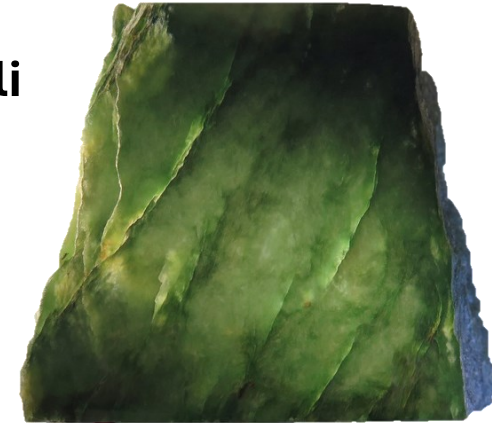
Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola – Ca amfiboli

TREMOLIT $\square \text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

AKTINOLIT $\square \text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$

FERO-AKTINOLIT $\square \text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	dugoprizmatski kristali bez terminalnih formi; radijalno-igličasti i vlaknasti agregati; česte sraslačke lamele po {100}
Tvrdoća:	5 ½ – 6
Gustoća:	3,0 – 3,45
Kalavost:	dobra po {110}
Lom:	neravan do poluškoljkast
Boja:	bezbojan, bijel, siv, blijedozelen, tamnozelen (tamnije s porastom udjela Fe)
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast, svilenkast
Pojavljivanje:	metamorfne stijene (niska T): škriljavci (zeleni!), mramori



nefrit



Dodatno:

nefrit – gust, žilav agregat finovlaknastog aktinolita
(sličan žadu)

uralit – sekundarni amfibol nastao alteracijom CPx

Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola – Ca amfiboli

HORNBLENDA $\square\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[\text{Si}_7\text{AlO}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: u dobro oblikovanim (kratko)prizmatskim kristalima;
(ulazak $\text{Al} \leftrightarrow \text{Si}$ u strukturu $\rightarrow$ promjena habitusa iz dugoprizmatskog u kratkoprizmatski)

Tvrdoća: $5\frac{1}{2} - 6$

Gustoća: 3,0 – 3,4

Kalavost: dobra po {110}

Lučenje: izrazito po {100}

Lom: neravan do poluškoljkast

Boja: tamnozelen, tamnosmeđa, crna

Crt: sivo-zelen do sivo-smeđ

Sjaj: staklast

Pojavljivanje: vrlo rasprostranjen petrogeni mineral; magmatske kisele i neutralne stijene; metamorfne stijene (pr. amfiboliti, amfibolski škriljavci i amfibolski gnajsevi)



Krajnji članovi:

- **magneziorhornblenda**
- **ferohornblenda**

$\text{OH}^- \leftrightarrow \text{O}^{2-} + \text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ (**oksihornblenda**)



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola – Na amfiboli

GLAUKOFAN $\square \text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

FEROGLAUKOFAN $\square \text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: dugoprizmatiski do igličasti kristali, vlaknasti agregati

Tvrdoća: 6 – 6 ½

Gustoća: 3,08 – 3,30

Kalavost: savršena po {110}

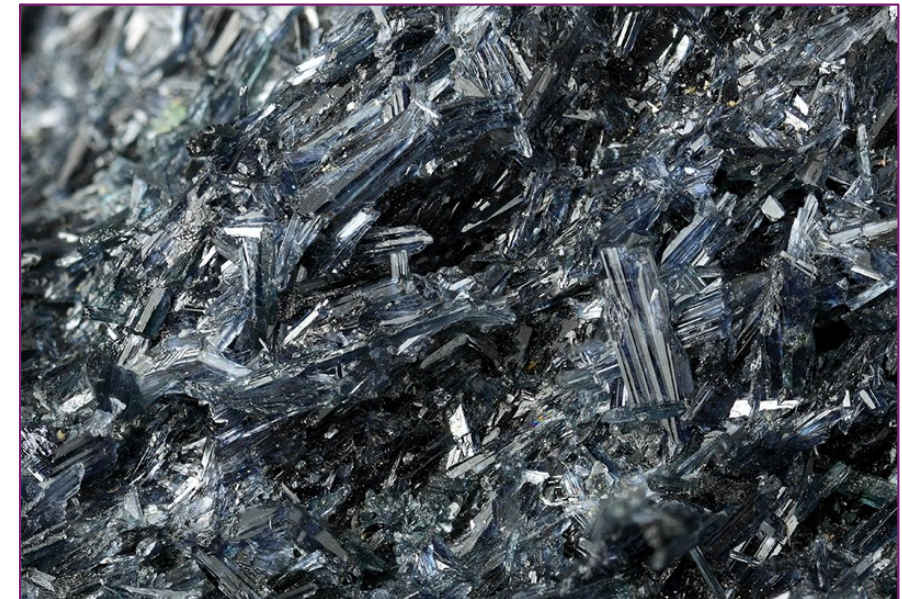
Lom: neravan do poluškoljkast

Boja: lavendulastoplava

Crt: sivkastoplav

Sjaj: staklast do sedefast

Pojavljivanje: metamorfne stijene: plavi škriljavci (uvjeti niske T i visokog p)



Razred 13. Silikati

Podrazred: inosilikati – Supergrupa amfibola – Na amfiboli

RIEBECKIT $\square \text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

MAGNEZIORIEBECKIT $\square \text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: dugoprizmatiski do igličasti kristali, vlaknasti i azbestni agregati

Tvrdoća: 5

Gustoća: 3,02 – 3,42

Kalavost: savršena po {110}

Lom: neravan do poluškoljkast

Boja: tamnoplava, crna

Crt: sivkastoplav

Sjaj: staklast do sedefast

Pojavljivanje: alkalne magmatske stijene (bogate Na)

Dodatno: **krokidolit** (tzv. plavi azbest) = azbestni oblik riebeckita metamorfnog postanka



Razred 13. Silikati

Azbest = forma!

→ određeni silikatni minerali koji imaju visoko vlaknastu (azbestnu) strukturu

→ omjer d:š barem 3:1 (i do 10.000 : 1)

1) **serpentine** (filosilikati) = serpentinski azbest

- krizotil $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$

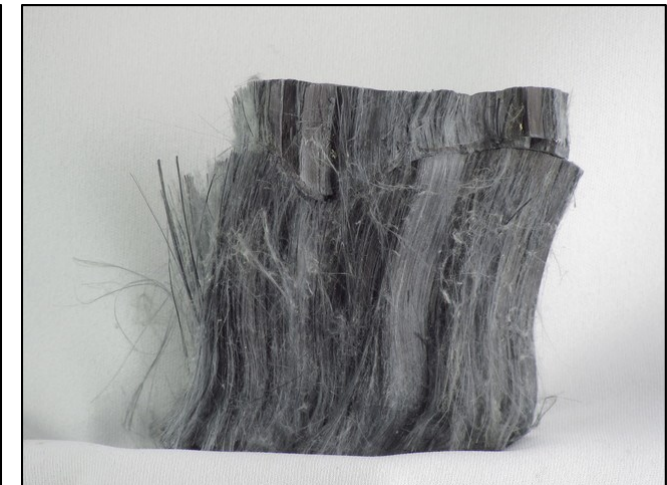
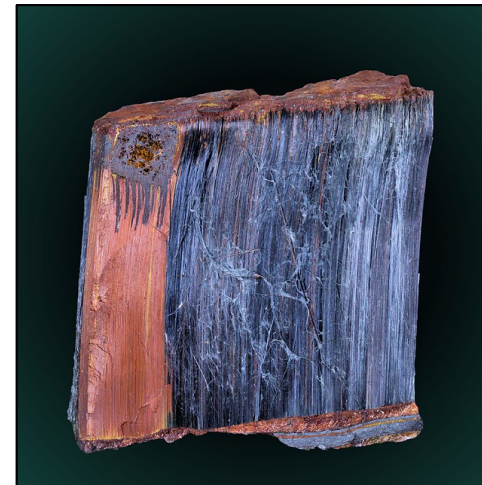
→ bijeli azbest

2) **amfiboli** (inosilikati) = amfibolski azbest

- ribeckit (krokidolit) $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH},\text{F},\text{Cl})_2$
- amosit, $\text{Fe}^{2+}_2\text{Fe}^{2+}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- antofilit, $\text{Mg}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- tremolit, $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$
- aktinolit $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$

→ plavi azbest (krokidolit)

- ! otporni na toplinu
- ! kemijski inertni
- ! posjeduju visoka svojstva električne izolacije
- ! dovoljno fleksibilni za tkanje



krokidolitni azbest