

Sveučilište u Zagrebu
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Mineraloško-petrografski zavod

Predavanja i nastavni materijali
iz predmeta

MINERALNA OPTIKA
(41026)

Preddiplomski studij Geologije, 2. godina

Izv. prof. dr. sc. Nenad Tomašić

Predgovor

Ovaj priručnik prati predavanja iz predmeta *Mineralna optika* za studente druge godine preddiplomskog studija Geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. Sastavljen je kao pomoć za praćenja predavanja i vježbi iz navedenog predmeta, kao i za pripremanje ispita. Grafički prilozi uz tekst, osim tamo gdje je drugačije navedeno, vlastiti su rad autora, te se slobodno mogu koristiti u nastavne svrhe. Kod priloga preuzetih iz drugih udžbenika treba poštovati autorska prava navedenih autora, odnosno izdavačkih kuća.

Sadržaj

1. Uvod (priroda svjetlosti, refleksija i lom svjetlosti, indeks loma, podjela minerala prema optičkim svojstvima, optička indiktrisa, polarizacija svjetlosti i polarizacijski mikroskop, mikroskopski preparati).....	3
2. Promatranje minerala u ortoskopskim uvjetima bez uključenog analizatora.....	16
3. Promatranje minerala u ortoskopskim uvjetima s uključenim analizatorom.....	21
4. Promatranje minerala u konoskopskim uvjetima.....	32
5. Optički izotropni minerali: granati i leucit.....	42
6. Optički jednoosni anizotropni minerali: kvarc, kalcit, turmalin.....	46
7. Optički dvoosni anizotropni minerali.....	53
7.1. Olivini i serpentini.....	53
7.2. Pirokseni.....	59
7.3. Amfiboli.....	67
7.4. Tinjci.....	78
7.5. Feldspati.....	85
7.6. Epidot, klinozosit, zoisit, kloriti.....	102
7.7. Gips i anhidrit.....	112
7.8. Andaluzit, silimanit, kianit.....	117

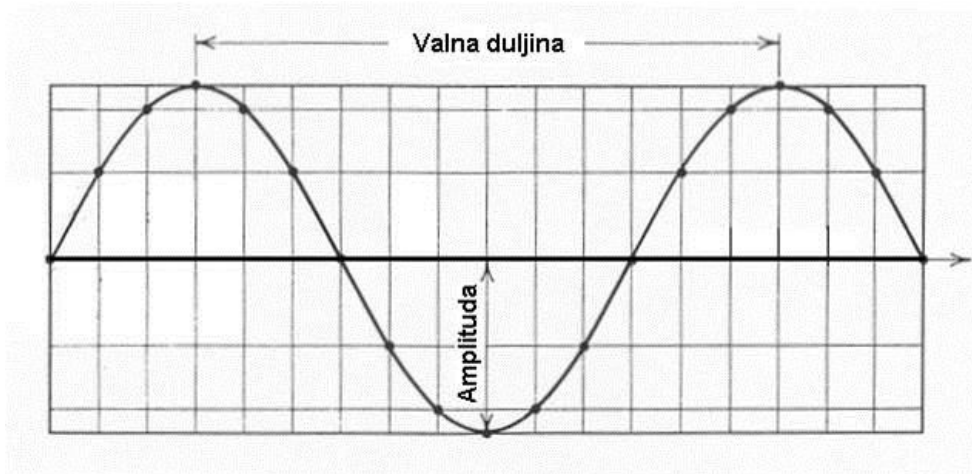
1. UVOD

1.1. PRIRODA SVJETLOSTI

Svjetlost pokazuje valno-čestični (korpuskularni) karakter, a za promatranje optičkih svojstava minerala bitan je valni karakter svjetlosti. Svjetlost se širi pravolinijski, titrajući okomito na smjer širenja (transverzalni val). Takvi transverzalni titraji kod svjetlosti događaju se u svim smjerovima okomito na smjer širenja

Svjetlost kao val može se opisati sljedećim svojstvima vala (slika 1.1.):

1. **Valna duljina (λ)** = udaljenost između dva dola ili brijega (350-750 nm)
2. **Amplituda** = maksimalna udaljenost (elongacija) od ravnotežnog položaja
3. **Frekvencija (ν)** = broj valova koji u sekundi prolazi kroz promatranu točku
4. **Brzina (c)** = $\lambda \nu$ (~300 000 km/s u vakuumu)



Slika 1.1. Grafički prikaz amplitude i valne duljine

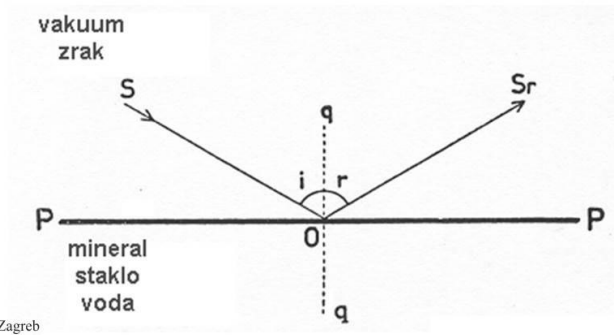
1.2. REFLEKSIJA I LOM SVJETLOSTI

Zakon refleksije svjetlosti prikazan je grafički na slici 1.2.

Prilikom refleksije svjetlost se ponaša tako da:

- kut upadne zrake je jednak kutu reflektirane zrake,
- upadna i reflektirana zraka nalaze se u istoj ravnini.

REFLEKSIJA

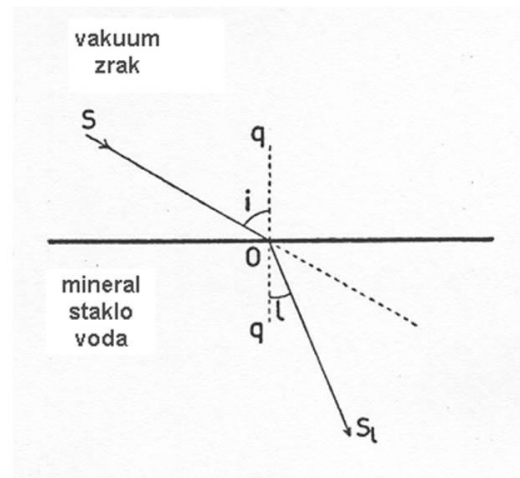


preuzeto i prilagođeno iz: Barić & Tajder (1967):
Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, Zagreb

Slika 1.2. Prikaz refleksije svjetlosti.

Zakon refleksije svjetlosti grafički je prikazan na slici 1.3.

LOM (REFRAKCIJA)



preuzeto i prilagođeno iz: Barić & Tajder (1967):
Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, Zagreb

Slika 1.3. Grafički prikaz loma svjetlosti pri prijelazu iz optički rjeđe u optički gušće sredstvo.

Svjetlost se pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo lomi prema sljedećem pravilu:

- iz rjeđe u gušće sredstvo ($c_1 > c_2$) zraka se lomi k okomici na ravninu upada,
- iz gušće u rjeđe sredstvo ($c_1 < c_2$) zraka se lomi od okomice na ravninu upada

Pri čemu je za **optički gušće sredstvo** karakteristična **manja brzina** svjetlosti, dok je **veća brzina** svjetlosti karakteristična za **optički rjeđe sredstvo**.

Indeks loma

Brzina svjetlosti različita je u različitim materijalima, pa se i svjetlost u njima različito lomi (pod različitim kutovima), a takvo svojstvo materijala opisuje se **indeksom loma (n)**

Indeks loma može se definirati kao

$$n = c_{\text{vakuum(zrak)}} / c_{\text{materijal}}$$

a prema Snell-ovom zakonu kao

$$n = \sin i / \sin r$$

gdje je i kut koji upadna zraka svjetlosti zatvara s okomicom na granicu između dva sredstva, a r kut koji zatvara lomljena zraka s istom tom okomicom.

Razlikuju se:

- Apsolutni indeks loma = svjetlost prelazi iz vakuuma (ili zraka) u promatrano sredstvo, te
- Relativni indeks loma = svjetlost prelazi iz jednog sredstva u drugo, a niti jedno nije vakuum ili zrak

$$\sin i / \sin r = n_2 / n_1 = n_{\text{rel}}$$

1.3. PODJELA MINERALA PREMA OPTIČKIM SVOJSTVIMA

Minerali prema optičkim svojstvima mogu biti:

1. Optički **izotropni** = svjetlost se u njima u svim smjerovima širi jednakom brzinom, te imaju jedan indeks loma (plinovi, tekućine, kubični materijali),
2. Optički **anizotropni** = brzina ovisi o smjeru širenja, te takvi minerali imaju više indeksa loma (svi minerali osim kubičnih).

Osim toga za optički anizotropne minerale karakteristično je sljedeće:

- pri ulasku svjetlosti u anizotropni mineral svjetlost se lomi na dvije polarizirane zrake koje titraju u međusobno okomitim titrajnim ravninama = ta pojava se naziva **DVOLOM**,
- postoje dvije vrste anizotropnih minerala:
 - a) **jednoosni** – imaju jedan smjer duž kojegnema dvoloma (jedna optička os)- to su tetragonski i heksagonski minerali,
 - b) **dvoosni** – imaju dva smjera duž kojih nema dvoloma (dvije optičke osi) – to su triklnski, monoklnski i rompski minerali

OPTIČKA INDIKATRISA

Optička indikatrisa je geometrijsko tijelo iz čijeg se središta u svim smjerovima nanosi pripadajuća vrijednost indeksa loma. Konstruiramo je kako bismo si lakše predočili odnos između indeksa loma i pripadajućih titrajnih pravaca zraka svjetlosti u promatranom presjeku

minerala, a što je bitno za razumijevanje pojave određenih optičkih svojstava u mineralu.

1.3.1. OPTIČKI IZOTROPNI MINERALI

Optički izotropni materijali su plinovi, tekućine te materijali koji kristaliziraju u kubičnom sustavu. Svjetlost se u njima širi u svim smjerovima istom brzinom, pa je i indeks loma isti za sve smjerove, stoga oni imaju jedan indeks loma.

Optička indikatrixa izotropnih materijala je kugla (slika 1.4.), dok sve zrake titraju u kružnom presjeku.



Slika 1.4. Optička indikatrixa izotropnih minerala.

1.3.2. OPTIČKI ANIZOTROPNI MINERALI

1.3.2.1. Optički jednoosni anizotropni minerali

To su minerali koji kristaliziraju u **tetragonskom** i **heksagonskom** sustavu.

Svjetlost se pri upadu u takve minerale dijeli na dvije zrake:

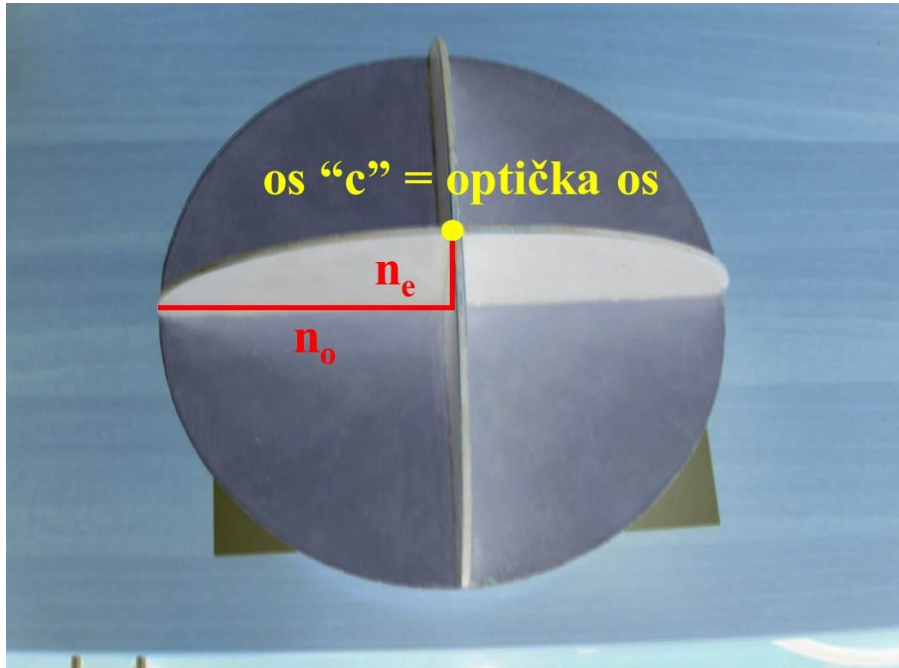
1. ORDINARNU,
2. EKSTRAORDINARNU

te takvu pojavu nazivamo **DVOLOM**.

Dvoloma nema samo u slučaju kada svjetlost upada u mineral duž kristalografske osi *c*. Taj smjer duž osi *c* se naziva **optička os**. Budući da postoji samo jedna optička os, takvi materijali se nazivaju jednoosnima.

Ako svjetlost upada duž bilo kojeg drugog smjera, doći će do dvoloma.

Optička indiktrisa jednoosnih minerala je **rotacijskih elipsoid**, a os c (optička os) je njegova os rotacije (slie 1.5a. i 1.5b.).



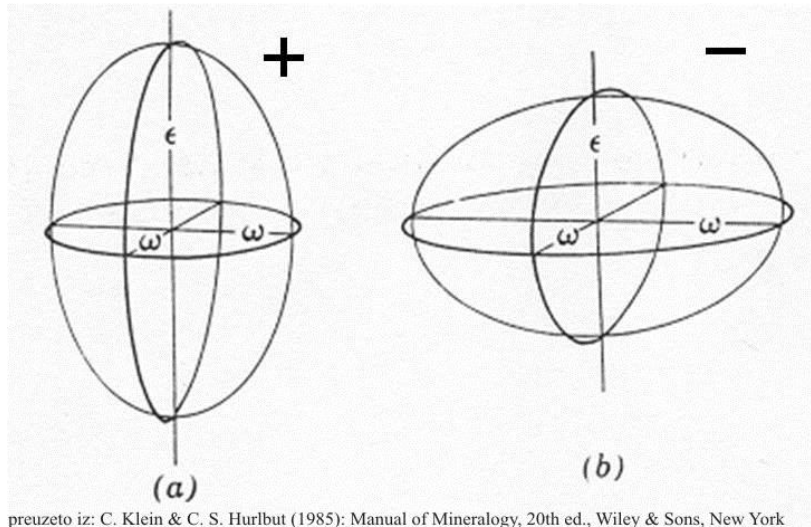
Slika 1.5a. Optička indiktrisa jednoosnih anizotropnih minerala

Kako titraju ordinarna i ekstraordinarna zraka u rotacijskom elipsoidu?

- **ORDINARNA** – titra u kružnom presjeku rotacijskog elipsoida (\perp o.o.), te se uvijek širi kroz mineral istom brzinom.
- **EKSTRAORDINARNA** – titra okomito na ordinarnu, te u glavnom presjeku indiktrise (presjek koji sadrži optičku os), a brzina joj ovisi o smjeru upadne zrake.

Optički jednoosni materijali se dijele na:

- **Pozitivne:** $v_o > v_e$ tj. $n_o < n_e$
Indiktrisa je **izduženi rotacijski elipsoid**.
- **Negativne:** $v_o < v_e$ tj. $n_o > n_e$
Indiktrisa je **splošteni rotacijski elipsoid**.



preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York

Slika 1.5b. Optička indikatriska za jednoosne pozitivne (a) i jednoosne negativne (b) minerale.

1.3.2.2. Optički dvoosni anizotropni minerali

To su minerali koji kristaliziraju u **triklinskom**, **monoklinskom** i **rompskom** sustavu. Pri ulasku u takve minerale, svjetlost se dijeli na dvije zrake, koje vibriraju u međusobno okomitim ravninama, a brzina im se mijenja ovisno o smjeru upadne zrake. Dvoloma nema samo duž smjera optičkih osi. Postoje dvije optičke osi, pa se stoga takvi minerali nazivaju dvoosnima.

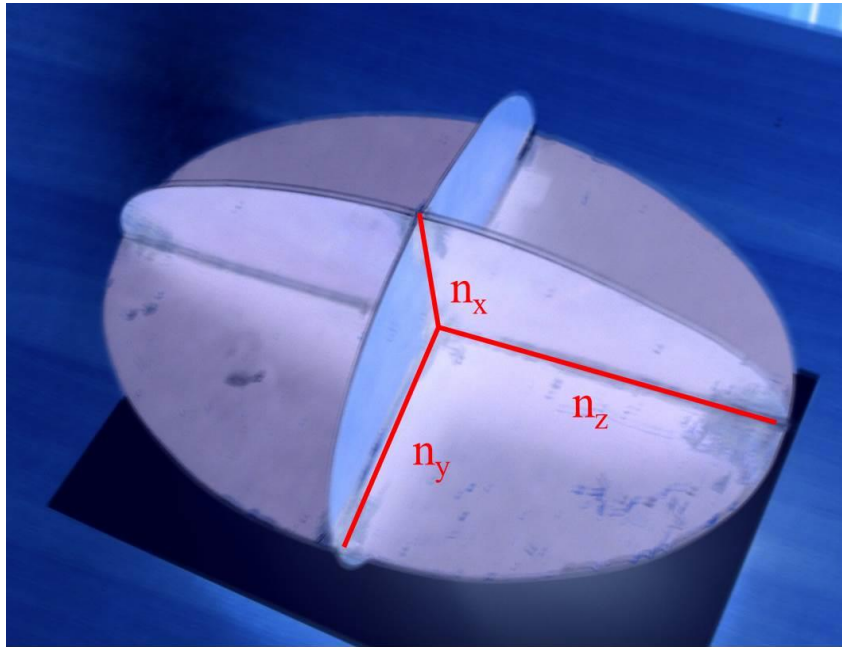
Postoje tri glavna titrajna pravca („smjera“), **X**, **Y** i **Z**, koji definiraju optičku indikatrisku dvoosnih minerala, a to je **troosni elipsoid** (slika 1.6.)

Glavni titrajni pravci međusobno se razlikuju prema veličini indeksa loma:

n_z = najveći indeks loma

n_x = najmanji indeks loma

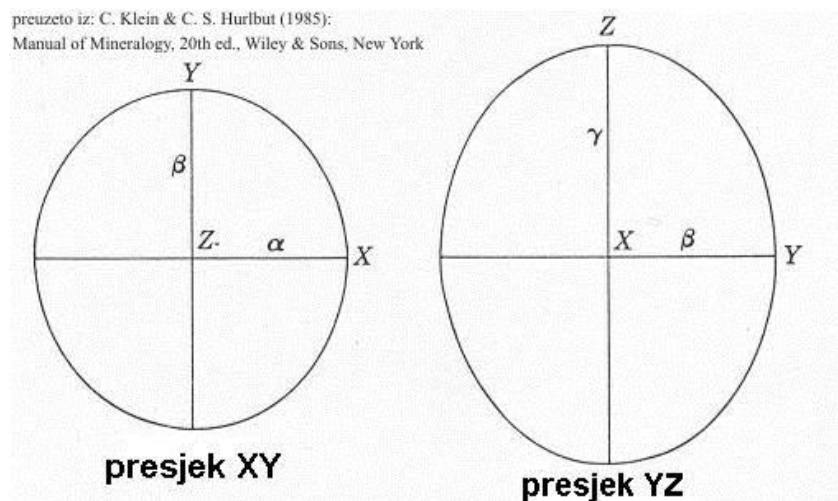
n_y = indeks loma ima vrijednost između n_x i n_z



$$n_z > n_y > n_x$$

Slika 1.6. Troosni elipsoid – optička indikatrisa dvoosnih anizotropnih minerala

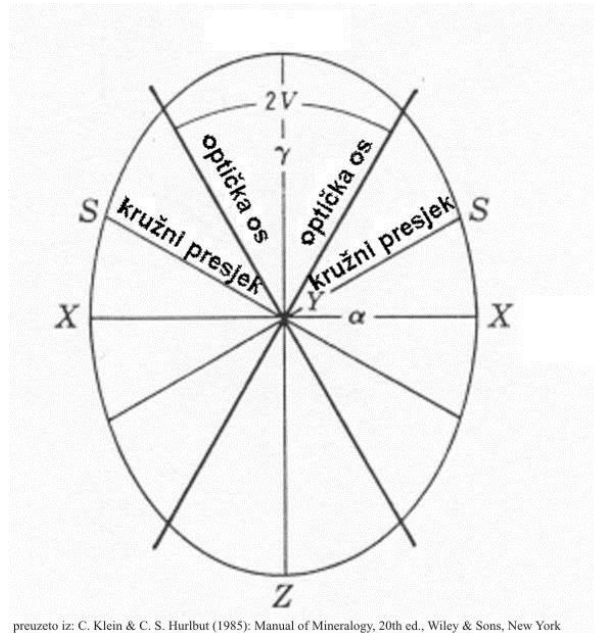
Titrajni pravci X, Y i Z definiraju tri glavna presjeka optičke indikatriše: XY, YZ i XZ (slike 1.7. i 1.8.).



Slika 1.7. Glavni presjeci XY i YZ optičke indikatriše dvoosnih anizotropnih minerala.

U presjeku XZ nalaze se optičke osi. One su okomite na kružne presjeke, čiji radijus iznosi n_y . Okomito na presjek XZ nalazi se titrajni pravac Y, koji se naziva i **optička normala**.

Kut između optičkih osi označava se kao $2V$, te je njegova vrijednost karakteristika svakog dvoosnog minerala.



preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York

Slika 1.8. Glavni presjek XZ optičke indikatriše dvoosnih anizotropnih minerala.

Optički dvoosni minerali se dijele na:

- POZITIVNE = titrajni pravac **Z** je oštra raspolovnica kuta $2V$,
- NEGATIVNE = titrajni pravac **X** je oštra raspolovnica kuta $2V$ (u tom slučaju kut se označava kao $-2V$).

Kakav je odnos glavnih titrajnih pravaca X, Y i Z prema kristalografskim osima?

- ROMPSKI SUSTAV – svaki titrajni pravac se podudara s nekom od kristalografskih osi.
- MONOKLINSKI SUSTAV – jedan titrajni pravac se podudara s kristalografskom osi **b**.
- TRIKLINSKI SUSTAV – nema podudaranja titrajnih pravaca s kristalografskim osima

1.4. POLARIZACIJA SVJETLOSTI

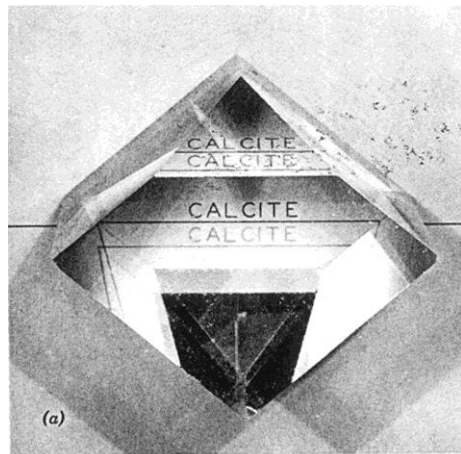
Svjetlost se širi kao transverzalni val s titrajima u svim smjerovima okomito na smjer širenja svjetlosti. Ako se titraji svjetlosti ograniče tako da titraju samo u jednoj ravni, govorimo o **linearno polariziranoj svjetlosti**. U velikom broju minerala koji se promatraju mikroskopom u geološkim istraživanjima, optička svojstva ovise o smjeru širenja svjetlosti kroz mineral (anizotropni minerali). Stoga, kako bi se ta svojstva mogla prepoznati, a samim time i takvi minerali, svjetlost koja dolazi do minerala u mikroskopu potrebno je prethodno polarizirati.

Kako polarizirati svjetlost?

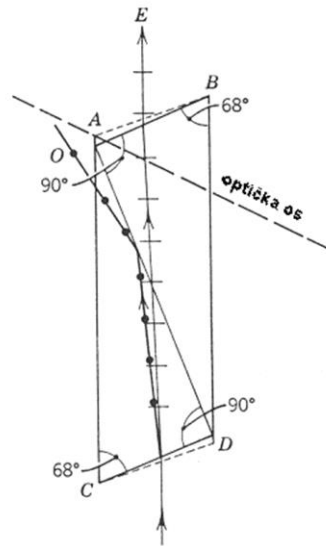
Postoje brojne metode polarizacije svjetlosti, a ovdje će biti opisane samo nekoliko njih.

1. Polarizacija dvostruki lomom, tj. dvolomom.

Za to se tradicionalno koristila Nicol-ova prizma (prema njenom konstruktoru Williamu Nicolu).



preuzeto i prilagođeno iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985):
Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York



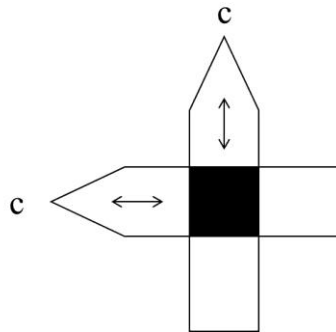
Slika 1.9. Proziran kristal kalcita pomoću kojeg se lako može opaziti pojava dvoloma (lijevo). Na slici desno vidi se presjek Nicolove prizme, te princip polarizacije.

Postupak izrade Nicolove prizme te princip polarizacije svjetlosti je sljedeći (slika 1.9.):

- proziran kristal kalcita (romboedrijski habitus) prerezan je pod određenim kutom, te su dva komada ponovno spojena kanadskim balzomom ($n = 1,54$), a krajnje plohe su izbrušene tako da su pod pravim kutom u odnosu na spojnu plohu između dva komada kalcita,
- svjetlo pri ulasku u Nicolovu prizmu se dijeli na dvije zrake: ordinarnu (O) i ekstraordinarnu (E),
- na spoju s kanadskim balzomom, ordinarna zraka se totalno lomi te bočno izlazi iz kristala, dok ekstraordinarna nastavlja pravolinijski budući da joj je indeks loma za danu orijentaciju jednak indeksu kanadskog balzama,
- na taj način ekstraordinarna zraka je linearno-polarizirana te kao takva dolazi do presjeka minerala koji se promatra pomoću mikroskopa.

2. Polarizacija apsorpcijom

Princip polarizacije apsorpcijom zasniva se na činjenici da kod nekih optički anizotropnih minerala apsorpcija može biti različita za zrake nastale dvolomom, gdje jedna od zraka nastalih dvolomom može biti gotovo potpuno apsorbirana u takvom mineralu (slika 1.10.), koji se može koristiti kao polarizator, dok druga zraka prolazi nesmetano do mineralnog presjeka koji se promatra mikroskopom. Primjer takvog minerala je turmalin.



Slika 1.10. Shematski prikaz kristala turmalina koji može poslužiti kao polarizator budući da jedna od zraka nastalih dvolom bude zbog jake apsorpcije polarizirana u samom turmalinu, dok druga zraka prolazi kroz turmalin i dolazi kao linearno polarizirana do promatranog mineralnog presjeka u mikroskopskom preparatu.

3. Polarizacija refleksijom

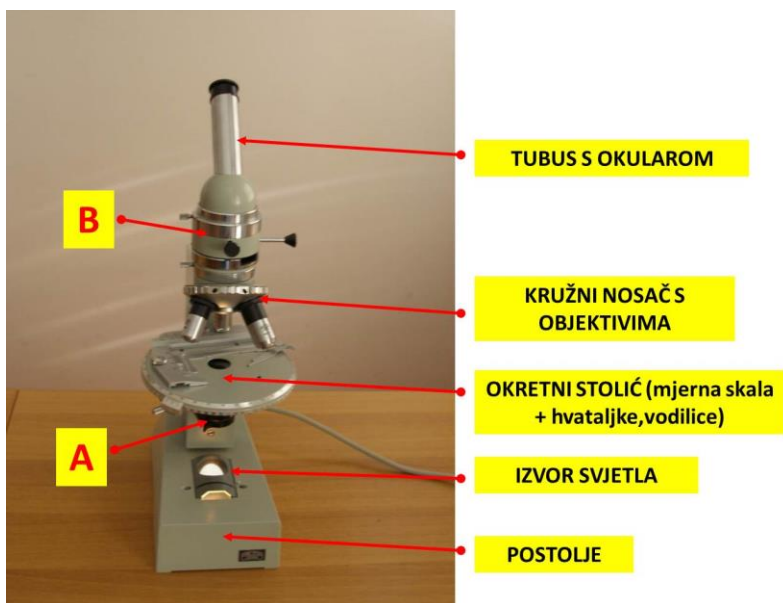
Polarizacija refleksijom zasniva se na činjenici da je svjetlo reflektirano s glatke, nemetalne plohe djelomično polarizirano (titraji paralelni s reflektirajućom površinom). Pri tome stupanj polarizacije ovisi o kutu upada te je najveća polarizacija kada je kut između reflektirane i refraktirane zrake 90° (Brewster-ov zakon)

1.5. POLARIZACIJSKI MIKROSKOP

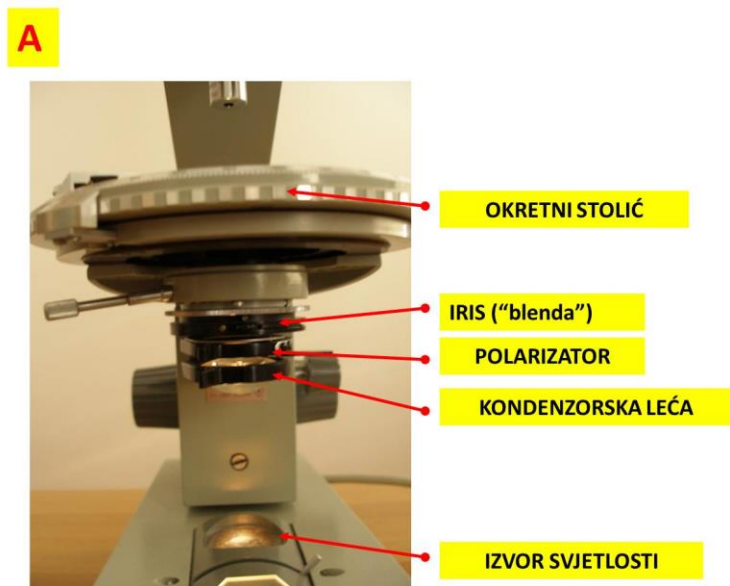
Polarizacijski mikroskop služi za određivanje optičkih svojstava minerala, pri čemu se koristi linearno polarizirana svjetlost.

Svjetlo koje dolazi iz izvora (obično žaruljica ugrađena u postolje mikroskopa) propušta se kroz polarizacijski filter tzv. **polarizator**, te se dalje kao linearno polarizirana svjetlost usmjerava prema mikroskopskom preparatu. Svjetlost koja je prošla kroz mikroskopski preparat može se po potrebi propustiti kroz drugi polarizacijski filter tzv. **analizator**. On je identičan polarizatoru, osim što je njegova titrajna ravnina zakrenuta za 90° u odnosu na onu kod polarizatora. To znači da svjetlo koje propusti polarizator, neće propusti analizator. U pravilu, polarizator je

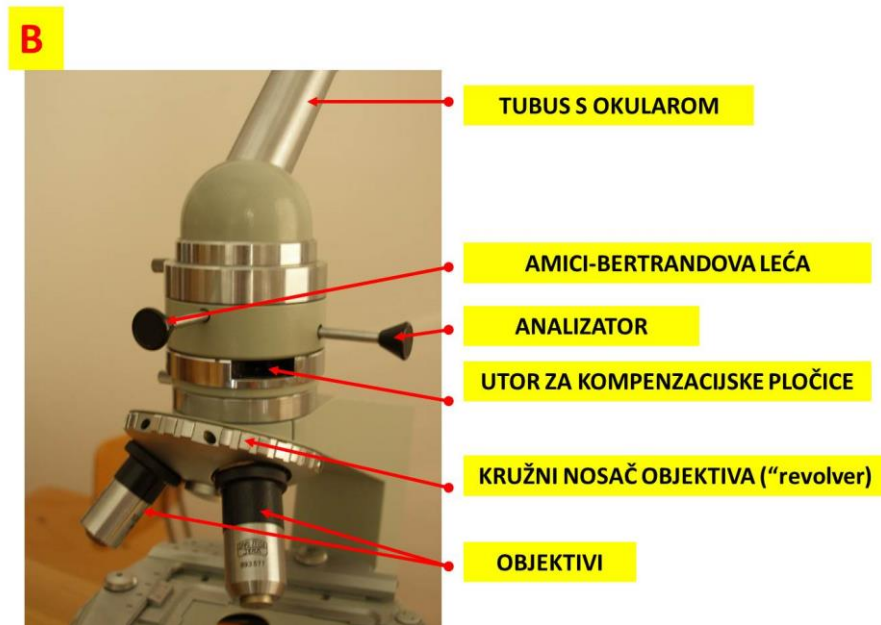
nepomičan, dok se analizator po potrebi može uključiti ili isključiti. Dijelovi polarizacijskog mikroskopa prikazani su na slikama 1.11. do 1.13.



Slika 1.11. Prikaz osnovnih dijelova polarizacijskog mikroskopa. Optički sklop ispod okretnog mikroskopskog stolića (A) detaljnije je prikazan na slici 1.12, dok su optičke komponente iznad mikroskopskog stolića detaljnije prikazane na slici 1.13.



Slika 1.12. Prikaz optičkih komponenti polarizacijskog mikroskopa smještenih ispod okretnog mikroskopskog stolića

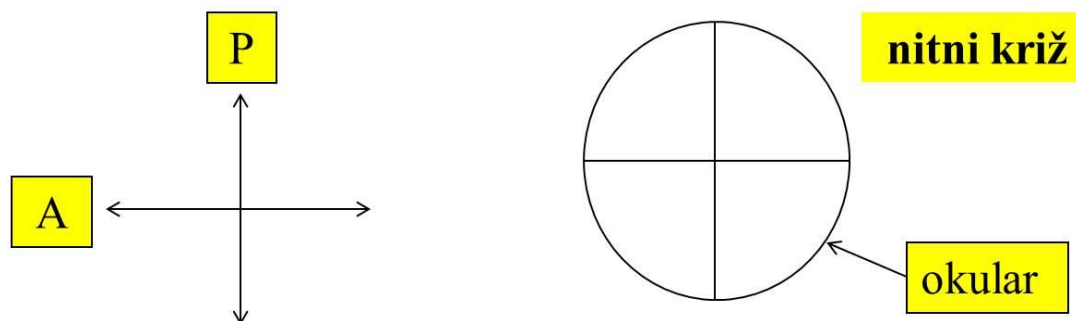


Slika 1.13. Prikaz optičkih komponenti polarizacijskog mikroskopa smještenih iznad okretnog mikroskopskog stolića.

POVEĆANJE mikroskopa

Povećanje pojedinog mikroskopa može se jednostavno izračunati množenjem povećanja iskazanog na okularu i povećanja pojedinog objektiva. Obično postoje tri do četiri izmjenjiva objektiva: za malo (4×), srednje (10×) i veliko povećanje (50×). Okulari mogu bit povećanja 5×, 7× i 10×.

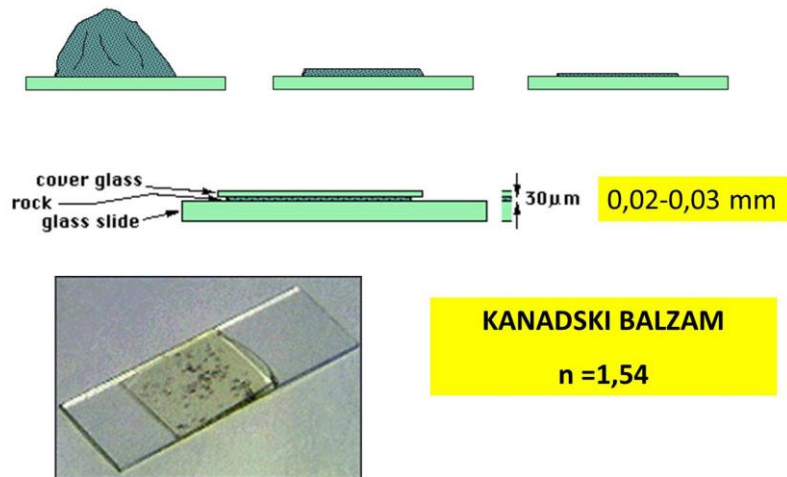
Promatranjem kroz okular mogu se uočiti dvije niti (horizontalna i vertikalna) koje se sijeku u središtu vidnog polja (slika 1.14.). Svaka od niti podudara se s titrajnom ravninom jednog od polarizacijskog filtera, već ovisno o proizvođačkim specifikacijama pojedinog mikroskopa.



Slika 1.14. Nitni križ u okularu polarizacijskog mikroskopa: jedna nit podudara se s titrajnom ravninom polarizatora, dok druga s titrajnom ravninom analizatora.

1.6. MIKROSKOPSKI PREPARAT

Mikroskopski preparat izrađuje se na način da se od uzorka minerala ili stijene prvo izreže tanka pločica. Ona se lijepi na predmetno stakalce pomoću smole (obično tzv. kanadski balzam) te se abrazivni prahom (dijamantni ili korundni prah) brusi do debljine od 0,02 – 0,03 mm. Nakon brušenja preparat se prekriva pokrovnim stakalcem, koje se na njega pričvršćuje također smolom (slika 1.15.).



Slika 1.15. Prikaz izrade (gore) i dijelova mikroskopskog preparata (izbruska).

2. PROMATRANJE MINERALA U OTROSKOPSKIM UVJETIMA BEZ UKLJUČENOG ANALIZATORA

Pod ortoskopskim uvjetima mikroskopiranja podrazumijevamo da svjetlost do mikroskopskog preparata dolazi u obliku snopa u kojem su zrake svjetlosti međusobno paralelne, a na površinu preparata upadaju okomito.

U ortoskopskim uvjetima mineralni presjek u mikroskopskom preparatu može se promatrati bez i s uključenim analizatorom.

Bez uključenog analizatora promatraju se sljedeća svojstva mineralnog presjeka:

- a) Oblik zrna i prisutnost kalavosti,
- b) Reljef minerala (pseudoapsorpcija, šagren),
- c) Vlastita boja minerala (moguća prisutnost pleokroizma).

2.1. OBLIK ZRNA I KALAVOST

Kod oblika mineralnog presjeka/zrna podrazumijeva se moguća razvijenost kristalnih ploha, odnosno pojava pravilnih (geometrijskih) kontura kod mineralnog presjeka u mikroskopskom preparatu. Ona može upućivati na kristalnu simetriju istraživanog mineralnog presjeka, što je bitna odrednica kod njegove identifikacije. Prema razvijenosti kristalnih ploha na mineralnom presjeku, promatrani presjek može biti:

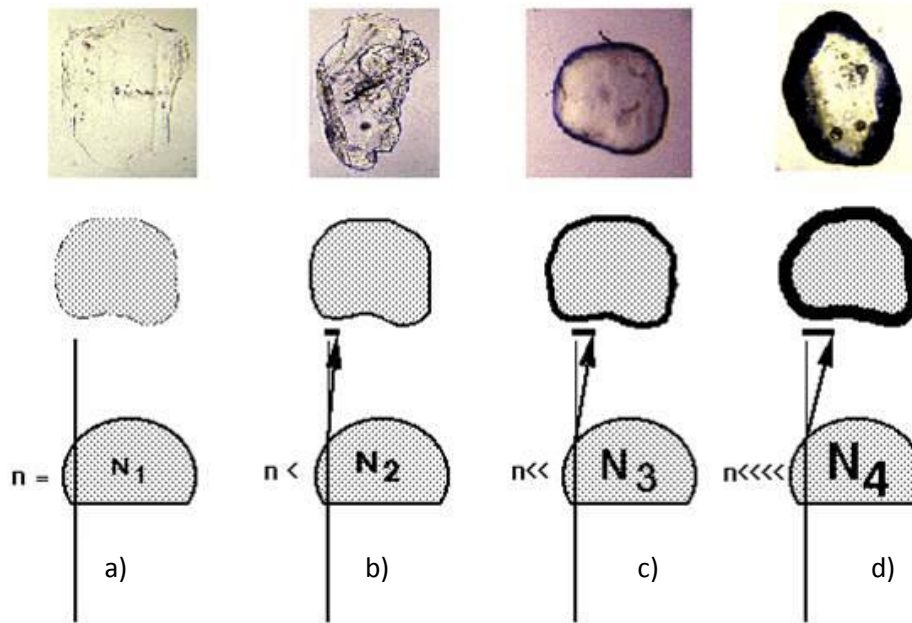
- d) idiomorfan (euhedralan) – jasno uočljive pravilne geometrijske konture, dobra razvijenost kristalnih ploha,
- e) hipidiomorfan (subhedralan) – djelomično razvijene kristalne plohe, mineralni presjek ima djelomično izražene geometrijske konture,
- f) alotriomorfan (anhedralan) – nepravilan presjek, nema pravilnih geometrijskih kontura.

2.2. RELJEF MINERALA

Pod reljefom mineralnog presjeka podrazumijeva se izraženosti granica među mineralnim zrnima, odnosno granica (kontura) mineralnih zrna i kanadskog balzama, kao i pukotina u samom mineralu. Takva izraženost direktna je posljedica indeksa loma promatranog minerala, odnosno razlike u indeksu loma između minerala i sredstva kojim je on pričvršćen u mikroskopskom preparatu. Obično je to kanadski balzam. Reljef nastaje kao posljedica loma svjetlosti pri prijelazu iz minerala u kanadski balzam i obrnuto, te čim je razlika između indeksa loma minerala i kanadskog balzama veća, bit će i reljef veći.

Stoga se razlikuju sljedeći slučajevi (slika 2.1.):

- Ako je razlika u indeksima loma između minerala i kanadskog balzama velika, jače su izražene granice (konture) zrna, te mineral ima **VISOKI RELJEF**,
- Ako je ta razlika mala, mineral ima **NISKI RELJEF**,
- Ako je indeks loma minerala jednak onome kanadskog balzama ($n_{kb} = 1,54$), onda mineral **nema reljef**.

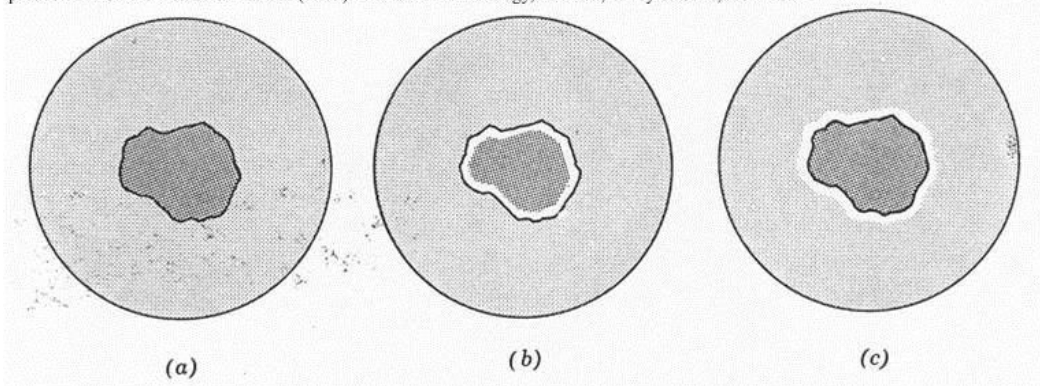


Slika 2.1. Prikaz različitih vrsta reljefa: a) bez reljefa (ili iznimno nizak reljef); b) nizak reljef, c) visok reljef; d) iznimno visok reljef.

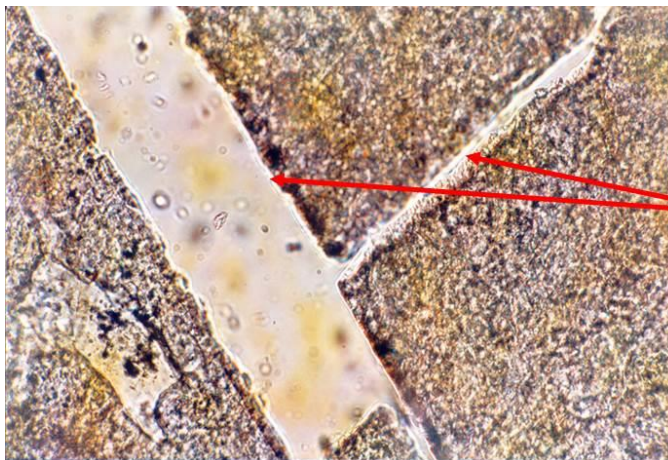
2.2.1. Beckeova linija

Beckeova linija je tanka svijetla linija na granici mineralnog zrna i kanadskog balzama. Pomoću nje moguće je odrediti je li indeks loma minerala veći ili manji od indeksa loma kanadskog balzama. Naime, udaljavanjem preparata od objektiva Beckeova linija se pomiče u sredstvo **većeg indeksa loma** (slika 2.2.)

preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York



Slika 2.2. Shematski prikaz pojave Beckeove linije: a) zrno bez reljefa; b) indeks minerala veći od indeksa loma kanadskog balzama; c) indeks loma minerala manji od indeksa loma kanadskog balzama.

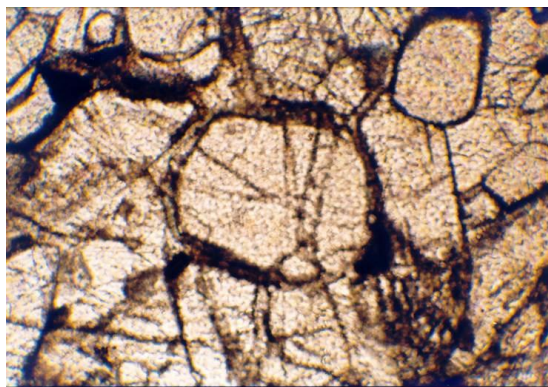


Beckeova linija

Slika 2.3. Mikrofotografija minerala vrlo dobre kalavosti, gdje je prostor među kalotinama popunio kanadski balzam. Beckeova linija označena je crvenim strelicama.

2.2.2. Šagren

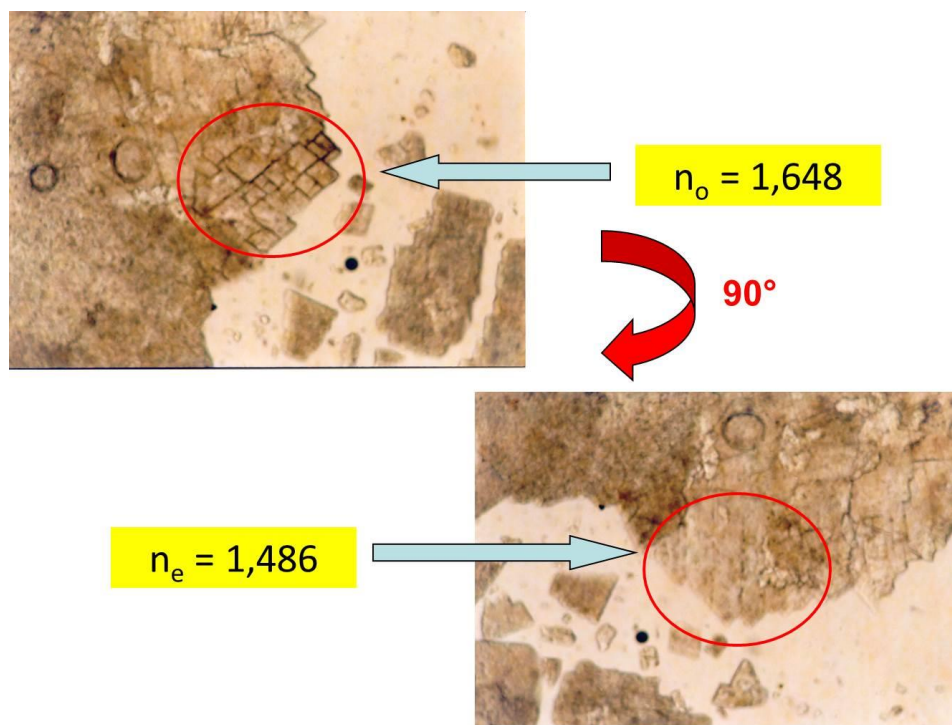
Šagren je pojava koja se redovito javlja na presjecima minerala visokog reljefa, a posljedica je loma svjetlosti na vrlo malim pukotinama nastalih prilikom postupka pripreme (brušenja) mikroskopskog preparata. Prepoznaje se pojavom vrlo sitnih „zrnaca“ na površini mineralnog presjeka, odnosno lagano namreškanoj površini minerala (slika 2.4.).



Slika 2.4. Zrna izrazito šagrinirane površine.

2.2.3. Pseudoapsorpcija

Pseudoapsorpcija je pojava koja se javlja kod presjeka anizotropnih minerala čiji se indeksi loma dviju zraka nastalih dvolomom međusobno dosta razlikuju. Tako za jednu zraku reljef može biti nizak, a za drugu zraku visok (slika 2.5.).

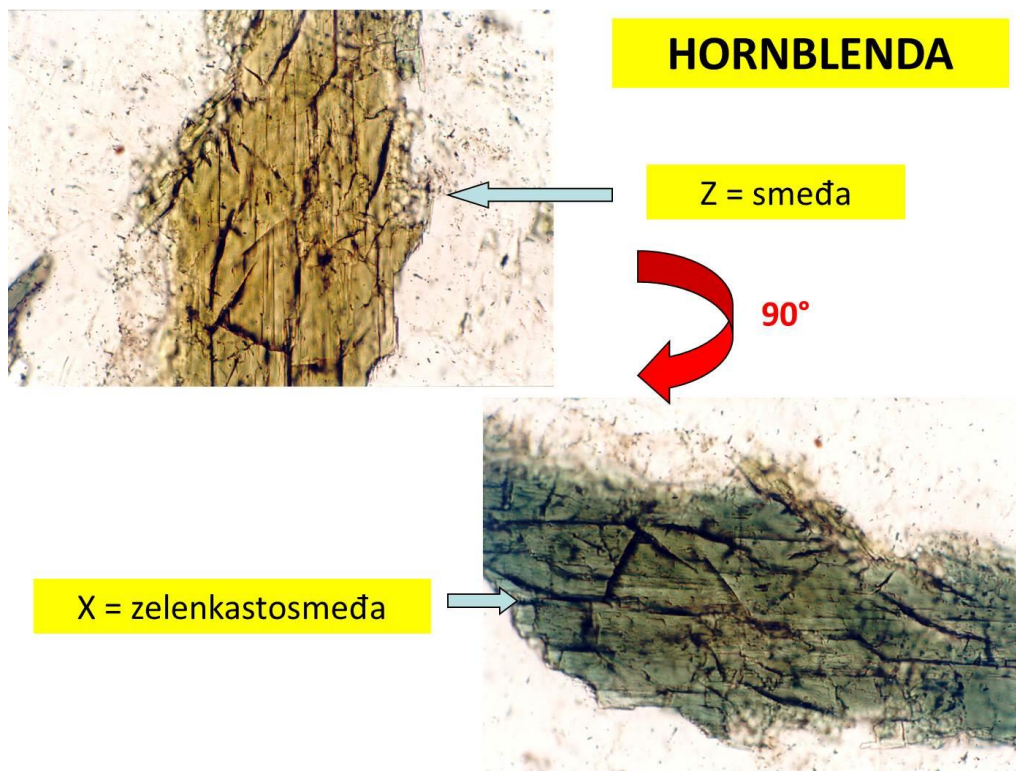


Slika 2.5. Pojava pseudoapsorpcije kod kalcita. Na gornjoj slici kao posljedica većeg indeksa loma ordinarne zrake opaža se visok reljef, dok na donjoj zbog nižeg indeksa loma ekstraordinarne zrake opaža se nizak reljef (ne vide se pukotine kalavosti).

2.3. VLASTITA BOJA

Vlastita boja je posljedica apsorpcije bijele svjetlosti u mineralu. Kod anizotropnih minerala apsorpcija ovisi o smjeru širenja svjetlosti, npr. kod turmalina (kristalizira u heksagonskom sustavu) $a_o > a_e$, gdje je a_o apsorpcija za ordinarnu zraku i a_e apsorpcija za ekstraordinarnu zraku. Stoga je mineral različito obojen u različitim smjerovima te tu pojavu nazivamo **pleokroizam** (ili polikroizam). Optički jednoosni minerali imaju DIKROIZAM tj. pokazuju dvije boje, jednu za ordinarnu, a drugu za ekstraordinarnu zraku. To se najbolje opaža u presjeku paralelnom s optičkom osi, što je ujedno i presjek najvećeg dvoloma. Analogno tomu, u presjeku okomito na optičku os nema pleokroizma, jer u njemu nema dvoloma.

Optički dvoosni minerali imaju TRIKROIZAM (za titrajne pravce X, Y i Z). Primjer je prikazan na slici 2.6.



Slika 2.6. Pojava pleokroizma kod hornblende.

3. PROMATRANJE MINERALA U ORTOSKOPSKIM UVJETIMA S UKLJUČENIM ANALIZATOROM

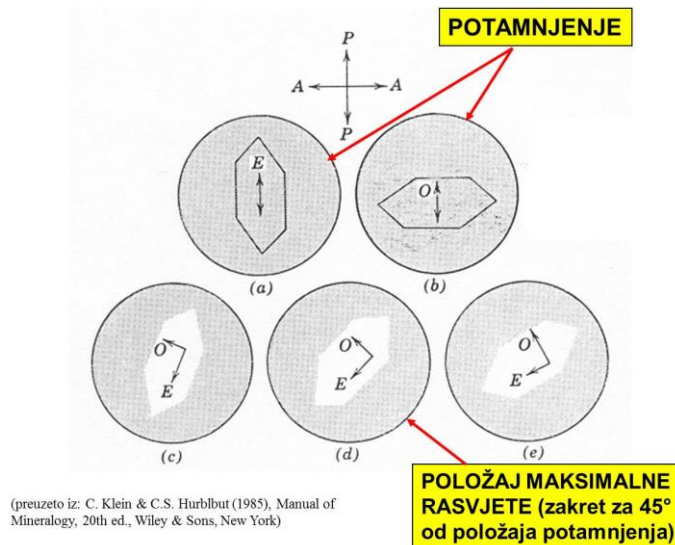
U ortoskopskim uvjetima s uključenim uvjetima promatraju se sljedeća obilježja mineralnog presjeka:

- a) Potamnjenje,
- b) Interferencijske boje,
- c) Optički karakter izduženja.

3.1. POTAMNJENJE

S uključenim analizatorom izotropnim minerali su uvijek tamni, bez obzira na orijentaciju promatranog presjeka minerala. Kod anizotropnih minerala razlikuju se dva slučaja:

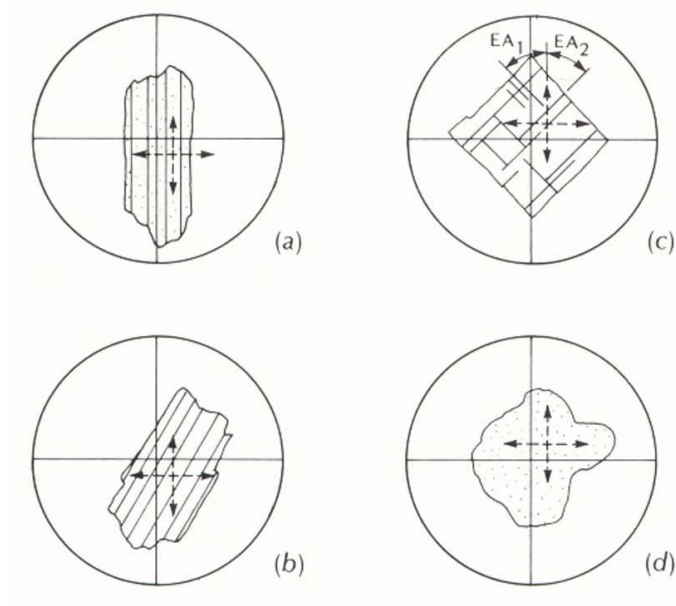
- a) presjeci izbrušeni okomito na optičku os, koji su stalno tamni pri rotaciji mikroskopskog stolića za puni krug, te
- b) ostali presjeci izbrušeni mimo okomice na optičku os, koji potamne **četiri puta** tijekom rotacije za 360°, dakle svakih 90° (slika 3.1.).



Slika 3. 1. Shematski prikaz potamnjenja optički jednoosnog anizotropnog minerala (O – titrajni pravac ordinarne zrake, E – titrajni pravac ekstraordinarne zrake). Na slikama a) i b) vide se položaji potamnjenja do kojih dolazi kada se titrajni pravac ili ordinarne ili ekstraordinarne zrake podudara s titrajnom ravninom polarizatora (postoje takva četiri položaja). Na slikama c) – e) vide se položaji mimo položaja potamnjenja, kada se vide interferencijske boje minerala. Na slici d) je prikazan tzv. položaj maksimalne rasvjete tj. položaj dobiven zakretom mikroskopskog stolića za 45° iz bilo kojeg položaja potamnjenja. Tada se interferencijske boje zapažaju najintenzivnije.

Potamnjenje se može opisati kao (slika 3.2.):

- a) paralelno,
- b) koso,
- c) simetrijsko,
- d) nije moguće opisati tip potamnjenja.

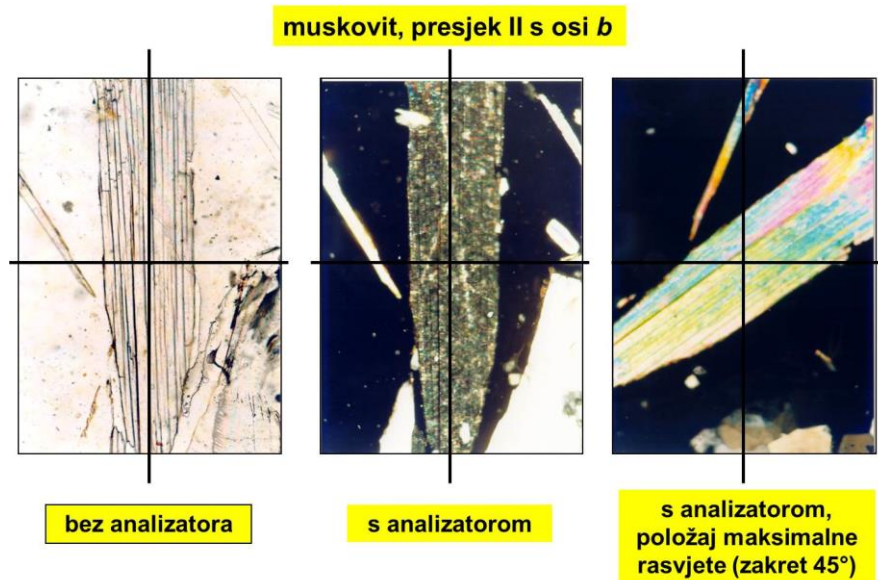


(preuzeto s <http://www.brocku.ca/earthsciences/people/gfinn/optical/222lect.htm>)

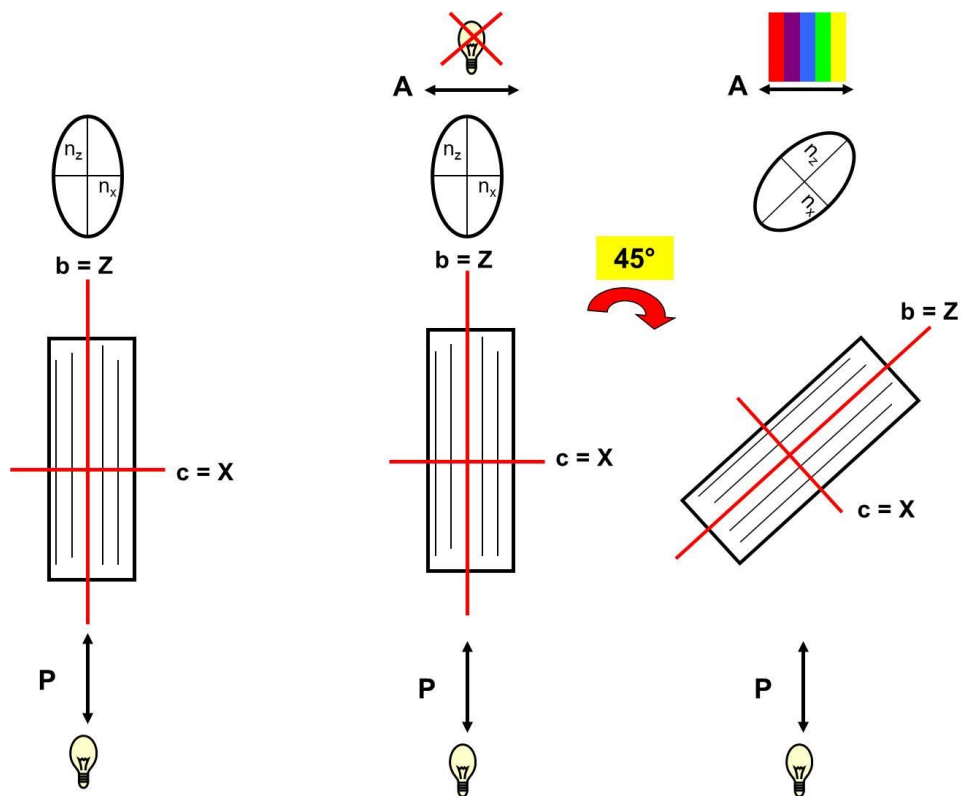
Slika 3.2. Vrste potamnjenja: a) paralelno, b) koso, c) simetrijsko, d) nije moguće odrediti vrstu potamnjenja.

3.1.1. Paralelno potamnjenje

Mineralni presjek ima paralelno potamnjenje u slučaju da potamni u položaju kada se njegovi geometrijski (kristalografski) elementi podudaraju s jednom od niti nitnog križa. Obično se promatra odnos prema vertikalnoj niti nitnog križa (slika 3.3a.). Od kristalografskih elemenata obično se promatraju pukotine kalavosti ili pravilni (geometrijski) rubovi mineralnog presjeka, koji ocrtavaju kristalne plohe u slučaju idiomorfno razvijenih zrna minerala. Do paralelnog potamnjenja dolazi zbog podudaranja titrajnih pravaca dvolomom nastalih zraka u mineralu s njegovim kristalografskim elementima (sl. 3.3b.).



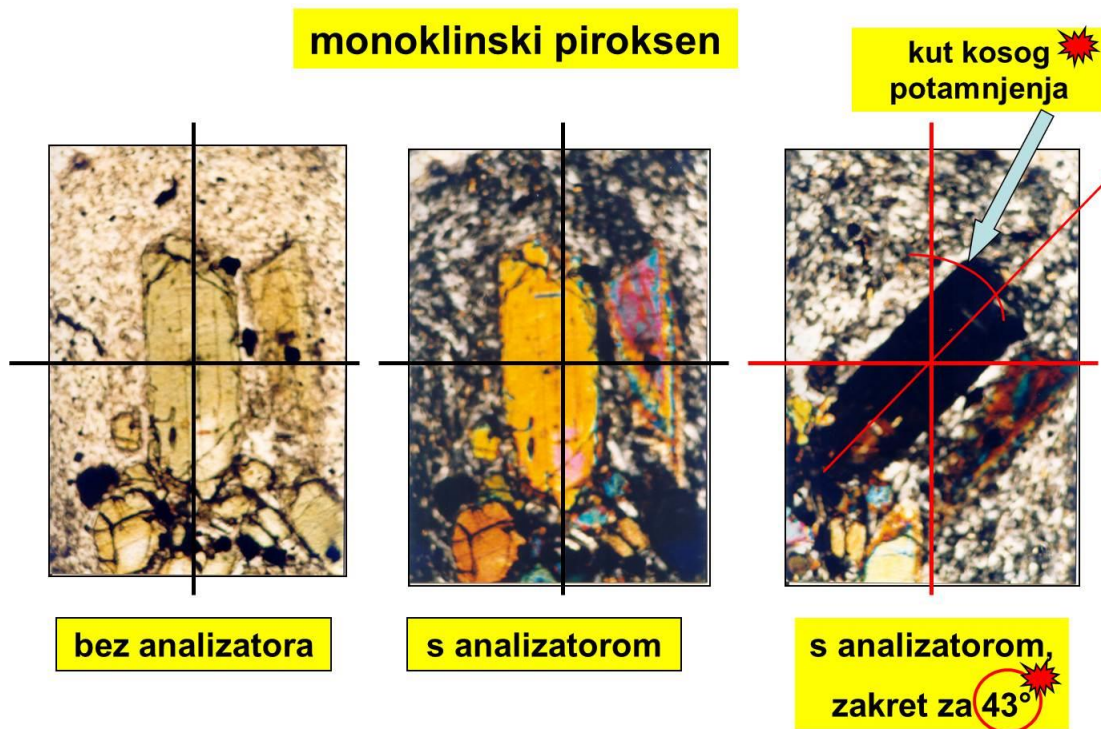
Slika 3.3a. Paralelno potamnjene na primjeru muskovita.



Slika 3.3b. Shematski prikaz odnosa titrajnih pravaca i geometrijskih elemenata (kalavosti i kontura zrna) na primjeru muskovita prikazanog na slici 3.3a.

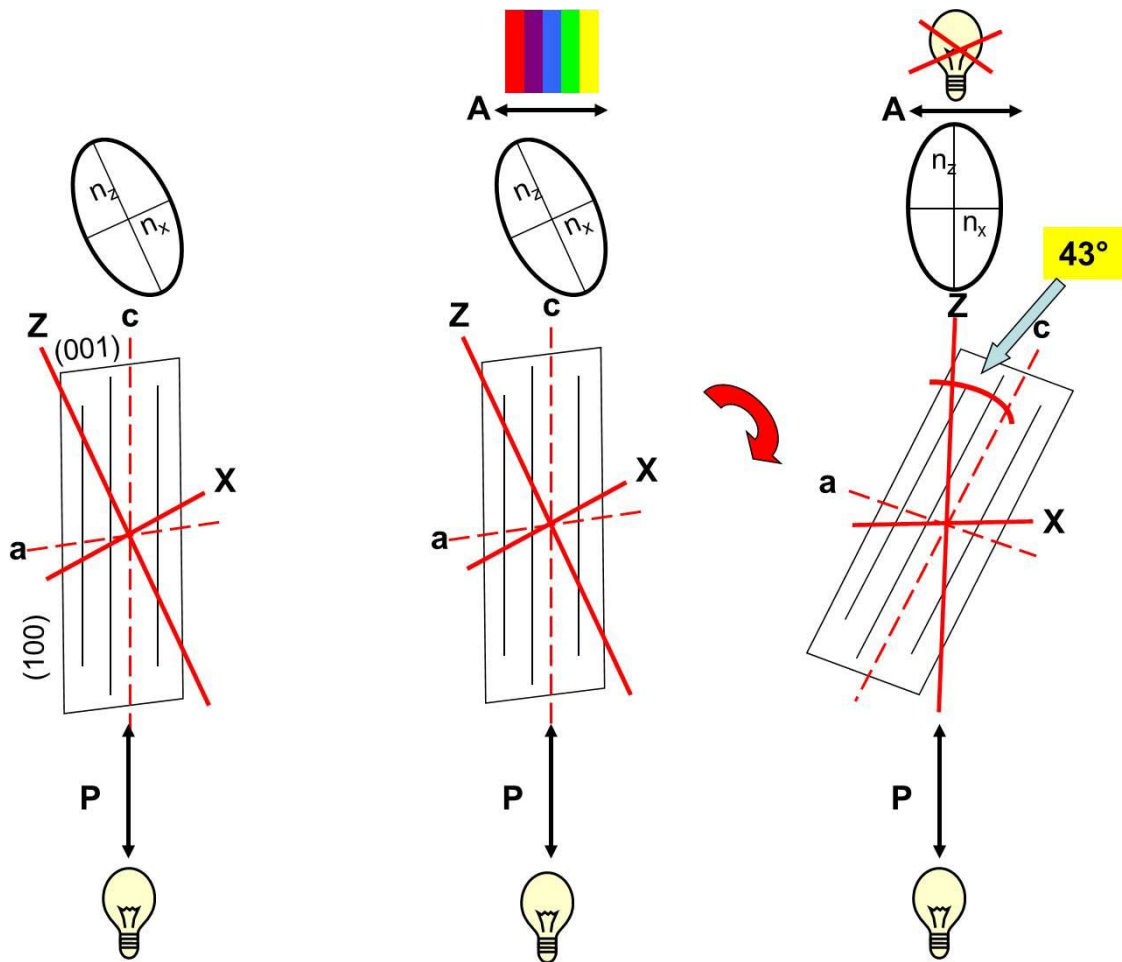
3.1.2. Koso potamnjenje

Mineral ima koso potamnjenje u slučaju da potamni kada se njegovi geometrijski elementi nalaze pod nekim kutom u odnosu prema vertikalnoj niti nitnog križa (slika 3.4a.). Do kosog potamnjenja dolazi zbog toga što se titrajni pravci u promatranom presjeku minerala nalaze pod nekim kutom u odnosu na njegove geometrijske elemente (slika 3.4b.).



Slika 3.4a. Koso potamnjenje na primjeru klinopiroksena.

Kut kosog potamnjenja bitno je svojstvo svakog minerala kod kojeg ga se može opaziti, te je stoga bitan i za prepoznavanje takvog minerala u preparatu.



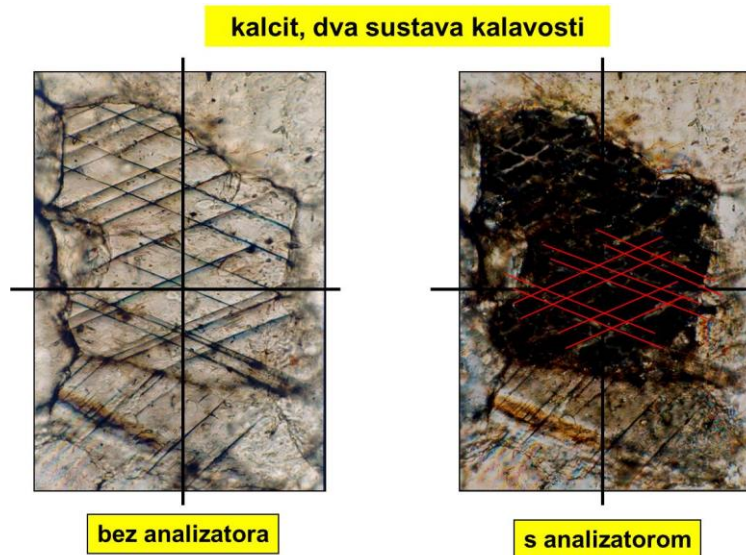
Slika 3.4b. Shematski prikaz odnosa titrajnih pravaca i geometrijskih elemenata (kalavosti i kontura zrna) na primjeru klinopirosena prikazanog na slici 3.4a.

Postupak mjerenja kuta kosog potamnjenja je sljedeći:

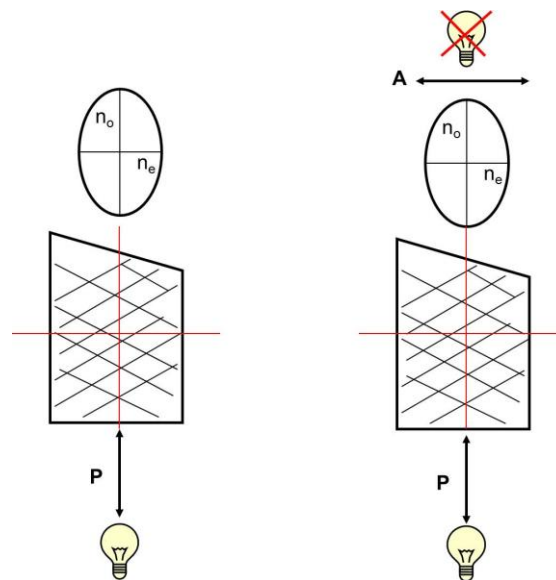
- Dovesti promatrani presjek u takav položaj da su geometrijski elementi (npr. pukotine kalavosti) paralelne s jednom niti nitnog križa. Pri tome treba očitati položaj na kružnoj kutnoj skali mikroskopskog stolića.
- Uključiti analizador (vide se interferencijske boje).
- Zakrenuti stolić dok mineralni presjek ne potamni. Ponovno očitati položaj na kružnoj skali mikroskopskog stolića.
- Iz dva očitana kuta oduzimanjem izračunati kut kosog potamnjenja.

3.1.3. Simetrijsko potamnjenje

Mineral ima simetrijsko potamnjenje u slučaju da potamni kada niti nitnog križa simetrijski raspolovljuju kutove među njegovim geometrijskim elementima. Najčešće se radi o kutovima između pukotina dvaju sustava kalavosti (slika 3.5a.). Do simetrijskog potamnjenja dolazi zbog toga što su titrajni pravci u promatranom presjeku minerala simetrijski položeni u odnosu na kutove između njegovih geometrijskih elemenata (slika 3.5b.).



Slika 3.5a. Simetrijsko potamnjenje na primjeru kalcita.



Slika 3.5b. Shematski prikaz odnosa titrajnih pravaca i geometrijskih elemenata (kalavosti) na primjeru kalcita prikazanog na slici 3.5a.

3.2. INTERFERENCIJSKE BOJE

Interferencijske boje nisu vlastite boje minerala, nego boje nastale interferencijom komponenata zraka svjetlosti nastalih dvolomom u anizotropnom presjeku mineralu, a prilikom njihovog prolaska kroz analizator.

Ako mineral iz položaja potamnjenja zakrenemo za 45° , dovest ćemo ga u položaj **maksimalne rasvjete**, te se tada opažaju interferencijske boje u najjačem intenzitetu.

Zrake nastale dvolomom u anizotropnom mineralu imaju različite brzine, pa prilikom izlaska iz minerala ostvaruju razliku u hodu (Δ)

$$\Delta = d (n_2 - n_1)$$

gdje je d debljina preparata, a $(n_2 - n_1)$ razlika između indeksa loma dvolomom nastalih zraka, tj. dvolom.

Kada te zrake dođu do analizatora razlažu se na komponente, te samo one komponente paralelne s titrajnom ravninom analizatora mogu kroz njega proći, pri čemu te komponente interferiraju. Ako je razlika u hodu između dviju zraka nastalih dvolomom u mineralu cijeli broj valne duljine (ili njezin cjelobrojni višekratnik), doći će interferencijom do poništavanja te valne duljine, te ona neće doprinositi interferencijskoj boji koja se opaža prolaskom svjetlosti kroz analizator. S druge strane, pojedina valna duljina biti će interferencijom pojačana i opažene prolaskom kroz analizator, ukoliko je razlika u hodu između zraka nastalih dvolomom u anizotropnom mineralu polovina te valne duljine ili njezin neparni višekratnik (slika 3.6.).

Postoje različiti redovi interferencijskih boja:

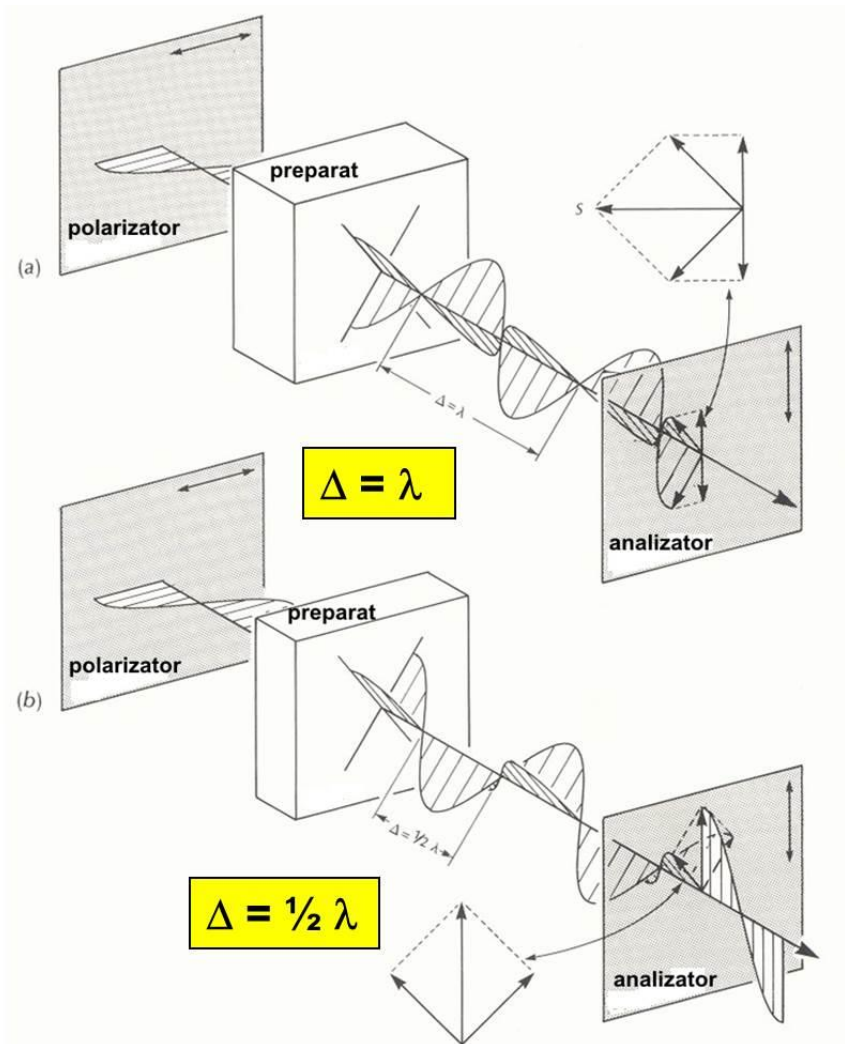
1λ = interferencijske boje 1. reda ($\Delta = 0-550$ nm)

2λ = interferencijske boje 2. reda ($\Delta = 550-1100$ nm)

3λ = interferencijske boje 3. reda ($\Delta = 1100-1650$ nm)

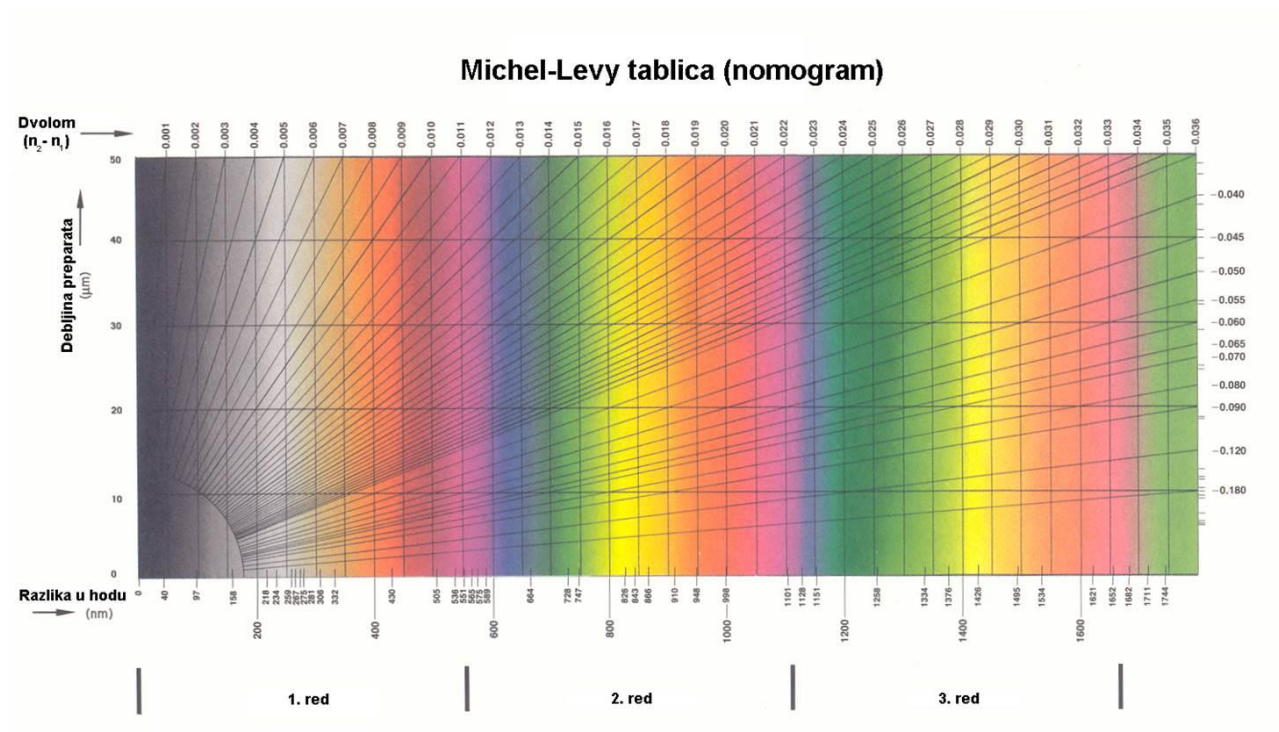
$n\lambda$ = interferencijske boje n -tog reda

Interferencijske boje pregledno su prikazane na Michel-Lévy-evoj tablici (slika 3.7.). U njoj su u međusobni odnos postavljene razlika u hodu, debljina preparata, dvolom te njima pripadajuće interferencijske boje.



(modificirano prema <http://www.brocku.ca/earthsciences/people/gfinn/optical/222lect.htm>)

Slika 3.6. Prikaz interferencije komponenta dviju zraka nastalih dvolomom u mineralu prolaskom kroz analizador: a) poništavanje određene valne duljine u slučaju da je $\Delta = \lambda$, b) pojačanje određene valne duljine u slučaju da je $\Delta = \frac{1}{2} \lambda$.

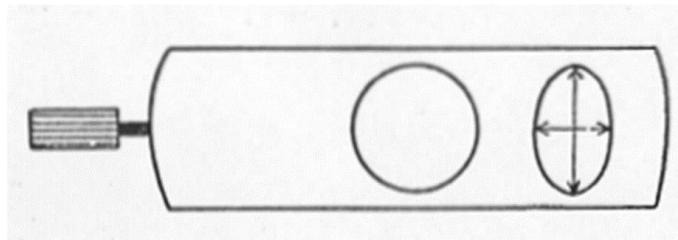


(modificirano prema: C. Klein & C.S. Hurlbut (1985), Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York)

Slika 3.7. Michel-Levy-eva tablica interferencijskih boja

3.3. KOMPENZACIJSKE (AKCESORNE) PLOČICE (KOMPENZATORI)

Kompenzacijske pločice proizvode poznatu razliku u hodu (slika 3.8.). Pomoću tih pločica može se promatranom mineralnom presjeku dodati (adicija) ili oduzeti (suptrakcija) poznatu razliku u hodu. To je u određenim slučajevima potrebno kako bi se utvrdila orijentacija titrajnih pravaca u promatranom mineralnom presjeku, a time se omogućuje određivanje pojedinih optičkih svojstava minerala.



(preuzeto iz: Barić & Tajder (1967), Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, Zagreb)

Slika 3.8. Kompenzacijska pločica

Obično se koriste tri kompenzacijske pločice (slika 3.9.):

- a) Gipsni listić (λ), $\Delta = 532$ nm, osjetljiva crvena boja 1. reda,
- b) Tinjčev listić ($\lambda/4$), $\Delta = 133$ nm, siva boja 1. reda,
- c) Kvarcni klin ($\lambda/2-3\lambda$), $\Delta = 266 - 1596$ nm



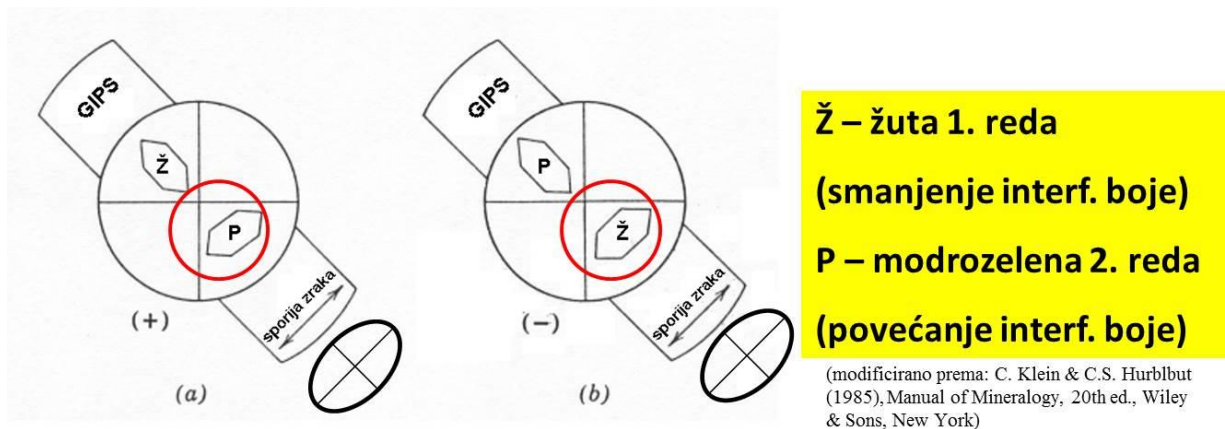
Slika 3.9. Kompenzacijske pločice (s lijeva na desno): gipsni lisić, tinjčev listić i kvarcni klin.

3.4. OPTIČKI KARAKTER IZDUŽENJA

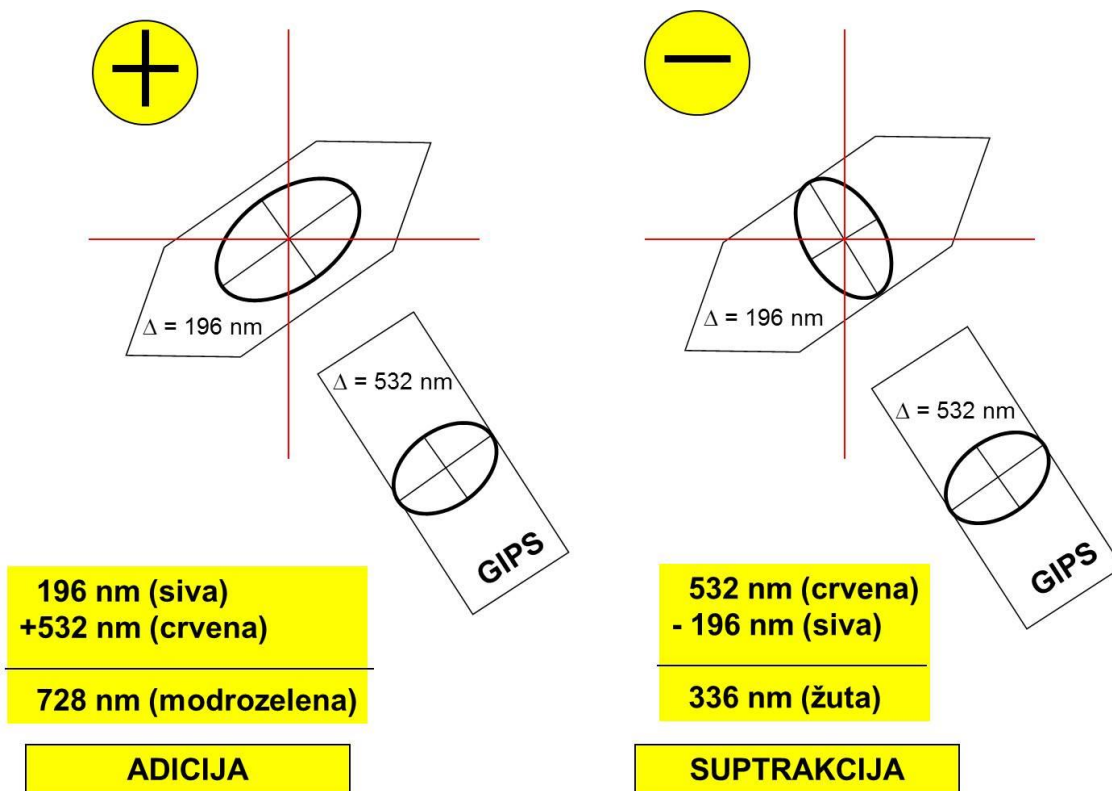
Minerali su često izduženi duž jednog smjera ili pločasti paralelno s nekom plohom. Kod presjeka takvih minerala moguće je odrediti svojstvo koje se naziva **optički karakter izduženja** („optički znak glavne zone“).

Postupak određivanja optičkog karaktera izduženja je sljedeći (slika 3.10.):

- a) Kod uključenog analizatora zakretanjem mikroskopskog stolića promatrani presjek minerala dovede se u položaj maksimalne rasvjete, i to tako da je izduženje presjeka paralelno s kraćom stranicom kompenzatora tj. sa sporijim titrajnim pravcem,
- b) U mikroskop se umeće kompenzator (najčešće gipsni listić),
- c) Ako se interferencijska boja minerala poveća, mineral ima **pozitivan** karakter izduženja,
- d) Ako se interferencijska boja minerala smanji, mineral ima **negativan** karakter izduženja.



Slika 3.10. Prikaz određivanja optičkog karaktera izduženja opažanjem promjene interferencijske boje minerala umetanjem gipsnog kompenzatorskog listića. U oba prikazana primjera interferencijska boja mineral je bijelo-siva boja 1. reda. U slučaju pozitivnog karaktera izduženja (a) za orijentaciju u crvenom krugu ta boja prelazi u plavu boju 2. reda, dok u slučaju negativnog karaktera izduženja (b) prelazi u žutu boju 1. reda.



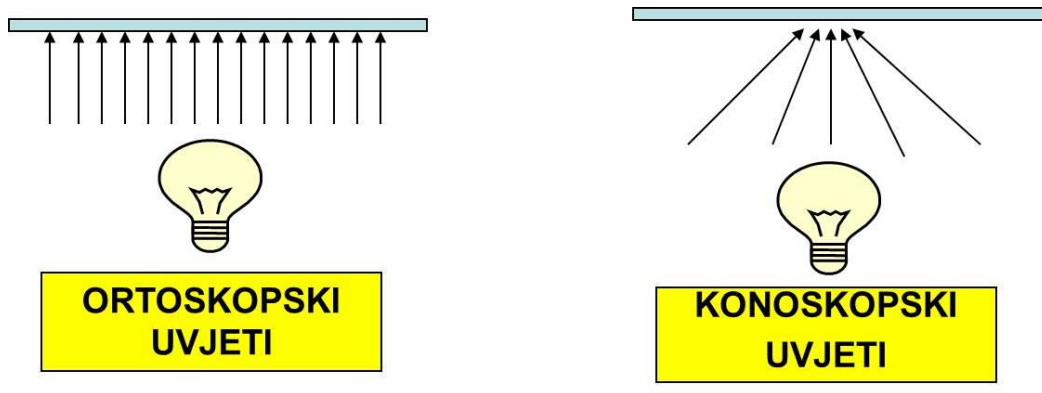
Slika 3.11. Shematsko pojašnjenje promjene interferencijske boje za primjere prikazane na slici 3.10, uzimajući u obzir orijentacije titrajnih pravaca u promatranim mineralnim zrnima i gipsnoj kompenzacijskoj pločici. Lijevi primjer pokazuje pozitivni karakter izduženja, a desni negativni.

4. PROMATRANJE MINERALA U KONOSKOPSKIM UVJETIMA

Kod konoskopskih promatranja svjetlost dolazi do preparata u obliku snopa u kojem zrake konvergiraju jednoj točki, koja se idealno nalazi u središtu mikroskopskog preparata. Stoga snop svjetlosti ima oblik stošca, a obično se oblikuje pomoću kondenzorske leće smještene ispod mikroskopskog stolića. Usporedba geometrije svjetlosnog snopa u ortoskopskim i konoskopskim uvjetima prikazana je na slici 4.1.

Za prebacivanje mikroskopa iz ortoskopskih u konoskopske uvjete rada potrebno je:

- Uključiti kondenzorsku leću,
- Odabrati objektiv s najvećim povećanjem,
- Uključiti analizator,
- Uključiti Amici-Bertrand-ovu leću.



Slika 4.1. Usporedba geometrije snopa svjetlosti kod ortoskopskih i konoskopskih uvjeta mikroskopiranja.

U konoskopskim uvjetima promatraju se sljedeća optička svojstva minerala:

- Konoskopsku figuru,
- Optički karakter (+/-),
- Kut optičkih osi.

IZOTROPNI minerali su u konoskopskim uvjetima stalno tamni.

ANIZOTROPNI minerali i u svojim izotropnim presjecima (presjeci okomiti na optičku os) pokazuju konoskopsku figuru, pa ih je na taj način moguće razlikovati od izotropnih minerala.

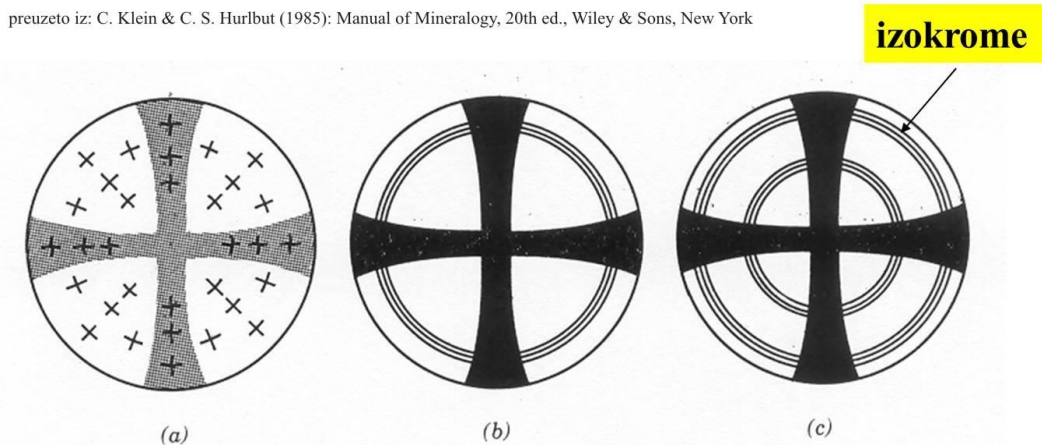
4.1. Promatranje jednoosnih anizotropnih minerala u konoskopskim uvjetima

Iako je jednoosne anizotropne minerale moguće promatrati u različitim presjecima kod konoskopskih uvjeta, najpogodnije ih je proučavati u presjecima izbrušenim okomito na optičku os tj. kristalografsku os c , budući da je iz tih presjeka moguće dobiti najviše informacija o takvim mineralima.

Pri tome se promatra:

- a) **Konoskopska figura** – ona ima oblik crnog križa, oko kojeg se koncentrično nižu interferencijske boje, gdje svaka boja slijedi zamišljenu liniju u obliku kružnice koja se naziva **izokroma**. Što mineral ima veći dvolom to će se opažati više redova interferencijskih boja. Interferencijske boje rastu od središta križa prema rubu konoskopske figure (slike 4.2. i 4.3.).

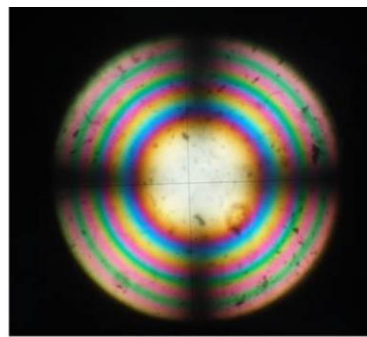
preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York



Slika 4.2. Konoskopska figura optički jednoosnih anizotropnih minerala izbrušenih okomito na optičku os: a) shematski prikaz položaja središnjih presjeka indikatriše u različitim dijelovima konoskopske figure, b) shematski prikaz konoskopske figure minerala manjeg dvoloma, kod kojeg se opaža manje redova interferencijskih boja, c) shematski prikaz konoskopske figure minerala većeg dvoloma, na kojoj se opaža više redova interferencijskih boja.



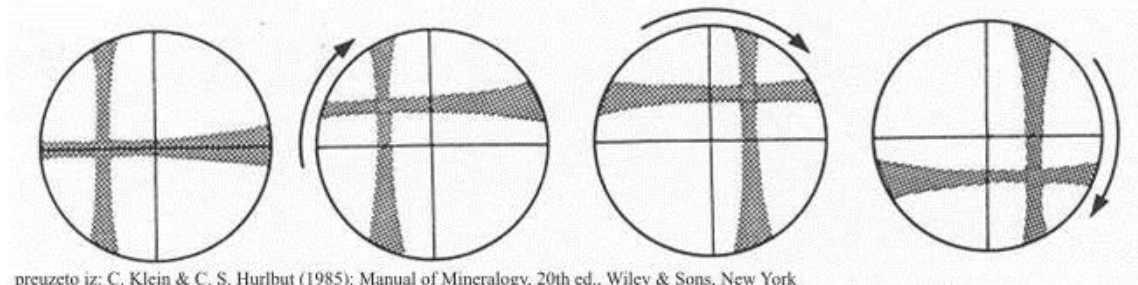
KALCIT



KVARC

Slika 4.3. Konoskopska figura optički jednoosnih anizotropnih minerala na primjeru kalcita i kvarca.

Ukoliko presjek nije izbrušen točno okomito na optičku os (os *c*), križ će pri rotaciji mikroskopskog stolića opisivati kružnicu (slika 4.4.).



preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York

Slika 4.4. Ako presjek optički jednoosnog anizotropnog minerala nije izbrušen točno okomito na optičku os, središte križa konoskopske figure opisuje kružnicu prilikom rotacije mikroskopskog stolića.

b) Optički karakter

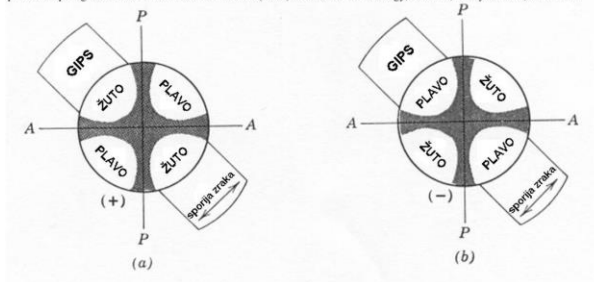
Za određivanje optičkog karaktera koriste se kompenzacijske pločice, pri čemu se najčešće koristi gipsna pločica ($\Delta = 532 \text{ nm}$)

Njenim umetanjem u mikroskop promatraju se promjene interferencijskih boja kod konoskopske figure u području uz središte križa.

Umetanjem gipsne kompenzacijske pločice uočavaju se na konoskopskoj figuri sljedeće promjene (slike 4.5. i 4.6.):

1. Crni križ pocrveni ($\Delta = 0 + 532 \text{ nm} = 532 \text{ nm}$),
2. Lako se uočava da križ dijeli konoskopsku figuru na četiri kvadranta – promatraju se NW i SE kvadrant:
 - a) Ako bijelo-siva boja neposredno uz križ požuti, mineral je optički **pozitivan**,
 - b) Ako bijelo-siva boja neposredno uz križ poplavi, mineral je optički **negativan**.

preuzeto i prilagođeno iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York



$$(532-230)\text{nm}=302 \text{ nm}$$

SUPTRAKCIJA

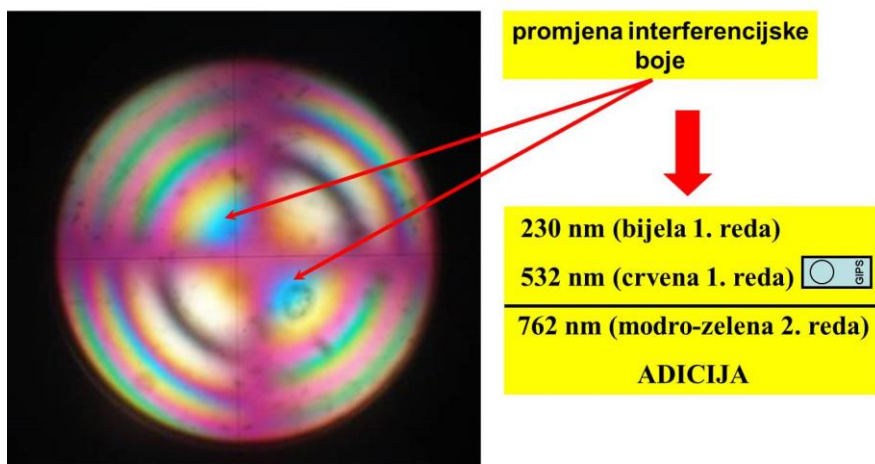
$$(532+230)\text{nm}=762 \text{ nm}$$

ADICIJA

Slika 4.5. Promjena interferencijske boje u konoskopskoj figuri umetanjem gipsne

kompensacijske pločice kod optičkih jednoosnih pozitivnih (a) i negativnih (b) minerala.

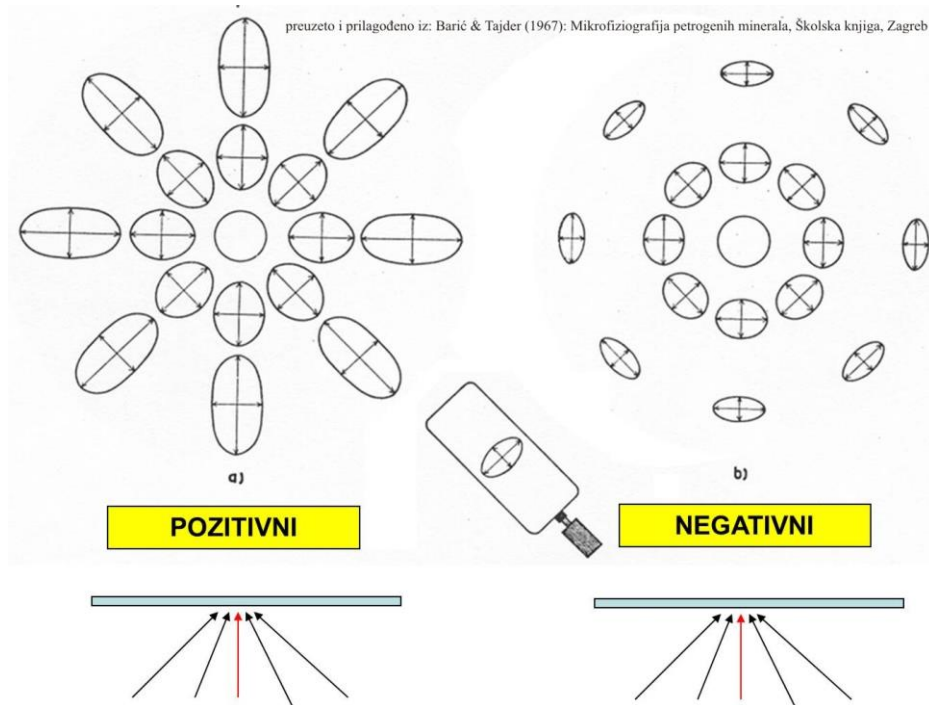
KALCIT



Optički negativan

Slika 4.6. Određivanje optičkog karaktera jednoosnog anizotropnog minerala na primjeru kalcita.

Pojašnjenje nastanka konoskopske figure kod optički jednoosnih anizotropnih minerala te promjena koje se događaju na toj figuri umetanjem gipsne kompensacijske pločice prikazano je na slici 4.7. Iz slike je jasno da je pojava konoskopske figure uvjetovana: a) geometrijom dolaznog konvergentnog snopa, tj. kutom i smjerom upada svake od zraka svjetlosti u promatrani mineralni presjek, te b) anizotropnim karakterom minerala, koji je grafički prikazan središnjim presjecima indikatriše na pojedinim dijelovima konoskopske figure. Idući od središta konoskopske figure povećava se vrijednost dvoloma, ali i put koju pojedine zrake prolaze kroz mineral tj. debljina preparata u tim smjerovima. Jasno je da se time ostvaruje veća razlika u hodu, pa idući od središta prema rubu postupno se povećavaju i interferencijske boje. Isto tako, pojava crnog križa uvjetovana je položajem središnjih presjeka indikatriše u njegovom području, gdje se uvijek jedna od zraka nastalih dvolomom podudara s jednom od niti nitnog križa, tj. s titrajnom ravninom jednog od polarizacijskih filtera na mikroskopu. U samo središtu križa nalazi se izotropan presjek indikatriše, jer u tom području zrake upadaju okomito u presjek minerala, te tako idu duž same optičke osi, što znači da u tom području nema dvoloma.



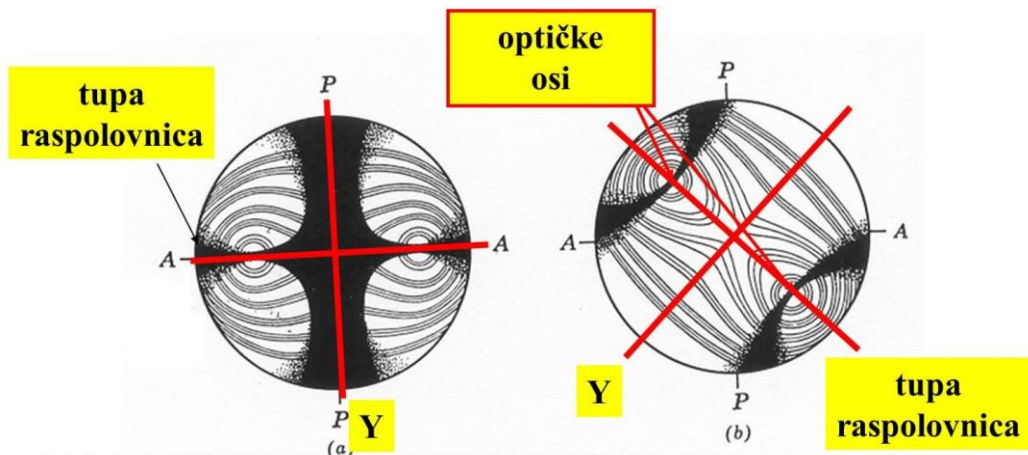
Slika 4.7. Grafičko pojašnjenje nastanka konoskopske figure u optički pozitivnim (a) i negativnim (b) jednoosnim anizotropnim mineralima, kao i promjena u interferencijskim bojama do kojih dolazi umetanjem gipsne kompenzacijske pločice.

4.2. Promatranje dvoosnih anizotropnih minerala u konoskopskim uvjetima

Najpogodniji (najinformativniji) presjeci dvoosnih anizotropnih minerala za promatranje u konoskopskim uvjetima su oni izbrušeni okomito na oštru raspolovnicu kuta optičkih osi.

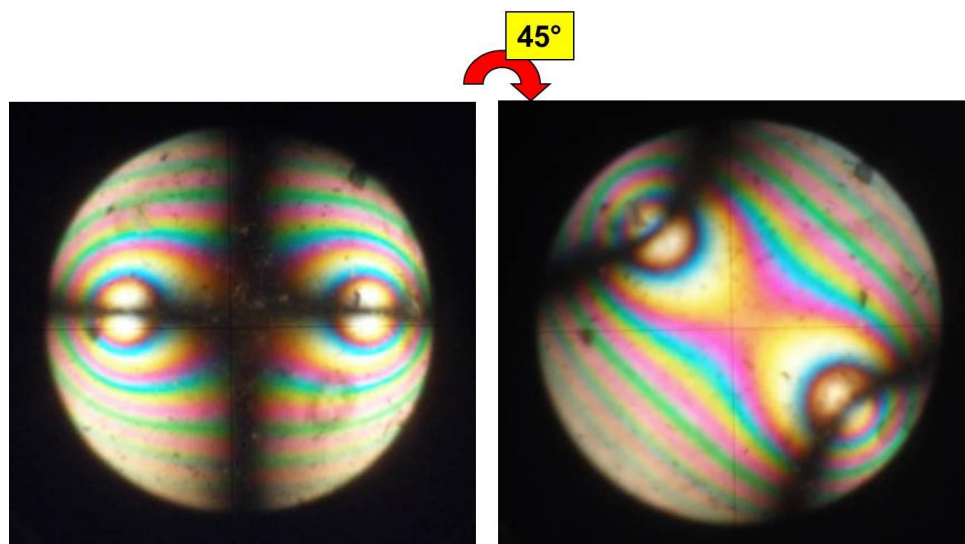
U tim presjecima promatra se sljedeće:

- a) **Konoskopska figura** – na njoj se nalazi crni križ, oko kojega se koncentrično nižu interferencijske boje u obliku linija koje se nazivaju **lemniskate**. Zakretanjem mikroskopskog stolića križ se rastavlja na dvije hiperbole, koje su međusobno najviše udaljene pri zakretanju stolića za 45° (slika 4.8. i 4.9.). Na vrhu svake od hiperbola izlazi po jedna optička os.



preuzeto i prilagođeno iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York

Slika 4.8. Konoskopska figura optički dvoosnih anizotropnih minerala. Uočava se da se križ sastoji od debljeg i tanjeg kraka (a), a zakretanjem mikroskopskog stolića križ se rastavlja na dvije hiperbole međusobno naudaljenije pri zakretu za 45°. Na vrhovima hiperbola izlaze optičke osi.



TINJAC

Slika 4.9. Konoskopska figura dvoosnih anizotropnih minerala na primjeru tinjca

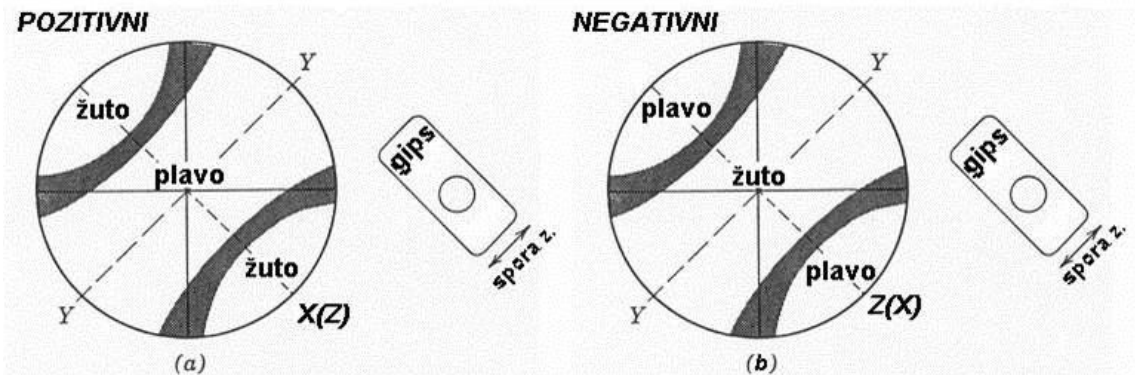
b) Optički karakter

Za određivanje optičkog karaktera koriste se kompenzacijske pločice, pri čemu se najčešće koristi gipsna pločica ($\Delta = 532 \text{ nm}$).

Njenim umetanjem u mikroskop promatraju se promjene interferencijskih boja kod konoskopske figure u području hiperbola s njihovih konkavnih (vanjskih) strana. Prethodno se mikroskopski stolić zakrene za 45° tako da se križ rastavi na dvije hiperbole, koje zakretanjem stolića dovedemo u NW i SE kvadrant

Umetanjem gipsne kompenzacijske pločice uočavaju se na konoskopskoj figuri sljedeće promjene (slike 4.10. i 4.11., grafičko pojašnjenje na slici 4.12.):

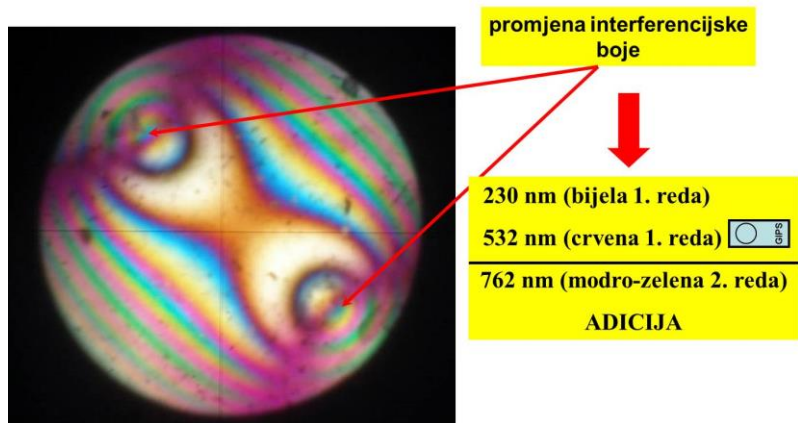
1. Hiperbole pocrvene ($\Delta = 0 + 532 \text{ nm} = 532 \text{ nm}$),
2. Bijelo-siva interferencijska boja smještena neposredno uz hiperbole s konkavne (vanjske) strane promjeni boju u:
 - a) žutu, ako je mineral optički **pozitivan**,
 - b) plavu, ako je mineral optički **negativan**.



preuzeto i prilagođeno iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York

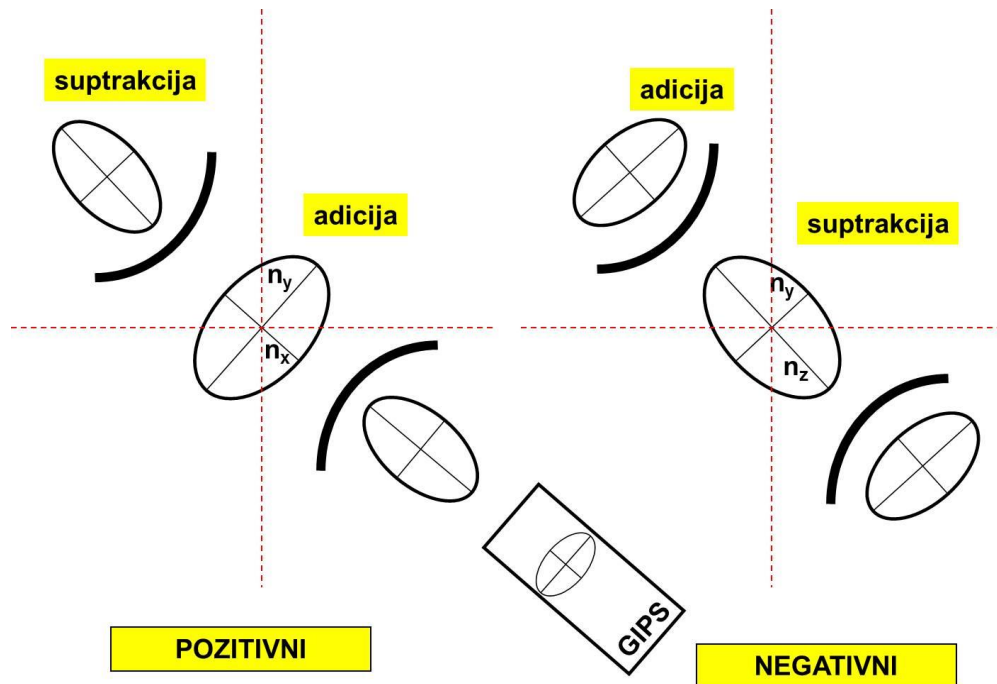
Slika 4.10. Promjena interferencijske boje u konoskopskoj figuri umetanjem gipsne kompenzacijske pločice kod optičkih dvoosnih pozitivnih (a) i negativnih (b) minerala.

TINJAC



Optički negativan

Slika 4.11. Određivanje optičkog karaktera dvoosnih anizotropnih minerala na primjeru tinjca.

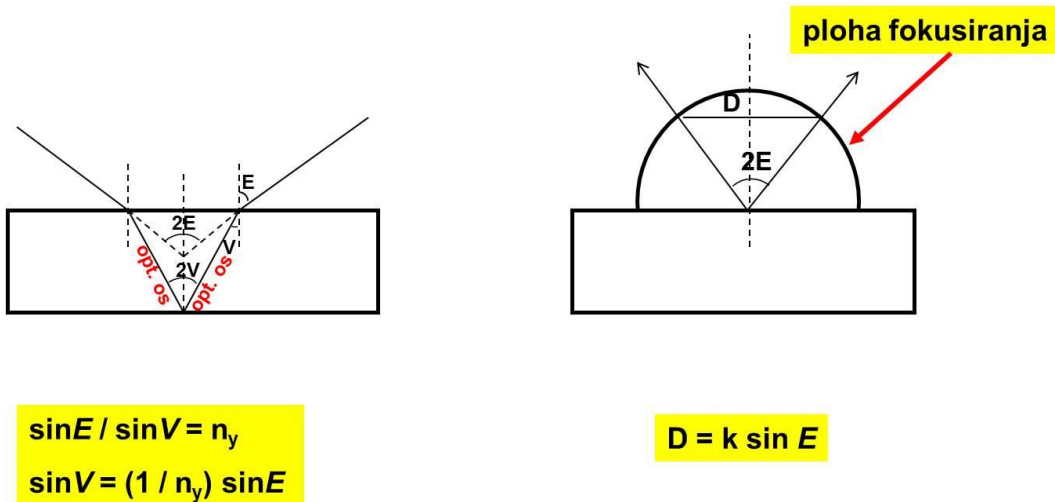


Slika 4.12. Grafičko pojašnjenje promjena u interferencijskim bojama do kojih dolazi umetanjem gipsne kompenzacijske pločice u optički pozitivnim (lijevo) i negativnim (desno) dvoosnim anizotropnim mineralima.

c) Određivanje kuta optičkih osi (2V)

Položaji izlaska optičkih osi na optičkoj figuri dvoosnih anizotropnih minerala su međusobno udaljeniji što je kut među optičkim osima veći. Mjerenjem te udaljenosti može se odrediti kut optičkih osi. Pri tome treba uočiti da je kut između optičkih osi koji opažamo promatranjem mikroskopskog preparata **privedan** zbog loma svjetlosti prilikom njezinog izlaska iz mikroskopskog preparata. Na slici 4.13. prikazana je geometrijska konstrukcija iz koje se upotrebom trigonometrijskih funkcija može izračunati kut između optičkih osi (2V), a koji je bitna odrednica svakog dvoosnog anizotropnog minerala.

Mjerenje udaljenosti između dva izlaza optičkih osi može se načiniti nakon što se izbaždari odabrani objektiv mikroskopa. Baždarenje se provodi pomoću posebnih mjernih mikroskopskih preparata na kojima je tvornički ucrtan određeni geometrijski lik (obično krug), čija je dimenzija naznačena na samom stakalcu. Također, većina polarizacijskih mikroskopa opremljena je s mjernim okularima, u kojima je na horizontalnoj niti nitnog križa naznačena mjerna skala. Promatranjem mjernog mikroskopskog preparata odabranim objektivom kroz mjerni okular, moguće je odrediti jedinicu mjeru za taj objektiv, te se nakon toga može pristupiti mjerenju udaljenosti izlaza optičkih osi na konoskopskoj figuri u svrhu određivanja kuta između njih (2V).



2V – kut optičkih osi

2E – prividni kut optičkih osi

D – mjerena udaljenost između položaja izlaska optičkih osi

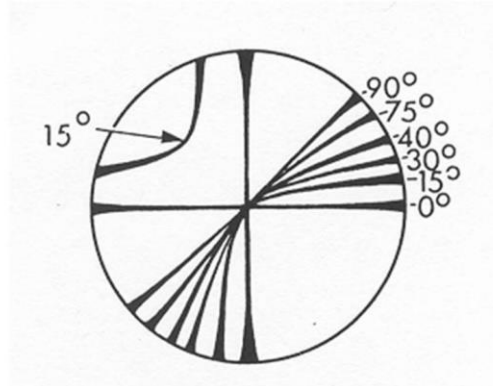
k - konstanta

Slika 4.13. Geometrijska konstrukcija kuta optičkih osi u mineralnom presjeku uz upotrebu trigonometrijskih funkcija za njihov izračun iz mjerenja udaljenosti između točaka njihovih izlazaka na konoskopskoj figuri optički dvoosnih anizotropnih minerala. Pri tome je bitno uzeti u obzir da kut koji opažamo promatranjem pomoću mikroskopa je prividan (2E), i to zbog loma svjetlosti prilikom izlaska iz mikroskopskog preparata, što je potrebno uzeti u obzir prilikom izračuna stvarnog kuta optičkih osi (2V).

Kut optičkih osi moguće je također odrediti približno, i to usporedbom s dijagramom prikazanim na slici 4.14. Osnova za takvo približno određivanje kuta između optičkih osi jest procjena zakrivljenost hiperbole na konoskopskoj figuri. Naime, što je manja zakrivljenost hiperbole, veći je kut optičkih osi. Za takvu procjenu kuta optičkih osi najpogodniji su presjeci dvoosnih anizotropnih minerala okomiti na optičku os.

**Procjena kuta optičkih osi u presjeku okomitom na optičku os
(prema zakrivljenosti hiperbole)**

preuzeto iz: C. Klein & C. S. Hurlbut (1985): Manual of Mineralogy, 20th ed., Wiley & Sons, New York



Slika 4.14. Procjena kuta optičkih osi (2V) u presjecima okomitim na optičku os na osnovi zakrivljenosti hiperbole.

5. OPTIČKA SVOJSTVA IZOTROPNIH MINERALA

5.1. GRANATI

Granati su nezosilikati koji kristaliziraju u kubičnom sustavu ($4/m \bar{3} 2/m$). Česte kristalne forme kod granta su kombinacija rompskog dodekaedra i deltoidskog ikositetraedra. Nemaju kalavost, a boja im varira ovisno o sastavu (najčešće crveni, mogu biti i bijeli, smeđi, zeleni).

Njihov sastav može se prikazati općom formulom $A_3B_2(SiO_4)_3$, gdje su

A = Ca, Mg, Fe^{2+} , Mn

B = Al, Fe^{3+} , Cr

Tradicionalno se razlikuju dvije grupe granata s tipičnim predstavnicima tih grupa:

a) Aluminijski granati (*piralspiti*)

pirop $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$

almandin $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$

spesartin $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

b) Kalcijski granati (*ugranditi*)

uvarovit $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$

grossular $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$

andradit $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$

Mikroskopska svojstva (slike 5.1. i 5.2.):

a) Oblik presjeka: šesterostrani ili osmerostrani presjeci (idiomorfna zrna), kružni presjeci (alotriomorfna zrna), mogu sadržavati uklopke drugih minerala.

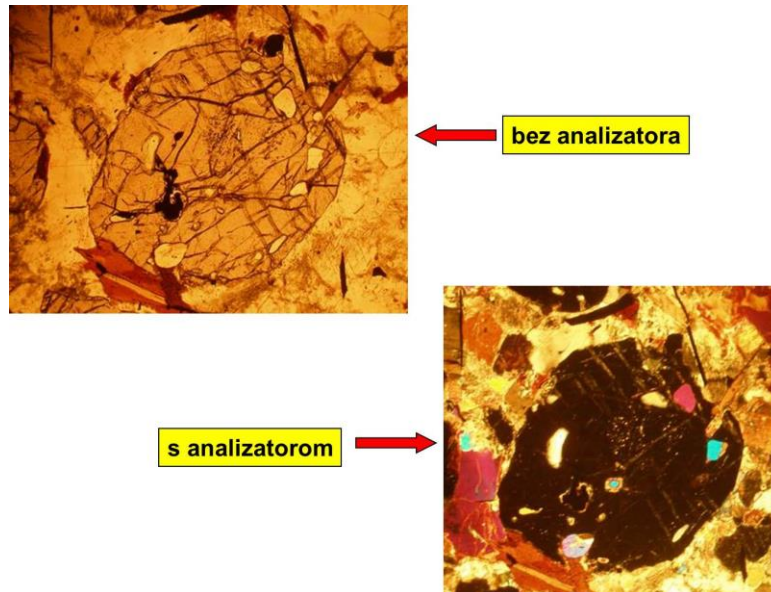
b) Nema kalavost, često se opažaju nepravilne pukotine.

c) Izrazitog reljefa, šagrinirane površine.

$$n = 1,74 - 1,90$$

d) Bezbojni, slabo ružičasti, zelenkasti ili smeđasti.

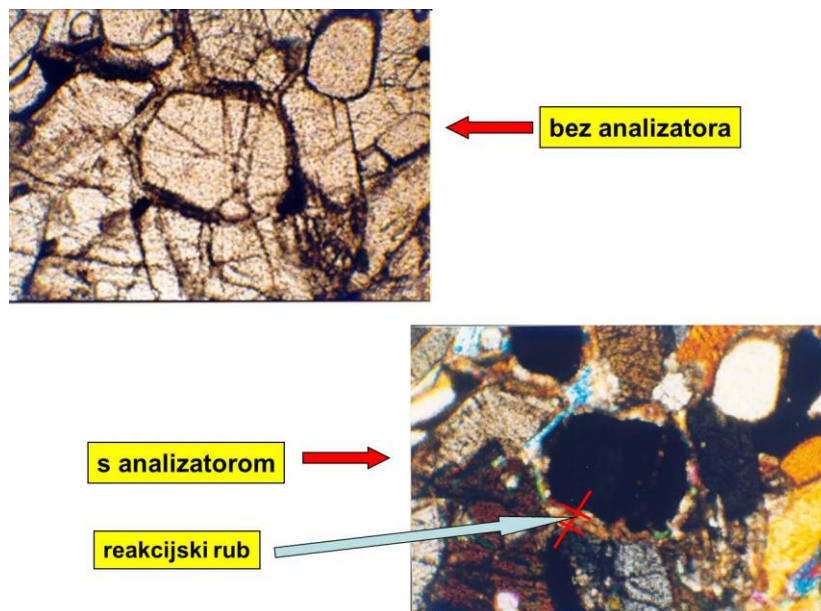
e) S uključenim analizatorom uvijek tamni.



Slika 5.1. Karakterističan hipidiomorfan presjek granata. Na slici s uključenim analizatorom uočavaju se uklopici.

Izmjene:

- a) Općenito su granati dosta rezistentni.
- b) U uvjetima retrogradne metamorfoze mogu prijeći u klorit.
- c) KELIFITSKI OVOJ – sačinjavaju ga produkti izmjene (listićavi ili vlaknasti agregati biotita, amfibola, piroksena i feldspata)(slika 5.2.).



Slika 5.2. Šagrinirana površina presjeka granata (gore) i zрно granata promatrano s uključenim analizatorom (dolje), gdje se uz donji rub zrna jasno uočava reakcijski rub kao posljedica izmjena.

Pojavljivanje:

- U metamornim stijenama (tinjčev škriljavac, gnajs, eklogit),
- Akcesorni mineral u magmatskim stijenama (uglavnom intruzivnim),
- U pijescima.

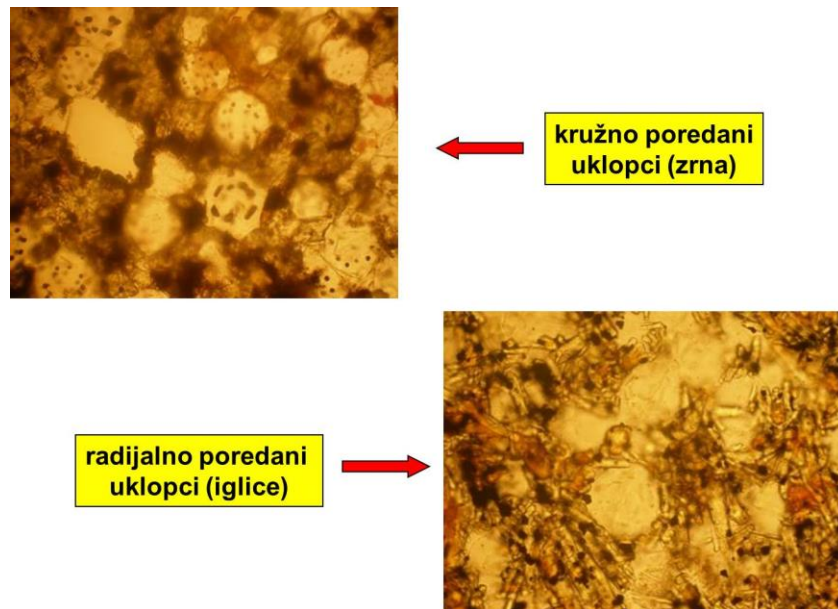
5.2. LEUCIT



Leucit je tektosilikat koji kristalizira u kubičnom sustavu ($4/m \bar{3} 2/m$). Od kristalnih formi najčešći je deltoidski ikositetraedar. Pokazuje slabu kalavost po $\{110\}$. Bijele do sive je boje.

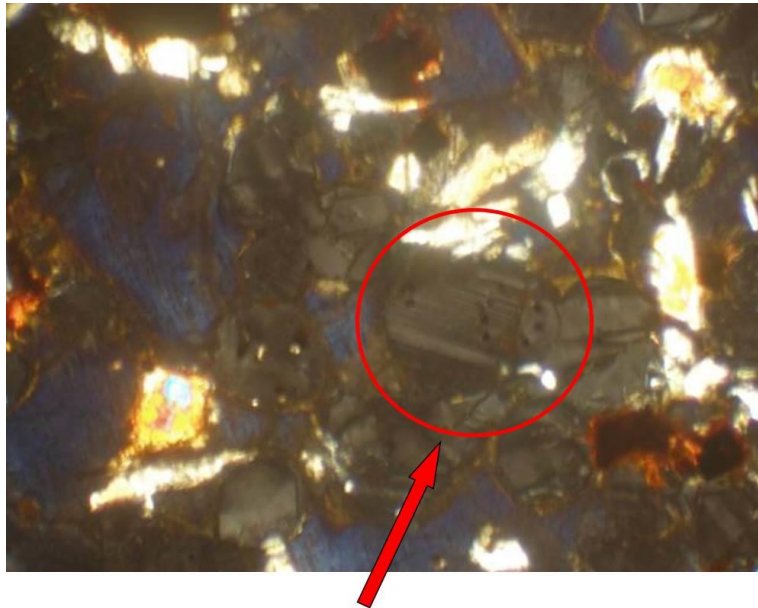
Mikroskopska svojstva (slika 5.3.):

- Oblici presjeka: osmerostrani ili okrugli presjeci.
- Često se vide pravilno raspoređeni uklopci stakla, magnetita ili zelenog piroksena. Raspored uklopaka može biti: zonaran (paralelan s kristalnim ploham) ili radijalan.
- Ima negativan reljef ($n = 1,51$)
- Bezbojan.



Slika 5.3. Idiomorfni do hipidiomorfni presjeci leucita u bazaltu (promatrano bez analizatora).

- Leucit je dimorfan mineral:
Mali kristali su izotropni (kubični) te su u svim presjecima tamni s uključenim analizatorom. Veliki kristali su anizotropni: vide se polisintetske sraslačke lamele koje interferiraju u svojoj boji 1. reda (slika 5.4.).
Sraslačke lamele su poredane tako da čine zrno s višom simetrijom (kubičnom).



polisintetske sraslačke lamele

Slika 5.4. Pojava polisintetskih sraslačkih lamela kod leucita.

Izmjene:

- a) Leucit se izmjenjuje u agregat ortoklasa i sericita, ortoklasa i nefelina, ili albita i sericita, pri čemu forma leucita ostaje sačuvana (pseudoleucit).
- b) Metasomatozom prelazi u analcim.

Pojavljivanje:

Leucit je vezan za alkalijske neutralne i bazične efuzive.

6. OPTIČKA SVOJSTVA ANIZOTROPNIH JEDNOOSNIH MINERALA

6.1. KVARC

SiO₂

U prirodi se nalaze brojne polimorfne modifikacije SiO₂, a kvarc se pojavljuje kao α-kvarc (kristalni razred 32, niskotemperaturni – kristalizira ispod 573°C) i kao β-kvarc (kristalni razred 622, visokotemperaturni – kristalizira iznad 573°C). Ovdje će biti opisana svojstva α-kvarca.

Kvarc je vrlo rašireni mineral, a pojavljuje se u obliku kristala različitih kombinacija kristalnih formi, dok u brojnim stijenama dolazi u obliku nepravilnih zrna. Nema kalavost i ljušturastog je loma. Kada je čist, bezbojan je i proziran. Kvarc je vrlo rezistentan mineral.

Mikroskopska svojstva (slika 6.1.):

a) Oblik presjeka: najčešća su alotriomorfna zrna.

Rijetko se opažaju idiomorfni utrusci u nekim efuzivima (npr. riolitima, dacitima).

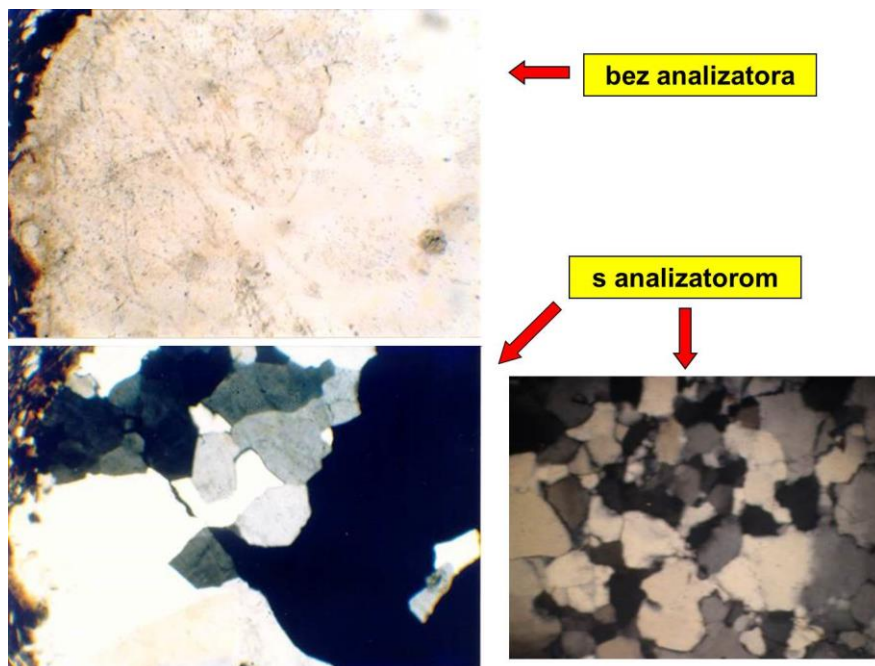
U intruzivima ispunjava šupljine među ostalim mineralima (kristalizira posljednji).

U sedimentima je zaobljen zbog abrazije.

U metamornim stijenama pokazuje različite oblike (pflaster, nazubljena, šivana struktura).

b) Ima nizak reljef ($n_o = 1,544$, $n_e = 1,553$).

c) Bezbojan.



Slika 6.1. Zrna kvarca u mikroskopskom preparatu.

- d) S uključenim analizatorom četiri puta potamni.
Ako su razvijene plohe prizme, vidi se paralelno potamnjenje, dok se simetrijsko potamnjenje vidi ako su razvijene plohe dipiramide (rijetko).
U presjeku okomitom na optičku os stalno je taman.
- e) Nizak dvolom, $(n_o - n_e) = 0,009$.
Interferencijske boje: bijela i siva boja prvog reda; u debljim preparatima te presjecima paralelno s optičkom osi (presjeci maksimalnog dvoloma) interferencijska boja je žuta.
- f) Optički pozitivan.

Izmjene:

Rezistentan mineral, pa su izmjene vrlo rijetke.

Pojavljivanje:

- a) U kiselim intruzivnim i efuzivnim stijenama.
b) U sedimentima (pjesci, pješčenjaci).
c) U metamorfnim stijenama (gnajs, filit, kvarcit).
d) Lijepo razvijeni kristali su hidrotermalnog i pneumatolitskog porijekla.
e) Ne dolazi u stijenama s feldspatoidima.

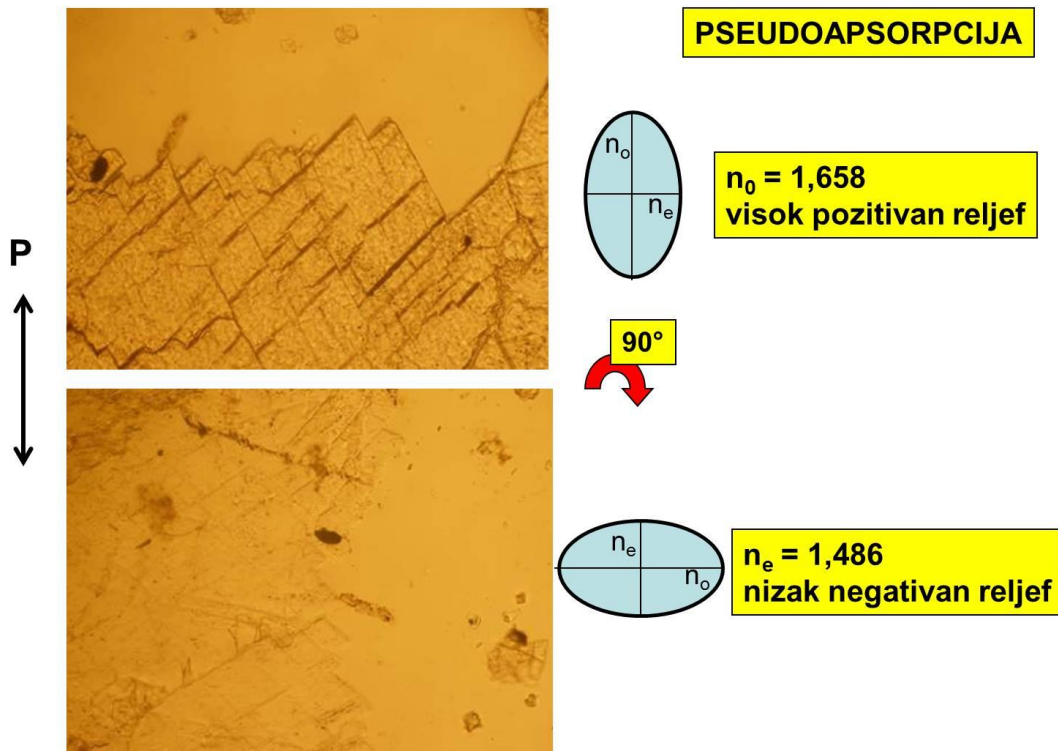
6.2. KALCIT

CaCO_3

Kalcit je vrlo čest mineral iz razreda karbonata. Kristalizira heksagonski (kristalni razred $\bar{3}2/m$), a pojavljuje se velikom broju kombinacija kristalnih formi i habitusa. U stijenama se pojavljuje u obliku nepravilnih zrna. Ima savršenu kalavost po jediničnom romboedru $\{10\bar{1}1\}$. Najčešće je bezbojan

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka: najčešće nepravilna zrna.
b) Jasno izražene pukotine kalavosti, obično po dva sustava kalavosti (figura romba).
Ponekad se vidi i treći sustav kalavosti.
U finozrnatom agregatu kalcita (npr. vapnenci) pukotine kalavosti se ne vide.
c) Reljef: umjereno visok do nizak.
Često se opaža pseudoapsorpcija (najjača u presjeku $||s c$) (slika 6.2.).
 $n_o=1,658$ $n_e=1,486$
d) Bezbojan.



Slika 6.2. Pojava pseudoapsorpcije kod kalcita.

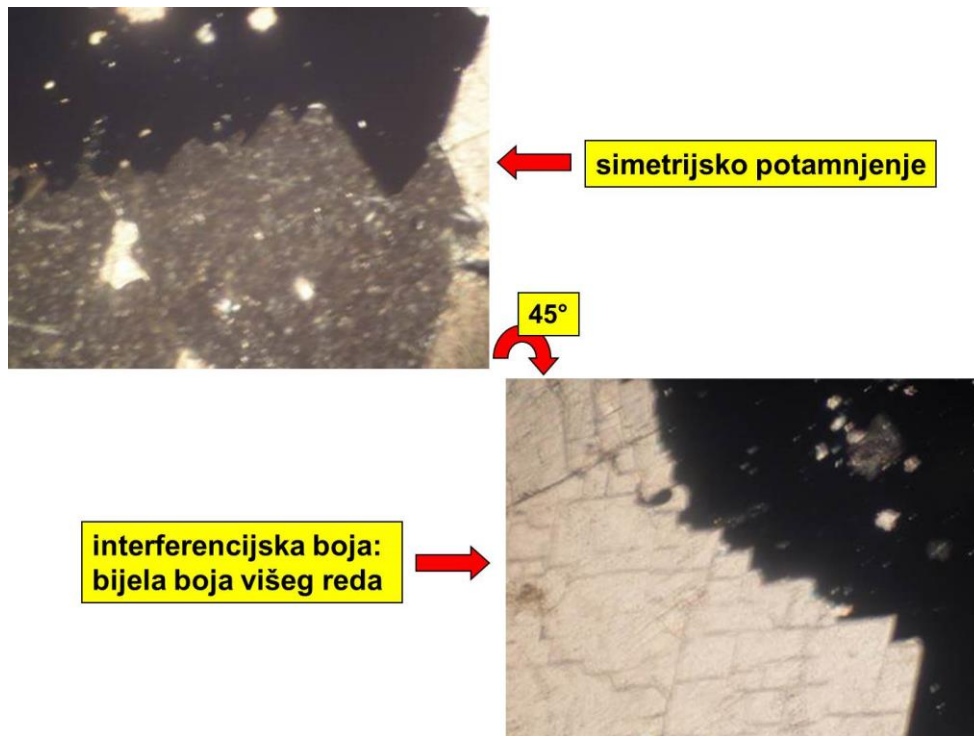
- e) Potamni simetrijski prema sustavima pukotina kalavosti (slika 6.3.).
- f) Iznimno visok dvolom, $(n_o - n_e) = 0,172$
Interferira u bijeloj boji višeg reda (slika 6.3.).
- g) Optički negativan.
- h) S uključenim analizatorom često se opažaju polisintetske lamele po $(01 \bar{1} 2)$ (slika 6.4.)
Sraslačke lamele nalaze se paralelno s duljom dijagonalom romba kojeg čine dva sustava kalavosti.
Često su jako tanke, pa interferiraju u bojama 1. reda.

Izmjene:

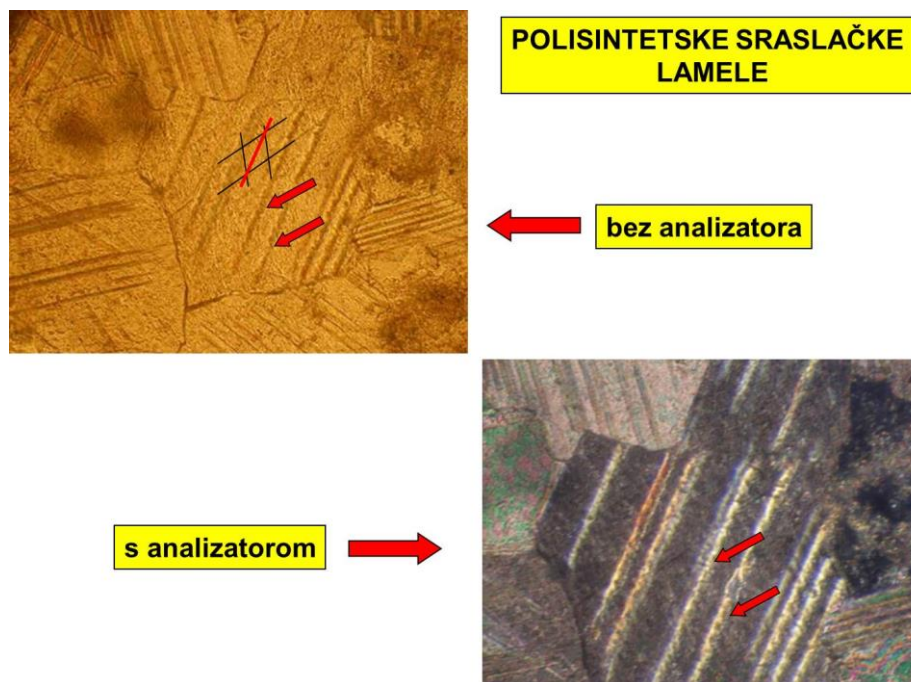
Kalcit je relativno lako topljiv, no ne pokazuje izmjene u druge minerale.

Pojavljivanje:

- a) U sedimentnim stijenama (vapnenci).
- b) U metamorfnim stijenama (mramori).
- c) U eruptivnim stijenama je sekundaran – nastaje izmjenom kalcijem bogatih silikata.
- d) Može biti i hidrotermalnog postanka.

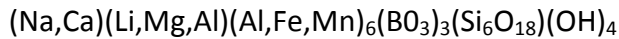


Slika 6.3. Simetrijsko potamnjenje kod kalcita (gore) i bijela interferencijska boja višeg reda (dolje).



Slika 6.4. Pojava polisintetskih sraslačkih lamela kod kalcita.

6.3.TURMALIN



Turmalin je ciklosilikat koji kristalizira u heksagonskom sustavu (kristalni razred 3m). Najčešće je prizmatskog habitusa (plohe prizme prutane \parallel s c). Nema kalavost. Boja mu ovisi o kemijskom sastavu, pa tako može biti bezbojan, žut, crven, zelen, plav ili crn.

Mikrosopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Uzdužni presjeci (\parallel s c): prizmatski presjeci, često je izražena hemimorfija.

Poprečni presjeci (\perp na c): trigonske i ditrigonske konture.

b) Nema kalavost, ali se često vide poprečne pukotine.

c) Može biti različito obojen.

Pokazuje **pleokroizam** (slika 6.5.):

Svjetlija boja opaža se kada izduženje (prizmatski presjeci) ide paralelno s titrajnom ravninom polarizatora (smjer ekstraordinarne zrake).

Tamnija boja se opaža kada je smjer izduženja presjeka okomit na titrajnu ravninu polarizatora (smjer ordinarne zrake).

d) Ima umjereno visok pozitivan reljef (indeksi loma ovise o kemijskom sastavu).

$$n_e = 1,62-1,65$$

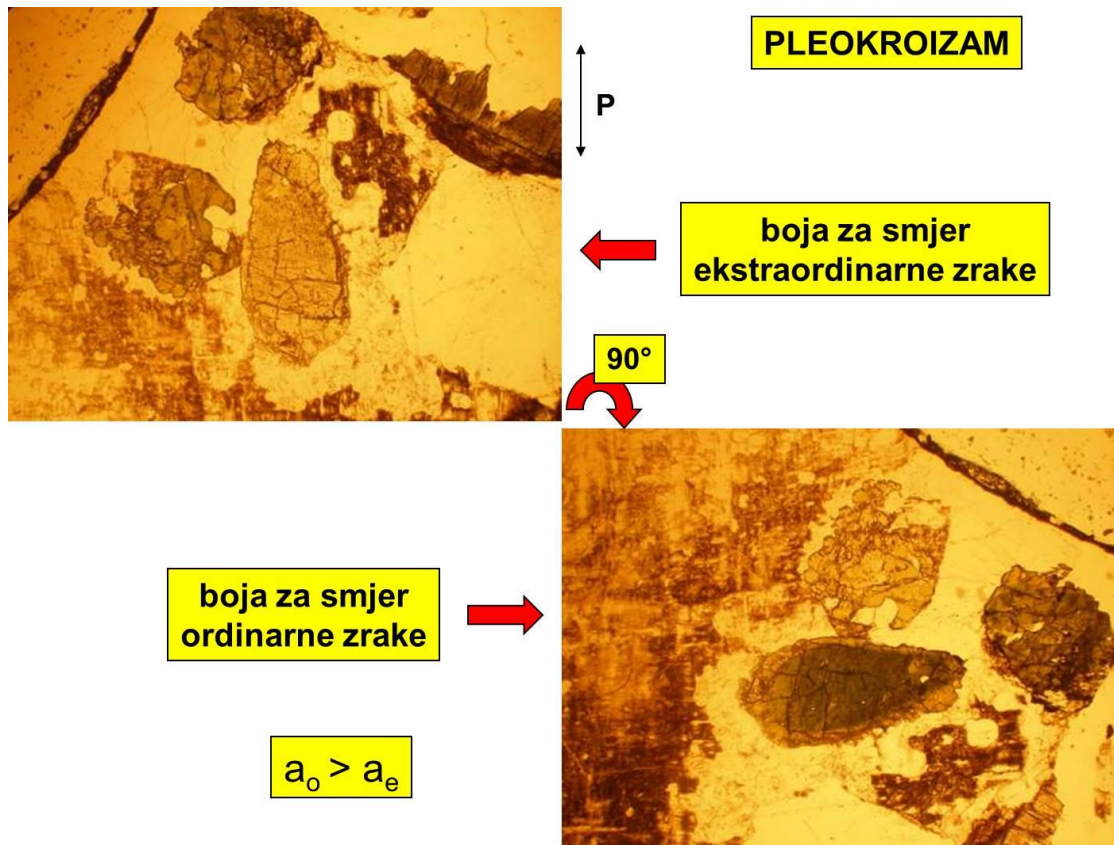
$$n_o = 1,65-1,69$$

e) Potamni paralelno s izduženjem (slika 6.6.).

f) Interferira u živim bojama 2. reda (slika 6.6.), no interferencijske boje su često prekrivene vlastitom bojom, $(n_o - n_e) = 0,018-0,045$

g) Optički je negativan.

h) Karakter zone izduženja je negativan.



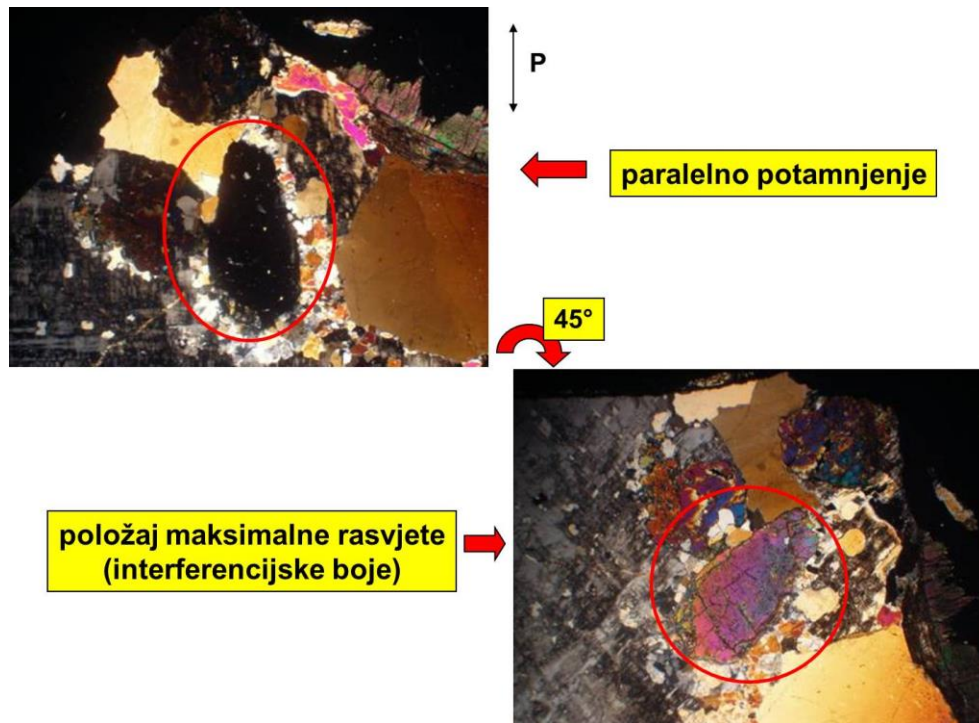
Slika 6.5. Primjer pleokroizma kod turmalina. Boja koja se javlja kao posljedica veće apsorpcije opaža se kada izduženje presjeka ide smjerom okomitom na titrajnu ravninu polarizatora.

Izmjene:

Turmalin je vrlo stabilan mineral; rijetke su izmjene u muskovit, biotit ili klorit.

Pojavljivanje:

- a) Pneumatolitski mineral.
- b) Vezan za pegmatite i granite.
- c) Dolazi i u metamorfnim stijenama (hornfels, gnajs, tinjčev škrljavec, filit).
- d) Pojavljuje se i u nekim sedimentnim stijenama (šejl).



Slika 6.6. Paralelno potamnjenje sa smjerom izduženja turmalina (gore) te interferencijske boje turmalina u položaju maksimalne rasvjete.

7. OPTIČKA SVOJSTVA ANIZOTROPNIH DVOOSNIH MINERALA

7.1. OLIVINI I SERPENTINI

7.1.1. OLIVINI

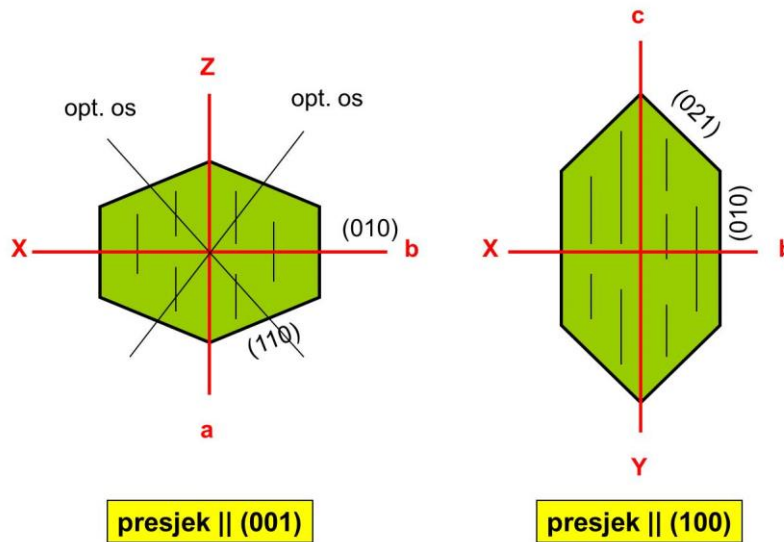
Olivini su nezosilikati koji kristaliziraju u rompskom sustavu (kristalni razred $2/m\ 2/m\ 2/m$). Njihovi kristali su obično prizmatsko kratkostupičasti, a iako postoji kalavost po $\{010\}$, ona se makroskopski rijetko primjećuje. U stijenama najčešće dolaze u obliku zaobljenih alotriomornih zrna. Boje su zelene, žutozelene ili tamnozelenene, već ovisno o količini željeza u promatranom olivinu. Njihov sastav može se prikazati kao čvrsta otopina između dva krajnja člana: Fe_2SiO_4 (fajalit) i Mg_2SiO_4 (forsterit).

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka: idiomorfni kristali su rijetki (dolaze kao fenokristali u bazaltima)(slike 7.1.1. i 7.1.2.), te su to šesterostrani presjeci, često korodirani.

Najčešće se pojavljuju alotriomorfna zrna olivina, osobito u intruzivima (slika 7.1.3.).

b) Kalavost po $\{010\}$ rijetko je izražena.



Slika 7.1.1. Shematski prikaz idiomornih presjeka olivina.

c) U mikroskopskom preparatu olivini su bezbojni, rijetko zelenkasti.

d) Visoki reljef, šagrinirana površina. Indeksi loma rastu s povećanjem udjela Fe-komponente.

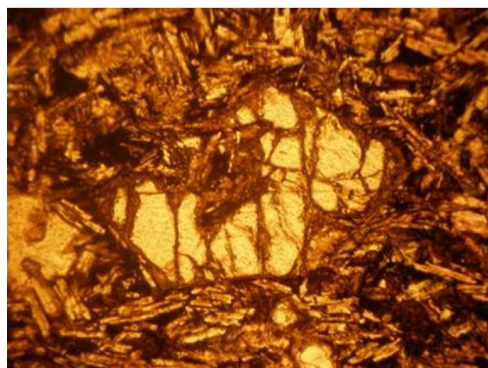
$$n_x = 1,651 - 1,681$$

$$n_y = 1,670 - 1,706$$

$$n_z = 1,689 - 1,718$$

e) Potamni paralelno s pukotinama kalavosti.

- f) Interferira u živim bojama 2. reda .
Maksimalni dvolom ($n_z - n_x$) = 0,037-0,041
- g) Ravnina optičkih osi paralelna je s (001).
Kut optičkih osi je velik (oko 90°).
- h) Orijentacija indikatriše: X = b, Y = c, Z = a.
- i) Olivini s manje Fe optički su pozitivni.
Olivini s više Fe optički su negativni.
- j) Optički karakter izduženja također ovisi o kemijskom sastavu.

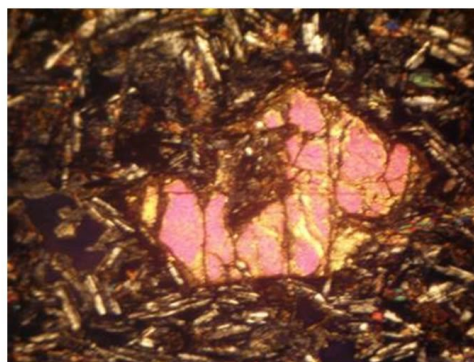


OLIVIN – korodirani idiomorfni fenokristal u bazaltu



bez analizatora

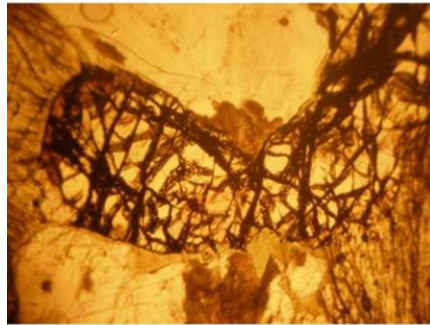
s analizatorom



Slika 7.1.2. Gotovo idiomorfni presjek olivina u bazaltu

Izmjene:

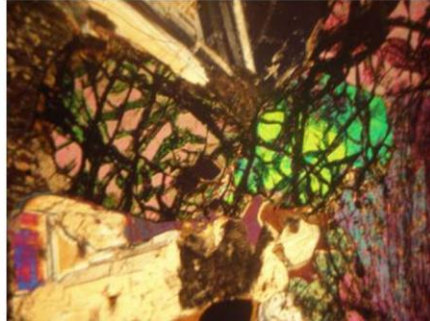
- a) Olivin se vrlo često izmjenjuje u **serpentin**, procesom koji se naziva **serpentinizacija**.
Proces izmjene započinje od ruba zrna i pukotina.
Pri tome nastaje vlaknasti agregat serpentina (krizotil), gdje su vlakna poredana okomito na pukotine te tvore tzv. mrežastu strukturu (slika 7.1.4.). Za ovakvu izmjenu bitni su **hidrotermalni uvjeti**.
Može nastati i listićavi agregat serpentina (antigorit), pri čemu se lamele antigorita sijeku pod $\sim 60^\circ$. Za postanak ovakvog agregata serpentina bitan je usmjereni tlak.
Serpentin se lako razlikuje od olivina, budući da je niskog reljefa te interferira u sivoj boji 1. reda.



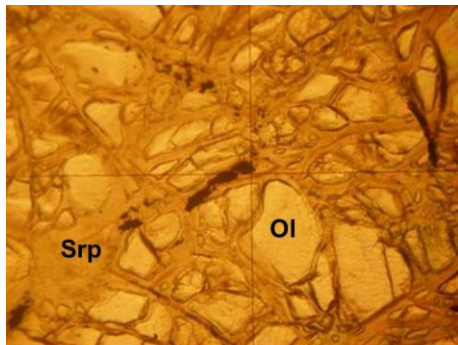
OLIVIN –zrna olivina u gabru

← **bez analizatora**

s analizatorom →



Slika 7.1.3. Zrna olivina u gabru.

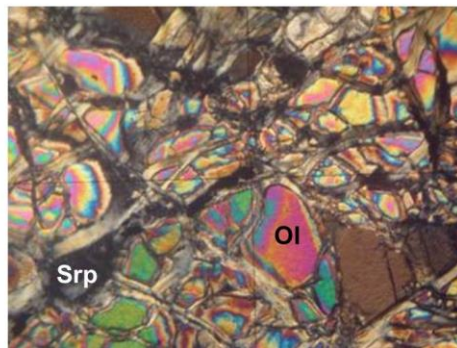


SERPENTINIZACIJA

← **bez analizatora**

s analizatorom →

Ol = olivin
Srp = serpentin



Slika 7.1.4. Izmjena olivina u serpentin obilježena je pojavom tzv. mrežaste strukture – preostala zrna olivina nalaze se u „mreži“ serpentina.

b) Izmjena u **iddingsit** (submikroskopski agregat goetita, klorita itd.), koji se pojavljuje kao pseudomorfoza po olivinu u visoko hidrotermalnim uvjetima (< 400°C), gdje dolazi do oksidacije Fe^{2+} u Fe^{3+} . To se opaža kao žutosmeđe do smeđecrveno obojenje uz rub zrna i pukotine kalavosti.

Ova izmjena isključivo je vezana za olivine u efuzivnim stijenama.

c) **Kelifitski ovoj** se javlja kao reakcijski rub između olivina i bazičnog plagioklasa.

Sastoji se od amfibola, piroksena, spinela i granata.

d) Poznate su još izmjene olivina u piroksene, biotit ili talk.

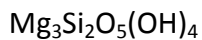
Pojavljivanje:

a) U bazičnim i ultrabazičnim stijenama (bazalt, gabro, peridotit, dunit, troktolit).

b) U serpentinitima.

c) U mramorima.

7.1.2. SERPENTINI



Serpentini su filosilikati, a poznata su tri polimorfa: antigorit, lizardit i krizotil (igličast, vlaknast). Serpentini kristaliziraju monoklinski, no poznati su i rompski polimorfi antigorita i krizotila. Dobra kalavost po {001} opaža se kod antigorita. Boja serpentina varira od sive, sivožučkaste do zelene i tamnozelene.

Mikroskopska svojstva:

Antigorit

a) Oblik presjeka: listićav.

b) Bezbojan do zelenkast (pleokroizam ako se opaža je slab).

c) Nizak reljef.

$$n_x = 1,555 - 1,564$$

$$n_y = 1,562 - 1,573$$

$$n_z = 1,562 - 1,573$$

d) Potamni paralelno.

e) Mali dvolom ($n_x - n_z$) = 0,007-0,009

Interferira u sivoj boji 1. reda.

f) Ravnina optičkih osi paralelna s (100).

g) Kut optičkih osi obično malen.

h) Optički negativan.

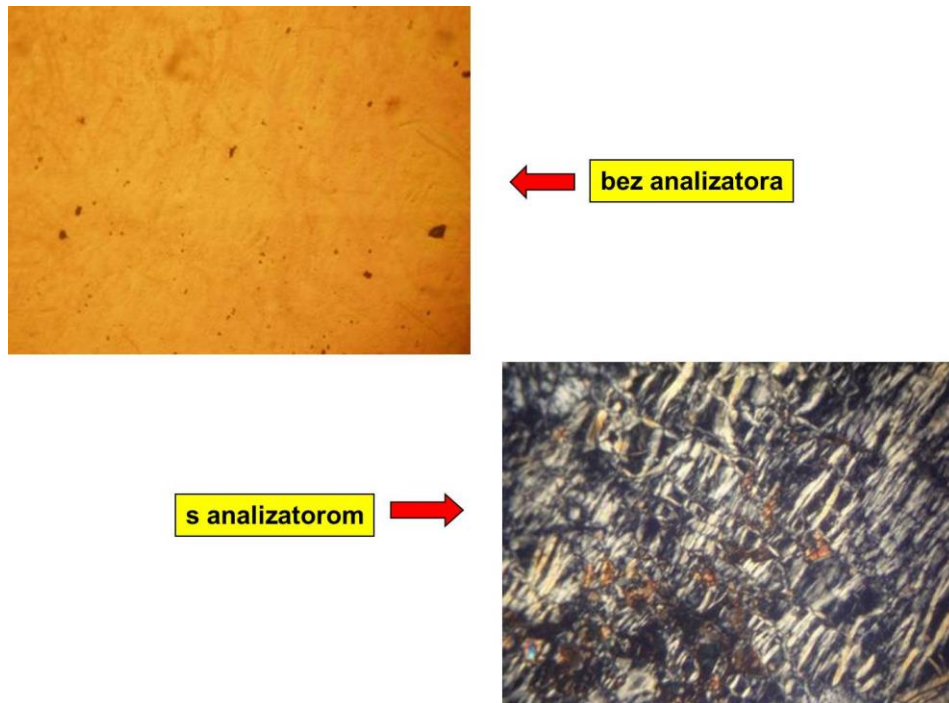
i) Optički karakter izduženja paralelno s pukotinama kalavosti je pozitivan.

Krizotil

a) Oblik presjeka: vlaknast (slika 7.1.5.).

b) Bezbojan, rijetko slabo zelen, ne opaža se pleokroizam.

- c) Nizak reljef (pozitivan i negativan).
 $n_x = 1,493 - 1,546$
 $n_y = 1,505 - 1,550$
 $n_z = 1,517 - 1,557$
- d) Potamni paralelno.
- e) Mali dvolom ($n_x - n_z$) = 0,011-0,014
 Interferira u sivoj boji 1. reda.
- f) Ravnina optičkih osi je paralelna s (010).
- g) Kut optičkih osi obično je malen ($2V=0-50^\circ$).
- h) Optički karakter i karakter izduženja su pozitivni.



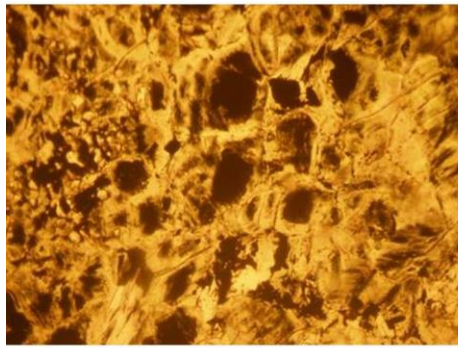
Slika 7.1.5. Igllice serpentina – krizotila često puta dolaze paralelno do subparalelno položene u međusobno usporednim paketima.

Izmjene:

Antigorit može prijeći u talk.

Pojavljivanje:

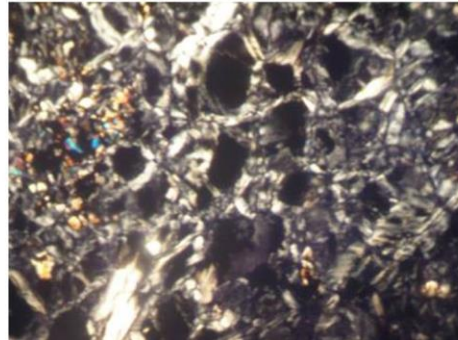
- a) U olivinom bogatim stijenama.
- b) U serpentinitu (nastaje izmjenom olivina, amfibola i piroksena).
- c) Dolazi u asocijaciji s magnetitom i kromitom (slika 7.1.6.).



SERPENTIN često prate opaki minerali:
magnetit i kromit

← bez analizatora

s analizatorom →



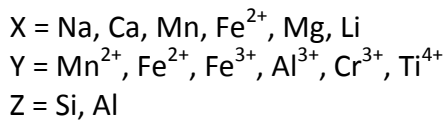
Slika 7.1.6. Uz serpentin često dolazi i kromit, kojeg se lako uočava kao stalno tamna (opaka) zrna i bez uključenog analizatora.

7.2. PIROKSENI

Pirokseni su inosilikati koji kristaliziraju ili u rompskom (kristalni razred $2/m\ 2/m\ 2/m$) ili monoklinskom sustavu (kristalni razred $2/m$). U prvom slučaju govori se o ortopiroksenima, a u drugom o klinopiroksenima. Obično se radi o kratkostupičastim kristalima prizmatskog, rjeđe pinakoidskog habitusa. Imaju vrlo dobru prizmatsku kalavost po $\{110\}$, gdje se sustavi kalavosti sijeku pod 93° , odnosno 87° (karakterističan kut). Česti su sraslaci sa sraslačkom osi okomitom na (100), što je ujedno i sraslački šav. Obično su tamnozeleni.

Sastav piroksena može se zorno prikazati u trokomponentnom dijagramu (slika 7.2.1.) s enstatitom, ortoferosilitom i wollastonitom kao krajnjim članovima.

Opća formula piroksena je XYZ_2O_6 , gdje je

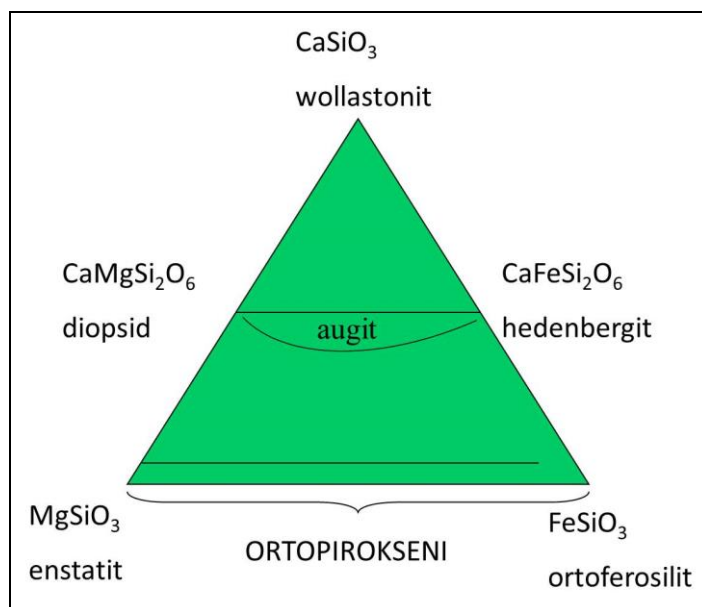


Neki od češćih piroksena su:

- a) **Rompski pirokseni**
 - enstatit MgSiO_3
 - hipersten $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$
- b) **Monoklinski pirokseni**
 - diopsid $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
 - hedenbergit $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
 - augit $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$

Alkalijski pirokseni:

- jadeit $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$
- aegirin $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$
- spodumen $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$



Slika 7.2.1. Pojednostavljeni trokomponentni dijagram kojim se može prikazati sastav piroksena.

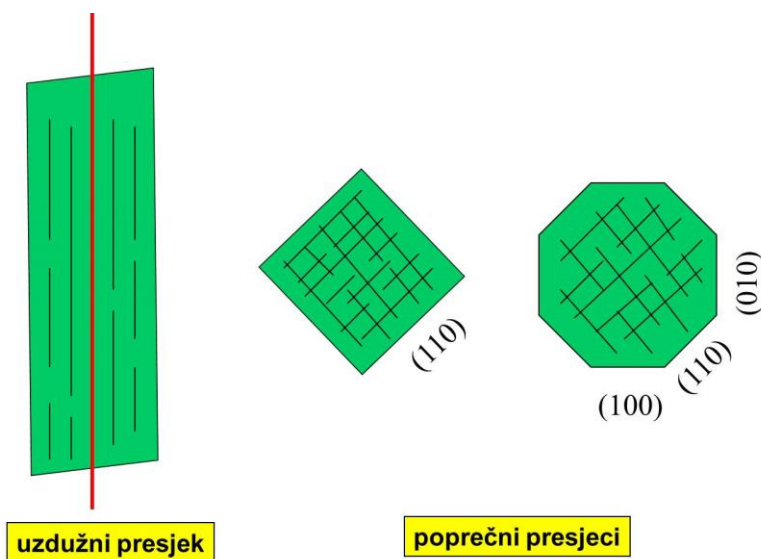
Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka: u preparatima razlikujemo **uzdužne** i **poprečne** presjeke piroksena (slika 7.2.2. i 7.2.3.).

Uzdužni presjeci su pravokutnog oblika, gdje se vidi samo jedan sustav kalavosti, a koji je paralelan s kristalografskom osi *c*.

Poprečni presjeci su kvadrati ili osmerokuti (vide se dva sustava kalavosti!).

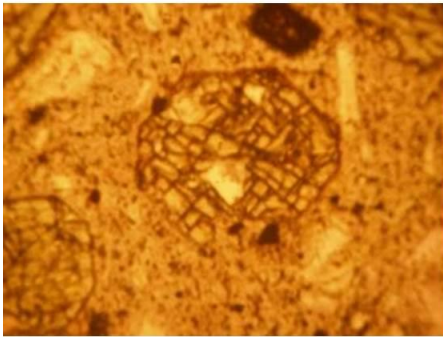
b) Imaju visok reljef (visoki indeksi loma).



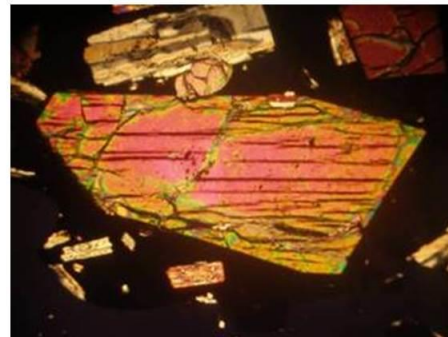
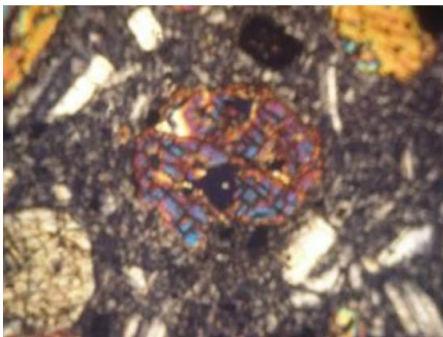
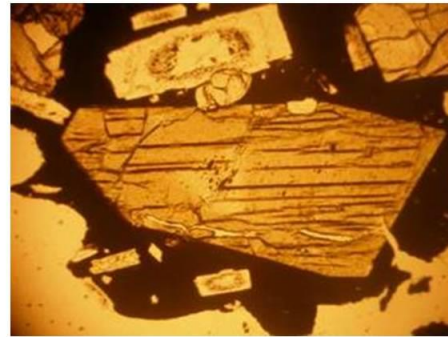
Slika 7.2.2. Shematski prikaz tipičnih idiomornih presjeka piroksena.

- c) U mikroskopskom preparatu pirokseni su obično bezbojni. Hipersten i augit mogu biti slabo obojeni, te pokazivati slabi pleokroizam (natrijski pirokseni imaju jači pleokroizam).
- d) Dvolom je različit za različite piroksene. Najpoznatiji klinopirokseni interferiraju u živim bojama drugog reda, dok ortopirokseni u sivoj do žutoj boji 1. reda.

poprečni presjek

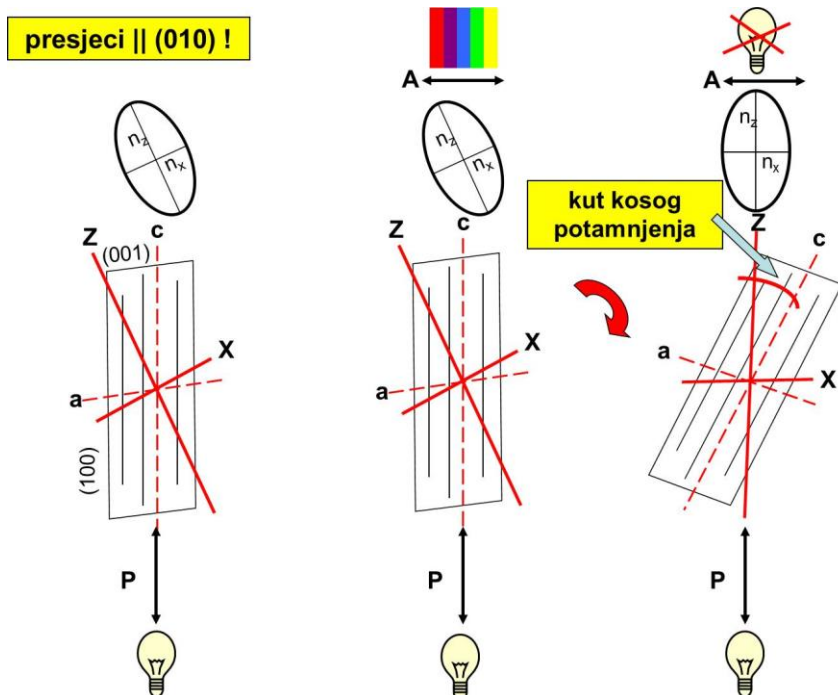


uzdužni presjek



Slika 7.2.3. Karakteristični presjeci piroksena.

- e) Većina piroksena je optički pozitivna.
- f) Kut optički osi je velik, obično oko 60° .
- g) Rompski pirokseni u uzdužnom presjeku potamne paralelno. Monoklinski pirokseni potamne pod različitim kutom u odnosu na pukotine kalavosti u uzdužnim presjecima. Kut maksimalnog kosog potamnjenja je karakterističan, a mjeri se u presjeku paralelnom s ravninom optičkih osi tj. presjeku paralelnom s (010) (slika 7.2.4.). U ostalim presjecima taj kut je manji.



Slika 7.2.4. Shematski prikaz odnosa glavnih titrajnih pravaca indiktrise u klinopiroksenima i s time povezana pojava kosog potamjenja.

Karakteristični kutovi kosog potamjenja za neke češće piroksene:

- augit 45-54°
- hedenbergit 48°
- diopsid 37-44°
- jadeit 30-36°
- spodumen 23-27°
- egirin 2-8°

Izmjene:

Pirokseni se najčešće izmjenjuju u amfibol (proces uralitizacija) i klorit.

Pojavljivanje:

- Magmatske stijene.
- Metamorfne stijene.

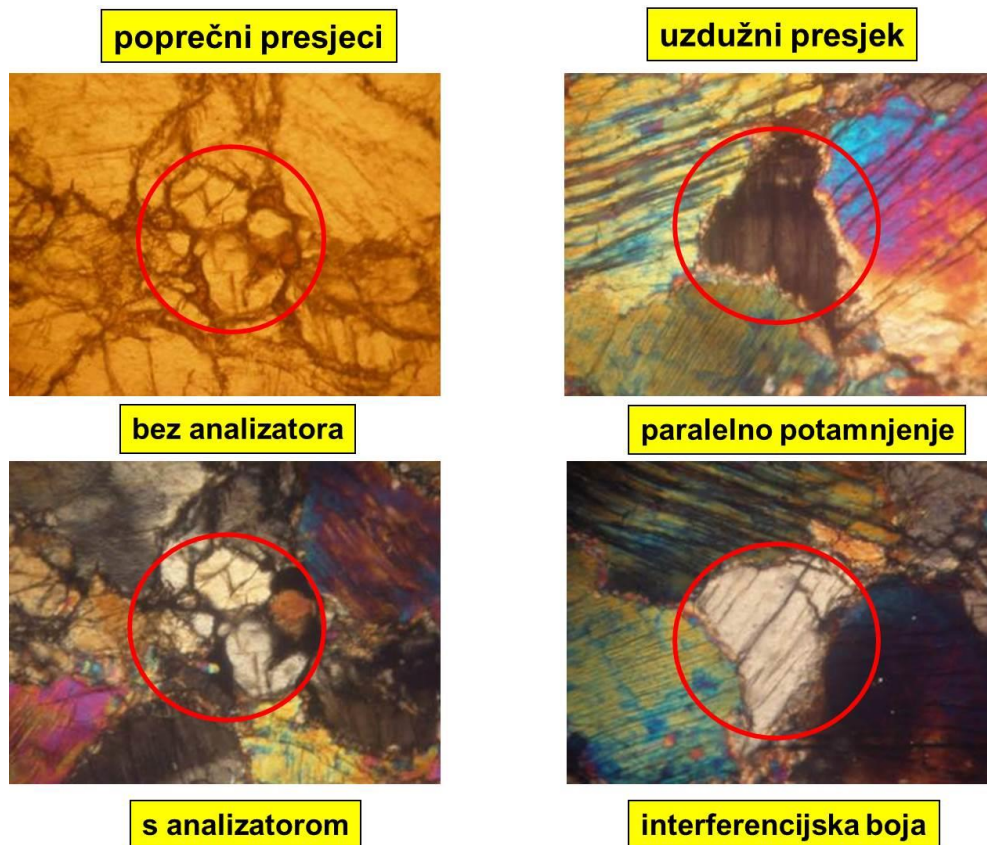
7.2.1. Rompski pirokseni (ortopirokseni)

Rompski pirokseni (kristalni razred 2/m 2/m 2/m) rijetko se pojavljuju u obliku idiomorfnih

kristala (kratkoprizmatiskog habitusa). Imaju dobru prizmatisku kalavost po {110}, ali i često lučenje po {010} ili {100}. Prema sastavu mogu se promatrati kao čvrsta otopina između $MgSiO_3$ i $FeSiO_3$ (slika 7.2.1.).

Mikroskopska svojstva (slika 7.2.5.):

- a) U mikroskopskom preparatu su bezbojni.
(Ortopirokseni s više Fe imaju slab pleokroizam u zelenkastoj i ružičastoj boji).
- b) Visok pozitivan reljef: više Fe, veći indeksi loma (1,65-1,78).
- c) Potamne paralelno s pukotinama kalavosti u uzdužnim presjecima.
- d) Dvolom raste s povećanjem udjela Fe: 0,010-0,015
Interferiraju uglavnom u sivoj boji 1. reda (s porastom Fe, javlja se žuta boja 1. reda).
- e) Kut optički osi raste s porastom Fe: $2V=57 - 90^\circ$ (ortopirokseni s više od 55% Fe-komponente optički su negativni).



Slika 7.2.5. Karakteristični presjeci ortopiroksena.

Izmjene:

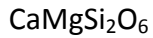
- a) U antigorit (proces bastitizacija).
- b) U amfibol ili talk.
- c) Potpunom izmjenom ortopirokseni prelaze u agregat karbonata, Fe-oksida i opala.

Pojavljivanje:

- a) Bazični eruptivi, gabro, norit, peridotit, u nekim andezitima.
- b) Hipersten dolazi u kontaktnometamorfnim stijenama.

7.2.2. Monoklinski pirokseni (klinopirokseni)

7.2.2.1. Diopsid



Diopsid kristalizira u kristalnom razredu 2/m. Kristali su mu stupićasti sa slabo razvijenim plohama prizme, te se najčešće pojavljuje kao nepravilna zrna. Kalavost je uvijek dobro razvijena. Bijelosive, žute do zelene je boje (s većim udjelom Fe).

Mikroskopska svojstva:

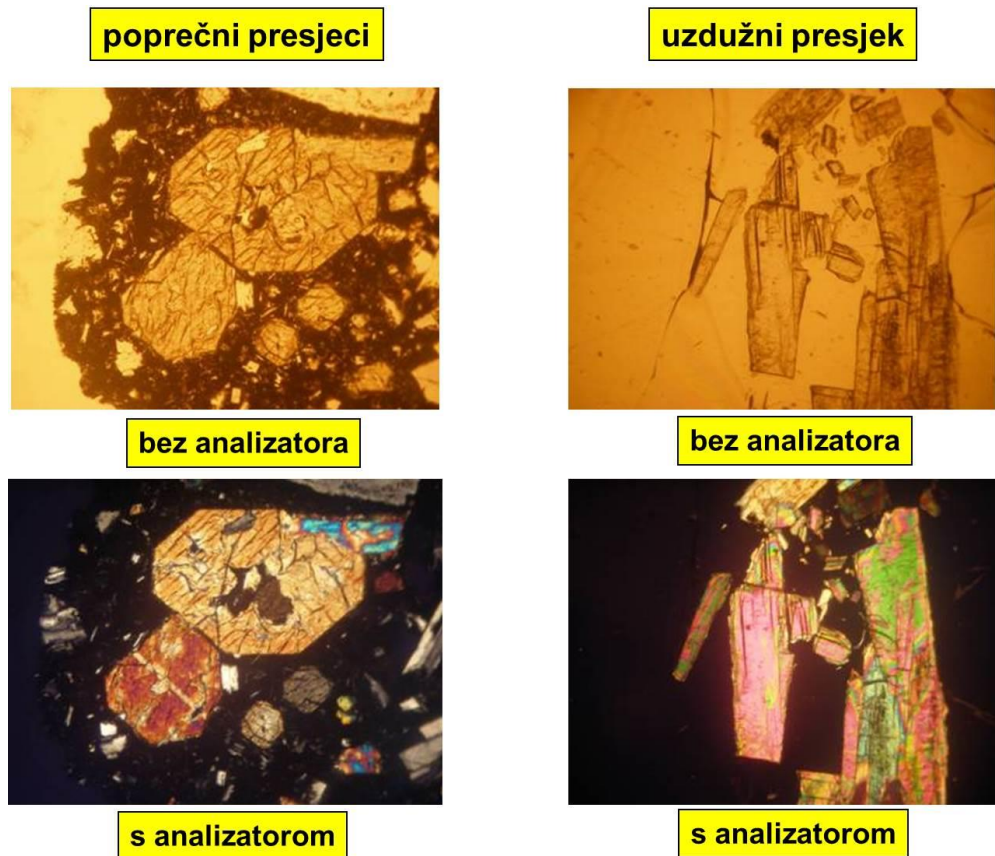
- a) Oblik presjeka (slika 7.2.6.):
 - Uzdužni presjeci su pravokutni.
 - Poprečni presjeci su kvadratičasti ili osmerokuti (slabije razvijene plohe prizme).
 - Kalavost je uvijek jasno izražena.
 - Ponekad se opažaju sraslaci: dvojci ili sraslačke lamele.
- b) Visoki pozitivan reljef.
 - $n_x = 1,650 - 1,698$
 - $n_y = 1,657 - 1,706$
 - $n_z = 1,681 - 1,727$
- c) Bezbojan, blijedozelenkast do zelen.
- d) Koso potamni: $Z : c = 37^\circ - 44^\circ$
 - Simetrijski potamni u poprečnom presjeku.
- e) Relativno velik dvolom: interferira u živim bojama 2. reda.
- f) Ravnina optički osi paralelna s (010).
- g) Optički pozitivan, $2V = 60^\circ$.

Izmjene:

- a) Diopsid se izmjenjuje u amfibol procesom koji se naziva **uralitizacija**. Izmjena započinje od ruba zrna.
- b) U klorit ili serpentin.

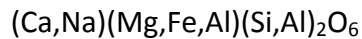
Pojavljivanje:

- a) U neutralnim i bazičnim eruptivima, gabru, dioritu.
- b) U mramorima.



Slika 7.2.6. Karakteristični presjeci diopsida.

7.2.2.2. Augit



Augit kristalizira u kristalnom razredu 2/m. Jasno se uočava dobro razvijena karakteristična kalavost. Podjednako budu razvijene plohe prizme i pinakoida, a često se opažaju sraslačke lamele po {100}.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka (slika 7.2.7.):
 Uzdužni presjeci su pravokutni.
 Poprečni presjeci su osmerokuti.
 Kalavost je uvijek jasno izražena.
 Ponekad se opažaju sraslaci (vidljive sraslačke lamele).
 Ponekad se vidi zonarna građa (u efuzivima).

b) Visok reljef.

$$n_x = 1,688 - 1,712$$

$$n_y = 1,701 - 1,717$$

$$n_z = 1,713 - 1,737$$

c) Bezbojan, zelenkast, smeđast (ponekad slabi pleokroizam u presjeku || (100))

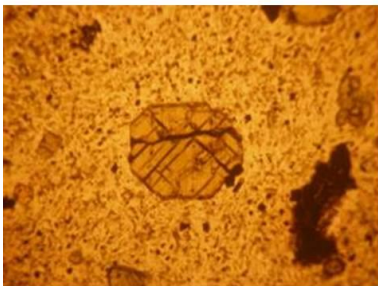
d) Kut kosog potamnjenja Z : c = 45 - 54°

e) Umjeren dvolom ($n_z - n_x$) = 0,021 - 0,025
Interferira u početnim bojama 2. reda.

f) Ravnina optičkih osi || (010).

g) Optički pozitivan, $2V = 60^\circ$.

poprečni presjek



bez analizatora

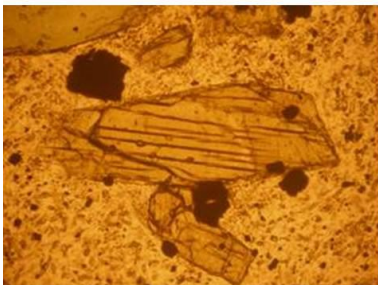


s analizatorom

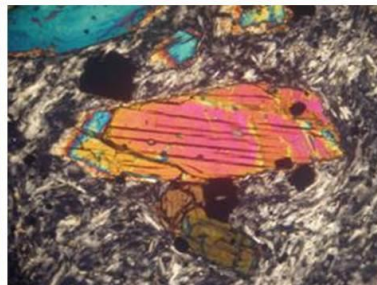


s analizatorom, sraslačke lamelle || (100)

uzdužni presjek



bez analizatora



s analizatorom



s analizatorom, zonarna građa

Slika 7.2.7. Karakteristični presjeci augita u efuzivnoj stijeni.

Izmjene:

a) U amfibol (uralitizacijom) – kasnomagmatska izmjena.

b) U klorit, pri čemu još nastaju kalcit i epidot – hidrotermalna izmjena.

Pojavljivanje:

Augit često dolazi u eruptivnim stijenama.

7.3. AMFIBOLI

Amfiboli su inosilikati koji mogu kristalizirati ili rompski (kristalni razred $2/m\ 2/m\ 2/m$) ili monoklinski ($2/m$). Obično su prizmatskog habitusa izduženi smjerom kristalografske osi c , a pokazuju još stupačasti, igličasti i vlaknasti habitus. Imaju vrlo dobru kalavost po $\{110\}$ te je kut između dva sustava kalavosti 124° , odnosno 56° . Ponekad se javljaju sraslaci po (110) . Boja amfibola može biti različita: bijela (tremolit), zelena (aktinolit), modra (glaukofan), tamnosmeđa/crna (hornblenda) i dr.

Sastav amfibola može se opisati općom formulom $W_{0-1}X_2Y_5Z_8O_{22}(OH,F)_2$, gdje je

W = Na, K

X = Ca, Na, Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg, Li

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

Z = Si, Al

Neki od poznatijih amfibola navedeni su u tablici 7.1.

Tablica 7.1. Neki poznatiji amfiboli s prikazom dominantnog kationa na pripadajućem položaju u kristalnoj strukturi..

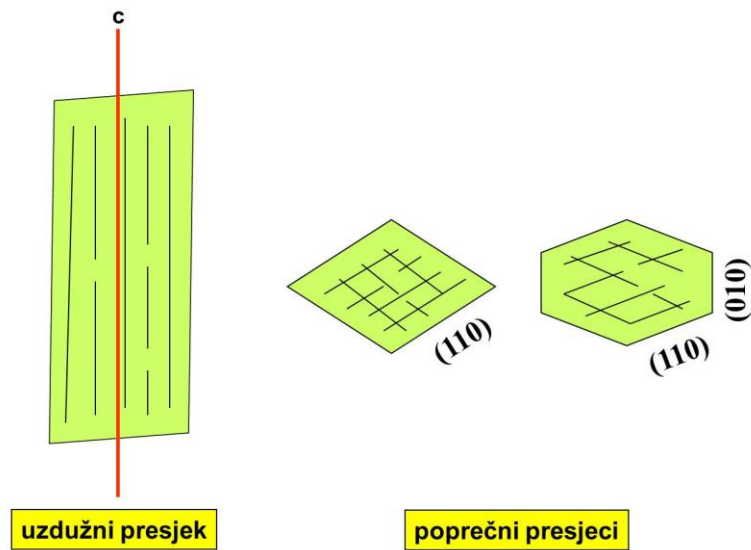
W	X	Y	amfibol
	Mg	Mg	antofilit
	Fe	Mg	cummingtonit
	Fe	Fe	grunerit
	Ca	Mg	tremolit
	Ca	Fe	feroaktinolit
	Ca, Na	Mg,Fe,Mn,Al	hornblenda
	Na	Mg,Al	glaukofan
	Na	Fe^{2+} , Fe^{3+}	riebeckit
Na	Na	Fe^{2+} , Fe^{3+}	arfvedsonit
	Li	Mg,Fe,Al	holmsquit

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka (slike 7.3.1. i 7.3.2.):

Uzdužni presjeci su pravokutni, s duljim stranicama paralelno idu pukotine kalavosti (paralelne s osi c).

Poprečni presjek je romb ili šesterokut te se vide dva sustava kalavosti (kut $124^\circ/56^\circ$)

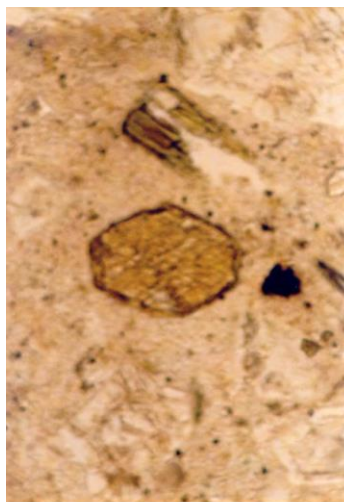


Slika 7.3.1. Shematski prikaz karakterističnih presjeka amfibola.

b) Visoki reljef, iako su indeksi loma nešto niži od onih za piroksene.

c) Obojeni zeleno, smeđe, žuto, plavičasto.

Obično se opaža jasan pleokroizam, intenzivniji kod amfibola s više Fe.



poprečni presjek



uzdužni presjek

Slika 7.3.2. Karakteristični presjeci amfibola

d) Rompski amfiboli potamne paralelno.

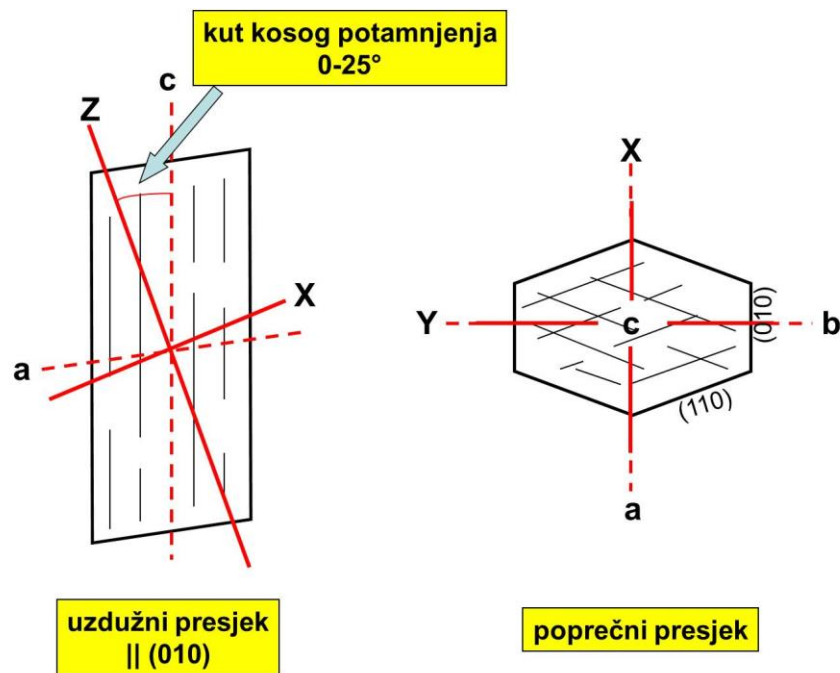
Monoklinski amfiboli potamne koso: kut kosog potamnjenja 0-25° (slika 7.3.3a. i b.).

Ravnina optički osi je paralelna s (010)

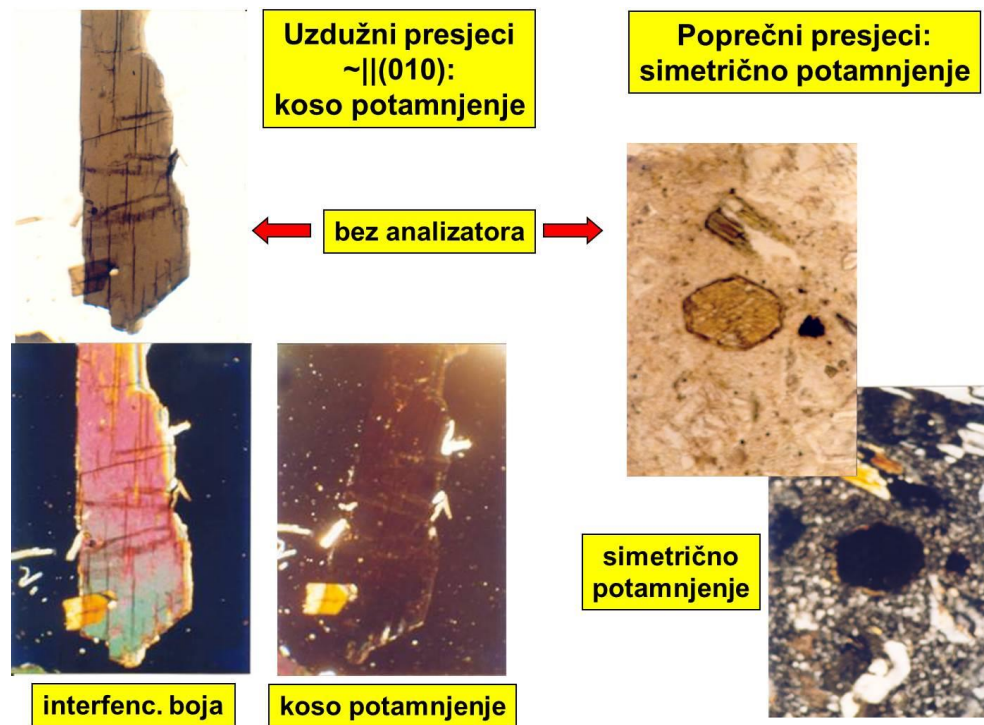
Maksimalni kut kosog potamnjenja mjeri se u presjecima paralelnim s (010):
 hornblenda 12-30°, tremolit 13-20°
 cummingtonit 15-20°, aktinolit 10-13°
 glaukofan 4-6°.

U poprečnim presjecima potamne simetrijski (slika 7.3.3a. i b.).

- e) Interferiraju u živim bojama 2. i 3. reda, no kod jače obojenih amfibola interferencijska boja može biti prekrivena vlastitom bojom.
- f) Uglavnom su optički negativni.
- g) Amfiboli se izmjenjuju u klorit (slika 7.3.4.), epidot, biotit, talk.



Slika 7.3.3a. Položaj glavnih titrajnih pravaca u uzdužnom presjeku || (010) (lijevo) i poprečnom presjeku okomitom na os c (desno). Njihov položaj prema kristalografskim osima uvjetuje tip potamnjenja: koso kod uzdužnog, a simetrijsko kod poprečnog presjeka.

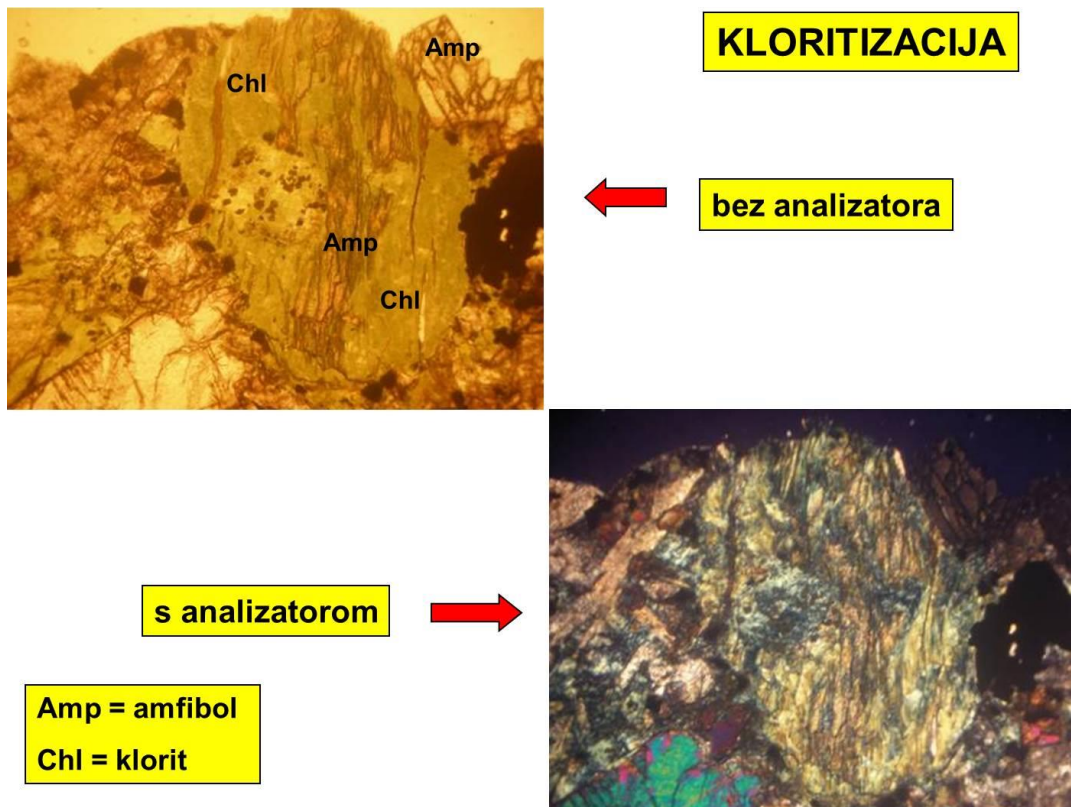


Slika 7.3.3b. Tipovi potamnjenja kod monoklinskih amfibola: koso kod uzdužnog, a simetrijsko kod poprečnog presjeka.

Razlike u optičkim svojstvima između amfibola i piroksena prikazane su sažeto u tablici 7.2.

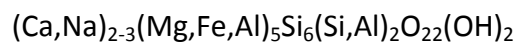
Tablica 7.2. Prikaz osnovnih razlika u optičkim svojstvima između piroksena i amfibola.

Razlika pirokseni – amfiboli	
<i>Pirokseni</i>	<i>Amfiboli</i>
a) kut između sustava kalavosti oko 90°	g) kut između sustava kalavosti 124°(56°)
b) poprečni presjek: kvadrat ili osmerokut	h) poprečni presjek: romb ili šesterokut
c) slab pleokroizam ili ga nema	i) obično jasan pleokroizam
d) maksimalan kut potamnjenja 30-50°	j) maksimalan kut potamnjenja (0-25°)
e) uglavnom optički pozitivni	k) uglavnom optički negativni
f) izmjenjuju se najčešće u amfibole	l) izmjenjuju se najčešće u klorite



Slika 7.3.4. Kloritizacija – česti oblik izmjene amfibola.

7.3.1. HORNBLENDA



Amfiboli u grupi hornblende kristaliziraju u kristalnom razredu 2/m. Kristali su prizmatskog habitusa s izraženim formama $\{110\}$ i $\{010\}$ te su izduženi duž osi c. Boja može biti zelena, zelenocrna, smeđecrna i crna.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik zrna:

Uzdužni presjeci su pravokutnici.

Poprečni su šesterokuti.

Najčešće se pojavljuje kao hipidiomorfno razvijena zrna.

b) Relativno visok pozitivan reljef.

$$n_x = 1,614 - 1,675$$

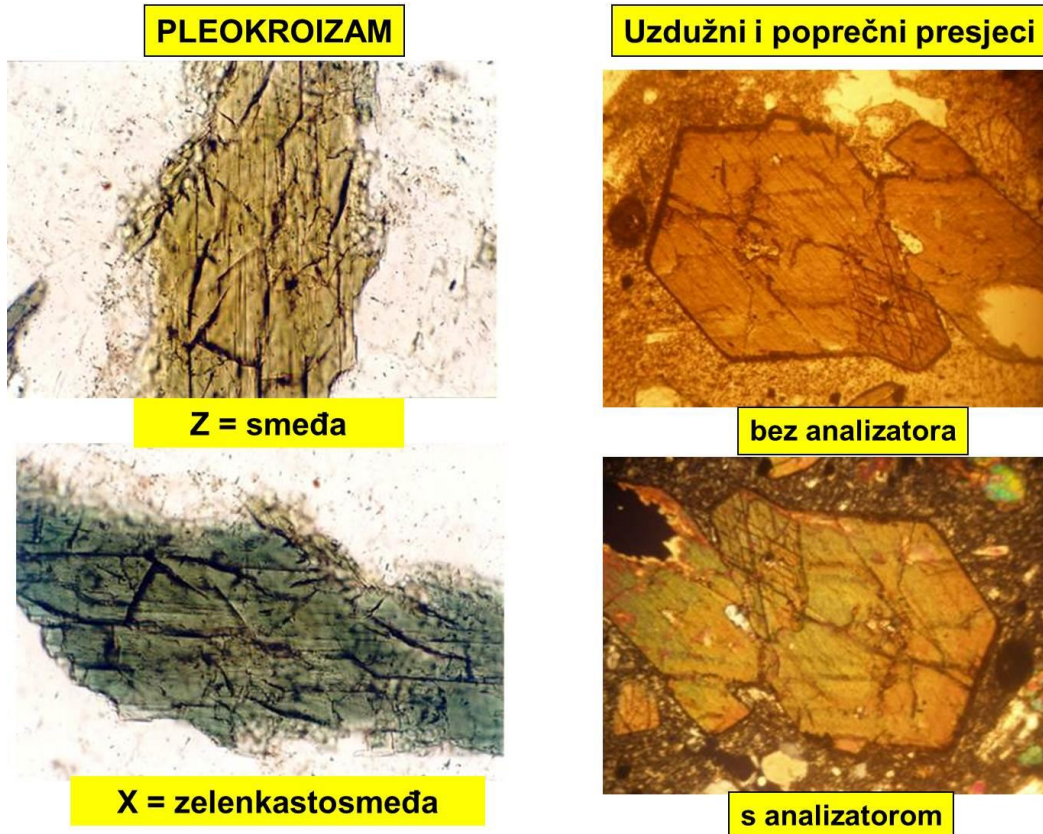
$$n_y = 1,618 - 1,691$$

$$n_z = 1,633 - 1,701$$

c) Boja: zelena, žuta, smeđa (zelenoplave nijanse ako ima dosta Al).

Opaža se izrazit pleokroizam (slika 7.3.5.).

- d) Umjeren dvolom ($n_z - n_x$) = 0,019 - 0,026
 Interferencijske boje 2. reda.
 Interferencijske boje su često djelomično ili potpuno prekrivene vlastitom bojom (slika 7.3.5.).



Slika 7.3.5. Pojava pleokrozma kod hornblende (lijevo) te tipični idiomorfni presjeci (desno).
 Uočava se djelomična prekrivenost interferencijskih boja vlastitom bojom (dolje desno).

- e) Ravnina optičkih osi || (010).
 f) Potamni koso, $Z : c = 12-30^\circ$.
 U poprečnom presjeku potamni simetrijski.
 g) Optički negativna, $-2V = 52-85^\circ$.
 h) Optički karakter izduženja pozitivan.

Izmjene:

- a) U klorit (+ epidot).
 b) U biotit.

Pojavljivanje:

- a) U kiselim i neutralnim eruptivima.
 b) U metamornim stijenama (gnajs, amfibolit).

Napomena: OKSIHORNBLENDA

Za razliku od hornblende, oksihornblenda ima više Fe^{3+} , Ti i alkalija. U pravilu dolazi u obliku idiomorfni kristala kratkoprizmatskog habitusa. Obojena je najčešće nijansama tamnosmeđe boje.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik zrna: idiomorni kratkoprizmatski presjeci.
- b) Nešto većih indeksa loma od „obične“ hornblende.
- c) Koso potamni, $Z : c = 0 - 12^\circ$
- d) Interferira u bojama drugog i viših redova, no interferencijske boje su uvijek prekrivene vlastitom bojom.
- e) Ravnina optički osi || (010).
- f) Česte sraslačke lamele po (100).

Izmjene:

Najčešća izmjena u magnetit i augit (opacitizacija), pri čemu nastaje crni neproziran rub
Rjeđe se izmjenjuje u agregat klorita i epidota.

Pojavljivanje:

Najčešće se javlja kao utrusak u efuzivima (andezit, bazalt)

7.3.2. TREMOLIT-AKTINOLIT

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

Aktinolit $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Amfiboli serije tremolit-aktinolit kristaliziraju u kristalnom razredu 2/m, a pojavljuju se kao izduženi prizmatski kristali, kao i igličasti do vlaknasti agregati. Pokazuju razvijenu karakterističnu kalavost, a često je pinakoidsko lučenje.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka:
Uzdužni presjeci su pravokutni, no često igličasto izduženi (slika 7.3.6.).
Poprečni presjeci rombični (idiomorfni presjeci).
- b) Umjereno visok pozitivan reljef.
 $n_x = 1,600 - 1,628$
 $n_y = 1,613 - 1,644$
 $n_z = 1,625 - 1,655$
- c) Tremolit je bezbojan, dok je aktinolit blijedozelen.
Aktinolit pokazuje pleokroizam u zelenkastim i zelenkastožutim nijansama (slika 7.3.7. i

7.3.8.).

d) Potamne koso ($Z : c = 10-20^\circ$):

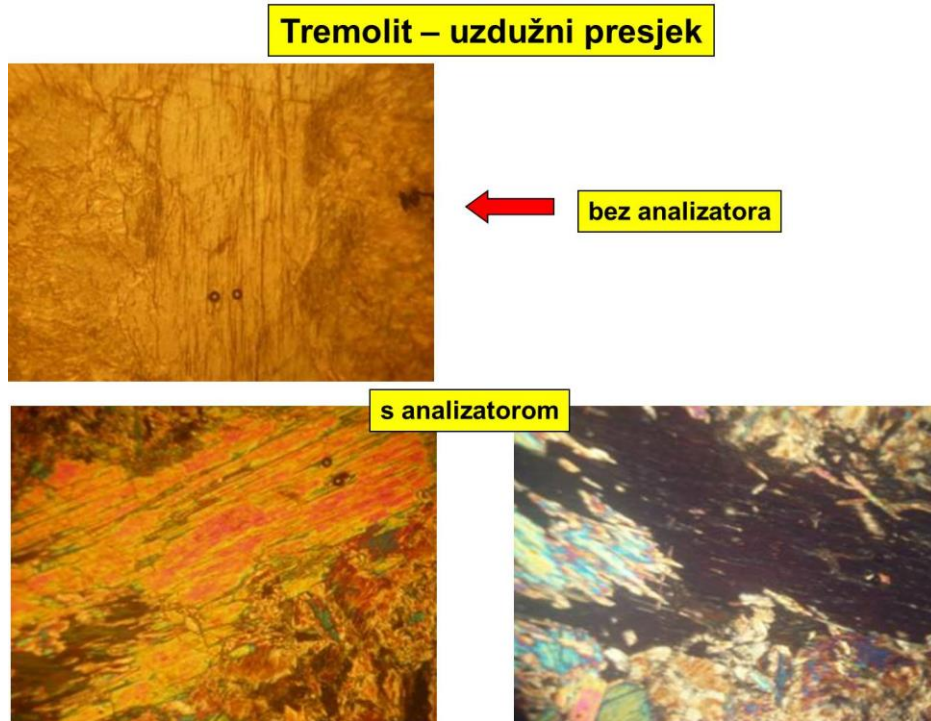
tremolit 13-20°

aktinolit 10-13°

U poprečnim presjecima potamne simetrijski (slika 7.3.8.).

e) Umjeren dvolom ($n_z - n_x = 0,022 - 0,027$)

Interferencijske boje 2. reda (do žute).



Slika 7.3.6. Tipični vlaknasti agregati tremolita koji se mogu naći u metamorfnim stijenama.

f) Ravnina optičkih osi $\parallel (010)$.

g) Optički negativni, $-2V = 79-85^\circ$.

h) Optički karakter izduženja je pozitivan.

Izmjene:

a) Stabilni minerali.

b) Tremolit se ponekad izmjenjuje u talk.

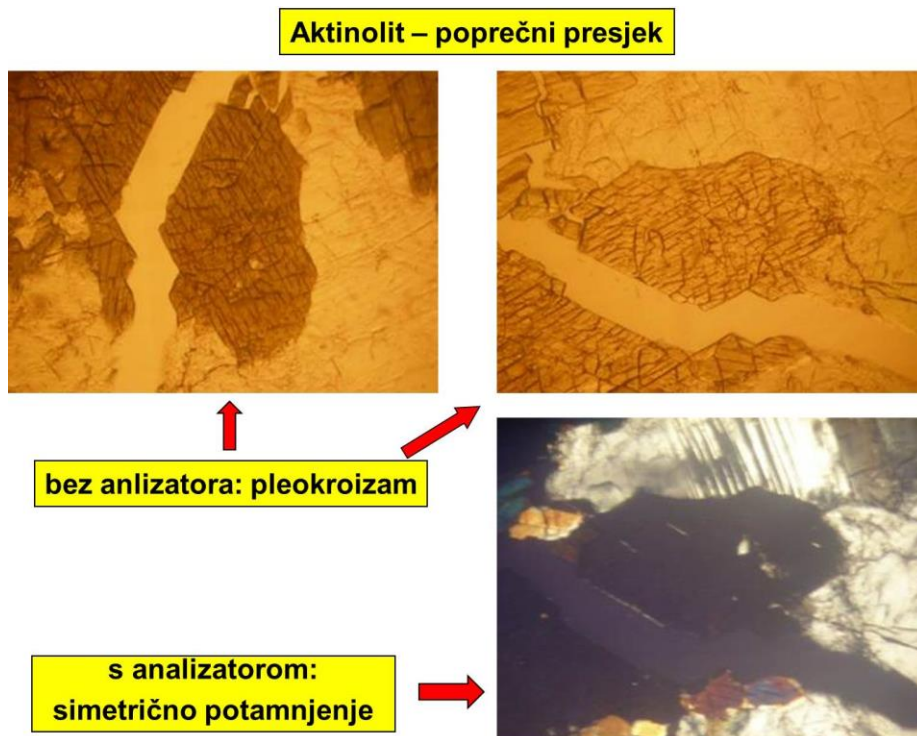
Pojavljivanje:

a) Tremolit: u kontaktnometamorfnim stijenama (mramori i hornfelsi).

b) Aktinolit: kloritni i zeleni škriljavci, te u eruptivima uralitizacijom iz piroksena.

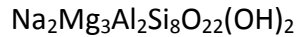


Slika 7.3.7. Pojava pleokroizma kod aktinolita.



Slika 7.3.8. Pojava pleokroizma kod aktinolita i simetrijsko potamnjenje u poprečnom presjeku.

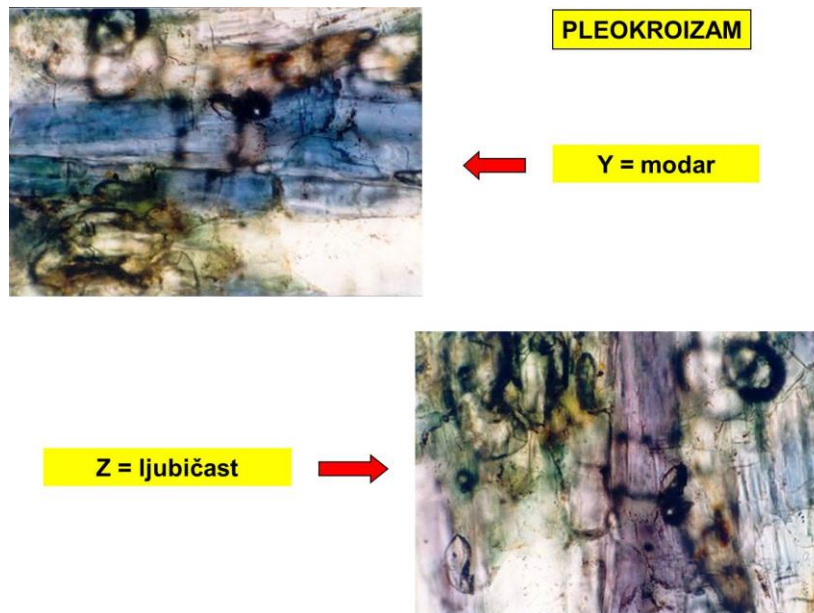
7.3.3. GLAUKOFAN



Glaukofan kristalizira u kristalnom razredu 2/m. Dolazi u obliku izduženih prizmatskih kristala, često u štapićastim agregatima. Svjetlo do tamnomodre je boje.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka: štapićasti kristali.
Uz kalavost često se opaža poprečno lučenje
- b) Umjereno visok pozitivan reljef.
 $n_x = 1,621 - 1,655$
 $n_y = 1,638 - 1,664$
 $n_z = 1,639 - 1,668$
- c) Boja: modra do ljubičasta.
Pleokroizam: X = bezbojan, Y = modar, Z = ljubičast (slika 7.3.9.).
- d) Relativno malen dvolom ($n_z - n_x$) = 0,013 - 0,018
Interferira do ljubičaste boje 1. reda.
Kod jače obojenih glaukofana interferencijska boja je prekrivena vlastitom.



Slika 7.3.9. Pojava pleokroizma kod glaukofana.

- e) Potamni koso, $Z : c = 4-6^\circ$.
Poprečni presjeci potamne simetrijski.
- f) Ravnina optički osi || (010).
- g) Optički negativan, $-2V = 0-68^\circ$.
- h) Optički karakter izduženja je pozitivan.

Izmjene:

Izmjene glaukofana su rijetke, ponekad se izmjenjuje u klorit.

Pojavljivanje:

U metamorfnim stijenama (glaukofanski škriljavci, gnajsevi).

7. 4. TINJCI

Tinjci su filosilikati i kristaliziraju u kristalnoj klasi 2/m. Pseudoheksagonskog su habitusa te je najčešće je prisutna kombinacija kristalnih formi {110} i {010}. Najčešće su pločastog habitusa, a česti su njihovi listićavi agregati. Izvrsna kalavost po {001} prisutna je kod svih tinjaca. Postoje **dioktaedrijski tinjci** koji su bezbojni (npr. muskovit) te **trioktaedrijski tinjci** (magnezijsko-željezoviti tinjci), uglavnom tamnosmeđe do tamnozeleno obojeni (npr. biotit).

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Presjeci paralelni s (001) mogu pokazivati pseudoheksagonske konture.

Presjeci okomiti na (001) su izduženi pravokutnici s izraženim pukotinama kalavosti (paralelne s (001)).

b) Indeksi loma su umjereno visoki.

c) Dioktaedrijski (kalijski) tinjci su bezbojni.

Magnezijsko-željezoviti tinjci su obojeni te u presjeku paralelno s osi c pokazuju intenzivan pleokroizam.

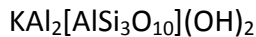
Maksimalna apsorpcija se opaža paralelno s pukotinama kalavosti.

Presjeci paralelni s (001) ne pokazuju pleokroizam.

d) Potamne paralelno ili gotovo paralelno s pukotinama kalavosti.

e) Dvolom visok kod svih tinjaca.

7.4.1. Muskovit



Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka (slika 7.4.1.):

Presjeci paralelni s (001) najčešće su nepravilni listići, rijetko se vide idiomorfni šesterostrani presjeci.

Presjeci okomiti na (001) su pravokutnici s pukotinama kalavosti koje su paralelne s (001).

b) Umjereno visok pozitivan reljef.

$$n_x = 1,556 - 1,570$$

$$n_y = 1,587 - 1,607$$

$$n_z = 1,593 - 1,611$$

c) Bezbojan.

d) Veliki maksimalan dvolom ($n_z - n_x$) = 0,037 - 0,041

Interferira u živim bojama 2. reda u presjecima okomitim na (001) (slika 7.4.2. i 7.4.3.).

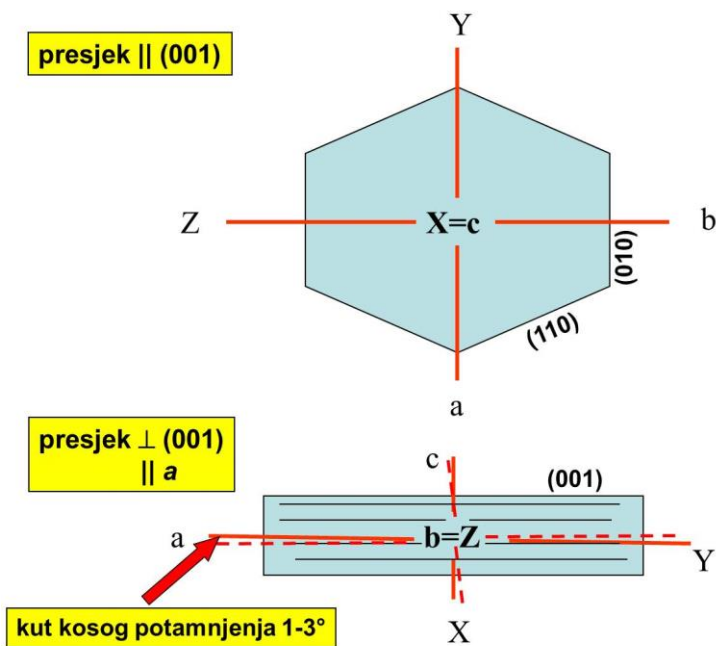
U presjeku paralelnom s (001) parcijalni dvolom je nizak te interferira u sivoj boji 1. reda.

e) Ravnina optičkih osi i titrajni pravac Z su okomiti na (010) (slika 7.4.1.).

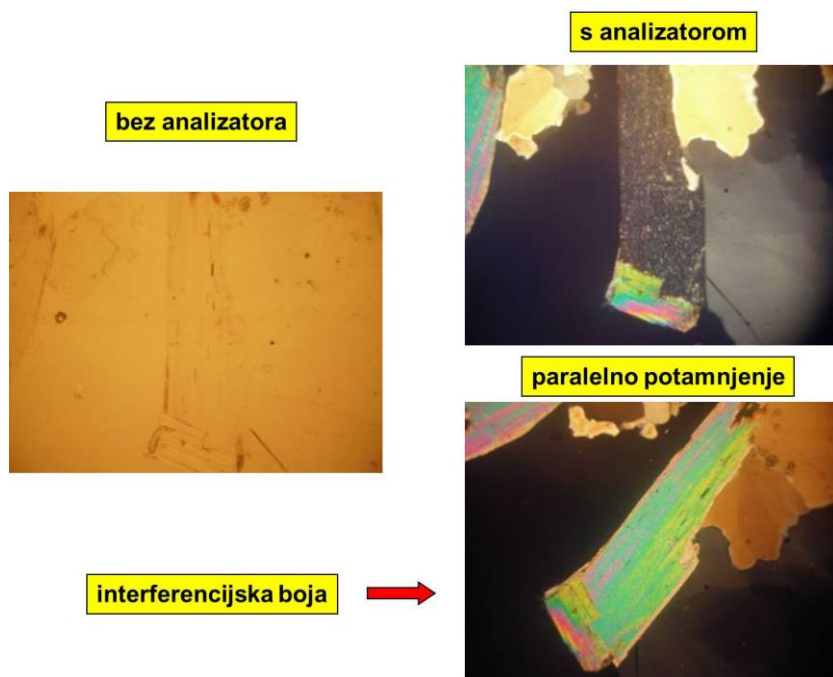
Titrajni pravac X izlazi gotovo okomito na (001).

f) Potamni paralelno prema pukotinama kalavosti u presjeku paralelnom s b.

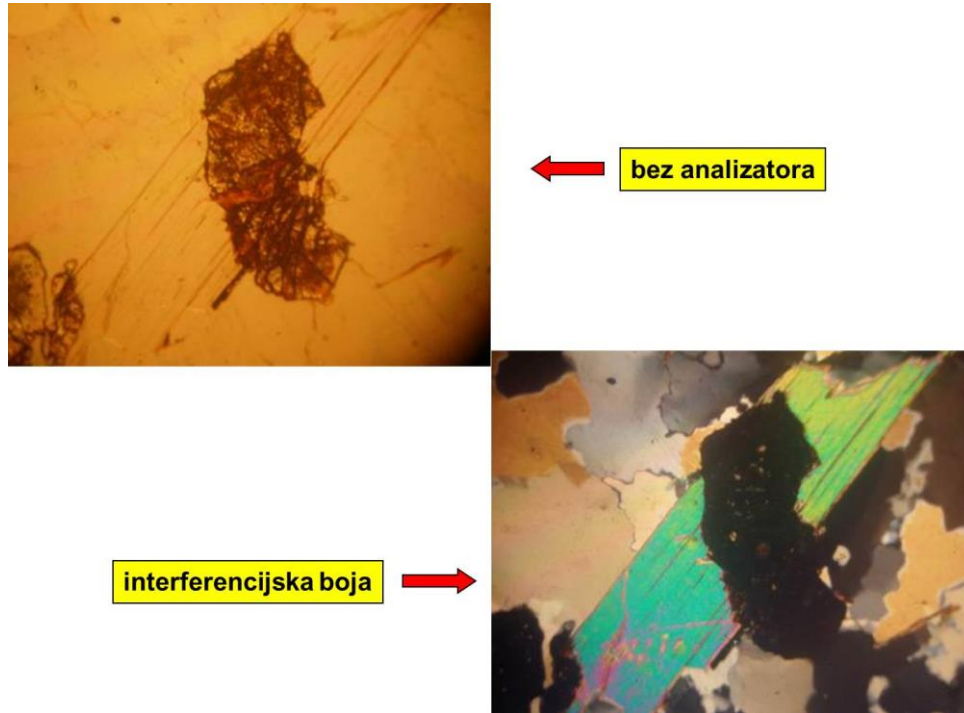
U presjeku paralelnom s osi a potamni gotovo paralelno ($Y : a = 1 - 3^\circ$) prema pukotinama kalavosti (slike 7.4.1. i 7.4.2.).



Slika 7.4.1. Shematski prikaz tipičnih presjeka muskovita i položaja glavnih titrajnih pravaca prema kristalografskim osima.



Slika 7.4.2. Presjek muskovita približno okomit na kalavost po $\{001\}$



Slika 7.4.3. Presjek muskovita približno okomit na kalavost po {001}

g) Optički negativan, $-2V = 30-45^\circ$.

h) Optički karakter izduženja smjerom pukotina kalavosti je pozitivan.

Izmjene:

Rezistentan mineral, ponekad se izmjenjuje u illit.

Pojavljivanje:

a) U metamorfnim stijenama (filit, tinčev škrljavac, gnajs).

b) U granitima (primaran i sekundaran).

c) U sedimentima (arkoze).

d) Kao **sericit**: sitnolističavi tinjac vrlo sličan muskovitu, nastaje hidrotermalnom izmjenom mnogih silikatnih minerala.

7.4.2. Biotit

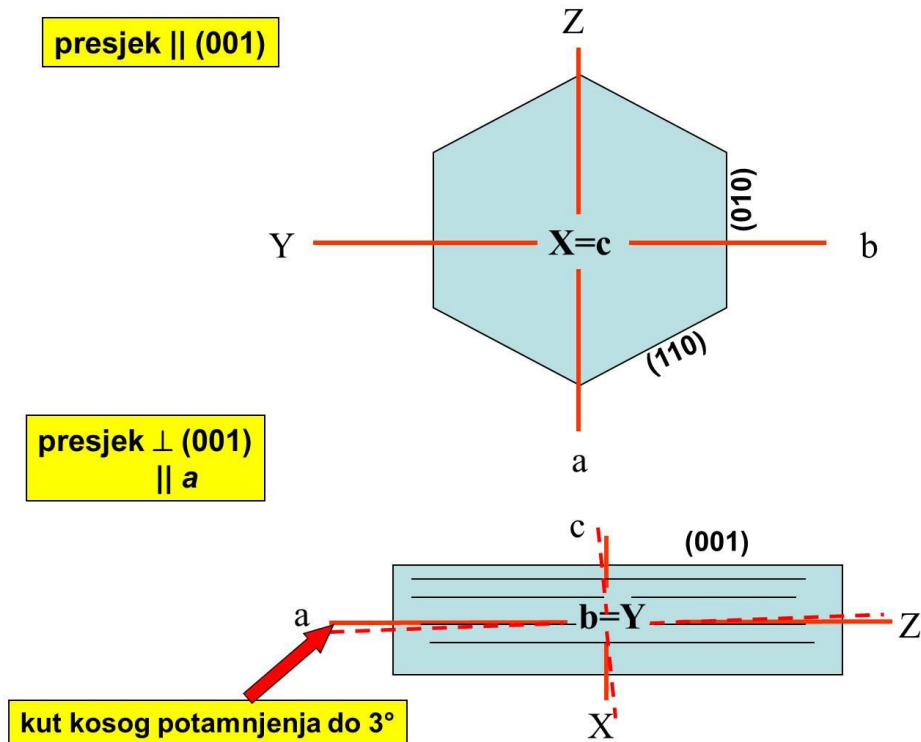


Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka (slika 7.4.4. i 7.4.5.):

Presjeci paralelni s (001) najčešće idiomorfni do hipidiomorfni šesterostrani presjeci.

Presjeci okomiti na (001) su pravokutnici s pukotinama kalavosti koje su paralelne s (001).



Slika 7.4.4. Shematski prikaz tipičnih presjeka biotita i položaja glavnih titrajnih pravaca prema kristalografskim osima.

b) Reljef nizak do umjereno visok.

$$n_x = 1,541 - 1,579$$

$$n_y = 1,574 - 1,638$$

$$n_z = 1,574 - 1,638$$

c) Obojen smeđe, žutosmeđe, crvenkastosmeđe, rjeđe tamnozeleno.

Intenzivnog pleokroizma (slika 7.4.6.):

X = žut, Y = crveno do tamnosmeđ, Z = crvenosmeđ, tamnosmeđ do neproziran.

Maksimalna apsorpcija kada su pukotine kalavosti paralelne s polarizacijskom ravninom polarizatora.

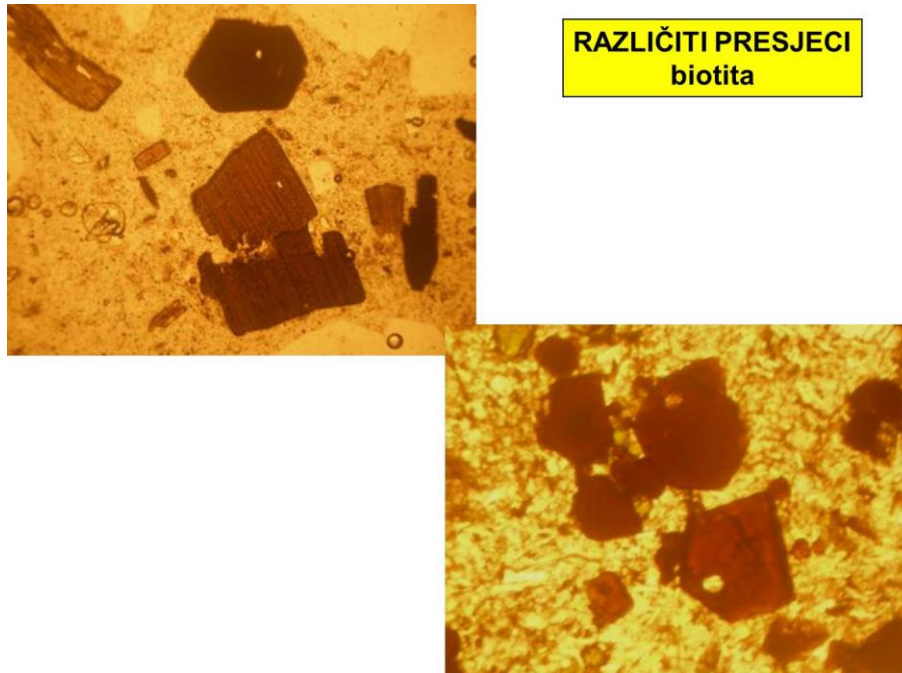
U presjeku paralelnom s (001) dvolom je jednak nuli ($Y = Z$), te nema pleokroizma.

d) Maksimalni dvolom velik, $(n_z - n_x) = 0,033 - 0,059$

Interferencijske boje su najčešće prekrivene vlastitom bojom (slika 7.4.7.).

e) Ravnina optičkih osi paralelna s (010).

f) Potamni paralelno ili gotovo paralelno (kut kosog potamnjenja max. do 3°) (slika 7.4.4.).



Slika 7.4.5. Različiti presjeci biotita.

g) Optički je negativan, $-2V = 0 - 25^\circ$.

h) Optički karakter izduženja paralelno s pukotinama kalavosti je pozitivan.

Izmjene:

a) Izmjenjuje se u klorit pri čemu još nastaje rutil (sagenit).

b) U obalnoj zoni u redukcijskim uvjetima prelazi u zeleni glaukonit.

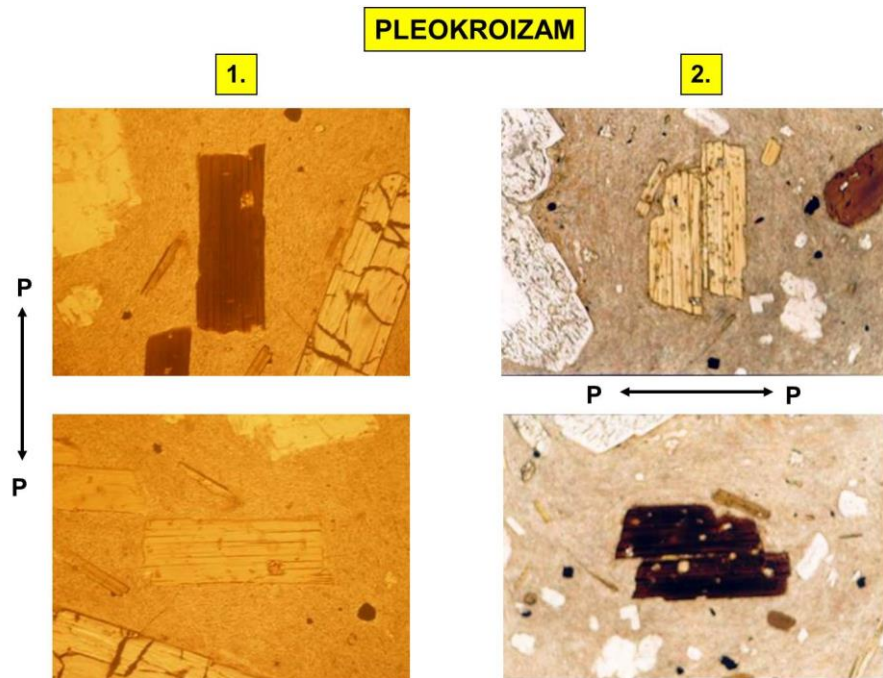
c) Atmosferskim trošenjem biotita nastaje vermikulit.

d) Magmatskom korozijom stvara se **opacitni rub**, koji se sastoji od magnetita, hornblende, augita (slika 7.4.8.).

Pojavljivanje:

a) U kiselim i neutralnim efuzivima.

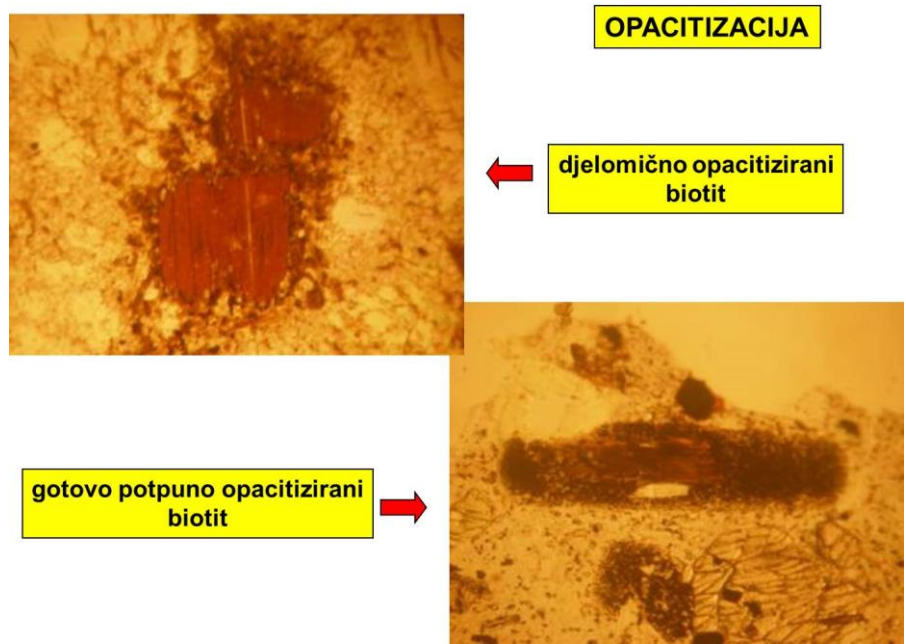
b) U metamorfitima (gnajs, tinjčevi škriljavac) (slika 7.4.9.).



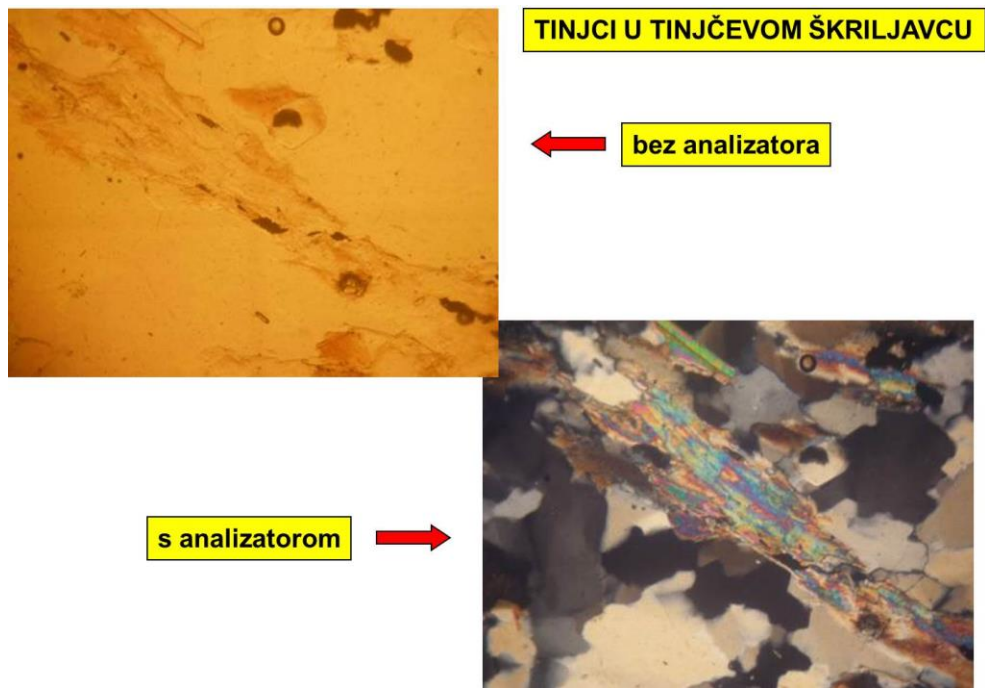
Slika 7.4.6. Presjeci biotita približno okomiti na kalavost pokazuju maksimalnu apsorpciju kada su pukotine kalavosti paralelne s polarizacijskom ravninom polarizatora.



Slika 7.4.7. Interferencijske boje biotita često su dijelom ili u potpunosti prekrivene vlastitom bojom.



Slika 7.4.8. Opacitizacija je česta izmjena biotita koja započinje od rubova zrna.



Slika 7.4.9. Tinjci u tinjčevom škriljavcu.

7.5. FELDSPATI

Feldspati su filosilikati te su iznimno česti u Zemljinoj kori. Pojavljuju se u dvije serije: alkalijski feldspati i plagioklasi. Od alkalijski feldspata osobito su česti kalijski feldspati (K-feldspati), a to su sanidin, ortoklas i mikroklin, te se sastav sva tri minerala može opisati formulom $KAlSi_3O_8$. Plagioklasi su pak čvrsta otopina između dva krajnja člana: albita $NaAlSi_3O_8$ (koji je ujedno i alkalijski feldspat) i anortita $CaAl_2Si_2O_8$. Plagioklasi kristaliziraju u kristalnoj klasi $\bar{1}$, kao i mikroklin. Sanidin i ortoklas kristaliziraju u kristalnoj klasi 2/m. Obično su kratkoprizmatskog habitusa, uglavnom izduženi duž osi c , rjeđe duž osi a . Često su i pločasti po $\{010\}$, a najčešća je kombinacija formi $\{001\}$, $\{010\}$, $\{110\}$, $\{110\}$, $\{101\}$, $\{201\}$. Imaju dobru kalavost po $\{001\}$ i $\{010\}$, te se ta dva sustava kalavosti sijeku kod monoklinskih feldspata pod 90° , dok kod triklinskih pod $89,5-90^\circ$ (kod plagioklasa $\approx 86^\circ$) (presjeci okomito na os a). Postoji i slabije izražena kalavost po $\{110\}$, no ona se obično ne vidi u mikroskopskim presjecima. Najčešće bezbojni, zbog primjesa ponekad ružičasti, crveni, zeleni ili žuti do smeđi.

Sraslaci su vrlo česti kod feldspata.

Neki od češćih sraslačkih zakona definirani prema sraslačkoj osi (s.o.) su:

1. okomični sraslački zakoni:

albitni s.o. $\perp (010)$ (u triklinskom sustavu)

manebaški s.o. $\perp (001)$ (u monoklinskom i triklinskom sustavu)

bavenski s.o. $\perp (021)$ (u monoklinskom i triklinskom sustavu)

2. bridni sraslački zakoni:

karlovarski s.o. $[001]$ (u monoklinskom i triklinskom sustavu)

periklinski s.o. $[010]$ (u triklinskom sustavu)

7.5.1. ALKALIJSKI FELDSPATI

7.5.1.2. SANIDIN

$(K,Na)AlSi_3O_8$

Sanidin kristalizira u kristalnom razredu 2/m. Habitus mu je obično pločast po $\{010\}$ i slabo izdužen duž osi c . Najčešće je bezbojan, staklast i proziran.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka: česti su stupićasti presjeci (slika 7.5.1.).

Pukotine kalavosti po $\{001\}$ i $\{010\}$ često su lijepo izražene.

Česti su karlovarski sraslaci (slika 7.5.2.).

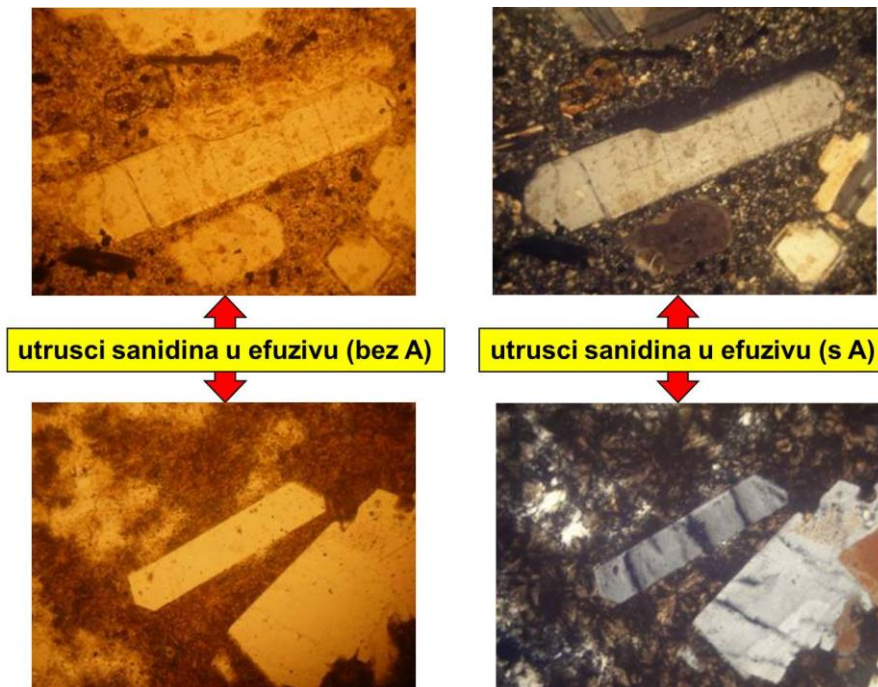
b) Slab negativan reljef:

$n_x = 1,517 - 1,520$

$n_y = 1,523 - 1,525$

$n_z = 1,524 - 1,526$

- c) Bezbojan, bistar.
- d) Dvolom je nizak, $(n_z - n_x) = 0,006 - 0,007$
Interferira u sivoj, sivo-bijeloj boji 1.reda.
- e) Potamnjenje (slika 7.5.3.):
Presjeci paralelno s (010): 0-9° prema pukotinama po {001}.
(kut raste s povećanjem Na-komponente!)
U svim presjecima paralelno s osi *b* potamni paralelno prema pukotinama po {010}.
Položaj indikatriše različit je za nižetemperaturne i višetemperaturne kristale sanidina.
- f) Optički negativan, $-2V = 0 - 20^\circ$.



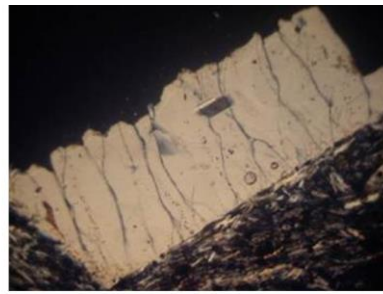
Slika 7.5.1. Presjeci sanidina u efuzivnoj stijeni.

Izmjene:

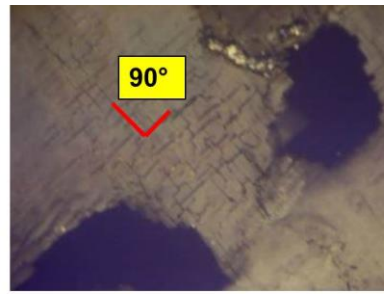
Sanidin je obično svjež i rjeđe se u odnosu na ostale feldspate javljaju izmjene.

Pojavljivanje:

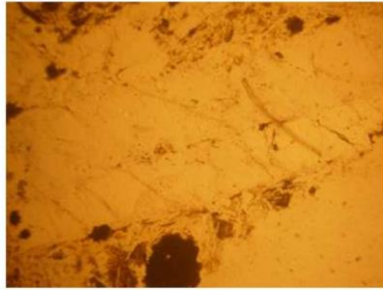
Sanidin dolazi u eruptivima (riolit, trahit, dacit), i to u obliku lijepih fenokristala (utrusaka). Može sadržavati uklopke stakla te često zonarno poredane uklopke augita, biotita i kvarca.



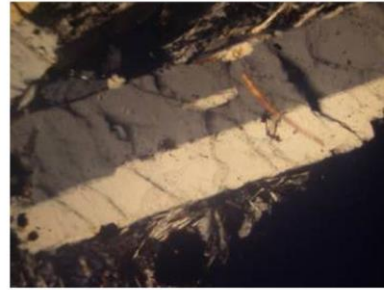
sanidin u efuzivu (s A)



sustavi kalavosti po (001) i (010) (s A)

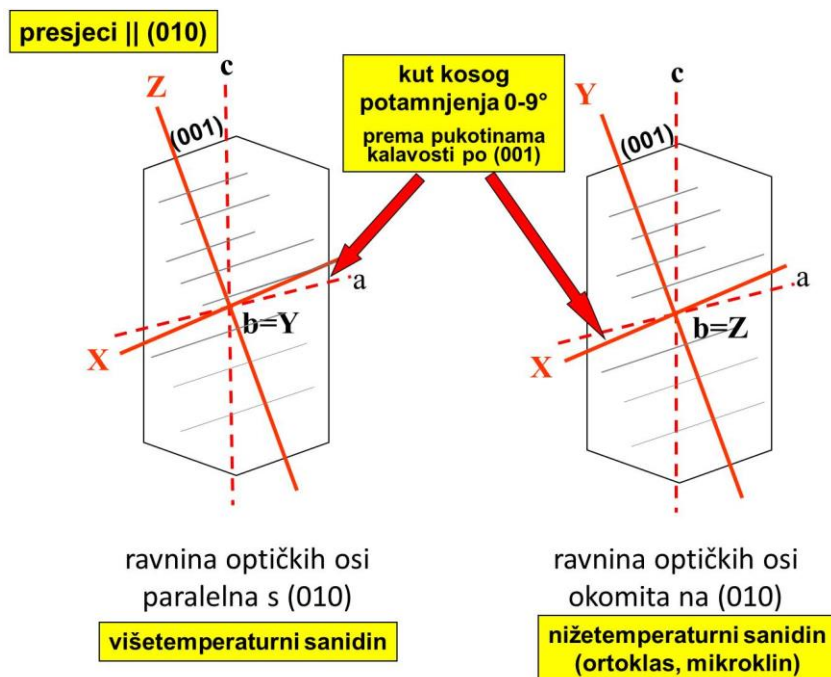


sraslac dvojac sanidina (bez A)



sraslac dvojac sanidina (s A)

Slika 7.5.2. Različiti presjeci sanidina: sanidin jedinac (gore lijevo), sanidin s lijepo izraženim pukotinama kalavosti (gore desno), sanidin sraslac dvojac (dolje).



Slika 7.5.3. Položaj glavnih titrajnih pravaca kod višetemperaturnog (lijevo) i nišetemperaturnog sanidina (desno).

7.5.1.2. ORTOKLAS



Ortoklas kristalizira u kristalnom razredu 2/m. Obično je debelo pločast po {010} i izdužen smjerom osi c , ali i a , pa se često nalazi u obliku četverostranih stupića. Može se pojavljivati i u obliku vrlo sitnih kristala ili nepravilnih zrna. Boje je bijele, ružičaste ili pak smeđastih nijansi.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka: u stijenama česta su alotriomorfna zrna.

Zbog produkata trošenja često je mutan, ponekad slabo providan sa crvenkastom ili smeđastom nijansom.

Najbolje se uočava kalavost po {001}, slabije po {010} i {110} (slika 7.5.4.).

Često se opaža tzv. murčisonitna kalavost (lučenje po $\{\bar{8}01\}$), koja na presjecima paralelno s (010) zatvara kut s pukotinama kalavosti po {001} od 73° .

Česti su karlovarski sraslaci.

Kod kristala izduženih po osi a česti su sraslaci po bavenskom zakonu (šav po (021)).

b) Slab negativan reljef.

$$n_x=1,519$$

$$n_y=1,524$$

$$n_z=1,526$$

c) Bezbojan, no često puta zamućen produktima izmjena.

d) Slab dvolom: $(n_z-n_x) = 0,007$

Interferira u sivoj do sivobijeloj boji 1. reda

e) Ravnina optičkih osi okomita na (010).

Titrajni pravac Y gotovo je okomit na (001), a oštra raspolovnica X ne odstupa jako od osi a .

Kut potamnjenja prema pukotinama kalavosti po {001} u presjecima paralelnim s (010) iznosi $5-12^\circ$ (veći kutevi ako je više Na).

U svim presjecima paralelnim s osi b potamni paralelno prema pukotinama kalavosti po {010}.

f) Optički negativan, $-2V = 69 - 72^\circ$.

Izmjene:

Izmjenjuje se djelovanjem procesa trošenja i hidrotermalnih otopina u kaolinit (slika 7.5.5.) ili sericit (slika 7.5.6.). Izmjena započinje iz središta zrna. Sericit pokazuje visok dvolom dok kaolinit djeluje zemljasto i interferira u sivoj boji, pa su zrna ortoklasa zbog **kaolinitizacije** zamućena.

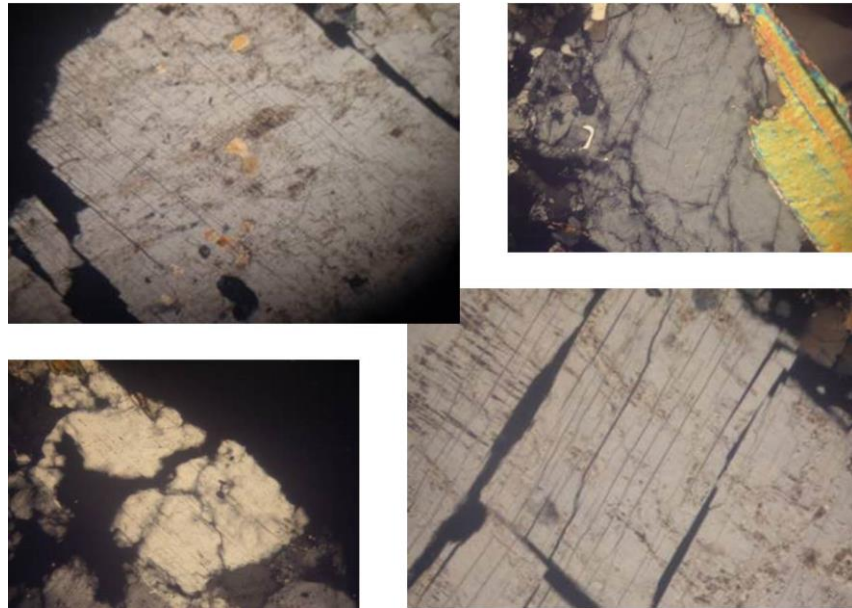
Pojavljivanje:

a) Kisele i neutralne intruzivne magmatske stijene (granit, sijenit).

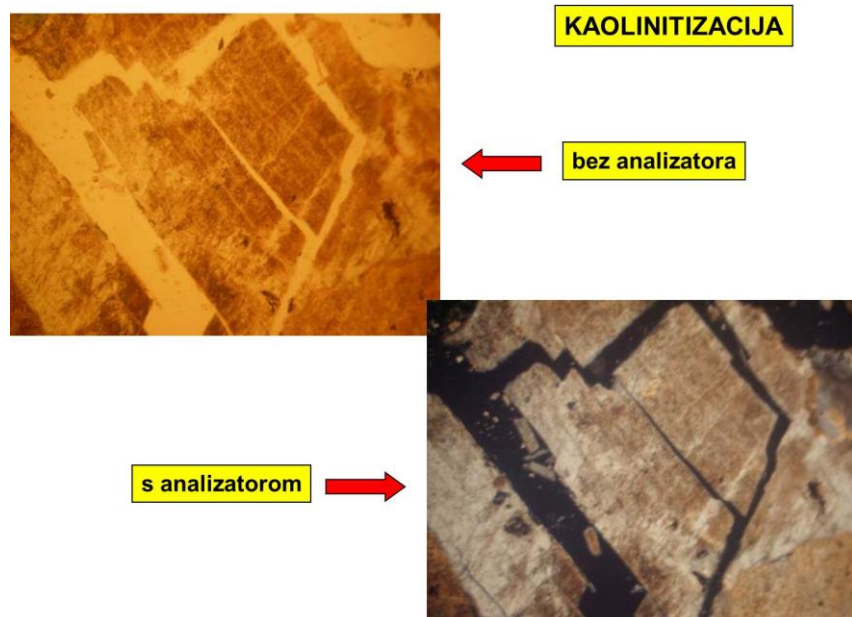
b) Kao žile u granitima i gnajsevima - prorašten s kvarcom (granofirska struktura, klinasto pismo).

c) Kao **perit** – izdvajanje Na-komponente u ortoklasu u obliku tankih slojeva albita paralelno s (010).

RAZLIČITI PRESJECI ORTOKLASA (s analizatorom)



Slika 7.5.4. Različiti presjeci ortoklasa s lijepo izraženom kalavošću, ali i vidljivim produktima izmjena.



Slika 7.5.5. Presjeci ortoklasa zahvaćeni procesom kaolinitizacije



Slika 7.5.6. Presjek ortoklasa zahvaćen sericitizacijom

7.5.1.3. MIKROKLIN



Mikroklin kristalizira triklinski u kristalnom razredu $\bar{1}$. Kristalnim oblicima podsjeća na ortoklas, što je posljedica sličnih kristalografskih odnosa. Mikroklin je bijel, zelenkast, svijetlocrven do smeđastocrven.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka: alotriomorfna zrna.

Kalavost po {001} izražena, slabije po {010}, slabo po {110}.

Pokazuje murčisonitno lučenje kao i ortoklas.

b) Nizak negativan reljef.

$$n_x = 1,518 - 1,522$$

$$n_y = 1,522 - 1,526$$

$$n_z = 1,525 - 1,530$$

c) Bezbojan, zbog izmjena može biti mutan.

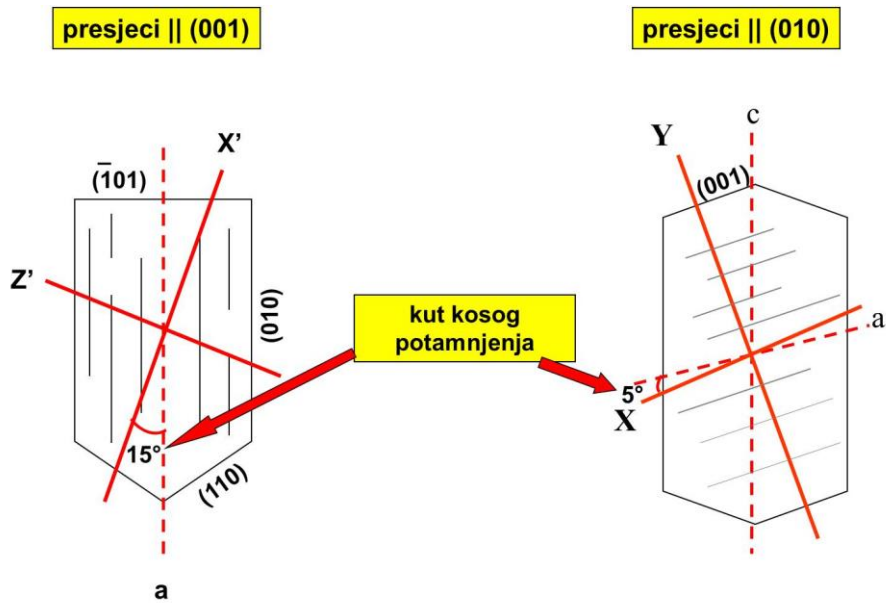
d) Slab dvolom, $(n_z - n_x) = 0,007$

Interferira u sivoj do bijeloj boji 1. reda.

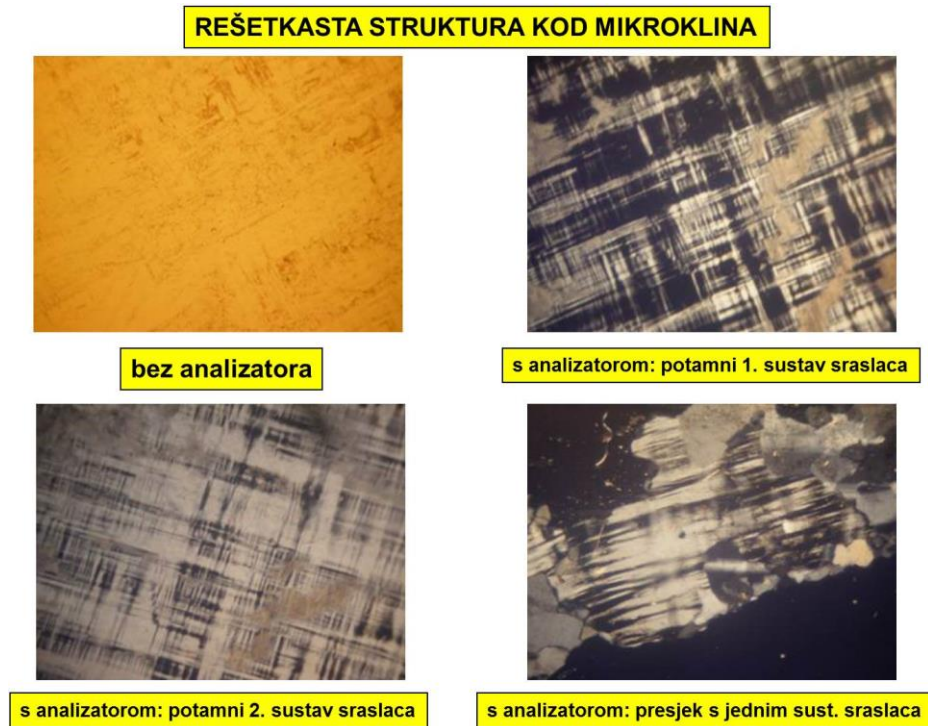
e) Ravnina optičkih osi orijentirana slično kao kod ortoklasa (slika 7.5.7).

Kut kosog potamnjenja u presjecima paralelnim s (001) prema osi a , odnosno pukotinama kalavosti po {010} ili lamelama po albitnom zakonu iznosi 15° .

U presjecima paralelnim s (010) potamnjenje prema pukotinama kalavosti po {001} iznosi 5° (kao kod ortoklasa).

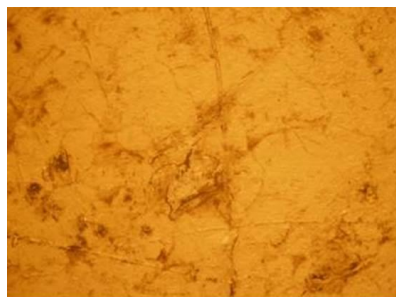


Slika 7.5.7. Shematski prikaz karakterističnih presjeka mikroklina s pripadajućim kutovima kosog potamnjnja

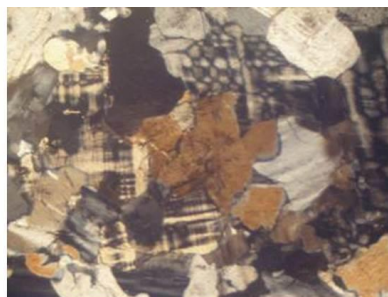


Slika 7.5.8a. Karakteristična rešetkasta struktura mikroklina kao posljedica srastanja po albitnom i periklinskom sraslačkom zakonu.

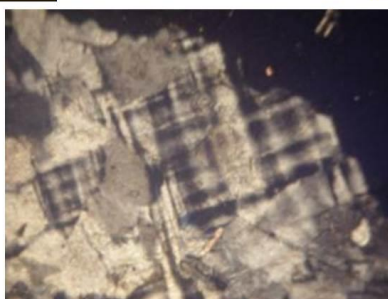
- f) Karakteristična je tzv. rešetkasta struktura (slika 7.5.8a. i 7.5.8b.):
Na presjecima paralelnim s (001) vide se srastanja po albitnom i periklinskom zakonu. Lamele tih sraslaca međusobno su gotovo okomite.
Na presjecima paralelnim s (100) i (010) vidi se samo jedan sustav srastanja.



bez analizatora



s analizatorom



s analizatorom

Slika 7.5.8b. Karakteristična rešetkasta struktura mikrokлина kao posljedica srastanja po albitnom i periklinskom sraslačkom zakonu.

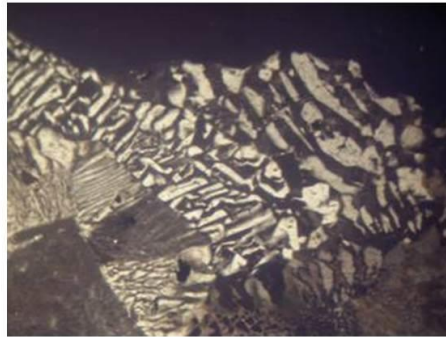
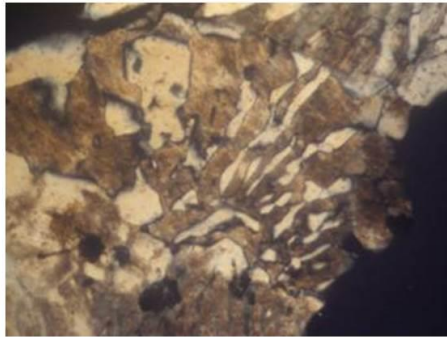
Izmjene:

Izmjenjuje se u kaolinit i sericit (kao ortoklas).

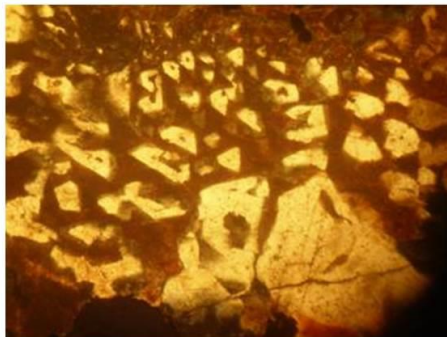
Pojavljivanje:

- Granitni pegmatiti.
- Intruzivne kisele i neutralne stijene (granit, sijenit).
- U kristalnim škriljavcima.
- U pješčenjacima (arkoze).

PRORASTANJA FELDSPATA I KVARCA



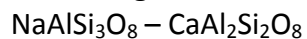
mirmekitska struktura = crvoliko prorastanje kiselog plagioklasa i Q



mikrografska struktura (granofirska) = prorastanje alkalijskog feldspata i Q

Slika 7.5.9. Karakteristična prorastanja feldspata i kvarca.

7.5.2. Plagioklasi



Plagioklasi obuhvaćaju niz čvrstih otopina između dva krajnja člana: albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) i anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Kristaliziraju trikliniski u kristalnom razredu $\bar{1}$. Najčešće su debelo pločasti paralelno s (010) i izduženi duž osi c. Bezbojni su, bijeli ili zelenkastosivi. Imaju vrlo dobru kalavost po {001}, nešto slabiju po {010} te slabu po {110}.

Za sastav plagioklasa između albita i anortita tradicionalno se koriste sljedeći nazivi, već prema udjelu anortitne komponente (An):

albit do 10% An
oligoklas 10-30% An
andezin 30-50% An
labradorit 50-70% An
bitownit 70-90% An
anortit preko 90% An

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Presjeci plagioklasa u eruptivima su često stupićasti ili prutićasti, a ako su svježiji, onda su bezbojni, lijepo se vide pukotine kalavosti po {001} i {010} (slike 7.5.10. i 7.5.11.).

Ako su zahvaćeni procesima izmjene, presjeci plagioklasa su zamućeni i slabo providni.

Rijetki su kristali pojedinci; česti su polisintetski sraslaci.

Često se opaža zonarna građa, osobito kod plagioklasa u eruptivnim stijenama (slika 7.5.12.).

b) Indeksi loma rastu od albita prema anortitu:

albit anortit

$$n_x = 1,529 - 1,575$$

$$n_y = 1,533 - 1,583$$

$$n_z = 1,539 - 1,588$$

c) Mali maksimalni dvolom, interferiraju u bijeloj do žutoj boji 1. reda.

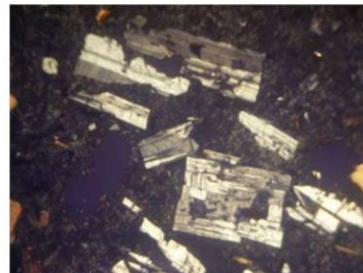
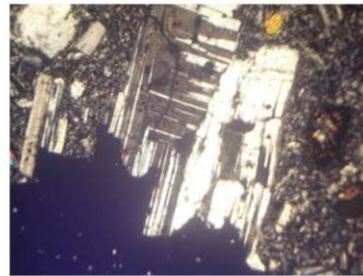
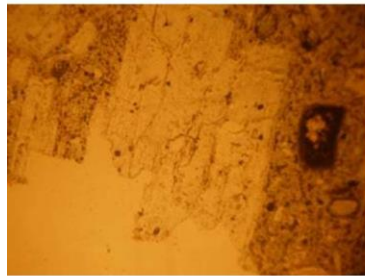
d) Kut optičkih osi velik za većinu plagioklasa.

e) Optički karakter kod nekih pozitivan, a kod nekih negativan.

f) Promjenom kemijskog sastava plagioklasa mijenja se:

- Vrijednosti indeksa loma.
- Položaj titrajnih pravaca prema kristalografskim osima, pa tako i kutovi kosog potamnjenja.
- Kut optičkih osi.
- Optički karakter.

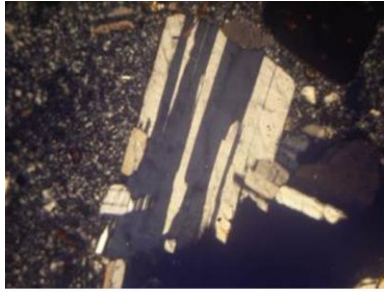
različiti presjeci plagioklasa



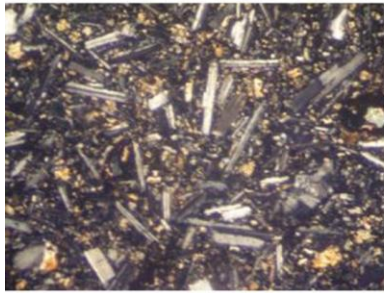
bez analizatora

s analizatorom

Slika 7.5.10. Presjeci plagioklasa u efuzivnoj stijeni.



polisintetske sraslačke lamele



različito orijentirani štapići plagioklasa – ofitska struktura (bazalt, dijabaz)

Slika 7.5.11. Lijepo izražene polisintetske sraslačke lamele kod plagioklasa (gore) i tipična ofitska struktura u bazaltu i dijabazu kao posljedica nasumične orijentacije zrna plagioklasa (dolje)



zonarni plagioklas

Slika 7.5.12. Zonarna građa zrna plagioklasa u efuzivnoj stijeni kao posljedica nejednolikog hlađenja.

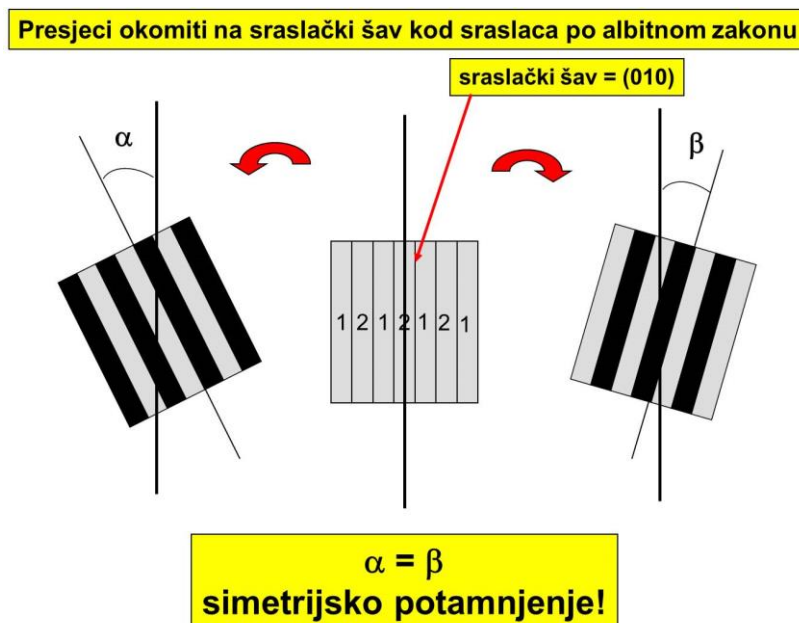
Zbog promjena kutova između titrajnih pravaca i kristalografskih osi s promjenom sastava plagioklasa, moguće je iz kutova potamnjenja na prikladnim presjecima odrediti njihov sastav. U tu svrhu osobito su prikladni presjeci iz tzv. **zone simetrijskog potamnjenja**.

Zona simetrijskog potamnjenja kod plagioklasa

Kod plagioklasa najčešći su sraslaci po albitnom, karlovarskom i kompleksnom albitno-karlovarskom sraslačkom zakonu.

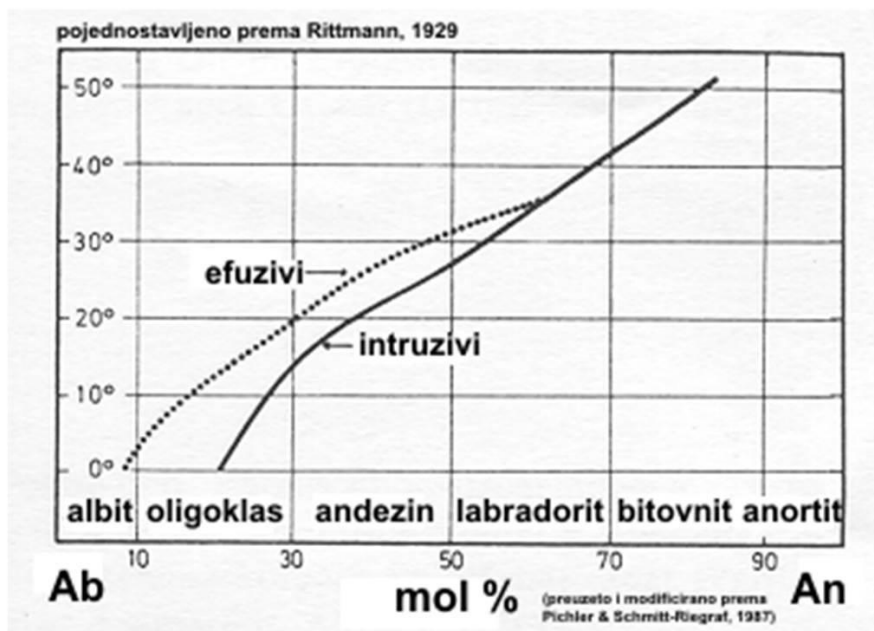
Od navedenih zakona najčešći je **albitni sraslački zakon**, kod kojeg je sraslačka os okomica na (010), pa je tako sraslački šav upravo ploha (010).

U presjecima plagioklasa točno okomitim na sraslački šav (010) oba sustava sraslačkih lamela sraslih po albitnom zakonu moraju potamniti pod istim kutom u odnosu na taj šav (ili u odnosu na pukotine kalavosti po {010}) (slika 7.5.13.), pa se kaže kako one potamne simetrijski. To su, dakle, presjeci iz **zone simetrijskog potamnjenja**, te upravo taj kut potamnjenja služi za određivanje sastava plagioklasa iz takvih presjeka. Raspon mogućih kutova potamnjenja stavljen je u odnos prema sastavu plagioklasa u dijagramu prikazanom na slici 7.5.14., pa se mjerenjem tog kuta u određenom presjeku plagioklasa sastav može jednostavno očitati korištenjem tog dijagrama.



Slika 7.5.13. Shematski prikaz presjeka plagioklasa sraslog prema albitnom zakonu, a koji se nalazi u zoni simetrijskog potamnjenja. Sustavi lamela (ovdje označeni s 1 i 2) potamne pod istim kutom u odnosu na sraslački šav prilikom zakretanja u lijevu i desnu stranu.

Očitavanje udjela anortitne komponente



Slika 7.5.14. Pojednostavljeni dijagram za očitavanje udjela anortitne komponente iz izmjenog kuta kosog potamnjenja na presjeku plagioklasa u zoni simetrijskog potamnjenja.

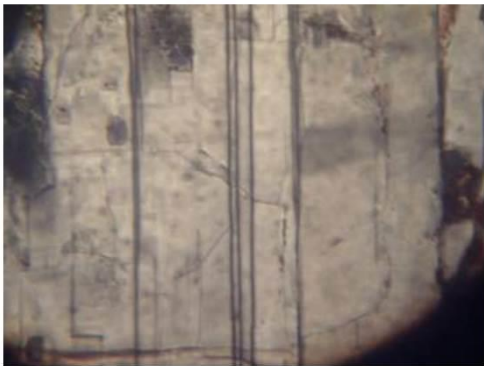
Kako se prepoznaju presjeci iz zone simetrijskog potamnjenja? (slika 7.5.15.)

- Sraslački šav se vidi kao oštra granica između sraslačkih lamela, te se pri izoštravanju (fokusiranju) ne pomiče značajno lijevo – desno, odnosno gore - dolje. Za takvo opažanje treba koristiti veće povećanje.
- Sraslaci po albitnom zakonu u takvom presjeku prepoznaju se po tome što oba sustava sraslačkih lamela pokazuju istu interferencijsku boju kada im je izduženje, odnosno sraslački šav, orijentiran sjever - jug (tj. paralelno s vertikalnom niti nitnog križa).



1. tražimo pogodan presjek!

u orijentaciji sjever-jug (paralelno s vertikalnom niti nitnog križa) sraslačke lamele s uključenim analizatorom jednako interferiraju = albitni sraslački zakon



sraslački šav se pri defokusiranju ne pomiče značajno lijevo-desno = presjek približno okomit na sraslački šav (010)

Slika 7.5.15. Svojstva presjeka plagioklasa u zoni simetrijskog potamnjenja: a) sraslačke lamele interferiraju u istoj interferencijskoj boji kada su im sraslački šavovi orijentirani paralelno s vertikalnom niti nitnog križa (gore), b) sraslački šavovi se opažaju kao uske jasne linije koje se znatnije ne pomiču prilikom defokusiranja slike (dolje).

Nakon što se pronađe odgovarajući presjek plagioklasa u zoni simetrijskog potamnjenja, **postupak određivanja njegovog sastava je sljedeći:**

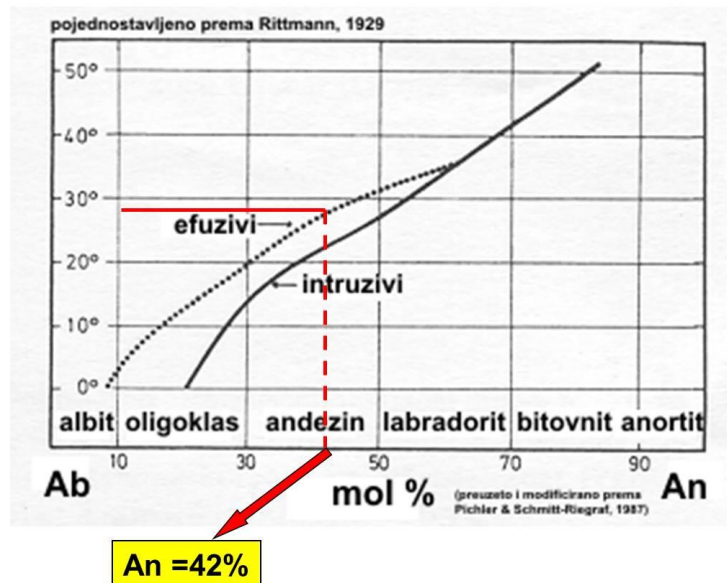
1. Dovede se sraslački šav u položaj paralelan s vertikalnom niti nitnog križa, te se očita kut na mikroskopskom okretnom stoliću.
2. Zakrene se mikroskopski stolić u lijevo, dok jedan sustav sraslačkih lamela ne potamni. Ponovno se očita kut, te se izračuna kut kosog potamnjenja u odnosu na sraslački šav.
3. Mikroskopski stolić se vrati u početni položaj (vidi pod 1.), te ga zatim zakrenemo u desno dok drugi sustav sraslačkih lamela ne potamni. Ponovno se očita kut na mikroskopskom stoliću, te se i za ovaj slučaj izračuna kut kosog potamnjenja prema sraslačkom šavu.
4. Izmjereni kutovi kosog potamnjenja za oba sustava sraslačkih lamela trebali bi biti isti, ili približno isti (→ simetrijsko potamnjenje!). **Ne smiju se razlikovati za više od 5°**, a u slučaju da se razlikuju, odbrani presjek nije pogodan za određivanje sastava plagioklasa, pa u preparatu treba potražiti neki drugi odgovarajući.
5. Potrebno je izmjeriti što više presjeka iz zone simetrijskog potamnjenja (barem 10), te zatim iskoristiti najviše izmjerenu vrijednosti kuta kosog potamnjenja za očitavanje udjela anortitne komponente. Očitavanje se može načiniti u dijagramu prikazanom na slici 7.5.14.

Na slikama 7.5.15., 7.5.16. i 7.5.17. su prikazani prethodno opisani koraci za određivanje sastava plagioklasa iz presjeka u zoni simetrijskog potamnjenja predočeni na stvarnom primjeru.



Slika 7.5.16. Primjer određivanja karakterističnog kuta kosog potamnjenja na presjeku koje se nalazi u zoni simetrijskog potamnjenja.

3. očitavamo udio anortitne komponente!



7.5.17. Očitavanje udjela anortita za primjer presjeka plagioklasa prikazanog na slici 7.5.16.

Postoji više metoda određivanja sastava plagioklasa. Prikazana je **metoda po Michel-Lévyu**.

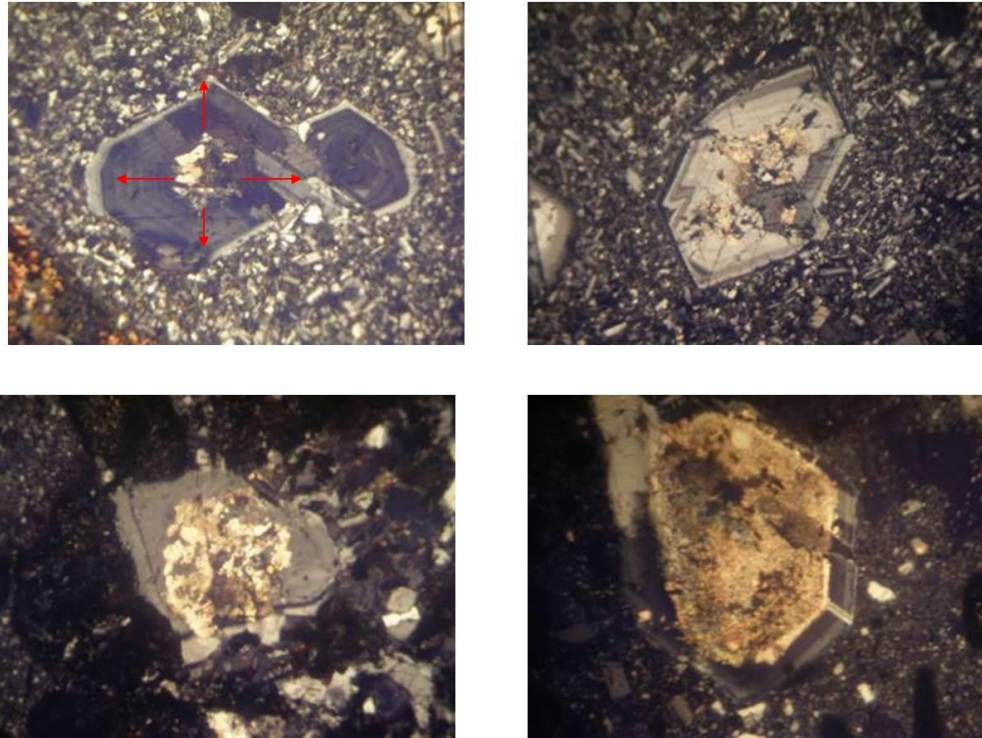
Izmjene:

- Kiseli plagioklasi izmjenjuju se u sericit (slika 7.5.18.), kaolinit i druge minerale glina, kao i u zeolite.
- Bazični plagioklasi izmjenjuju se u **soširit**. To je nakupina sitnih zrna zoisita, klinozoisita i albita.
Bazični plagioklasi mogu se izmjenjivati i u albit (proces **albitizacija**), pri čemu još nastaju kalcit, klinozoisit ili epidot.
- Bazični plagioklasi su manje stabilni od kiselih.

Pojavljivanje:

- Plagioklasi su vrlo rašireni minerali.
- Kiseli plagioklasi dolaze u granitu, sijenitu, riolitu, trahitu, pegmatitima, u kristalnim škrljajcima i u sedimentima.
- Neutralni plagioklasi dolaze u dioritu, sijenitu, andezitu, gnajsu te ih nema u sedimentima.
- Bazični plagioklasi pojavljuju se u gabru, bazaltu, u mramorima, rijetko u kristalnim škrljajcima, a nema ih u sedimentima.

SERICITIZACIJA



Slika 7.5.18. Različiti presjeci plagioklasa zahvaćeni procesom sericitizacije. Intenzitet sericitizacije raste od gore lijevo prema dolje desno.

7.6. EPIDOT, KLINOZOISIT, ZOISIT, KLORITI

7.6.1. EPIDOT



Epidot je sorosilikat te kristalizira monoklinski u kristalnom razredu $2/m$. Kristali su mu obično izduženi duž osi b . Ima dobru kalavost po $\{001\}$, a slabiju po $\{100\}$. Žutozeleno je boje.

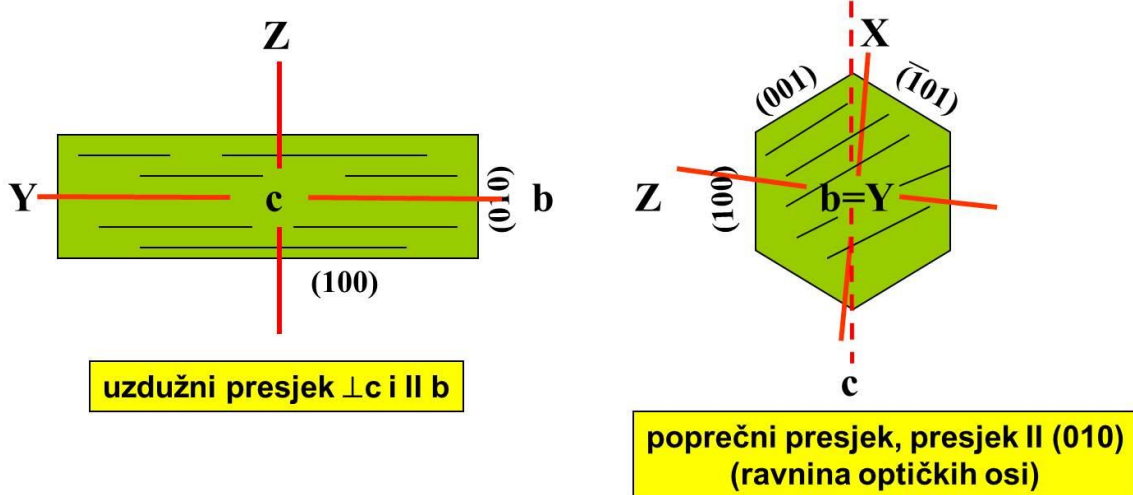
Mikroskopska svojstva:

a) Izgled presjeka (slika 7.6.1. i 7.6.2.):

Uzdužni presjeci paralelni s osi b su izduženi pravokutnici.

Poprečni presjeci su nepravilni šesterokuti.

Ako se vide oba sustava kalavosti, sijeku se pod kutom od 115° .



Slika 7.6.1. Shematski prikaz karakterističnih presjeka epidota.

b) Visoki pozitivan reljef.

$$n_x = 1,720 - 1,734$$

$$n_y = 1,724 - 1,763$$

$$n_z = 1,734 - 1,779$$

c) Bezbojan, najčešće žut ili zelen.

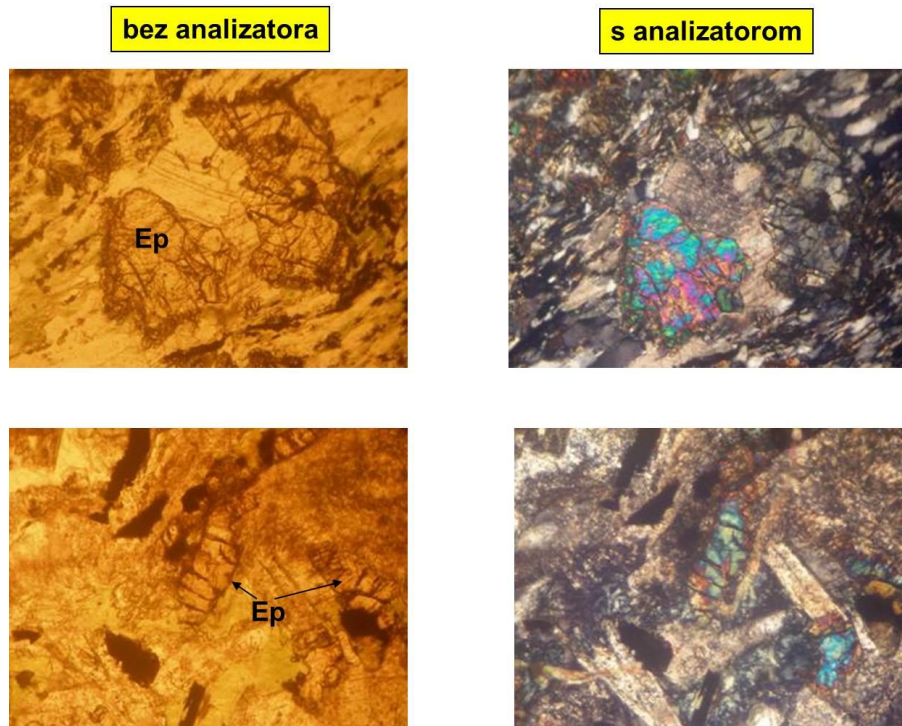
Slabi pleokroizam u žutoj i zelenoj boji.

d) Umjereno visok dvolom ($n_z - n_x$) = 0,014 - 0,045

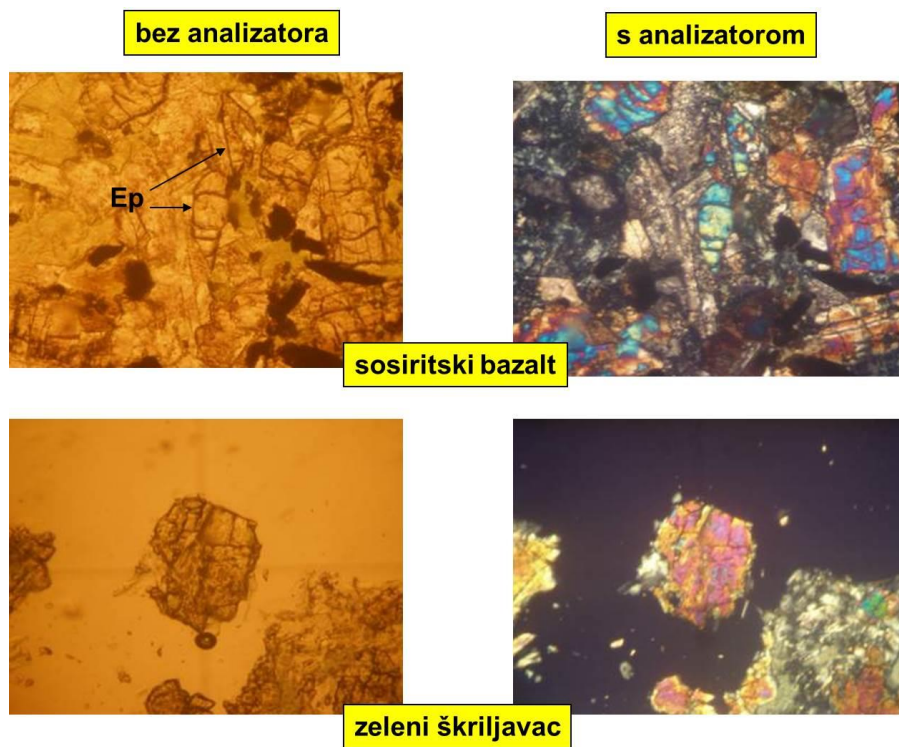
Interferira u živim bojama 2. i 3. reda.

e) Uzdužni presjeci potamne paralelno s pukotinama kalavosti.

Poprečni presjeci paralelni s (010) potamne koso, $Z : (001) = 15-25^\circ$.

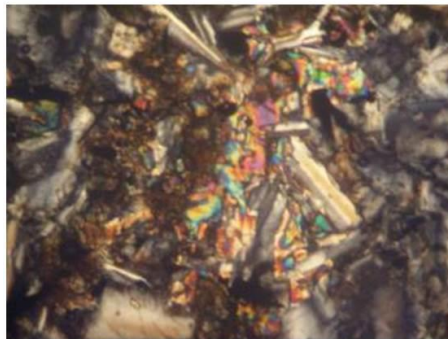
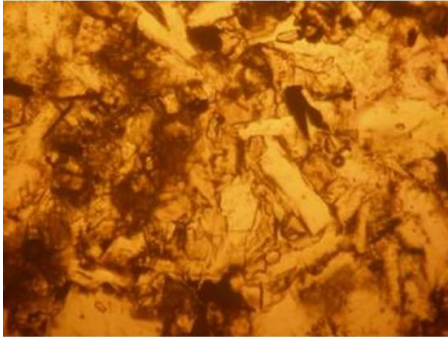


Slika 7.6.2. Tipični presjeci epidota.

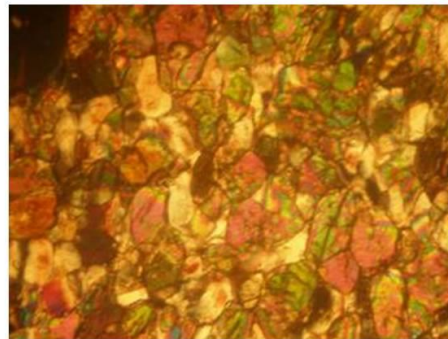
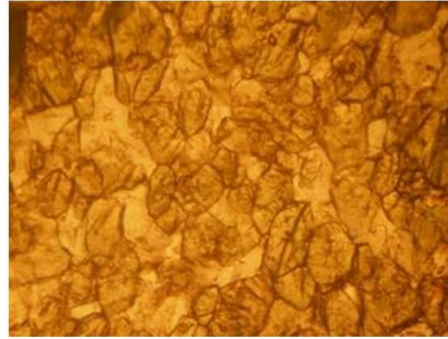


Slika 7.6.3. Pojava epidota u sosiritskom bazaltu (gore) i zelenom škrljavcu (dolje)

sosiritizacija



zrna epidota u amfibolskom
škriljavcu



zrna epidota interferiraju u živim bojama

Slika 7.6.4. Zrnca epidota u sosiritskom agregatu (lijevo) i u zelenom škriljavcu (desno).

- f) Optički je negativan, $-2V = 69 - 89^\circ$.
- g) Optički karakter izduženja može biti i pozitivan i negativan, budući da u uzdužnim presjecima smjerom izduženja ide titrajni pravac Y , koji se podudara s osi b .

Izmjene:

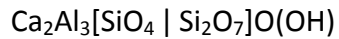
Izmjene epidota su rijetke.

Pojavljivanje (slike 7.6.3. i 7.6.4.):

Epidot je raširen mineral, a za njegov nastanak bitni su hidrotermalni procesi.

- a) U eruptivnim stijenama vezan za kasnomagmatske ili poslijemagmatske procese.
- b) Raširen u metamorfnim stijenama niskog stupnja metamorfizma.
Retrogradnom metamorfozom nastaje iz kalcijsko-aluminijskih minerala (bazični plagioklasi, amfiboli, augit).

7.6.2. KLINOZOISIT



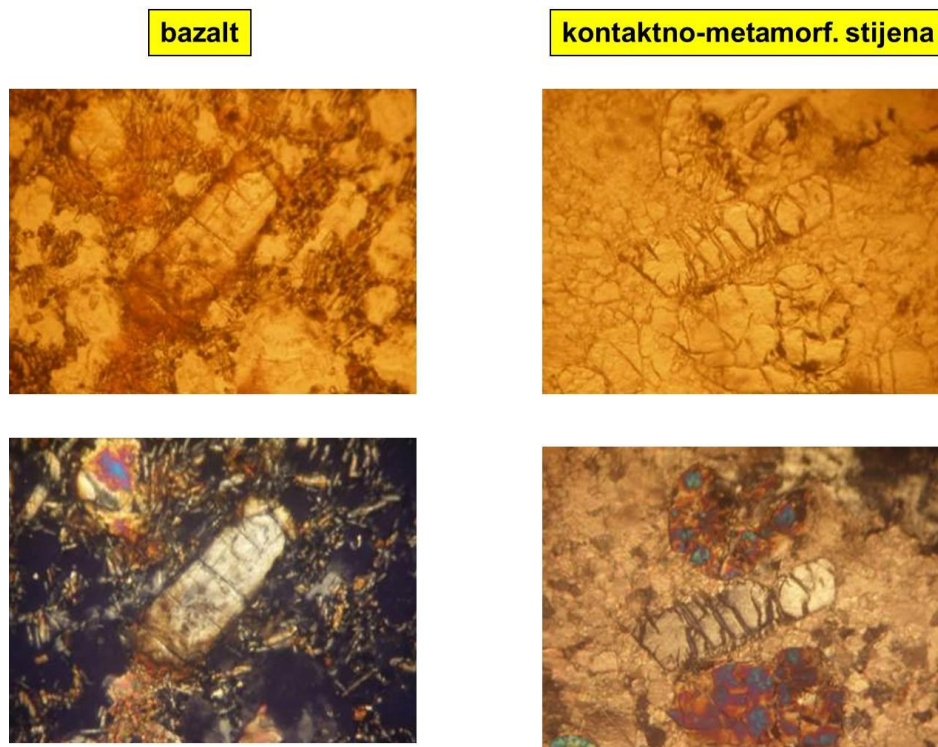
Klinozoisit je sorosilikat i kristalizira monoklinski u kristalnom razredu 2/m.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka: sličan epidotu.
- b) Visokog reljefa.
- c) Bezbojan.
- d) Potamni koso.
- e) Niskog dvoloma, te interferira u sivoj do žutoj boji 1. reda.
Ponekad se opažaju anomalne boje pa se umjesto sive 1. reda opaža plavkasta, dok se umjesto žute boje 1. reda opaža anomalna žutozelena boja.

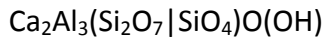
Pojavljivanje (slika 7.6.5.):

- a) Čest mineral u kontaktno-metamornim i regionalno-metamornim stijenama.
- b) Produkt izmjene bazičnih plagioklasa (sosiritizacijom), te kloritizacije hornblende i biotita.



Slika 7.6.5. Pojava klinozoisita u bazaltu kao posljedica sosiritizacije (lijevo) te u mramoru (desno)

7.6.3. ZOISIT



Zoisit je sorosilikat i kristalizira u rompskom sustavu u kristalnom razredu $2/m\ 2/m\ 2/m$. Pojavljuje se u obliku izduženih štapića (duž osi b), dok su kristalne plohe obično slabo izražene. Kalavost mu je vrlo dobra po $\{010\}$, a ponekad se opaža i lučenje po $\{001\}$. Boje je sivkaste, žućkaste ili sivkasto-zelenkasta.

Mikroskopska svojstva (slike 7.6.7. i 7.6.8.):

a) Oblik presjeka:

Uzdužni presjeci su štapići, kalavost se dobro vidi.

Poprečni presjeci su romb ili šesterokut (pseudo).

b) Reljef je visok.

$$n_x = 1,696 - 1,700$$

$$n_y = 1,696 - 1,703$$

$$n_z = 1,702 - 1,718$$

c) Bezbojan.

d) Dvolom malen do umjeren, $(n_z - n_x) = 0,006 - 0,018$

Opaža se anomalna indigo-plava interferencijska boja.

Kod zoisita s nešto Fe umjesto anomalne opaža se siva boja 1. reda, najviše do plave boje 2. reda.

e) Potamni paralelno.

f) Ravnina optičkih osi $|| (010)$.

g) Optički pozitivan, $2V = 0 - 60^\circ$.

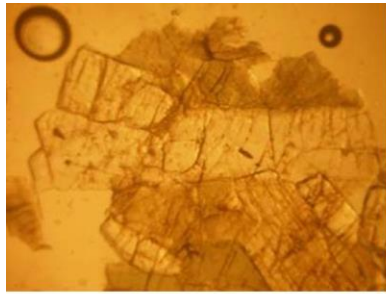
Izmjene:

Izmjene zoisita nisu poznate, rezistentan mineral.

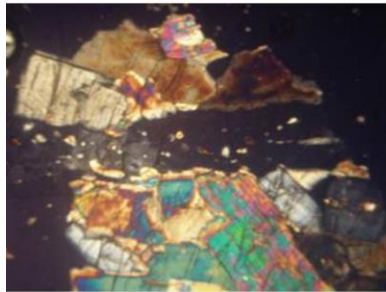
Pojavljivanje:

a) Zoisit se javlja u amfibolitu, eklogitu.

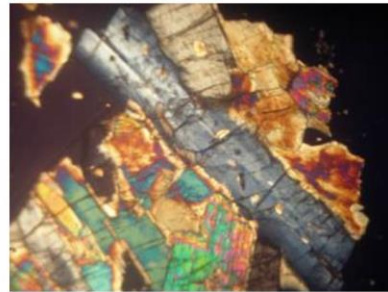
b) Sastavni je dio **sosirita**, mineralne nakupine nastale izmjenom bazičnih plagioklasa (sosiritski gabro, sosiritski bazalt).



bez analizatora

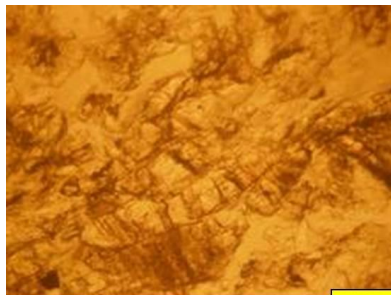


paralelno potamnjenje



anomalna interferencijska boja

Slika 7.6.6. Bezbojno zrno zoisita visokog reljefa i izražene kalavosti (gore) koje potamni paralelno izduženju (dolje lijevo), te pokazuje anomalnu plavu interferencijsku boju (desno dolje).



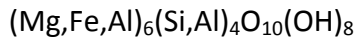
bez analizatora



s analizatorom

Slika 7.6.7. Nekoliko zrna zoisita s lijepo vidljivom plavom anomalnom interferencijskom bojom. Zrno na slikama desno pokazuje gubitak anomalne boje zbog prisutnosti željeza.

7.6.4. KLORITI



Kloriti su filosilikati koji kristaliziraju najčešće monoklinski (kristalni razred 2/m), no poznati su i trikliniski i rompski kloriti. Obično se pojavljuje u obliku pločica, koje su pseudoheksagonskog habitusa. Ima savršena kalavost po {001}. Najčešće dolazi u listićavim i ljuskavim agregatima. Tamnozeleno je boje.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka (slike 7.6.8. i 7.6.9.):

Idiomorni presjeci su pseudoheksagonski u presjeku paralelnom s kalavošću po {001}.

Uzdužni presjeci su pravokutni.

Često kao listićavi agregati.

b) Slabo izraženog reljefa, indeksi loma obično nešto viši od indeksa loma kanadskog balzama (1,575-1,6).

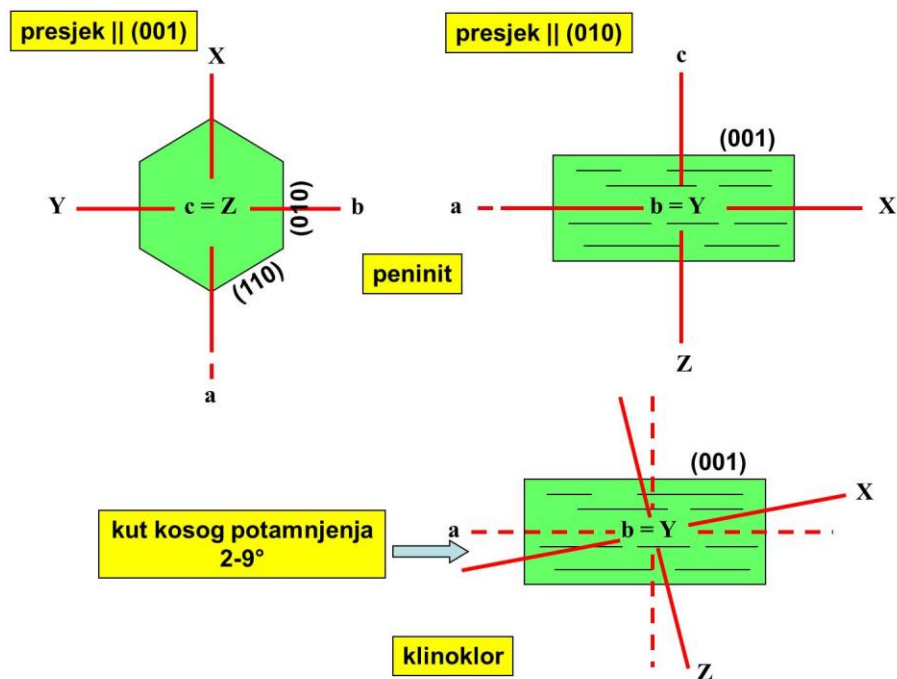
Indeksi loma rastu s porastom Fe.

c) Zelene boje, obično jasni pleokroizam (slika 7.6.9.).

d) Nizak dvolom: 0,001-0,011

Interferira u sivoj do žutoj boji 1. reda (slike 7.6.9. – 7.6.11.).

(Mg-bogati klorit (peninit) pokazuje anomalnu lavendulasto-plavu boju)(slika 7.6.12.)

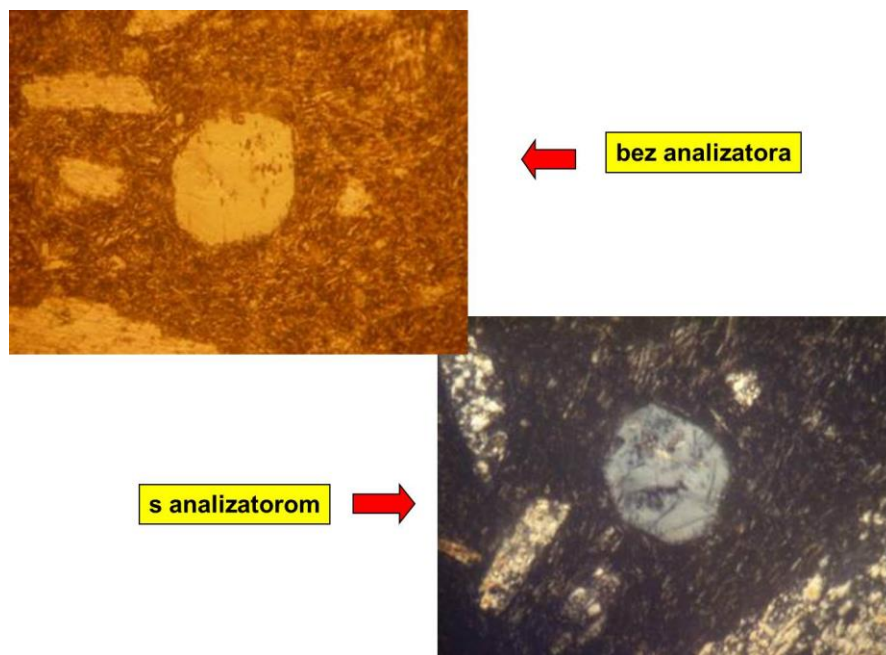


Slika 7.6.8. Shematski prikaz karakterističnih idiomornih presjeka nekih češćih klorita te odnos glavnih titrajnih pravaca prema njihovim kristalografskim osima.

- e) Potamne paralelno ili gotovo paralelno prema kalavosti po (001) (iznimka je klinoklor koji potamni koso, $X : (001) = 2 - 9^\circ$).
- f) Ravnina optičkih osi $|| (010)$.
- g) Uglavnom su optički pozitivni.
- h) Kut optičkih osi obično malen ($2V = 0 - 30^\circ$) i promjenljiv.

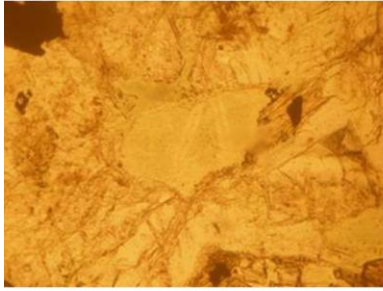
Pojavljivanje:

Kloriti su glavnom sekundarni minerali. Nastaju pri nižim temperaturama djelovanjem hidrotermalnih otopina na feromagnezijske minerale (olivin, amfibol, granat, piroksen, biotit).

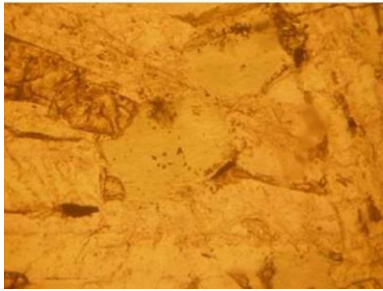


Slika 7.6.9. Gotovo idiomorfno zrno klorita blago zelenkasto obojeno (gore) s tipičnom interferencijskom bojom (dolje).

bez analizatora

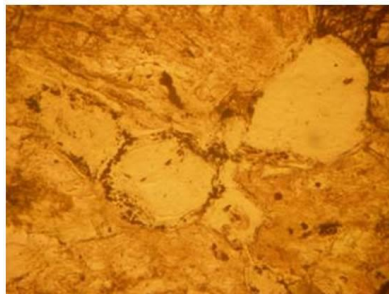


s analizatorom

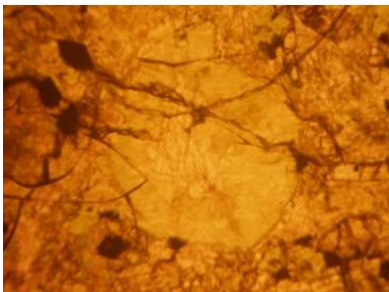
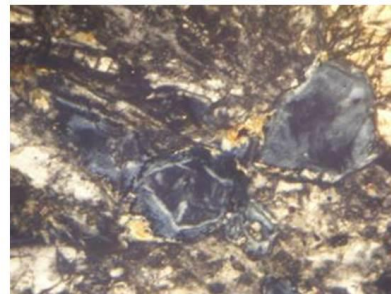


Slika 7.6.10. Različiti presjeci klorita (u središtu vidnog polja). Bez analizatora se uočava nizak reljef i blaga zelenkasta boja, a s analizatorom karakteristična interferencijska siva boja 1. reda.

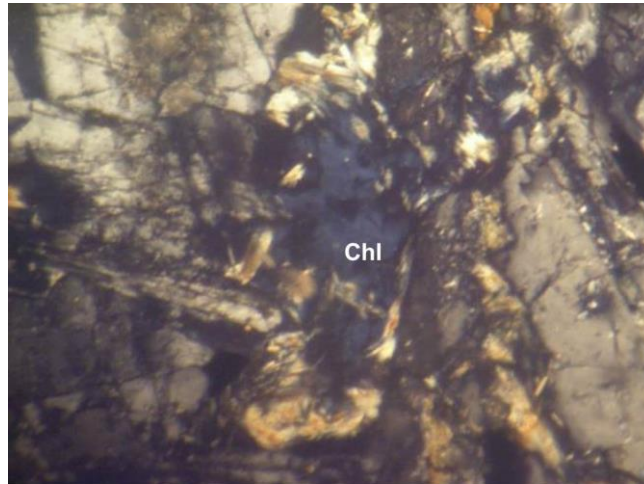
bez analizatora



s analizatorom



Slika 7.6.11. Presjeci klorita (u sredini vidnog polja). Na donjim slikama uočava se da se zrno klorita u stvari sačinjavaju sitni listići klorita, dok se u sredini zrna nalazi kalcit.



anomalna interferencijska boja

Slika 7.6.12. Zrno klorita s anomalnom lavendulasto plavom bojom, karakterističnom za klorite bogate magnezijem.

7.7. ANHIDRIT i GIPS

7.7.1. ANHIDRIT



Anhidrit pripada razredu sulfata i kristalizira u rompskom sustavu ($2/m\ 2/m\ 2/m$). Kristali anhidrita nisu česti te ih čini kombinacija tri pinakoida i prizme $\{101\}$. Najčešći su zrnasti, štapićasti do vlaknasti agregati. Ima kalavost smjerom sva tri pinakoida, no najbolja je po $\{001\}$. Nalaze se sraslaci po (012) . Anhidrit je bezbojan, no može biti i bijel, plavkast te crvenkast.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Idiomorfni presjeci su pravokutni s jasno izraženim međusobno okomitim sustavima kalavosti (slika 7.7.1).

Češće se pojavljuje u obliku zrnatih (slika 7.7.2.), štapićastih ili vlaknastih agregata.

b) Reljef nizak do umjeren.

$$n_x = 1,570$$

$$n_y = 1,576$$

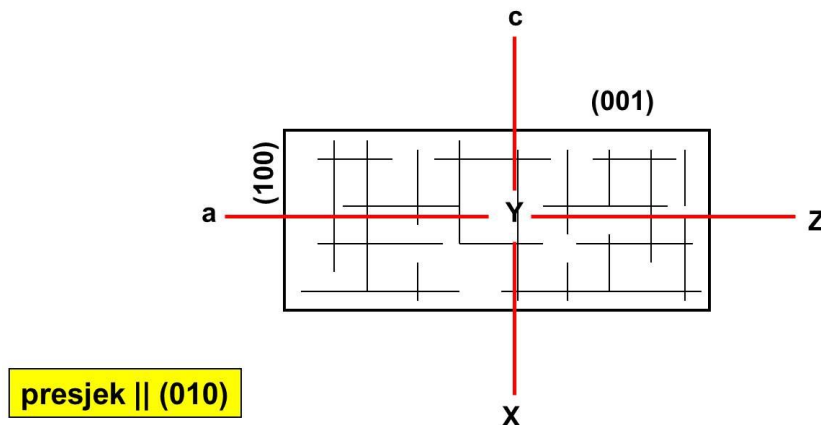
$$n_z = 1,614$$

Presjeci $\parallel (010)$ pokazuju pseudoapsorpciju.

c) Bezbojan, rjeđe ljubičast kada pokazuje pleokroizam ($Y = \text{bezbojan}$, $X = Z = \text{ljubičast}$).

d) Dvolom je visok, $(n_z - n_x) = 0,044$

Interferira u živim bojama 2. i 3. reda.

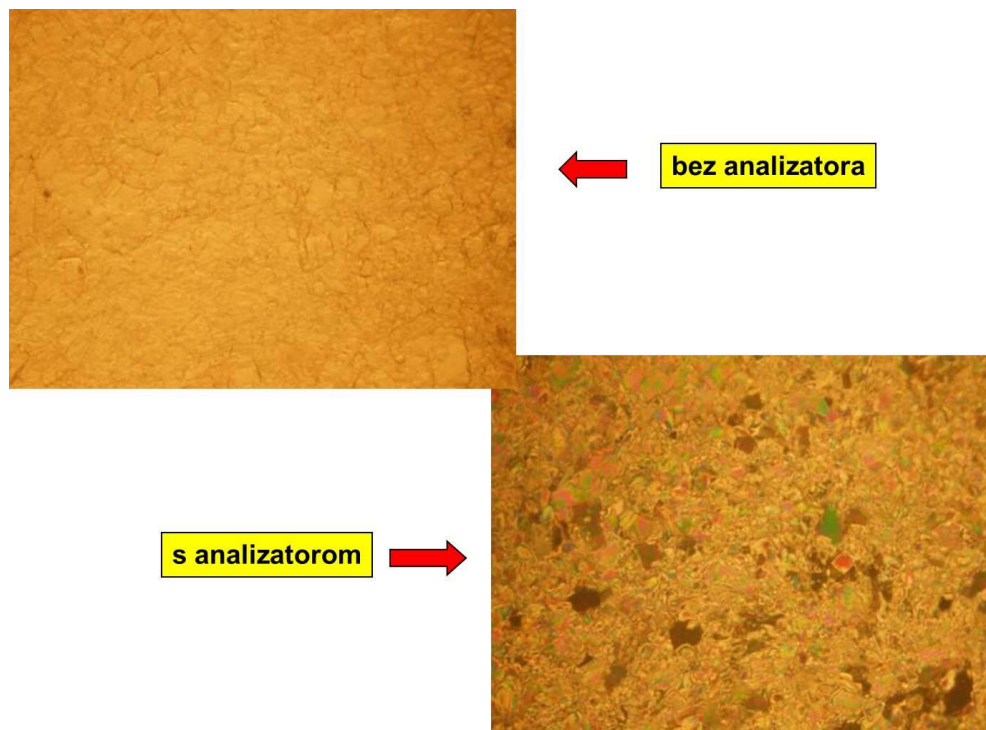


Slika 7.7.1. Shematski prikaz idiomornog presjeka anhidrita te položaj glavnih titrajnih pravaca prema kristalografskim osima.

e) Ravnina optičkih osi $\parallel (010)$.

f) Potamni paralelno.

g) Optički je pozitivan, $2V = 42^\circ$.



Slika 7.7.2. Sitnozrnati agregat anhidrita.

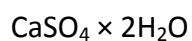
Izmjene:

Anhidrit se hidratacijom može izmijeniti u gips

Pojavljivanje:

Anhidrit se nalazi u sedimentima i iz njih nastalim metamorfizitima. Dolazi u zajednici s gipsom i halitom.

7.7.2. GIPS



Gips je hidratizirani sulfat koji kristalizira u monoklinskom sustavu (2/m). Kristali gipsa najčešće su debelog pločastog habitusa po (010), a mogu biti i prizmatski izduženi. Najčešće se pojavljuje u zrnastim, vlaknastim i ljuskastim, a ponekad i masivnim agregatima. Česti su sraslaci, osobito po (100) („lastin rep“). Ima savršenu kalavost po {010}, slabiju po {100} i {011}. Bijele je boje.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Idiomorfni presjeci su pločasti, prizmatski izduženi, rombični (slika 14.3.).

Česti su zrnasti ili vlaknasti agregati.

Jasna kalavost.

b) Nizak negativan reljef:

$$n_x = 1,520$$

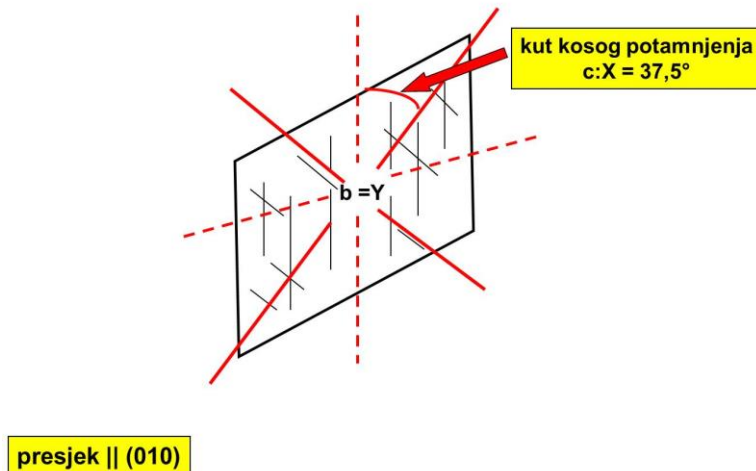
$$n_y = 1,522$$

$$n_z = 1,529$$

c) Bezbojan.

d) Nizak dvolom, $(n_z - n_x) = 0,009$

Interferira u sivoj do žutoj boji 1. reda (slike 7.7.4. i 7.7.5.).



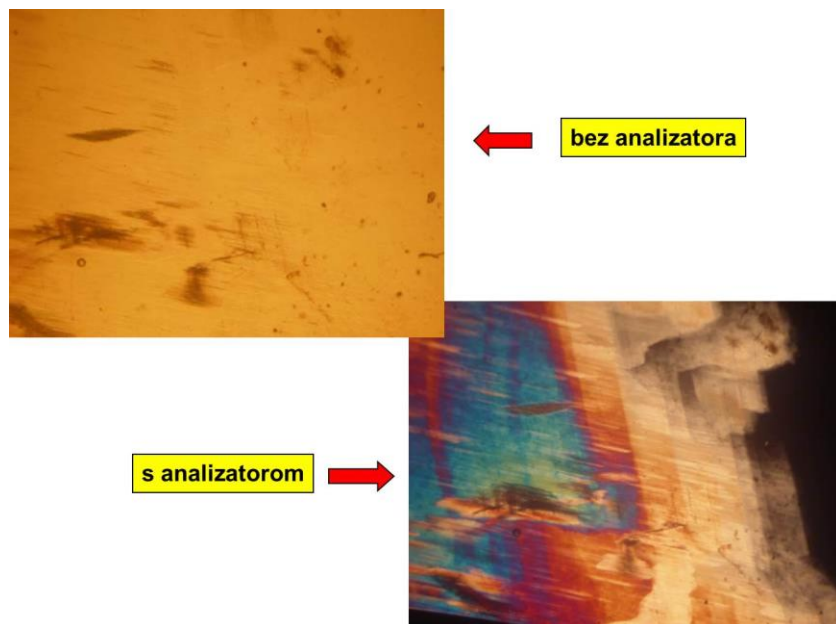
Slika 7.7.3. Shematski prikaz idiomornog presjeka gipsa s prikazom odnosa glavnih titrajnih pravaca prema kristalografskim osima.

e) Ravnina optički osi || (010).

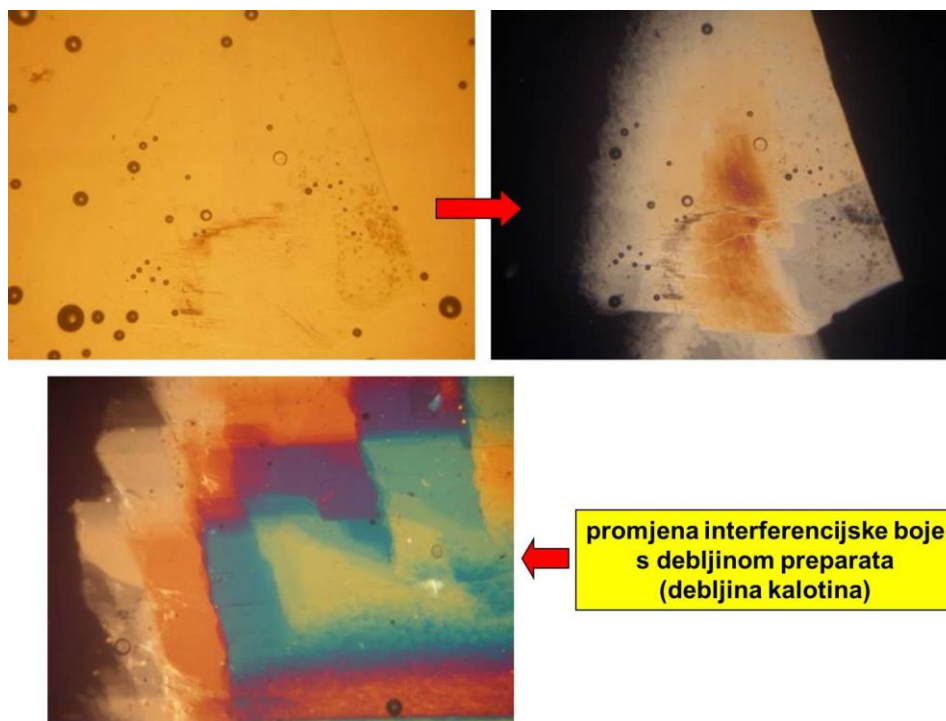
f) Potamni koso, $X:c = 37,5^\circ$ (presjek || (010)).

U presjeku || (100) potamni paralelno.

g) Optički je pozitivan, $2V = 58^\circ$.



Slika 7.7.4. Dio većeg zrna gipsa. Treba uočiti kako su više interferencijske boje posljedica veće debljine preparata prema sredini zrna.



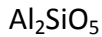
Slika 7.7.5. Presjek gipsa klinastog oblika (gore) gotovo nevidljiv bez analizatora zbog niskog reljefa (lijevo). Na donjoj slici prikazano je zrno kod kojeg se uslijed promjene interferencijske boje s debljinom preparata jasno uočavaju smjerovi savršene kalavosti kod gipsa.

Pojavljivanje:

- a) Evaporitnog je porijekla. Dolazi u asocijaciji s halitom i drugim solima.
- b) U vapnencima.
- c) Može nastati oksidacijom sulfida.

7.8. ANDALUZIT, SILLIMANIT I KIANIT

7.8.1. ANDALUZIT



Andaluzit je nezosilikat i kristalizira u rompskom sustavu ($2/m\ 2/m\ 2/m$). Pojavljuje se u obliku stupačastih prizmatskih kristala ili nepravilnih agregata. Ima dobru kalavost po $\{110\}$, a sustavi kalavosti sijeku se pod 91° . Najčešće je crvenkasto ili sivkasto obojen.

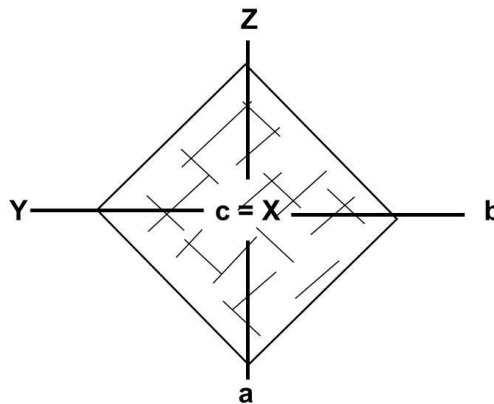
Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Uzdužni presjeci ($\parallel c$) su pravokutnici, a paralelno izduženju nalaze se pukotine kalavosti. Poprečni presjeci ($\perp c$) su kvadratični s dva sustava kalavosti (sijeku se $\sim 90^\circ$) (slike 7.8.1. i 7.8.2.).

Česti su divergentnotrakasti agregati.

Hijastolit je andaluzit sa simetrično raspoređenom organskom tvari, koja se u poprečnom presjeku opaža kao crni križ.



presjek $\parallel (001)$

Slika 7.8.1. Shematski prikaz idiomorfnog presjeka andaluzita s glavnim titrajnim pravcima i njihovim odnosom prema kristalografskim osima.

b) Relativno visoki reljef:

$$n_x = 1,629 - 1,640$$

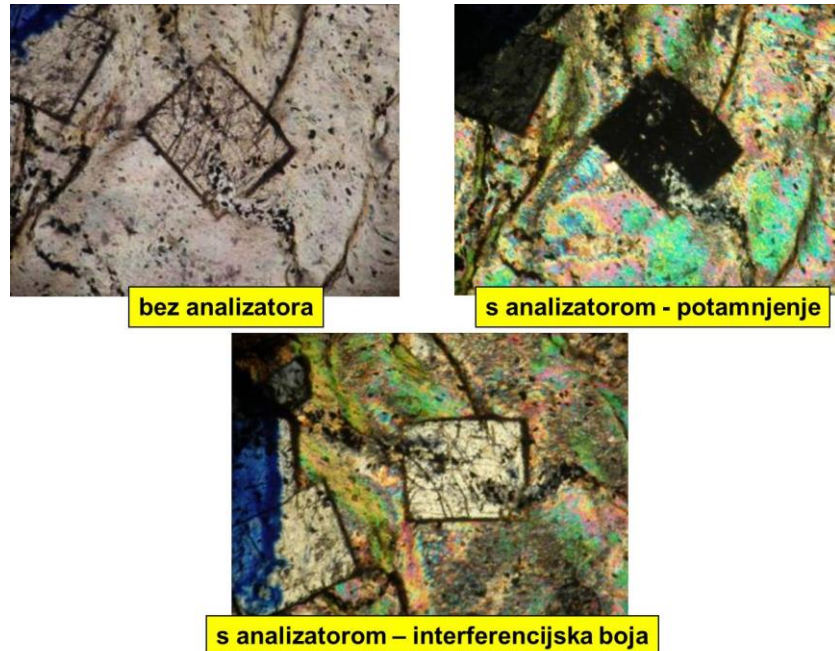
$$n_y = 1,633 - 1,644$$

$$n_z = 1,639 - 1,647$$

c) Bezbojan, ponekad nejednoliko ružičasto obojen (slab pleokroizam u ružičastim i zelenkastim nijansama).

d) Potamni paralelno, u poprečnim presjecima simetrijski.

- e) Mali dvolom, $(n_z - n_x) = 0,007 - 0,011$
 Interferira u sivoj boji 1. reda (maksimalno do žute 1. reda).
- f) Optički je negativan, $-2V = 85^\circ$.
- g) Optički karakter izduženja negativan.



Slika 7.8.2. Idiomorfan presjek andaluzita.

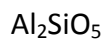
Izmjene:

- a) Izmjenjuje se u sericit, korund i spinel, ili u korund i biotit.
 b) Čest je polimorfni prijelaz u sillimanit.

Pojavljanje:

Andaluzit se nalazi u kontaktno-metamornim i regionalno- metamornim stijenama (visoka T, niski P) (hornfels, filit, tinjčev škriljavac, gnajs).

7.8.2. SILLIMANIT



Sillimanit je nezosilikat koji kristalizira u rompskom sustavu (2/m 2/m 2/m). Nalazi se u štapičastim, igličastim ili vlaknasti agregatima. Ima izvrsnu kalavost po {010}. Sivkaste, zelenkaste ili smeđaste je boje.

Mikroskopska svojstva:

- a) Oblik presjeka:
 Najčešći su štapičasti agregati s prizmatskim kristalima izduženim duž osi c (mogu biti svinuti)(slika 7.8.3.).

Kod većih kristala uočava se kalavost.

Česte su poprečne pukotine.

b) Visok reljef:

$$n_x = 1,657 - 1,661$$

$$n_y = 1,658 - 1,670$$

$$n_z = 1,677 - 1,684$$

c) Bezbojan.

d) Umjerenog dvoloma, $(n_z - n_x) = 0,020 - 0,023$

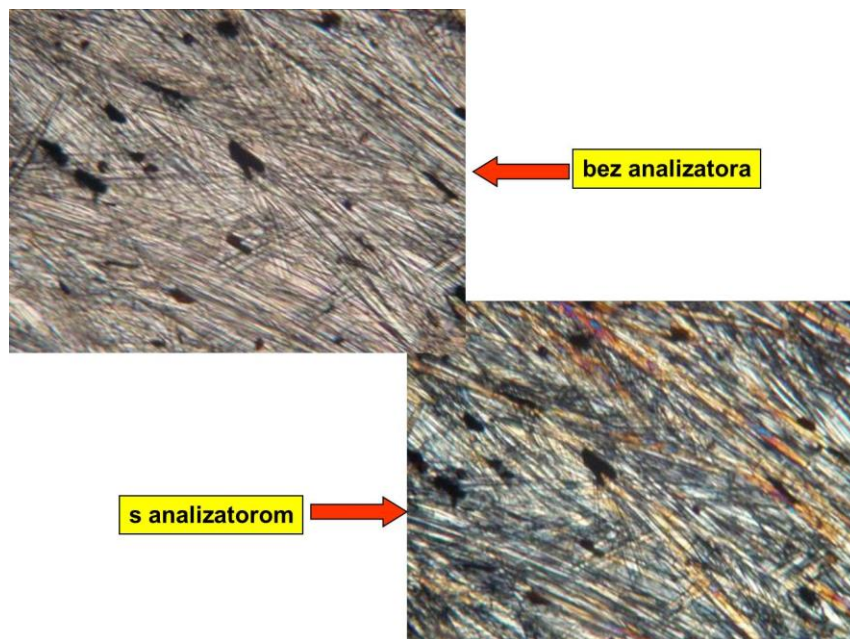
Interferira u početnim bojama 2. reda (plava i zelena).

e) Ravnina optičkih osi II (010) ($Z = c$)

f) Potamni paralelno.

g) Optički je pozitivan, $2V = 20-30^\circ$.

h) Optički karakter izduženja je pozitivan.



Slika 7.8.3. Vlaknasti agregat sillimanita.

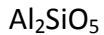
Izmjene:

Sillimanit je rezistentan mineral.

Pojavljivanje:

U metamorfnim stijenama (hornfels, gnajs, granulit, tinjčev škriljavac).

7.8.3. KIANIT



Kianit (nekad se koristio naziv disten) je nezosilikat i kristalizira triklinski $\bar{1}$. Nalazi se u obliku izduženih pločastih prizmatskih kristala koji budu poprečno prutani. Ima izvrsnu kalavost po {100}, a vrlo dobru po {010}. Ponekad se uočava lučenje po {001}. Modre je boje te nejednoliko obojen, a može biti i bezbojan, siv ili sivozelen.

Mikroskopska svojstva:

a) Oblik presjeka:

Uzdužni presjeci su pločasti i prizmatski (slika 7.8.4.).

Poprečni presjeci su četverostrani ili šesterostrani.

U uzdužni presjecima često se vidi lučenje i jedan sustav kalavosti.

U poprečnim presjecima vide se obje kalavosti.

b) Visok reljef:

$$n_x = 1,712$$

$$n_y = 1,722$$

$$n_z = 1,728$$

c) Bezbojan, rijetko blijedoplavkast.

Deblji preparati pokazuju pleokroizam (bezbojno – plavo).

d) Malen dvolom, $(n_z - n_x) = 0,016$

Interferira maksimalno u crvenoj boji 1. reda.

e) Potamni koso:

U plohi (100) Z:c ~ 30°.

U plohi (010) Z:c = 5-8°.

U plohi (001) potamnjenje je paralelno ili gotovo paralelno.

f) Ravnina optičkih osi je okomita na {100}.

g) Optički je negativan, $-2V \sim 82^\circ$.

Izmjene:

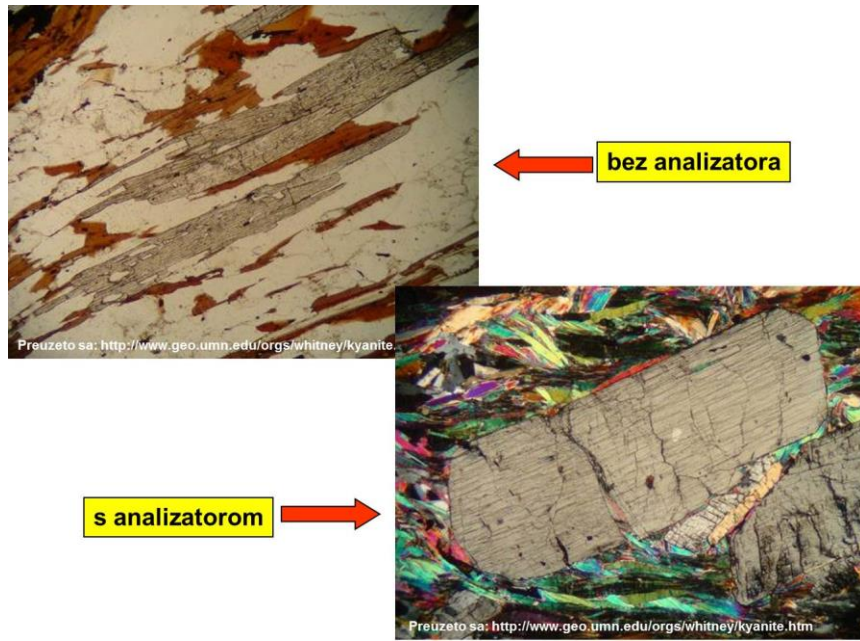
Kianit je prilično stabilan mineral.

Pri višim temperaturama može prijeći u vlaknasti sillimanit (fibrolit) i korund.

Pri nižoj temperaturi može prijeći u muskovit.

Pojavljivanje:

Kianit se pojavljuje u metamorfnim stijenama (srednji stupanj metamorfoze), npr. u tinjčevom škrljavcu.



Slika 7.8.4. Presjeci kyanita.

Literatura

- Barić, Lj. & Tajder, M (1967): Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, Zagreb, p. 235
- Ehlers, G. E. (1987): Optical Mineralogy, Blackwell Scientific Publications (Volume 1 and 2)
- Klein, C., Hurlbut, C. S. (1993): Manual of Mineralogy (21st ed.), John Wiley & Sons, p. 681
- Međimorec, S. (1998): Kristalna optika, interna skripta, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
- Nesse, W. D. (1991): Introduction to Optical Mineralogy, Oxford University Press, p. 335
- Pichler, H. & Schmitt-Riegraf, C. (1987): Gesteinsbildende Minerale im Duennschliff, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, p. 230 (engl. Rock-forming Minerals in Thin Section, Chapman & Hall, 1997)
- geol.pmf.hr/~ntomasic