

Sveučilište u Zagrebu
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Mineraloško-petrografski zavod

Predavanja i nastavni materijali
iz predmeta

TEODOLITNA ODREĐIVANJA MINERALA

(41054, 63330)

Preddiplomski studij Geologija, 3. godina
Diplomski studij Geologija

prof. dr. sc. Nenad Tomašić

Ovaj nastavni materijal recenziran je i prihvaćen za objavljivanje na mrežnim stranicama Geološkog odsjeka odlukom urbroj: 251-58- 10203-21-15, klasa: 640-01121-01/2 Fakultetskog vijeća Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu od 23. travnja 2021. godine

Predgovor

Ovaj priručnik obuhvaća nastavno gradivo predavanja i praktičnih vježbi iz predmeta *Teodolitna određivanja minerala* za studente preddiplomskog i diplomskog studija Geologija na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Priručnik je osmišljen kao pomoć pri praćenju nastave iz navedenog predmeta kao i kod praktičnih mjerenja mineralnih presjeka pomoću univerzalnog mikroskopskog stolića. 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. Višeosni mikroskopski sustavi.....	3
1.1. Uvod.....	3
1.2. Konstrukcija univerzalnog stolića.....	4
1.3. Ugradnja mikroskopskog preparata na univerzalni stolić.....	7
1.4. Podešavanja univerzalnog stolića i položaja preparata za mikroskopiranje.....	8
2. Određivanja pomoću univerzalnog stolića.....	11
2.1. Određivanje izotropnosti/anizotropnosti.....	11
2.2. Mjerenja optički anizotropnih jednoosnih minerala.....	12
2.3. Određivanja glavnih titrajnih pravaca optički dvoosnih anizotropnih minerala.....	17
2.4. Konstrukcija stereograma opažanja.....	19
2.5. Određivanje geometrijskih (kristalografskih) elemenata u preparatu.....	22
2.6. Korekcija mjerenih podataka zbog razlika u indeksu loma.....	25
2.7. Određivanja iz stereograma opažanja.....	29
2.7.1. Određivanje kemijskog sastava plagioklasa.....	29
2.7.2. Određivanje piroksena i amfibola.....	36
2.7.3. Određivanje sraslačkih zakona u presjecima minerala.....	41
3. Berekov nagibni kompenzator.....	47
3.1. Konstrukcija Berekovog nagibnog kompenzatora.....	48
3.2. Princip rada Berekovog nagibnog kompenzatora.....	49
Popis literature.....	53

1. VIŠEOSNI MIKROSKOPSKI SUSTAVI

1.1. UVOD

Na standardnom polarizacijskom mikroskopu je moguće zakretati presjek minerala u preparatu samo oko jedne osi – osi mikroskopa. Na višeosnom mikroskopskom stoliću, kao i što sam naziv govori, preparat je moguće zakretati i nagibati oko više osi. Tehnički gledano, radi se o standardnom polarizacijskom mikroskopu na čiji okretni stolić je pričvršćen tzv. univerzalni stolić. Univerzalni stolić (Slika 1.1.) je dodatak mikroskopu na koji je moguće pričvrstiti mikroskopski preparat te ga zakretati ili nagibati oko dodatne četiri ili pet osi, a sami univerzalni stolić s namještenim preparatom moguće je još zakretati oko osi samoga mikroskopa. Na taj način moguće je na velikom broju presjeka minerala u preparatu izvršiti mikroskopska promatranja i mjerenja, bez obzira na to o kojem se kristalografski i optički gledano presjeku radi.

U povijesnom razvoju svjetlosne mikroskopije i njezine upotrebe u istraživanju minerala i stijena, razvoj univerzalnog stolića tekao je postupno. Talijanski mikroskopičar botaničar i astronom Giovanni Battista Amici je dodao standardnom mikroskopskom stoliću 1844. godine jednu os rotacije u smjeru istok-zapad. Godine 1875. mikroskopičar Adams je dodao staklene polukuglaste segmente kako bi se riješio problem loma svjetlosti pri većim kutovima nagiba preparata. Jevgraf Stepanovič Fjodorov, ruski mineralog i kristalograf, u razdoblju od 1889.-1896. dizajnirao je prototip univerzalnog stolića kakav je i danas u upotrebi, dok je Max Berek, njemački mineralog i matematičar, dodatno proveo neka poboljšanja u prvoj polovici 20. stoljeća (Emmons, 1943; Muir, 1981). Takav univerzalni stolić se i danas koristi.

1.2 KONSTRUKCIJA UNIVERZALNOG STOLIĆA

Univerzalni stolić može prema konstrukciji biti **četveroosni** ili **peteroosni** (Slika 1.1.). Ovdje je opisana njegova konstrukcija u jednostavnijem, četveroosnom obliku.

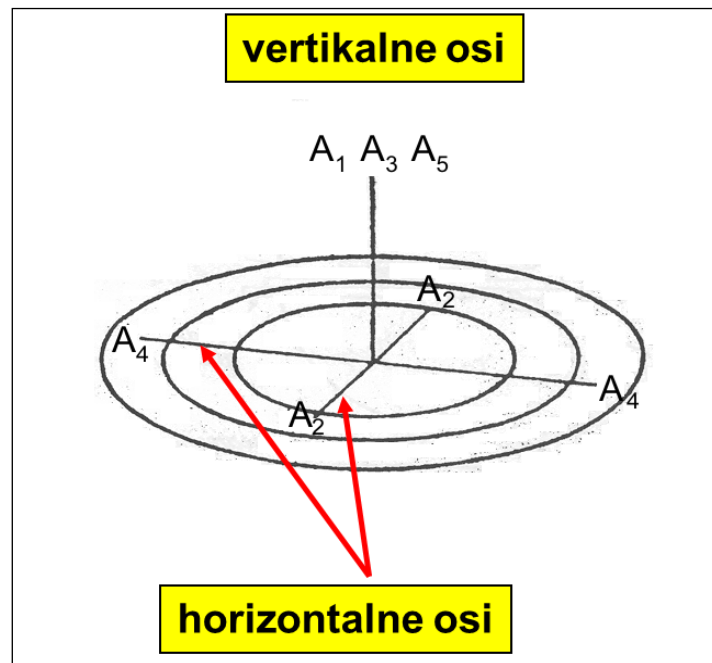


Slika 1.1. Univerzalni mikroskopski stolić prije ugradnje na polarizacijski mikroskop.

Univerzalni stolić omogućava zakretanje mikroskopskog preparata za 360° oko vertikalnih osi, te naginjanje u prosjeku za 40° - 50° oko horizontalnih osi.

Pričvršćivanjem takvog univerzalnog stolića na mikroskopski stolić moguće je preparat zakretati oko četiri osi univerzalnog stolića te oko osi samog mikroskopa, dakle ukupno oko pet osi. Te osi se redom, prema nomenklaturi koju je uveo Max Berek, označavaju s A_1 , A_2 , A_3 , A_4 i A_5 . Postoje vertikalne i horizontalne osi rotacije na stoliću (Slika 1.2.). Vertikalne su osi A_1 , A_3 i A_5 (os mikroskopa), te se sve preklapaju jedna s drugom. Horizontalne osi su A_2 i A_4 , te su međusobno okomite, a obje su istovremeno okomite na vertikalne osi A_1 , A_3 i A_5 . Os A_2 okomita je na promatrača, dok se os A_4 pruža paralelno s promatračem. Konstrukciju četveroosnog univerzalnog stolića čine dva metalna obruča koja u početnom namještaju univerzalnog stolića leže u horizontalnoj ravnini, umetnuta jedan u drugi. Mikroskopski preparat se učvršćuje na unutarnji obruč. Zakretanjem unutarnjeg obruča preparat se rotira oko osi A_1 (Slika 1.3.), a zakretanjem vanjskog obruča oko osi A_3 (Slika 1.4.). Svaki obruč ima po rubu označenu kutnu skalu od 0 - 360° , na kojoj se očitavaju kutovi kod optičkih mjerenja. Unutarnji obruč moguće je također i nagibati oko horizontalne osi koja ide u promatrača, tj. osi A_2 . Preparat se tako nagiba lijevo-desno, a kutno očitavanje nagiba vrši se na jednom od dva sklopiva metalna luka (tzv. Wrightovi lukovi) s označenom kutnom skalom (Slika 1.5.). Oba horizontalna obruča su preko vanjskoga obruča pričvršćena za glavno kućište univerzalnog stolića u smjeru horizontalne osi koja ide paralelno s promatračem, tj. osi A_4 . Na taj je način moguće preparat naginjati naprijed-nazad, a kutni pomak očitava se na bubnju s desne strane,

čijim zakretanjem se ujedno i obavlja nagibanje (Slika 1.6.). Cijeli univerzalni stolić moguće je zakretati pomoću okretnog mikroskopskog stolića na koji je i pričvršćen, tj. oko osi A_5 .



Slika 1.2. Shematski prikaz osi rotacije na univerzalnom stoliću.



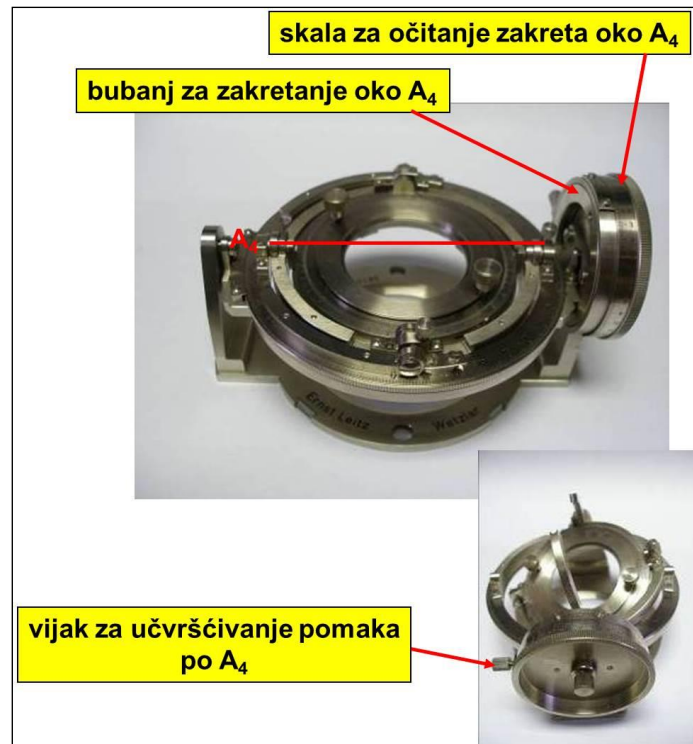
Slika 1.3. Shematski prikaz položaja osi A_1 na univerzalnom stoliću.



Slika 1.4. Shematski prikaz položaja osi A_3 na univerzalnom stoliću.



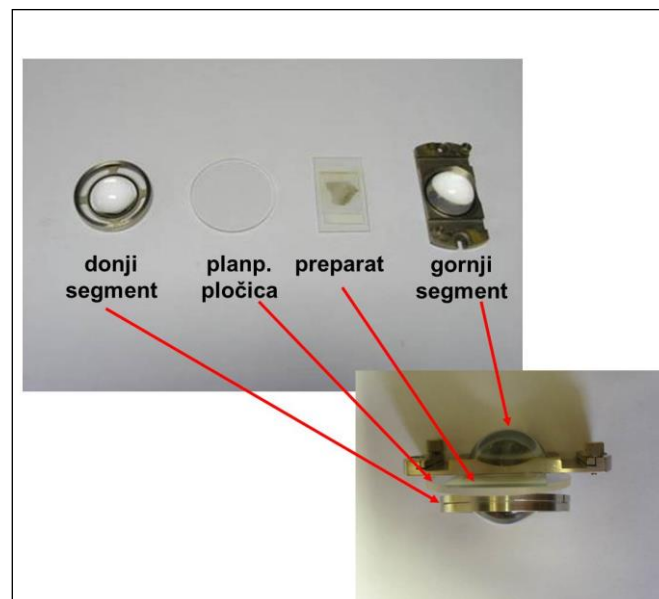
Slika 1.5. Shematski prikaz položaja osi A_2 na univerzalnom stoliću te Wrightovi sklopivi lukovi za očitavanje nagiba po istoj osi.



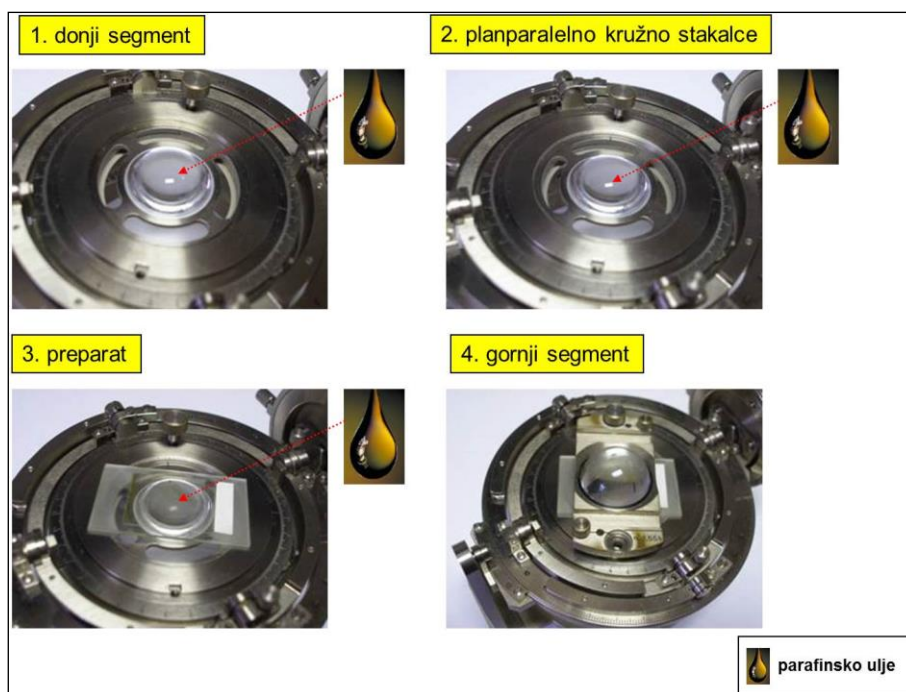
Slika 1.6. Shematski prikaz položaja osi A_4 na univerzalnom stoliću.

1.3. UGRADNJA MIKROSKOPSKOG PREPARATA NA UNIVERZALNI STOLIĆ

Preparat se pričvršćuje na univerzalni stolić pomoću dva staklena polukuglasta segmenta, pri čemu je svaki umetnut i učvršćen u metalnom nosaču (Slika 1.7.).



Slika 1.7. Polukuglasti segmenti i planparalelna pločica, optički elementi potrebni za ugradnju preparata na univerzalni stolić te njihov međusobni odnos pri ugradnji na stolić (donja slika).



Slika 1.8. Postupak ugradnje pulukuglastih segmenata i mikroskopskog preparata u univerzalni stolić.

Ugradnja preparata se obavlja u nekoliko kratkih koraka (Slika 1.8.). Prvo se donji stakleni polukuglasti segment umetne u kružni otvor unutarnjeg metalnog obruča univerzalnog stolića, tako da stakleni polukuglasti dio gleda prema dolje, a ravna ploha prema gore. Na ravnu plohu kapne se malo parafinskog ulja, a zatim se postavi tanka staklena kružna pločica (planparalelna pločica), koja točno naliže u za to predviđeni kružni utor u središnjem obroču. Na nju se opet nanese kapljica parafinskog ulja, a zatim se na nju postavi preparat. Na preparat se isto tako kapne malo parafinskog ulja, te ga se zatim pokrije s gornjim polukuglastim staklenim segmentom. Gornji segment je umetnut u pravokutni metalni nosač s dva otvora na rubovima, kroz koje se pomoću dva vijka gornji segment pričvršćuje na unutarnji obroč univerzalnog stolića. Na taj je način završena ugradnja preparata na univerzalni stolić. Uloga polukuglastih segmenata je sprječavanje znatnog loma svjetlosti pri velikim kutovima nagibanja preparata oko osi A_2 ili A_4 . Stoga, bez polukuglastih segmenata opažanja ne bi bilo moguće provesti. Upotreba parafinskog ulja je nužna za istiskivanje zraka između pojedinih staklenih dijelova sklopa polukuglastih segmenata i preparata.

1.4. PODEŠAVANJA MIKROSKOPSKOG STOLIĆA I POLOŽAJA PREPARATA ZA MIKROKOPIRANJE

Za ispravno korištenje, univerzalni stolić mora biti na odgovarajući način pričvršćen i podešen na okretnom stoliću polarizacijskog mikroskopa. Pri tome je bitno sljedeće:

- Osi A_1 i A_3 univerzalnog stolića se podudaraju s osi A_5 , tj. s osi mikroskopa.
- Osi A_2 i A_4 se nalaze u ravnini preparata, međusobno su okomite, a okomite su i na osi

A_1 , A_3 i A_5 . Također, svaka od te dvije osi podudara se s jednom niti nitnog križa: A_2 s vertikalnom (uzdužnom), a A_4 s horizontalnom (poprečnom).

- Sve se osi sijeku u jednoj točki koja se nalazi u preparatu.

Provjera ispravnosti montiranja univerzalnog stolića na mikroskopski stolić provodi se u nekoliko koraka:

1. Podudaraju li se međusobno osi A_1 , A_3 i A_5 ?

Potrebno je izvršiti uobičajeno centriranje objektiva zakretanjem mikroskopskog stolića, dakle oko osi A_5 . Zatim provjeriti centriranost zakretanjem oko osi A_1 . Utvrdi li se necentriranost, centriranje obaviti laganim pomicanjem univerzalnog stolića po mikroskopskom stoliću, uz prethodno djelomično odvijanje dva vijka kojima je univerzalni stolić učvršćen na mikroskopski stolić. Centriranjem prema osi A_1 postiže se podudaranje s osi A_5 , a ujedno i s osi A_3 .

2. Namještanje osi A_4 paralelno s horizontalnom niti nitnog križa

Vidno polje se fokusira na površinu gornjeg segmenta, na kojem se pronade zrno prašine u blizini središta vidnog polja. Ako se pri zakretanju oko A_4 zrno prašine pomiče paralelno s vertikalnom niti nitnog križa, os A_4 se podudara s horizontalnom niti. Ako ne, potrebno je zakrenuti mikroskopski stolić (oko osi A_5) dok se ne postigne takvo podudaranje. Mikroskopski stolić se tad zakoči te se očita kut na okretnom stoliću mikroskopa, koji je ujedno i **nulta točka** osi A_5 . Tu točku treba zabilježiti, a potrebno ju je odrediti pri svakom novom namještanju univerzalnog stolića na mikroskopski stolić.

3. Nalazi li se os A_4 (ujedno i os A_2) u ravnini preparata?

Ako se nagibanjem oko osi A_4 promatrani presjek minerala pomiče gore-dolje u odnosu na ravninu preparata, to znači da se preparat nalazi ili ispod ili iznad osi A_4 . Preparat se dovodi u ravninu osi A_4 pomoću dva dodatna vijka na gornjem polukuglastom segmentu. Pri podešavanju potrebno je lagano odvinuti vijke kojima je gornji segment pričvršćen za univerzalni stolić (Slika 1.9.).

Nakon svih navedenih podešavanja, univerzalni stolić je spreman za korištenje. Uobičajeno se s mjerenjima kreće iz tzv. **početnog položaja** univerzalnog stolića.

Univerzalni stolić se nalazi u **početnom položaju** kada je:

1. Os A_2 namještena na 0° .
2. Os A_3 namještena na 90° .
3. Os A_4 namještena na 0° .
4. Os A_5 namještena na nultu točku.



Slika 1.9. Pogled odozgo na gornji polukuglasti segment pričvršćen za univerzalni stolić (preparat se nalazi ispod), s označenim vijcima za učvršćivanje i vijcima za podešavanje.

2. ODREĐIVANJA POMOĆU UNIVERZALNOG STOLIĆA

Pomoću univerzalnog stolića moguće je izvršiti mjerenja optičkih konstanti pojedinih minerala, kao i njihovih odnosa prema njihovima geometrijskim, odnosno kristalografskim elementima. U tu svrhu ovdje će biti ukratko opisana neka od standardnih mjerenja: određivanje izotropnosti/anizotropnosti minerala, određivanje položaja indikatriše kod jednoosnih anizotropnih minerala, određivanja glavnih titrajnih pravaca kod optičkih dvoosnih anizotropnih minerala, određivanje pleokroizma, određivanje optičkog karaktera i kuta optičkih osi te određivanje položaja geometrijskih elemenata minerala (sustavi kalavosti, sraslački šavovi, sraslačke lamele i sl.). Iz navedenih postupaka jasno je koliko je univerzalni stolić koristan i nezaobilazan pri određivanju osnovnih optičkih značajki minerala. U prošlosti su se spomenuta mjerenja često koristila kod određivanja kemijskog sastava petrogenih minerala, prije svega plagioklasa, amfibola i piroksena. Naime, nizom mjerenja utvrđeno je da se promjenom kemijskog sastava mijenja i kutni odnos između optičkih i kristalografskih elemenata u pojedinom mineralu. Na taj je način bilo moguće konstruirati različite dijagrame kutne ovisnosti optičkih i kristalografskih elemenata pojedinih minerala prema kemijskom sastavu. Tako se, nakon što se na pojedinom mineralnom presjeku izmjeri kutni odnos između optičkih i kristalografskih elemenata, može odrediti i kemijski sastav tog minerala. Danas se taj pristup znatno rjeđe koristi budući da su se razvitkom spektroskopijskih metoda (npr. elektronska mikrosonda) značajno olakšale kemijske analize minerala. U nastavku će biti ukratko opisani spomenuti standardni postupci mjerenja pomoću univerzalnog stolića.

2.1. ODREĐIVANJE IZOTROPNOSTI/ANIZOTROPNOSTI

Uobičajeno se priroda optičke indikatriše nekog minerala određuje promatranjem konoskopske slike u standardnom polarizacijskom mikroskopu. Upotrebom univerzalnog stolića moguće je relativno jednostavno i u ortoskopskim uvjetima doći do zaključka o kakvom se optički mineralu radi: je li on izotropan ili anizotropan, a ako je anizotropan, je li on optički jednoosan ili dvoosan.

Opisani postupci određivanja izotropnosti ili anizotropnosti kod minerala mogu se provesti za veliki broj različitih presjeka minerala. U slučaju da je nemoguće iz jednog presjeka doći do takvog zaključka, jednostavno se cijeli postupak ponovi na nekom drugom presjeku. Određivanja se provode s uključenim analizatorom.

Slučaj A: Mineralni presjek je stalno taman prilikom rotacije oko osi A_1

- Potrebno je nagibati presjek nekoliko stupnjeva oko osi A_2 . Ako presjek ostane i dalje taman, radi se o **izotropnom** mineralu.
- Ako presjek pokaže prilikom nagibanja oko osi A_2 interferencijsku boju, tada se radi o **anizotropnom mineralu**. U tom slučaju je potrebno stolić vratiti u početni položaj (nema nagiba po osi A_2), te zatim naginjati nekoliko stupnjeva oko osi A_4 . Ako je presjek

i dalje taman, vratiti stolić u početan položaj po osi A_4 (nagib na zakretnom bubnju pokazuje 0°), te zarotirati presjek nekoliko stupnjeva oko osi A_1 , a zatim ponovno naginjati nekoliko stupnjeva oko osi A_4 . Ako takav anizotropan mineral ostane taman prilikom naginjanja oko osi A_4 prije i nakon rotacije za nekoliko stupnjeva oko osi A_1 (kako je prethodno opisano) radi se o **jednoosnom anizotropnom mineralu** koji je izbrušen okomito na optičku os. U slučaju pak da presjek pokaže interferencijsku boju prilikom naginjanja oko osi A_4 prije i nakon rotacije oko osi A_1 , tada se radi o **dvoosnom anizotropnom mineralu** koji je presječen okomito na jednu od optičkih osi.

Slučaj B: Presjek potamni svakih 90° prilikom rotacije oko osi A_1 , A_3 ili A_5

- Potrebno je univerzalni stolić namjestiti u početni položaj (nema nagiba po A_2 i A_4), te zatim zakrenuti promatrani presjek oko osi A_1 do položaja potamnjenja, a onda naginjati oko osi A_4 .
 1. Ako presjek u tom slučaju pokaže interferencijsku boju, potrebno je vratiti nagib po osi A_4 u početni položaj (očitanje na zakretno bubnju je 0°). Zatim se presjek zakrene oko osi A_1 za 90° do sljedećeg položaja potamnjenja, te se ponovno naginje oko osi A_4 . Ako u tom slučaju presjek ostane taman, mineral je **jednoosan**, a ako presjek pokaže interferencijsku boju, mineral je **dvoosan**.
 2. Ako presjek nakon početnog namještanja u jedan položaj potamnjenja i naginjanja oko osi A_4 ostane taman, potrebno je nagib po osi A_4 vratiti u početni položaj te zakretanjem oko osi A_1 za 90° dovesti presjek u sljedeći položaj potamnjenja. Zatim se presjek naginje oko osi A_2 za nekoliko stupnjeva. Tada će presjek pokazati interferencijsku boju, pa ga je malom rotacijom oko osi A_1 potrebno ponovno dovesti u položaj potamnjenja. Zatim se presjek naginje oko osi A_4 te ako pri tome ostane stalno taman, radi se o **jednoosnom** mineralu. Ako pak prilikom naginjanja oko osi A_4 pokaže interferencijsku boju, radi se o **dvoosnom** mineralu.

2.2. MJERENJA OPTIČKI JEDNOOSNIH ANIZOTROPNIH MINERALA

Iz osnovnih optičkih značajki jednoosnih anizotropnih minerala poznato je da je njihova optička indiktrisa rotacijski elipsoid. Prilikom istraživanja standardnim polarizacijskim mikroskopom presjeci takvih minerala presječeni okomito na optičku os bit će s uključenim analizatorom stalno tamni prilikom rotacije oko osi mikroskopa (A_5). U slučaju da je presjek takvog minerala izbrušen paralelno optičkoj osi, pa ona prilikom mikroskopiranja leži okomito na os mikroskopa, vidjet će se presjek najvećeg dvoloma, tj. opažat će se najviše interferencijske boje, a presjek će potamniti četiri puta tijekom rotacije za 360° oko osi A_5 .

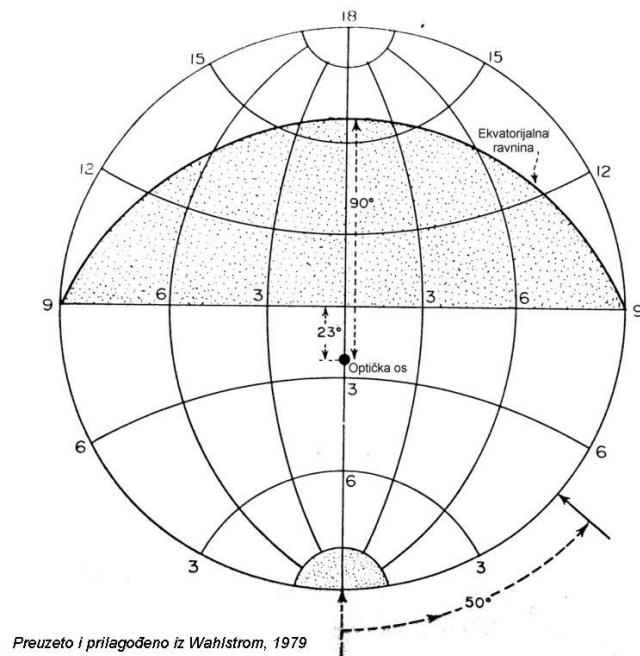
U svakom presjeku jednoosnog minerala titraji ekstraordinarne zrake leže u ravnini koja prolazi kroz optičku os, a takvu ravninu nazivamo glavnim presjekom optičke indiktrise. Razumljivo, postoji mnogo takvih glavnih presjeka indiktrise. Okomito na optičku os koja se nalazi u svakom glavnom presjeku, nalaze se titraji ordinarne zrake te oni leže u kružnom presjeku indiktrise. Neki od glavnih presjeka promatranog minerala može se zakretanjem

oko osi A_1 univerzalnog stolića dovesti u položaj paralelan s vertikalnom niti nitnog križa, koja se podudara s pružanjem osi A_2 stolića. Istovremeno će neki radijus kružnog presjeka indikatriše biti okomit na taj glavni presjek, te će se podudarati s osi A_4 univerzalnog stolića. U tom će položaju s uključenim analizatorom presjek biti taman, a takav će ostati i ako ga zakrećemo oko osi A_4 . Kod jednoosnih optički anizotropnih minerala općenito možemo razlikovati specijalne i opće presjeke indikatriše. Specijalni presjeci su oni koji idu paralelno optičkoj osi (to u već spomenuti glavni presjeci) i oni koji su okomiti na nju (to su kružni, tj. izotropni presjeci). Svi ostali presjeci su opći presjeci.

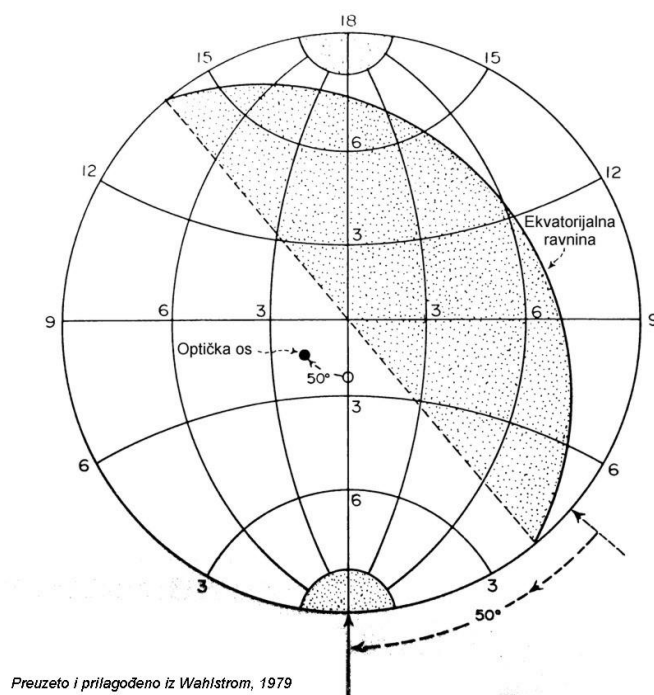
Kod istraživanja optički jednoosnih anizotropnih minerala univerzalnim stolićem želi se utvrditi položaj optičke indikatriše u promatranom mineralnom presjeku, a time i položaj optičke osi. To se radi na način da se optička os dovede u položaj paralelan ili okomit na os mikroskopa (A_5). U položaj paralelan s osi mikroskopa dovode se presjeci malog dvoloma (niske interferencijske boje), dok u položaj okomit na os mikroskopa dovode se presjeci velikom dvoloma (više interferencijske boje).

Spomenuti postupak provodi se na sljedeći način:

- Za dovođenje presjeka u položaj u kojem će njegova optička os biti **paralelna s osi mikroskopa** (A_5) odabere se presjek minerala s nižim dvolom (nižom interferencijskom bojom). Presjek se zakrene oko osi A_1 u položaj potamnjenja, a zatim se naginje oko osi A_4 .
 1. Ako presjek ostane taman, optička os leži u ravnini koju čine osi A_2 i A_5 . Tada se nagib po osi A_4 vrati u početni položaj (položaj na skali zakretnog bubnja je 0°), a presjek se zakrene oko osi A_5 za 45° te tada više nije taman. Ponovnim nagibanjem oko osi A_4 presjek se vrati u položaj potamnjenja. Tim pomakom optička os bi trebala biti namještena paralelno s osi mikroskopa te se približe očitanja po osi A_1 i A_4 na osnovu kojih se može konstruirati projekcija (Slika 2.1.). Daljnjim zakretanjem oko osi A_5 presjek bi trebao ostati taman. U slučaju da to nije tako, treba ponoviti opisani postupak.
 2. Ako presjek ne ostane taman nakon početnog namještanja u položaj potamnjenja i naginjanja oko osi A_4 , presjek se zakrene oko osi A_1 za 90° te se provede postupak opisan pod točkom 1.
 3. Ako niti jedan od opisanih postupaka ne dovede do položaja presjeka u kojem će on ostati taman prilikom naginjanja oko osi A_4 , tada optičku os tog presjeka nije moguće dovesti u položaj podudaran s osi A_5 . U tom se slučaju optička os namješta u položaj okomit na os A_5 te paralelan s osi A_4 :

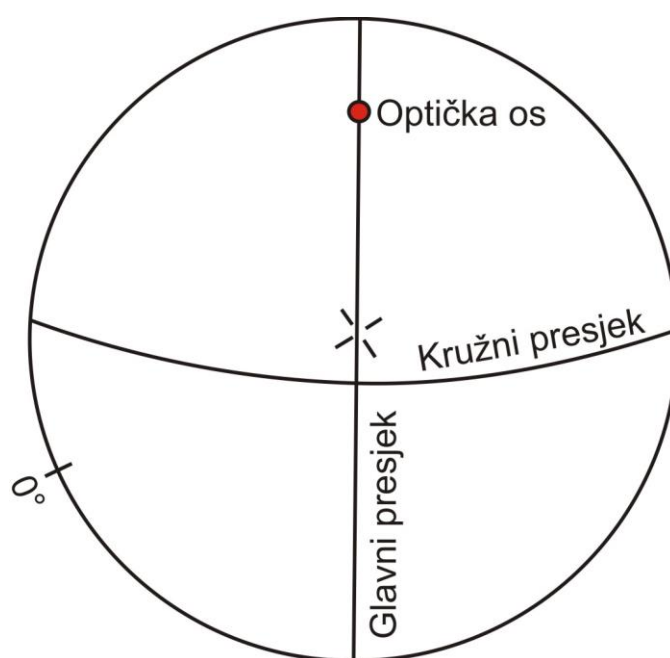


Slika 2.1. Projekcija položaja optičke osi nakon mjerenja univerzalnim stolićem optički jednoosnog anizotropnog minerala. Prije početka mjerenja univerzalni stolić bio je namješten u početni položaj iz kojeg je zakrenuto za 50° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu oko osi A_1 te nagnuto 23° oko osi A_4 u smjeru od promatrača. Tim pomacima optička os minerala dovedena je u podudarni položaj s osi A_5 .



Slika 2.2. Projekcija prikazana na slici 2.1. zakrenuta u početni položaj, čime se dobiva stvarni položaj optičke osi u promatranom mineralnom presjeku.

- Presjek se dovodi u položaj u kojem će njegova optička os biti **okomita na os A₅** i paralelna s osi A₄ tako da se prvo zakrene oko osi A₁ u položaj potamnjenja u kojem će ostati taman ako ga nagnjemo oko osi A₂, no pokazat će interferencijsku boju ako ga se u tom položaju zakreće oko osi A₄. Kada je presjek namješten u takav položaj njegova optička os leži u ravnini u kojoj se nalaze osi A₄ i A₅. Kako bi se optička os dovela u položaj točno okomit na os A₅ i paralelan s osi A₄, presjek je tada potrebno nagnjati oko osi A₂ sve dotle dok ne bude stalno taman tijekom nagnjanja oko osi A₄. Taj položaj definiran je očitanjima na osi A₁ i A₂, koje se unesu u projekciju te se položaj optičke osi odredi grafički (Slika 2.3.) Podsjetimo, za namještanje u ovaj položaj najpogodniji su presjeci s većim dvolomom, tj. višom interferencijskom bojom pojedinog minerala.



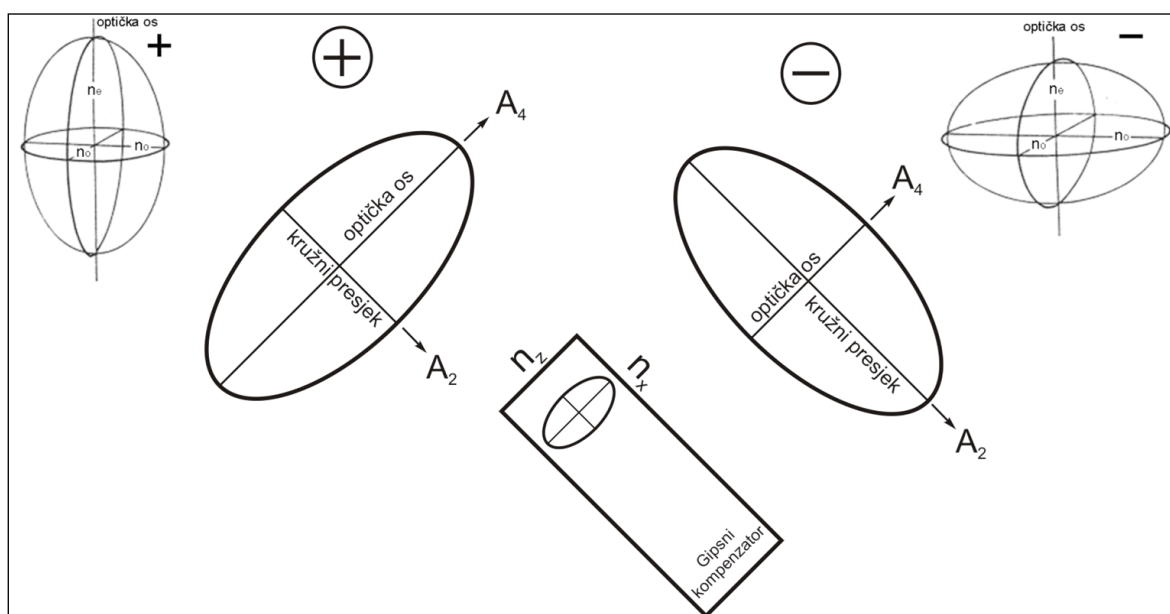
Slika 2.3. Grafičko određivanje položaja optičke osi jednoosnih anizotropnih minerala za presjeka u kojima optička os leži približno u osi preparata, gdje zakretanjem po osima A₁ i A₂ dovodimo optičku os u položaj okomit na os A₅ i podudaran s osi A₄ univerzalnog stolića. Pri tome kružni presjek indikatriše leži okomito na os A₄, te se pruža paralelno s vertikalnom niti nitnog križa. Unošenjem dobivenog položaja po A₁ i A₂ dobije se projekcija (stereografski pol) kružnog presjeka indikatriše koji ujedno predstavlja optičku os. Na udaljenosti od 90° od tog pola nalazi se u projekciji trag kružnog presjeka indikatriše.

Određivanje optičkog karaktera jednoosnih anizotropnih minerala

Optički karakter anizotropnih minerala kod standardnog mikroskopiranja polarizacijskim mikroskopom određujemo u konoskopskim uvjetima. Upotrebom univerzalnog stolića isto je moguće odrediti direktno u ortoskopskim uvjetima, a postupak

ovisi o presjeku kojeg promatramo tj. zatvara li optička os manji kut prema osi A_5 pa je stoga dovodimo u s njom podudaran položaj ili je optička os više nagnuta prema ravnini preparata (veći kut prema A_5), pa je kod određivanja položaja optičke indikatrise u promatranom presjeku dovodimo u paralelan položaj s osi A_4 . Za određivanje se koriste kompenzatori, obično gipsni kompenzator ili kremeni klin.

Opisat ćemo slučaj presjeka minerala s optičkom osi koja zatvara veliki kut prema osi A_5 . Optička os se tada dovede u podudaran položaj s osi A_4 i okomit na os A_5 kako je prethodno opisano. Zatim se univerzalni stolić zakrene oko osi A_5 za 45° . Uvijek treba imati u vidu na koju stranu se zakreće oko osi A_5 , jer u presjeku imamo glavni (eliptični) presjek indikatrise. Jedna os elipse je optička os, a druga je radijus kružnog presjeka. Ako zakrenemo u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, optička os će doći u položaj okomit na utor kompenzatora u mikroskopu, koji se standardno podudara sa smjerom SZ-JI (NW-SE). Također, kompenzatori su najčešće konstruirani tako da njihovom kraćom stranicom ide titrajni pravac manje brzine tj. većeg indeksa loma. Ako umetnemo kompenzator uz opisano zakretanje presjeka oko osi A_5 (suprotno od smjera kazaljke na satu), i pritom dođe do povećanja interferencijske boje, mineral je optički pozitivan. Naime, u tom je slučaju orijentacija indikatrise u presjeku i kompenzatoru ista (Slika 2.4.), što znači da paralelno optičkoj osi ide titrajni pravac s većim indeksom loma, dok se s radijusom kružnog presjeka podudara titrajni pravac kompenzatora s manjim indeksom loma. U slučaju smanjenja interferencijske boje mineral je optički negativan, je se radi o nepodudaranju presjeka indikatrise u promatranom presjeku i kompenzatoru, pa paralelno optičkoj osi ide titrajni pravac s manjim indeksom loma.

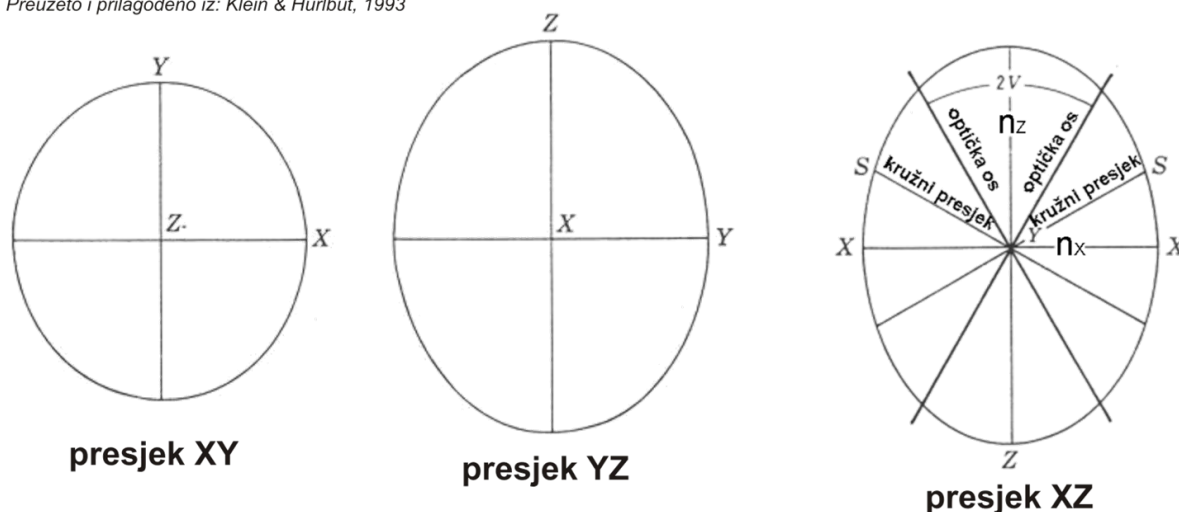


Slika 2.4. Određivanje optičkog karaktera jednoosnih anizotropnih minerala pomoću univerzalnog stolića i kompenzatora u uvjetima ortoskopije. Prikazan je primjer kod kojeg je optička os dovedena u položaj okomit na os A_5 , a podudaran s osi A_4 univerzalnog stolića.

2.3. ODREĐIVANJE GLAVNIH TITRAJNIH PRAVACA OPTIČKI DVOOSNIH ANIZOTROPNIH MINERALA

Optička svojstva dvoosnih anizotropnih minerala opisuju se s obzirom na tri glavna titrajna pravca, X, Y i Z, koji su međusobno okomiti, a prikazuju se pomoću troosnog elipsoida, optičke indikatriše takvih minerala (Slika 2.5.). Određivanje položaja glavnih titrajnih pravaca pomoću univerzalnog stolića provodi se u nekoliko koraka, a omogućuje nam, između ostalog, i određivanje optičkog karaktera i kuta optičkih osi ($2V$) minerala. Ako se naknadno provedu i mjerenja položaja geometrijskih elemenata mineralnog presjeka, moguće je uspostaviti cjeloviti odnos optičke indikatriše pojedinog minerala prema njegovim kristalografskim parametrima. Treba napomenuti da je uobičajeno na jednom presjeku minerala odrediti dva glavna titrajna pravca, dok je trećeg moguće odrediti iz stereografske projekcije (tzv. dijagrama ili stereograma opažanja), u koju se pomoću Wulffove mreže unose svi izmjereni podaci u svrhu uočavanja i određivanja njihovih međusobnih kutnih odnosa. Ukratko ćemo objasniti u nekoliko koraka način određivanja glavnih titrajnih pravaca dvoosnih minerala u mikroskopskom presjeku pomoću univerzalnog stolića. Određivanja se rade s uključenim analizatorom.

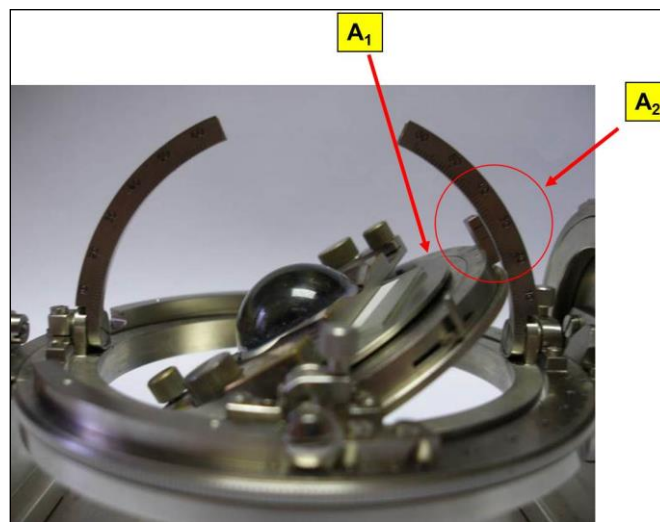
Preuzeto i prilagođeno iz: Klein & Hurlbut, 1993



Slika 2.5. Glavni presjeci troosnog elipsoida, indikatriše dvoosnih anizotropnih minerala.

1. Kako bi se odredio neki od glavnih titrajnih pravaca, cilj je taj pravac dovesti u položaj paralelan s osi A_4 univerzalnog stolića. To je moguće načiniti tako da se preparat zakreće oko osi A_1 i istovremeno naginje oko osi A_2 , pri čemu treba pronaći položaj u kojem je promatrani mineralni presjek stalno taman ako ga istovremeno zakrećemo oko osi A_4 . Praktično to znači da kada nađemo jedan od položaja potamnjenja zakrećući prvo oko osi A_1 , preparat ćemo tada nagnuti oko osi A_4 na jednu i drugu stranu koliko je to moguće. Ako je promatrani presjek ostao stalno taman, to je položaj

koji tražimo. Ako presjek u jednom trenutku više nije taman, već se pokaže njegova interferencijska boja, potrebno je izvršiti malu korekciju pomaka po A_1 i nagiba po A_2 dok ponovno ne potamni. Tada treba provjeriti hoće li presjek ostati i dalje taman prilikom nagibanja oko osi A_4 , odnosno taj postupak ponavljati sve dok nam presjek ne ostane stalno taman koliko god ga nagibali oko osi A_4 . Kada konačno dobijemo takav namještaj univerzalnog stolića, očitaju se kutovi po A_1 i A_2 (Slika 2.6.). Uobičajeno se rezultat mjerenja označava se u obliku $N = A_1 \leftrightarrow A_2$. N je titrajni pravac koji se određuje, A_1 je kutno očitavanje za os A_1 , a A_2 kutno očitavanje za A_2 , dok strelica označava smjer na koju je stranu unutarnji dio univerzalnog stolića nagnut oko os A_2 , npr. $X = 135^\circ \leftarrow 15^\circ$ (strelica označava da je stolić nagnut na lijevu promatračevu (mikroskopičarevu) stranu, tj. lijeva strana stolića stoji prema dolje, a desna prema gore) (Slika 2.6.).



Slika 2.6. Prikaz očitavanja položaja titrajnog pravca na univerzalnom stoliću. Položaj po osi A_1 očitava se na krajnjem unutarnjem obručju univerzalnog stolića na kojem je otisnuta kutna skala (0-360°). Mjesta očitavanja pomaka po osima označena su strelicama. Položaj po osi A_2 očitava se na jednom od Wrightovih lukova, ovisno o tome na koju stranu je unutarnji dio stolića, koji se zakreće oko osi A_2 , nagnut.

- U drugom koraku treba odrediti o kojem namještenom titrajnom pravcu se radi, X , Y ili Z . U tu svrhu, potrebno je preparat zakrenuti oko osi A_5 za 45° , tj. pomoću samog okretnog stolića polarizacijskog mikroskopa. Pri tome se prethodni namještaj preparata oko osi A_1 i A_2 ne smije promijeniti. Kod takvog zakretanja za 45° , jasno je da promatrani presjek više nije u položaju potamnjenja te da opaža njegova interferencijska boja. Prvo se provjerava radi li se o titrajnom pravcu Y , i to na način da se preparat zakreće oko osi A_4 u oba smjera koliko god je to moguće. Ako pri tome promatrani presjek naglo potamni, onda zaključujemo da je namješteno titrajni pravac Y , budući da okomito na njega ide presjek XZ u kojem se nalaze dvije optičke osi, te upravo naglo potamnjenje presjeka ukazuje da smo naišli na položaj optičke osi tj. da svjetlost u tom položaju ide duž jedne od optičkih osi. Taj se položaj potamnjenja očitava

na bubnju koji služi za zakretanje preparata oko osi A_4 . Očitanje može biti pozitivno, ako je zakretanje u trenutku nailaska na optičku os (naglog potamnjenja zrna) išlo u smjeru povećanja vrijednosti na kutnoj skali (od $0-360^\circ$), pa ćemo npr. pribilježiti $V_1 = +20^\circ$. Negativno očitanje će biti u slučaju da je zakretanje bubnja odvijalo u smislu smanjenja vrijednosti na kutnoj skali (od $360-0^\circ$), npr. očitani smo 340° , pa ćemo pribilježiti $V_1 = -20^\circ$. U slučaju da naše zrno nije potamnilo pri zakretanju oko osi A_4 , tada se radi o titrajnom pravcu X ili Z. O kojem se točno od ta dva titrajna pravca radi, može se provjeriti pomoću kompenzatora, najčešće gipsnog. Ako prilikom umetanja kompenzatora dođe do povećanja interferencijske boje zrna, promatrani titrajni pravac odgovara onom koji se nalazi paralelno s kraćom stranicom kompenzacijske pločice (većina proizvođača proizvodi kompenzatore kod kojih se titrajni pravac Z kompenzacijske pločice nalazi paralelno s njenom kraćom stranicom). Ukoliko dođe do smanjenja interferencijske boje, radi se o titrajnom pravcu koji odgovara onom u kompenzatoru koji je paralelan s njegovom duljom stranicom. Dakle, prema najčešćoj konstrukciji kompenzacijski pločica, radilo bi se o titrajnom pravcu X.

3. Kada smo tako odredili jedan titrajni pravac, mikroskopski stolić se zakrene natrag za 45° oko osi A_5 u početni položaj, i cijeli se postupak ponovi za drugi titrajni pravac.
4. U pravilu, određujemo samo dva titrajna pravca, dok treći pronalazimo na stereogramu opažanja, iako se u nekim, odgovarajuće orijentiranim presjecima minerala u preparatu, mogu direktno odrediti sva tri titrajna pravca.

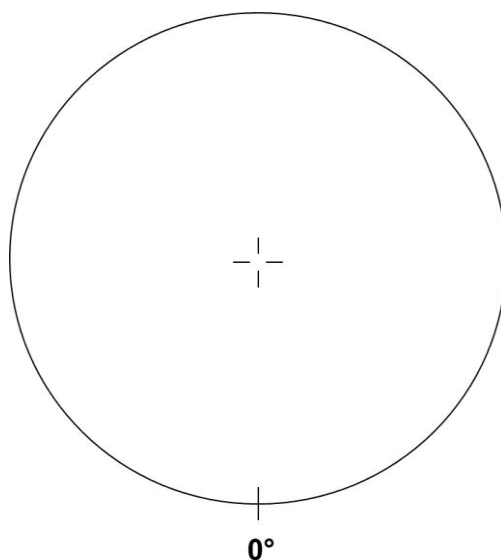
2.4. KONSTRUKCIJA STEREOGRAMA OPAŽANJA

Izmjereni optički elementi minerala, a kasnije i oni kristalografski, prikazuju se pomoću stereografske projekcije u tzv. stereogramu opažanja.

Stereogram opažanja konstruira se obično na prozirnom papiru uz pomoć Wulffove mreže u podlozi, na sljedeći način:

1. Prozirni papir (tzv. paus) postavi se preko Wulffove mreže, te se na njemu označi središte projekcije. Prostoručno se iscrta osnovna kružnica projekcije, i označi nulta točka, koja se nalazi na južnom polu (Slika 2.7.).
2. Izmjereni položaj titrajnog pravca ucrtava se u projekciju tako, da se prozirni papir zakreće u smjeru kazaljke na satu od početnog položaja do kuta na osnovnoj kružnici Wulffove mreže koji odgovara onome očitano na osi A_1 . Zatim, zadržavajući prozirni papir u tom položaju, od osnovne kružnice prema središtu projekcije po ekvatoru se odbrojava onoliko stupnjeva koliko je očitano po osi A_2 , i to u suprotnom smjeru nego što pokazuje strelica kojom smo označili nagib po osi A_2 . Dakle, ako strelica ide s lijeva na desno (\rightarrow) tada se na projekciji nagib po osi A_2 odbrojava s desna na lijevo od osnovne kružnice po ekvatoru prema središtu projekcije. Na mjestu na ekvatoru koje smo dobili odbrojavanjem tog kuta označi se točkom položaj titrajnog pravca (stereografski pol), te se označi s X, Y ili Z, ovisno o tome o kojem se izmjerenom

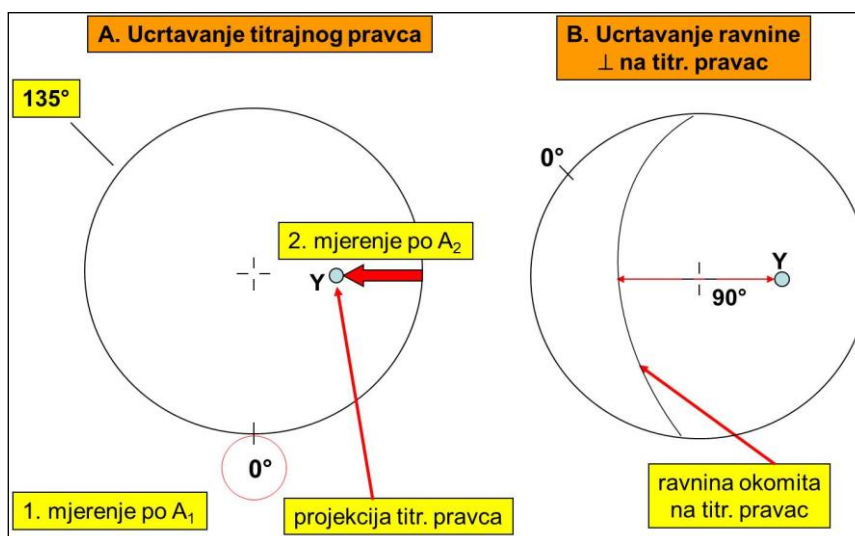
titrajnom pravcu radi (Slika 2.8.). Još uvijek zadržavajući prozirni papir u istom položaju, ucrtava se ravnina okomita na upravo ucrtani pol titrajnog pravca, i to na način da se po ekvatoru, u istom smjeru kao i kod odbrojanja kuta izmjenenog po osi A_2 , odbroji isti broj stupnjeva očitanih po osi A_2 , samo sada od središta projekcije. To mjesto na projekciji mora biti za 90° udaljeno od stereografskog pola izmjenenog titrajnog pravca, te se kroz njega povlači ravnina okomita na taj smjer. Podsjetimo se, nagnute ravnine se u stereografskoj projekciji označavaju lukovima, te ćemo u stvari povući luk po meridijanu Wulffove mreže koji na istom mjestu presijeca ekvator kao i naša točka koju smo pronašli odbrojanjem od središta projekcije za nagib očitani na osi A_2 .



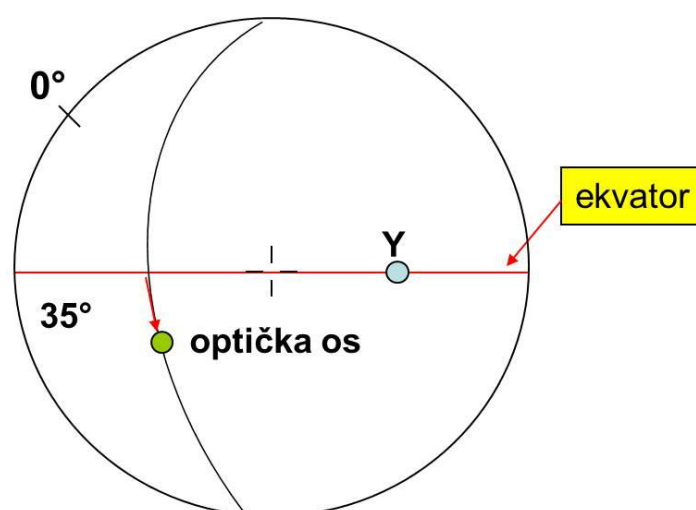
Slika 2.7. Početak ucrtavanja izmjerenih podataka u stereogram opažanja. Na Wulffovu mrežu se prisloni prozirni papir te se iscrta osnovna kružnica stereografske projekcije s označenim središtem i početkom točkom (0°), kako je prikazano na slici.

3. Postupak je potrebno ponoviti i za drugi izmjereni titrajni pravac, pri čemu je prethodno potrebno prozirni papir vratiti u početni položaj (Slika 2.7.).
4. Kod ucrtavanja titrajnog pravca Y , treba ucrtati i izmjereni položaj optičke osi. On se ucrtava na ravninu okomitu na titrajni pravac Y , i to odmah kada da se ona iscrta, dakle ne pomičući prozirni papir (Slika 2.9.). Položaj optičke osi se ucrtava odbrojanjem izmjenenog položaja optičke osi na osi A_4 univerzalnog stolića, i to po samoj ravnini (meridijanu) od točke gdje ona siječe ekvator stereografske projekcije u smjeru prema južnom polu projekcije, ako je očitavanje bilo pozitivno, odnosno prema sjevernom polu, ako je očitavanje bilo negativno.
5. Ondje gdje se ravnine okomite na dva izmjerena titrajna pravca u stereografskoj projekciji sijeku, tamo prolazi treći titrajni pravac. Stoga se to presjecište označi točkom pored koje se upiše preostali titrajni pravac kojeg nismo direktno izmjerili

pomoću univerzalnog stolića. Ravninu okomito na taj treći titrajni pravac iscrtava se na isti način kao i za dva prethodna titrajna pravca. Ta dva titrajna pravca trebala bi se nalaziti upravo u toj ravnini. Ako se kojim slučajem ne dobije takvo podudaranje, potrebno je provjeriti je li sve ispravno ucrtano. Ako jest, onda se vjerojatno radi o pogreškama prilikom mjerenja, koje je u tom slučaju potrebno ponoviti. Dopuštene su pogreške do jednog stupnja.

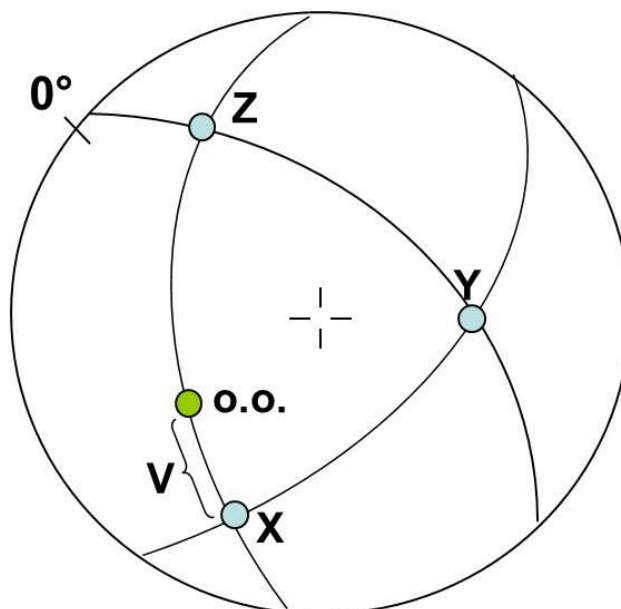


Slika 2.8. Postupak ucrtavanja izmjerеног položaja titrajnog pravca (u prikazanom primjeru, titrajnog pravca Y) nekog minerala u stereogram opažanja. Prvo se ucrtava položaj titrajnog pravca koji je prikazan točkom - stereografskim polom (A), a zatim ravnine okomite na titrajni pravac, koja je prikazana lukom (B).



Slika 2.9. Postupak ucrtavanja položaja optičke osi u stereogram opažanja. Prikazan je slučaj kada izmjerena vrijednost mjerenjem kuta nagiba na osi A₄ iznosila $V_1 = + 35^\circ$.

6. U crtavanjem položaja optičke osi moguće je odmah utvrditi i optički karakter minerala, kao i kut optičkih osi ($2V$). Već kratkim pregledom stereografske projekcije opaža se je li optička os bliža titrajnom pravcu X (optički negativan) ili Z (optički pozitivan). Kada se to utvrdi, jednostavno se na projekciji pomoću Wulffove mreže očita kutna udaljenost prema bližem od ta dva titrajna pravca, držeći prozirni papir i dalje tako da je ravnina okomita na titrajni pravac Y u položaju u kojem je i prvotno iscrtana, dakle podudara se s jednim od meridijana na Wulffovoj mreži (Slika 2.10.). To omogućava brzo očitavanje tog kuta. Množenjem očitane kuta s dva dobiva se kut optički osi, $2V$.



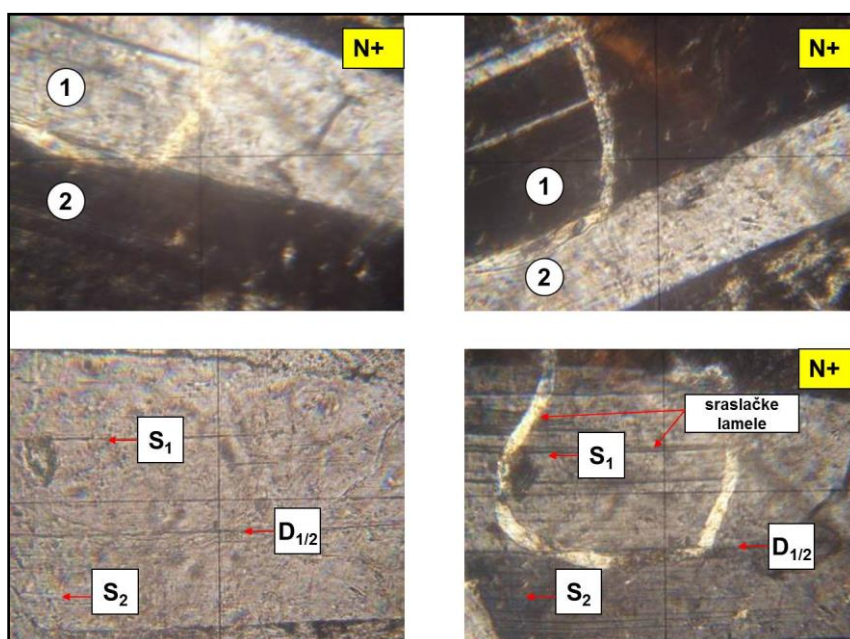
Slika 2.10. Određivanje optičkog karaktera i kuta optičkih osi ($2V$) iz stereograma opažnja. Prikazan je primjer za optički negativan dvoosan mineral.

2.5. ODREĐIVANJE GEOMETRIJSKIH ELEMENATA

Kod određivanja geometrijskih elemenata prije svega podrazumijevamo mjerenje položaja pukotina kalavosti (S), sraslačkih šavova (D), te terminalnih ploha (T). Kako se u svaki od tri slučaja radi o plohama, postupak njihovog mjerenja univerzalnim stolićem je isti. Princip mjerenja temelji se na nadomještanju tih ploha njihovom okomicom (normalom). Pri tome, cilj je takvu okomicu dovesti u podudarni položaj s osi A_4 univerzalnog stolića. Za njezino dovođenje u takav položaj postupak je sljedeći:

1. Prvo se namjesti os A_4 u početni položaj (položaj na skali bubnja s desne strane univerzalnog stolića pomoću kojeg se zakreće oko osi A_4 je 0°).

- Promatrani geometrijski element, npr. pukotina kalavosti, dovede se zakretanjem oko osi A_1 u položaj paralelan s vertikalnom niti nitnog križa. Zatim se presjek nagiba oko osi A_2 sve dok se ne dovede u položaj u kojem se pukotina doima najtanjom. U tako namještenom položaju ploha kalavosti nalazi se okomito na mikroskopski stolić, a njezina se okomica podudara s osi A_4 univerzalnog stolića.
- Prethodno namješteni položaj može se dodatno poboljšati, tj. učiniti podudaranje okomice na plohu kalavosti s osi A_4 boljim. U tu svrhu promatra se Beckeova linija uz promatranu pukotinu kalavosti. U slučaju da je okomica na plohu kalavosti u točno podudarnom položaju s osi A_4 univerzalnog stolića, laganim defokusiranjem upotrebom mikrovijka mikroskopa Beckeova linija bi se trebala razdvojiti na dvije paralelne Beckeove linije koji se simetrijski, tj. istom brzinom udaljavaju od promatrane pukotine u suprotnim smjerovima. Ako to pak nije slučaj, navedene Beckeove linije nejednoliko će se svaka na svoju stranu udaljavati od pukotine kalavosti. U tom je slučaju potrebno laganim pomakom oko osi A_2 izvršiti korekciju nagiba, dok se ne dobije položaj u kojem se spomenute dvije Beckeove linije jednoliko udaljavaju u suprotnim smjerovima od promatrane pukotine kalavosti.
- Postignuti položaj podudaranja okomice promatranog geometrijskog elementa s osi A_4 univerzalnog stolića očitava se analogno očitavanju kod određivanja glavnih titrajnih pravaca. Stoga, prvo se očitava kutni položaj po osi A_1 , a zatim po osi A_2 , koristeći između njih odgovarajuću strelicu, već ovisno o tomu na koju stranu je nagnut središnji dio univerzalnog stolića kao posljedica nagibanja oko osi A_2 .



Slika 2.11. Određivanje geometrijskih elemenata kod sraslaca plagioklasa. Promatrani su geometrijski elementi u dvije sraslačke lamele (1 i 2). Uočava se kalavost u jednoj lameli (S_1) i drugoj lameli (S_2), dok su lamele povezane sraslački šavom ($D_{1/2}$). Kod donje desne slike lagano je zakrenuta polarizacijska ravnina polarizatora, kako bi se bolje vidjeli geometrijski elementi u obje promatrane sraslačke lamele pod ukriženim nikolima (N+).

5. Dobivene položaje pukotina kalavosti i sraslačkih šavova unosimo u stereogram opažanja na potpuno isti način kao i titrajne pravce. Kod toga se za izmjerene plohe kalavosti ucrtavaju često samo točke (stereografski polovi), dok za sraslački šav položaj njegove okomice (točka) i ploha okomita na njega, dakle ravnina prikazana lukom, a to je upravo trag samog sraslačkog šava.

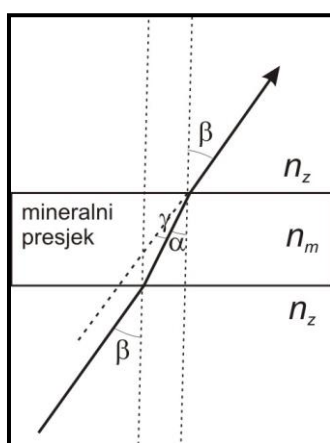
Kod mjerenja sraslačkog šava može se dogoditi da su jedna ili obje sraslačke jedinice u položaju potamnjenja, pa je nemoguće točno odrediti položaj sraslačkog šava. Tada je potrebno zakrenuti polarizacijsku ravninu polarizatora (ili analizatora) dok rasvjeta ne postane takva da se sraslački šav može jasno razabrati (Slika 2.11.). Inače se geometrijski elementi nekog presjeka u pravilu određuju bez uključenog analizatora, no kod mjerenja sraslačkog šava zbog njegove bolje uočljivosti, potrebno je često puta uključiti analizator i načiniti navedeno pomicanje polarizacijske ravnine polarizatora ili analizatora.

Ako nakon mjerenja jednog geometrijskog elementa nije moguće izmjeriti drugi zbog toga što se nalazi izvan vidnog polja, potrebno je pomaknuti preparat na taj način da prethodno izmjereni geometrijski element i dalje ostane paralelan s uzdužnom niti nitnog križa. Na taj način se ne gube međusobni kutni odnosi među geometrijskim elementima, a što je nužno za točnost određivanja univerzalnim stolićem.

2.6. KOREKCIJA MJERENIH VRIJEDNOSTI ZBOG RAZLIKA U INDEKSU LOMA

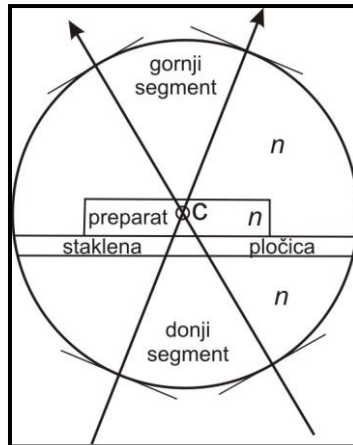
U dosta slučajeva indeks loma minerala može biti sličan indeksu loma polukuglastih segmenata univerzalnog stolića te korekcije mjerenih podataka nisu potrebne, osobito ako je pri tome riječ o mineralu s niskim dvolomom, dakle, njegov indeks loma se bitnije ne mijenja tijekom rotacije mikroskopskog preparata. K tome, uz univerzalni stolić obično kao popratni pribor dolazi nekoliko parova polukuglastih segmenata, koji se po potrebi izmjenjuju na stoliću, ovisno o mineralu koji se želi mikroskopirati. Međutim, u slučaju da se indeksi loma mjenjenog minerala značajnije razlikuju od indeksa loma korištenih polukuglastih segmenata, potrebno je napraviti korekcije mjerenjem dobivenih podataka.

Na slici 2.12. prikazan je upad svjetlosti iz zraka u mineralni presjek pod nekim kutom različitim od 90° , pri čemu se svjetlost prema zakonu loma, lomi prema okomici na upadnu plohu. Pri izlasku iste svjetlosti iz minerala u zrak ona će se pak lomiti od okomice, jer prelazi iz optički gušćeg (manja brzina svjetlosti) u optički rjeđe sredstvo (veća brzina svjetlosti).

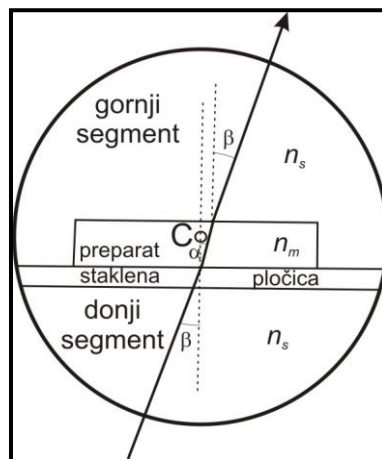


Slika 2.12. Prolazak svjetlosti kroz mineral s indeksom loma n_m bez upotrebe polukuglastih segmenata u slučaju kosog upada zraka svjetlosti.

U slučaju da je preparat umetnut unutar dva polukuglasta staklasta segmenta, kao što je to slučaj pri mjerenju univerzalnim stolićem, a pri tome su indeksi loma minerala i segmenata isti, svjetlost se pri prolasku kroz takav optički sklop neće lomiti (Slika 2.13.). S druge strane, ako se indeksi loma minerala i polukuglastih segmenata razlikuju, doći će do loma svjetlosti unutar takvog optičkog sklopa (Slika 2.14.), već ovisno o međusobnom odnosu indeksa loma minerala i polukuglastih segmenata.

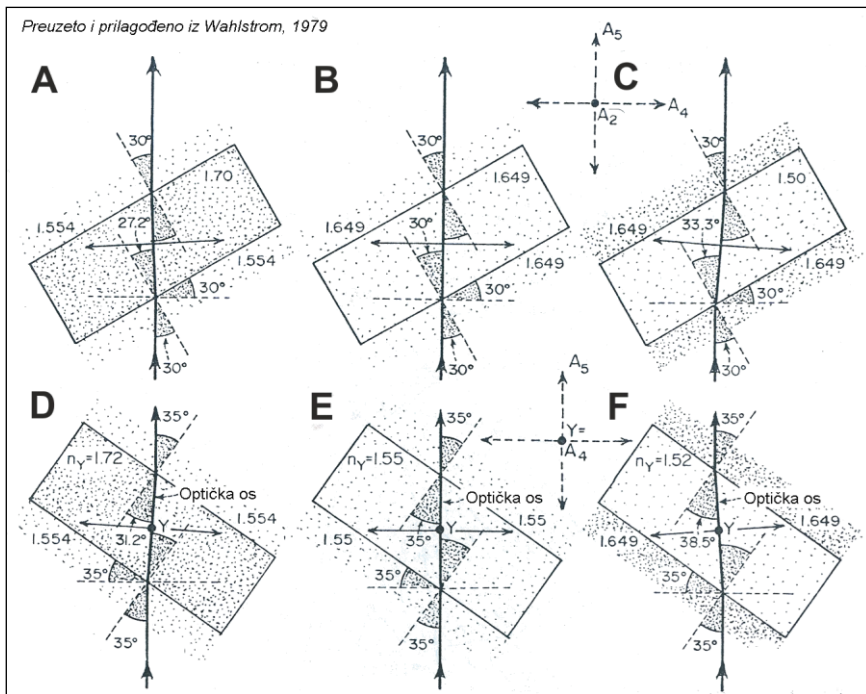


Slika 2.13. Prolazak svjetlosti kroz mineral s indeksom loma n koji približno odgovara indeksu loma polukuglastih segmenata.

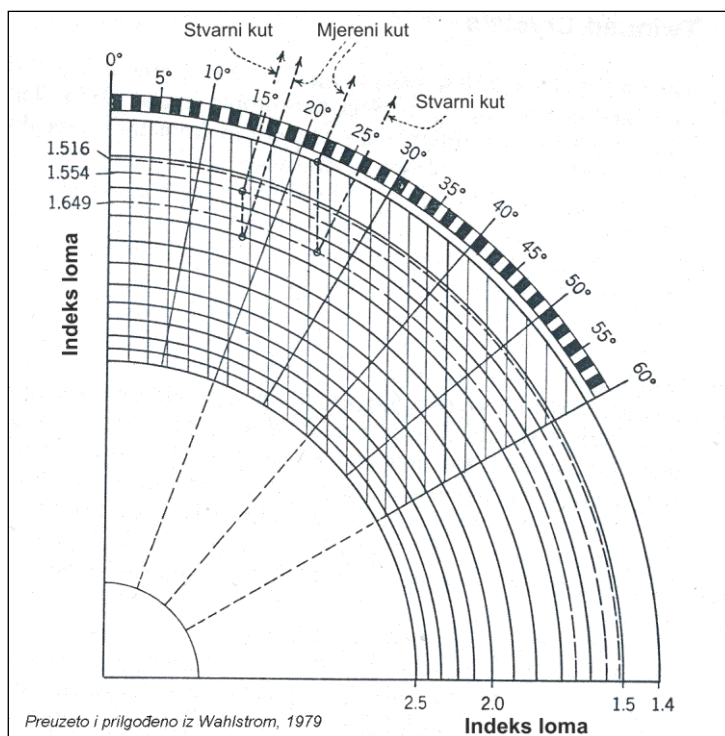


Slika 2.14. Prolazak svjetlosti kroz mineral s indeksom loma n_m koji je bitno različit od indeksa loma polukuglastih segmenata, n_s .

Promotrimo to na primjeru prikazanom na slici 2.15. Na slikama A, B i C prikazan je slučaj kada je zakretanjem po osi A_1 i naginjanjem oko osi A_2 , neki od glavnih titrajnih pravaca (X, Y ili Z) doveden u položaj paralelan s osi A_4 , pri čemu je, kako je navedeno u poglavlju 2.3., promatrani presjek stalno taman kod nagibanja oko osi A_4 . U konkretnom slučaju nagib po osi A_2 iznosi 30° . Taj kut je točan ako indeks loma minerala odgovara indeksu loma polukuglastih staklenih segmenata (Slika 2.15., slučaj B). U slučaju da je indeks loma minerala manji od indeksa loma segmenata (slučaj C), stvarni kut je veći, dok je manji u slučaju kada je indeks loma minerala veći od indeksa loma segmenata (slučaj A). Analogno vrijedi i u slučaju kada se određuje položaj optičke osi tj. kada je titrajni pravac Y namješten paralelno s osi A_4 univerzalnog stolića (Slika 2.15., slučajevi D, E i F).



Slika 2.15. Prolazak svjetlosti kroz mineral i polukuglaste segmente u različitim slučajevima odnosa indeksa loma minerala i polukuglastih segmenata



Slika 2.16. Fjodorovljev dijagram za korekciju mjerenog kuta nagiba zbog razlike u indeksu loma minerala i polukuglastih segmenata. Na dijagramu su označena dva primjera korekcije opisana u tekstu.

Često puta točan stvarni indeks loma presjeka minerala koji se mjeri nije poznat, pa se obično uzima procijenjena vrijednost indeksa loma prilikom korigiranja mjerenih kutova nagiba na mikroskopskom stoliću. Samo korekcija mjerenih kutova navedenih razlika u indeksu loma može se provesti upotrebom **Fjodorovljevog dijagrama** (slika 2.16.). Dijagram se temelji na Snellovom zakonu loma te pokazuje odnos indeksa loma i kutova između okomice na plohu unutarnjeg rotacijskog obruča univerzalnog stolića i okomite osi mikroskopa (radijalne linije), tj. kut nagiba po osi A_2 . Okomite crte u dijagramu su samo pomoćne crte-vodilice i njihov međusobni razmak nema značenje. Na dijagramu su prikazana dva primjera korekcije. U jednom primjeru je određen kut od 16° u odnosu na vertikalnu os mikroskopa (nagibanje po osi A_2 univerzalnog stolića) pri mjerenju jednog titrajnog pravca minerala s indeksom loma $n_m = 1,7$ a koji se nalazi u preparatu smještenom između polukuglastih segmenata s indeksom loma $n_s = 1,554$. Korigirana (stvarna) vrijednost kuta iznosi $15,3^\circ$. U drugom primjeru izmjereni kut od 22° je korigiran na 26° budući da se radilo o mineralu s indeksom loma $n_m = 1,4$ a koji se nalazio u preparatu između staklenih polukuglastih segmenata s indeksom loma $n_s = 1,649$.

2.7. ODREĐIVANJA IZ STEREOGRAMA OPAŽANJA

Iz dosadašnjeg razmatranja, jasno je da se neposrednim unošenjem izmjerenih položaja titrajnih pravaca u stereogram opažanja može iz istoga utvrditi:

- Položaj trećeg (neizmjenog) titrajnog pravca, te
- Optički karakter i kut optičkih osi (2V).

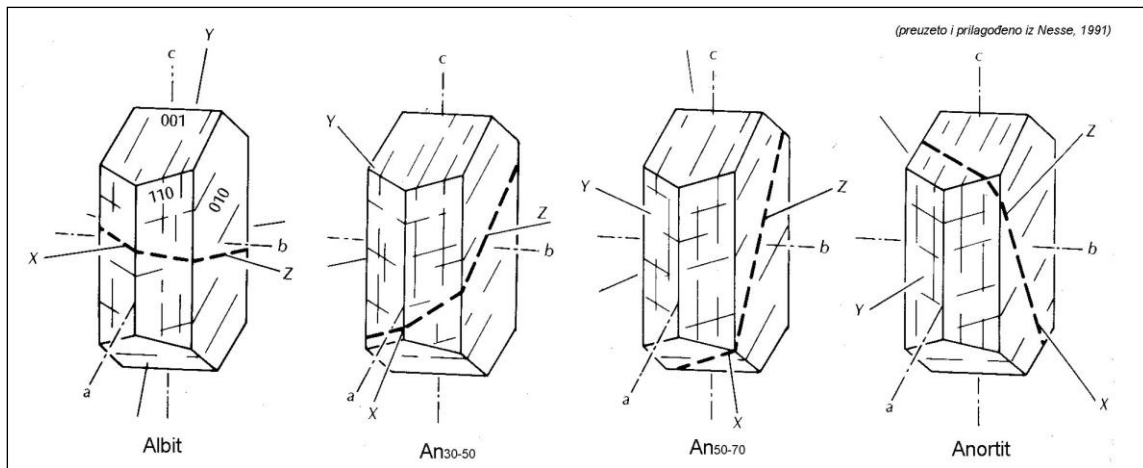
Osim toga, unošenjem geometrijskih elemenata, prije svega smjerova pukotina kalavosti i sraslačkih šavova, moguće je utvrditi u stereogramu opažanja i:

- Sraslačke zakone,
- Položaj kristalografskih osi u projekciji, a iz toga i njihov odnos prema titrajnim pravcima,
- Kutni odnos ostalih kristalografskih/geometrijskih elemenata prema titrajnim pravcima indikatriše.

Brojna istraživanja su pokazala kako se upravo posljednje spomenuti kutni odnos između kristalografskih elemenata i titrajnih pravaca može praktično iskoristiti za određivanje kemijskog sastava minerala. Naime, s promjenom kemijskog sastava pojedinog minerala mijenjaju se i ti kutovi, pa se njihovim mjerenjem pomoću univerzalnog stolića mogu donijeti zaključci o kemijskom sastavu. Posebnu primjenu je taj postupak pronašao u određivanju kemijskog sastava plagioklasa, budući da su provedena brojna mjerenja tih kutova na plagioklasima točno određenog kemijskog sastava, odnosno poznatog odnosa albitne i anoritne komponente. To je omogućilo konstrukciju posebnih dijagrama, između kojih se osobito ističe Nikitinov dijagram. Na osnovu mjerenih i izračunatih kutova između kristalografskih i optičkih elemenata u mikroskopskim presjecima plagioklasa, iz njega se može očitati sastav pojedinog plagioklasa. Postupak određivanja kemijskog sastava plagioklasa opisan je u sljedećem poglavlju.

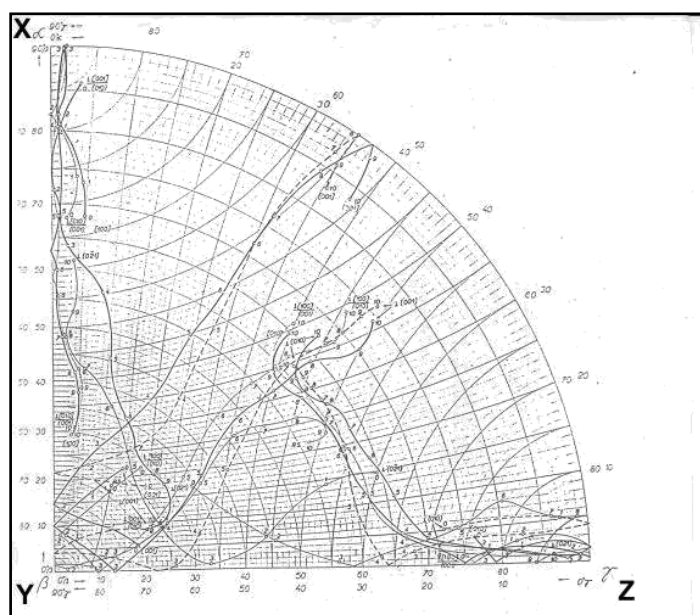
2.7.1. Određivanje kemijskog sastava plagioklasa

Prethodno je već spomenuto kako se kutni odnos između kristalografskih i optičkih (titrajnih pravaca) elemenata kod plagioklasa mijenja s promjenom kemijskog sastava (Slika 2.17.). Stoga je moguće mjerenjem tih elemenata na presjecima kristala i utvrđivanjem njihovih kutnih odnosa u stereogramu opažanja, odrediti kemijski sastav plagioklasa. Poznate vrijednosti tih kutnih odnosa, koja proizlaze iz brojnih ispitivanja kristalografskih i optičkih svojstava plagioklasa različitog kemijskog sastava, prikazane su u Nikitinovom dijagramu (Slika 2.18.). U dijagramu je stereografskom projekcijom prikazan točan položaj određenog kristalografskog elementa (pukotine kalavosti, sraslački šavovi, sraslačke osi i sl.) za plagioklas točno određenog udjela albitne i anoritne komponente prema glavnim titrajnim pravcima indikatriše ($X = Np$, $Y = Nm$, $Z = Ng$). Cijeli je dijagram zamišljen kao koordinatni sustav kod kojeg su glavni titrajni pravci koordinate, te je položaj svakog kristalografskog elementa



Slika 2.17. Promjena položaja indiktrise prema kristalografskim osima kod nekoliko primjera plagioklasa različitog sastava.

različit za različiti sastav plagioklasa. Položaji istog geometrijskog elementa kod različitih kemijskih sastava plagioklasa povezani su krivuljama. Radi lakšeg snalaženja, ovisno o vrsti i čestini njihovog pojavljivanja kod presjeka plagioklasa, pojedini tipovi kristalografskih elemenata označeni su u dijagramu različitim vrstom krivulja, a često kod preglednijih izdanja dijagrama i različitim bojom (crvena, plava, crna)(vidjeti prilog na kraju priručnika). K tome, početno konstruiran dijagram u četiri kvadranta koordinatnog sustava, radi lakšeg korištenja je preslikan s podacima u jedan, i to gornji desni kvadrant. To je izvedeno tako da su svi prikazani položaji kristalografskih elemenata zrcalno preslikani iz donja dva u gornja dva kvadranta, da bi konačno još svi elementi iz gornjeg lijevog bili preslikani zrcalno u gornji desni kvadrant.



Slika 2.18. Nikitinov dijagram s prikazom položaja geometrijskih elemenata prema glavnim titrajnim pravcima u jednom kvadrantu

Postupak očitavanja podataka o kemijskom sastavu plagioklasa iz Nikitinovog dijagrama provodi se u nekoliko koraka.

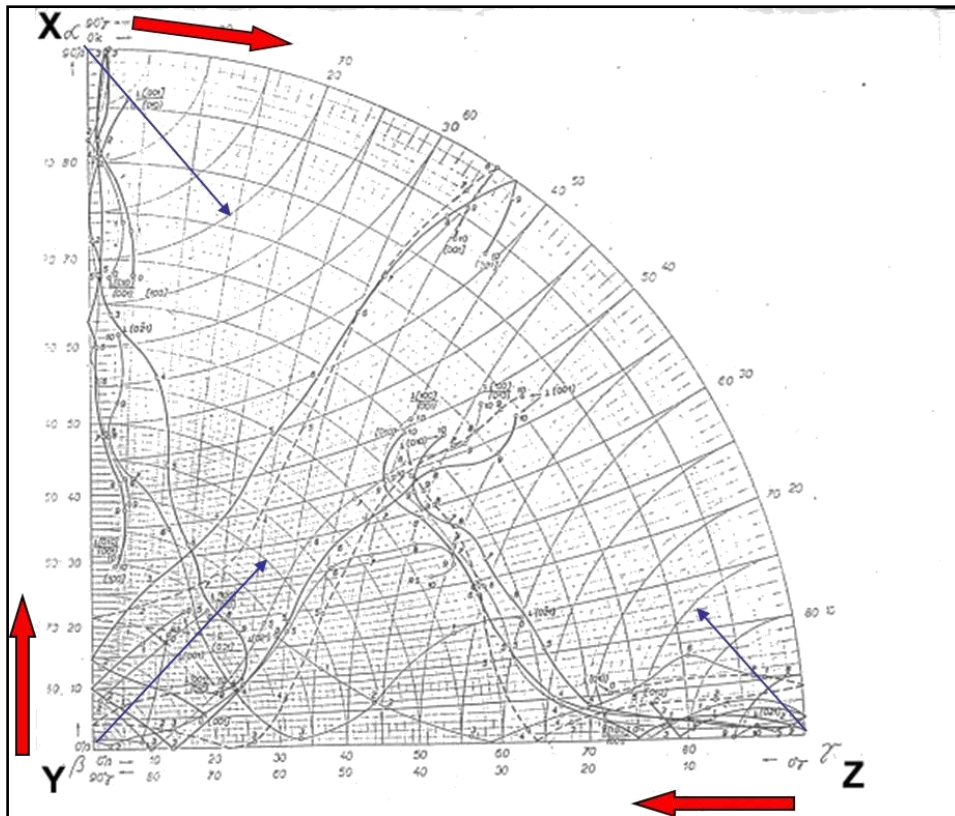
1. Za svaki kristalografski element čiji je položaj izmjerenen univerzalnim stolićem te zatim unesen u stereogram opažanja, očita se kut prema svakom od titrajnih pravaca. Kako se kod presjeka plagioklasa često puta opažaju sraslačke lamele, te se titrajni pravci u pravilu mjere u svakoj promatranoj sraslačkoj lameli, potrebno je odrediti kutove koji pojedini kristalografski element u stereogramu opažanja zatvara prema titrajnim pravcima izmjerenim u istoj sraslačkoj lameli u kojoj se i on sam nalazi. Iznimno, kod određivanja kutova koji zatvara neki sraslački šav prema glavnim titrajnim pravcima, potrebno je odrediti kutove prema titrajnim pravcima svake od dvije sraslačke lamele koje međusobno dijele taj sraslački šav, a potom se odredi matematički sredina iz po dvije dobivene vrijednosti kuta prema svakom od titrajnih pravaca. Podsjetimo još jedanput, kut između pojedinog kristalografskog elementa i određenog titrajnog pravca izmjerit ćemo tako da povrh Wulffove mreže zakrećemo stereogram opažanja sve dotle dok projekcije ta dva elementa ne dovedeno na zajednički veliki krug Wulffove mreže (meridijan). Tada se jednostavno po tom meridijanu na kojem oba elementa u tako dobivenom položaju leže, odbroji kolika je kutna udaljenost između njih. Uvijek se u obzir uzima oštri kut između dva mjerena elementa.
2. Zbog postupka očitavanja u Nikitinovom dijagramu, prvo se određuje kut nekog kristalografskog (geometrijskog) elementa prema titrajnom pravcu Z, zatim Y, te na kraju X. Za bilježenje podataka, obično se konstruira mala tablica (primjer Tablica 1), u koju se unose svi kutni odnosi između kristalografskih i optičkih elemenata određeni na prethodno opisani način iz stereograma opažanja.

Tablica 1. Primjer tablice za unos podataka o kutnim odnosima kristalografskih i optičkih elemenata, očitanih u stereogramu opažanja. Tako priređena tablica koristi se za jednostavnije unošenje podataka u Nikitinov dijagram.

	Z	Y	X
S ₁			
S ₂			
D _{1/2}			

S₁ – kalavost u prvoj sraslačkoj lameli, S₂ – kalavost u drugoj sraslačkoj lameli, D_{1/2} – sraslački šav između 1. i 2. sraslačke lamele.

2. Podaci priređeni u prethodno opisanoj tablici unose se u Nikitinov dijagram na sljedeći način:
 - Izmjereni kutovi koje zatvara određeni kristalografski element s titrajnim pravcima unose se u dijagram počevši od titrajnog pravca Z, zatim Y, te na kraju X, a u smjeru kazaljke na satu (Slika 2.19.)
 - Vrijednosti se unose po lukovima za odgovarajući titrajni pravac (plave strelice označene na slici 2.19.)



Slika 2.19. Način unosa kutnog odnosa mjerenih kristalografskih elemenata prema glavnim titrajnim pravcima u Nikitinov dijagram

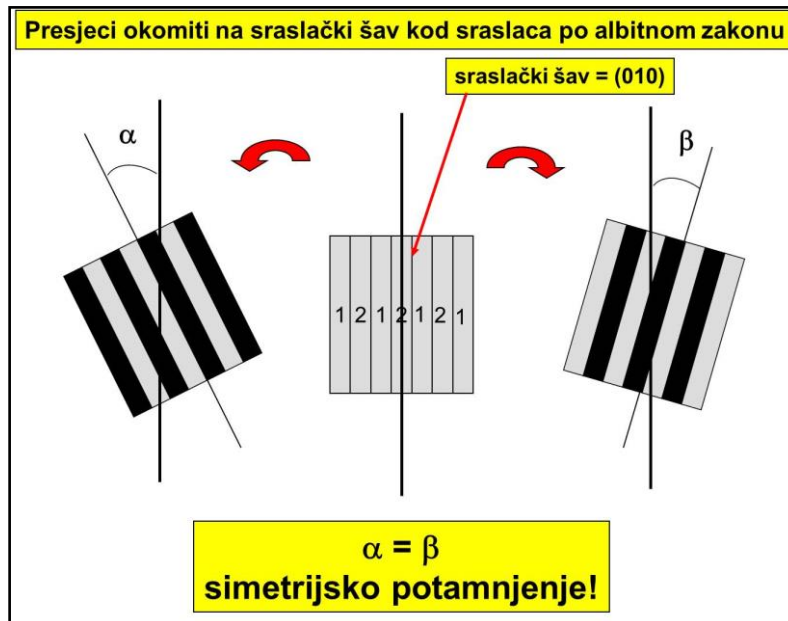
- Tako unesene vrijednosti prateći po pripadajućim lukovima za titrajne pravce, trebaju se sjeći u jednoj točki, koja odgovara položaju promatranog kristalografskog elementa prema titrajnim pravcima. Često se može dogoditi da umjesto da se sijeku u jednoj točki, ti lukovi zatvaraju mali trokut pogreške. Tada se odredi njegovo težište te se ono uzima za daljnji postupak. Ako prethodno određeni položaj kristalografskog elementa pada točno na neku liniju u Nikitinovom dijagramu, a koja odgovara određenom kristalografskom elementu, na toj se liniji direktno očitava sastav plagioklasa.
- Svaka linija na svakom svojem kraju ima oznaku kristalografskog elementa na koji se ona odnosi. Također, na svakoj liniji označeni su položaji tog kristalografskog elementa prema titrajnim pravcima za određeni udio anortitne komponente u plagioklasu. Udio od 0% označen je s 0, od 100% s 10, od 30% s 3 i tako dalje. Ako položaj nekog mjenenog kristalografskog elementa pada na liniju mimo točno ucrtanih postotaka, mjerenjem ravnalom i izračunom se može lako odrediti točan udio anortitne komponente u izmjenenom plagioklasu.
- Ako se pak položaj nekog mjenenog kristalografskog elementa nađe između ucrtanih linija na dijagramu, povlači se okomica s najbliže linije do točke koja određuje položaj promatranog kristalografskog elementa u promatranom presjeku. Ta se okomica može povući sa svih bližih okolnih linija, ako one predstavljaju kristalografske elemente na plagioklasu koji bi mogli odgovarati našem izmjenenom elementu. Točka iz koje smo povukli okomicu na liniju do položaja tog kristalografskog elementa predstavlja kemijski sastav promatranog plagioklasa.

- U prethodno opisanom slučaju kada položaj kristalografskog elementa u Nikitinovom dijagramu ne pada točno na neku liniju, nužno je pribilježiti njegovu kutnu udaljenost do točke od koje smo povukli okomicu na najbližoj ucrtanoj liniju, te u kojem smjeru se tako uneseni položaj kristalografskog elementa nalazi od te točke (prema stranama svijeta).
- U Nikitinov dijagram potrebno je unijeti položaje (prema glavnim titrajnim pravcima) svih kristalografskih elemenata izmjerenih na univerzalnom stoliću za promatrani presjek.
- Konačni sastav promatranog plagioklasa dobije se izračunom aritmetičke sredine iz pojedinačnih sastava dobivenih za svaki izmjereni i u Nikitinov dijagram uneseni geometrijski element. Bitno je da se u konačni izračun udjela anortitne komponente unose samo one vrijednosti koje su međusobno bliske po vrijednosti tj. da se isključe one vrijednosti koje značajno odudaraju od ostatka podataka. Te nepodudarajuće vrijednosti najčešće potječu iz očitavanja u Nikitinovom dijagrama u slučajevima kada izmjereni položaji kristalografskih elemenata prema titrajnim pravcima ne padaju točno na neku krivulju u Nikitinovom dijagramu, već se nađu među nekoliko njih. Stoga se često može dogoditi da očitavamo vrijednosti udjela anortitne komponente s nekoliko različitih krivulja, od kojih neke zasigurno ne odgovaraju našem mjerenom kristalografskom elementu.

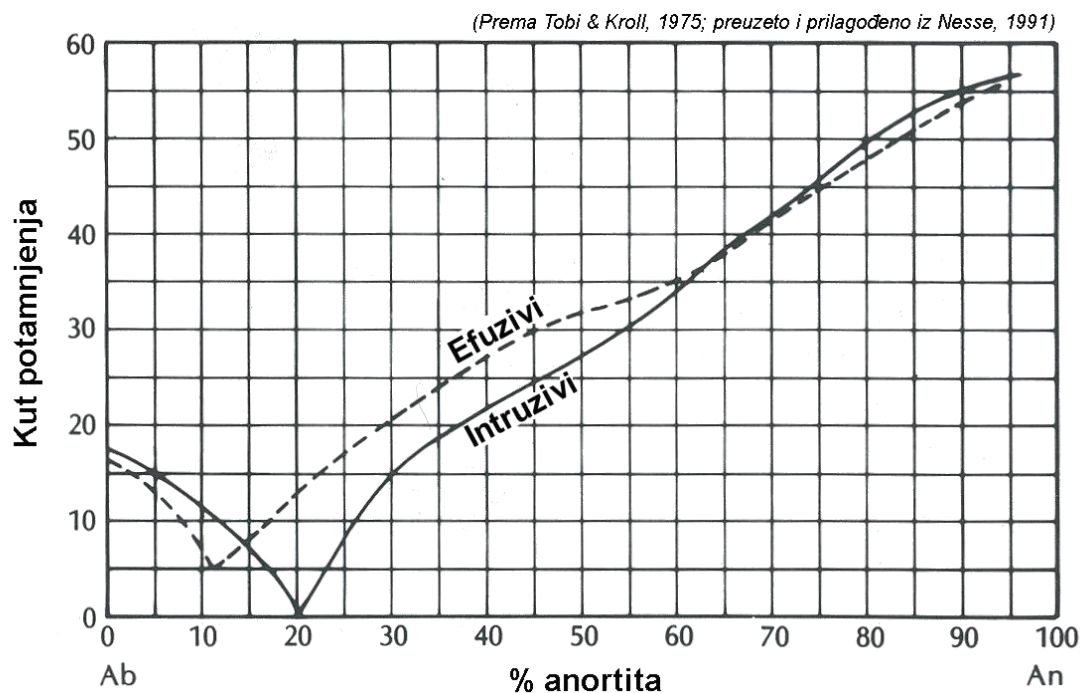
Određivanje sastava plagioklasa metodom prema Michel-Levyju (presjeci plagioklasa u zoni simetrijskog potamnjenja)

Poznato je nekoliko metoda određivanja sastava plagioklasa upotrebom polarizacijskog mikroskopa i bez korištenja univerzalnog stolića. Pri tome je jedna od najčešće korištenih metoda ona po Michel-Levyju. Kod te se metode u obzir uzimaju presjeci plagioklasa u tzv. zoni simetrijskog potamnjenja. Zapravo se radi o presjecima zrna plagioklasa u kojima se nalaze sraslačke lamele srasle prema albitnom zakonu (sraslačka os je okomica na (010)), a zrna su izbrušena točno okomito na sraslački šav koji je paralelan s (010). Takvi se presjeci lagano prepoznaju po tome što s uključenim analizatorom sve sraslačke lamele u presjeku plagioklasa kada su orijentirane svojim izduženjem paralelno s vertikalnom niti nitnoga križa mikroskopa, pokazuju istu interferencijsku boju. K tome, kada se bolje promatra sraslački šav među istim lamelama, uočava se kako je on vrlo oštra jasno definirana linija, koja se pri fokusiranju-defokusiranju ne pomiče značajno lijevo-desno. U slučaju presjeka u zoni simetrijskog potamnjenja, vrijedi pravilo da će kut kosog potamnjenja prema sraslačkom šavu ako presjek zakrenemo iz početnog položaja u lijevo, biti jednak kutu kosog potamnjenja ako isti presjek iz početnog položaja zakrenemo u desno. Naravno, zbog sraslačkih odnosa, zakretom u lijevu stranu potamni jedan niz sraslačkih lamela (svaka druga), dok zakretom u desnu stranu potamni drugi niz sraslačkih lamela (onaj niz lamela koji nije potamnio pri zakretu u lijevu stranu)(Slika 2.20.). Kao početni položaj se računa već opisani položaj u kojem su lamele svojim izduženjem orijentirane paralelno vertikalnoj niti nitnoga križa, odnosno kako bi takav položaj bio što točnije namješten, dovodi se sam sraslački šav u takav položaj. Jasno je da su rijetki oni presjeci srasli po albitnom zakonu koji su baš točno okomito izbrušeni

na sraslački šav, pa je mnogo češći slučaj da se nalaze presjeci koji približno odgovaraju takvoj orijentaciji.



Slika 2.20. Određivanje udjela anortitne komponente u plagioklasima Michel-Levyjevom metodom kod presjeka plagioklasa u zoni simetrijskog potamnjenja.



Slika 2.21. Dijagram za očitavanje udjela anortitne komponente u plagioklasima nakon određivanja kutova potamnjenja u zoni simetrijskog potamnjenja (presjeci okomito na sraslački šav po (010) kod sraslaca po albitnom zakonu)(metoda prema Michel-Levyju).

Po principu rada univerzalnog stolića, razumljivo je da dovođenjem nekog presjeka plagioklasa sraslog po albitnom sraslačkom zakonu u položaj kada su mu sraslačke lamele orijentirane paralelno vertikalnoj niti nitnog križa, možemo ga dodatnim nagibanje oko osi A_2 univerzalnog stolića, dovesti u položaj kada će sraslački šav biti točno okomit na ravninu stolića mikroskopa, tj. njegova će se okomica podudarati s osi A_4 univerzalnog stolića. Taj postupak odgovara onome opisanom u poglavlju o određivanju geometrijskih elemenata (poglavlje 2.5.). Na taj način možemo dovesti presjek koji nije izbrušen baš točno okomito na sraslački šav po albitnom zakonu, u točan položaj zone simetrijskog potamnjenja. Samim time moguće je točnije izvršiti određivanja udjela anortitne komponente u plagioklasu prema Michel-Levyjeoj metodi. Nakon određivanja kuta potamnjenja, možemo jednostavno iz dijagrama očitati udio anortitne komponente (Slika 2.21.).

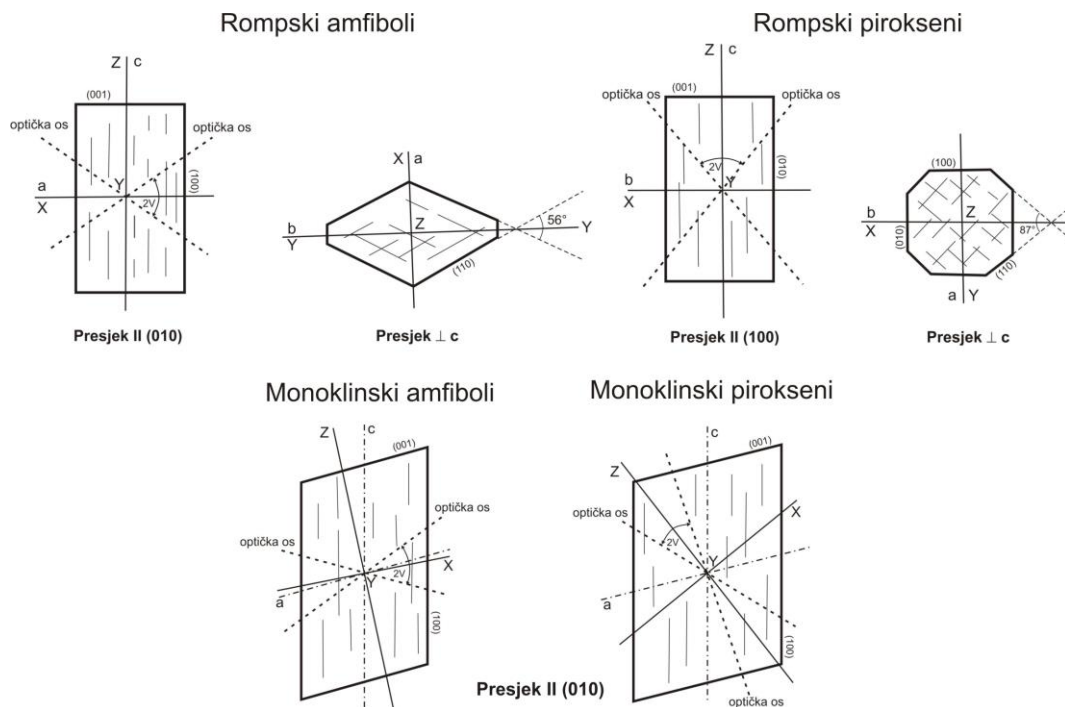
2.7.2. ODREĐIVANJA AMFIBOLA I PIROKSENA

Amfiboli i pirokseni česte su skupine petrogenih minerala, čija je točna identifikacija u stijeni vrlo bitna zbog njezine klasifikacije, ali i razumijevanja procesa tijekom i nakon nastanka stijene. Brojnost mineralnih vrsta u svakoj od tih skupina silikata zahtijeva vrlo detaljnu optičku karakterizaciju, kako bi se pojedine vrste međusobno mogle razlikovati. Često su u optičkom smislu bitni točni podaci o orijentaciji optičke indikatriše, kristalnom sustavu (rompski ili monoklinski), o kutu optičkih osi ili pak o karakterističnim maksimalnim kutovima kosog potamnjenja, kutovima između sustava kalavosti i pleokroizmu. Razumljivo, neke od njih često puta je dosta teško prikupiti koristeći standardnu konfiguraciju polarizacijskog mikroskopa. Međutim, uključivanjem univerzalnog stolića u optička istraživanja tih dviju skupina, navedeni podaci se mogu prikupiti s velikom točnošću, čime se značajno povećava pouzdanost identifikacije mineralnih vrsta koje im pripadaju.

Standardni postupak određivanja glavnih titrajnih pravaca indikatriše dvoosnih anizotropnih minerala već je opisan u poglavlju 2.3. te se analogno primjenjuje kod amfibola i piroksena. Isto vrijedi i za postupak određivanja geometrijskih elemenata, opisan u poglavlju 2.5.

Kod mjerenja univerzalnim stolićem korisno se prisjetiti osnovnih kristalooptičkih svojstava skupina piroksena i amfibola. Obje skupine mogu kristalizirati i u rompskom i u monoklinskom sustavu. Tako kut između ploha (001) i (100) iznosi 90° kod rompskih, do oko 106° kod monoklinskih članova navedenih skupina. Kod jednih i drugih je dobro razvijena kalavost po {110}, gdje se oba sustava dobro vide u presjecima okomitim na os c (kod rompskih su ti presjeci paralelni s plohom baznog pinakoida). U presjecima zone kristalografske osi c vidi se samo jedan sustav kalavosti. Izraženost pukotina kalavosti ovisi o nagutosti tih presjeka prema plohama prizme. Česti su jednostruki i polisintetski sraslaci. Prosječni indeks loma kod amfibola kreće se u rasponu od 1,60 – 1,65 dok kod piroksena od 1,70 – 1,75. Stoga se kod upotrebe univerzalnog stolića koristi par polukuglastih staklastih segmenata s većim indeksom loma, obično oni s indeksom $n = 1,648$, pa u tom slučaju kod velikog broja primjera nije potrebno provoditi korekciju zbog razlika u indeksu loma (poglavljje 2.6.). Dvolom kod češćih amfibola i piroksena je umjereno jak, no pada kod rompskih piroksena i alkalijskih amfibola.

Za razlikovanje pojedinih minerala u obje skupine osobito je značajan kut maksimalnog potamnjenja ($Z \wedge c$). Za njegovo određivanje bitan je položaj ravnine optičke osi (presjek XZ troosnog elipsoida). Ona je za veliki broj monoklinskih piroksena i amfibola, paralelna s (010) (Slika 2.22.) ili nekoj plohi u zoni osi b . Kod rompskih amfibola isključivo je paralelna s (010), dok je kod rompskih piroksena paralelna s (100). Ipak, najčešće se susreću monoklinski amfiboli i pirokseni kod kojih je ravnina optičkih osi paralelna s (010), na koju okomito dolazi os b i s njime podudarni titrajni pravac Y (jedino podudaranje neke kristalografske osi s nekim glavnim titrajnim pravcem). Kod rompskih piroksena, gdje je ona paralelna s (100), titrajni pravac Y se podudara s kristalografskom osi a .



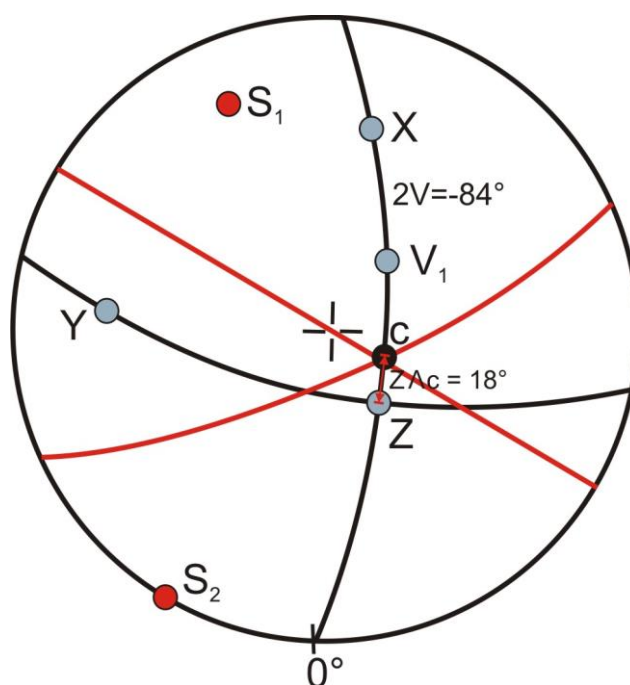
Slika 2.22. Presjeci paralelni s ravninom optičkih osi kod amfibola i piroksena

Kod spomenutog određivanja dijagnostičkog kuta maksimalnog potamnjenja ($Z \wedge c$) kod piroksena i amfibola, u uvjetima standardnog određivanja polarizacijskim mikroskopom, iznimno je bitno naći presjeke paralelne s ravninom optičkih osi, dakle najčešće one paralelne s (010). Obično su to presjeci najvećeg dvoloma u preparatu, međutim zasigurno nije lako jednoznačno utvrditi koji je presjek odgovarajući, pa se problem rješava statistički, tj. mjerenjem kuta kosog potamnjenja kod većeg broj presjeka. Kod određivanja univerzalnim stolićem taj se podatak može jednostavno dobiti grafički u stereogramu opažanja, kao što je ukratko opisano u sljedećem potpoglavlju.

Određivanje maksimalnog kuta kosog potamnjenja ($Z \wedge c$) kod monoklinskih piroksena i amfibola univerzalnim stolićem

Za ova određivanja prikladno je odabrati presjek nekog monoklinskog piroksena ili amfibola u kojem se opažaju oba sustava kalavosti, dakle, presjek manje-više okomit na kristalografsku os c . Nakon što se izmjere položaji glavnih titrajnih pravaca i geometrijskih elemenata (pukotina kalavosti), nacrtava se stereogram opažanja, kako je već opisano u poglavlju 2.4. Naravno, u slučaju da smo izmjerili titrajni pravac Y , imamo podatak i o položaju barem jedne optičke osi, što nam je dovoljno da iz stereograma opažanja odredimo kut optičke osi ($2V$), kao i optički karakter minerala. Nadalje, osim što smo ucrtali stereografsku projekciju (polove) položaja oba sustava kalavosti, u ovom slučaju se ucrtavaju i ravnine okomite na te polove. Podsjetimo, ravnina okomita na stereografski pol pukotine kalavosti ucrtava se tako da se pol dovede na ekvator Wulffove mreže, te se od njega po ekvatoru odbroji 90° . Tamo gdje smo odbrojili tih 90° ekvator siječe neki od meridijana (velikih krugova) Wulffove mreže, po kojem iscrtamo luk koji predstavlja upravo tu ravninu. Nakon što se ucrtaju oba luka koji

predstavljaju ravnine okomite na stereografske polove položaja pukotina kalavosti, može se uočiti da se ta dva luka sijeku u jednoj točki. Budući da jedan sustav kalavosti ide paralelno s (110) a drugi s (1-10), oba se nalaze u zoni osi c , tj. sijeku se u bridu koji je paralelan s osi c . Stoga u stereogramu opažanja presjecište ta dva luka predstavlja izlaz osi c , pa se tako i označi u samoj projekciji (Slika 2.23.). Sada se zakretanjem stereograma opažanja povrh Wulfove mreže ta točka može dovesti na isti meridijan s projekcijom titrajnog pravca Z . Tada se jednostavno odbroji po tom meridijanu kutna udaljenost između projekcije osi c i titrajnog pravca Z , koja ujedno predstavlja maksimalni kut kosog potamnjenja ($Z \wedge c$), inače vrlo bitan za međusobno razlikovanje pojedinih vrsta piroksena, odnosno amfibola. Isto tako, dobije se podatak i orijentaciji optičke indikatriše u tom mineralu.



Slika 2.23. Određivanje kuta ($Z \wedge c$) u nekom monoklinskom amfibolu iz stereograma opažanja. Crvene točke predstavljaju stereografske polove dva sustava pukotina kalavosti (S_1 i S_2), dok su crvene krivulje tragovi samih pukotina, svaki za 90° udaljen od svojeg stereografskog pola. Presjecište tih dviju tragova pukotina kalavosti je izlaz kristalografske osi c , pa se jednostavnim mjerenjem kutne udaljenosti od njega do stereografskog pola titrajnog pravca Z po nekom meridijanu Wulfove mreže dobije vrijednost kuta $Z \wedge c$ (u prikazanom slučaju 18°).

Određivanje pleokroizma (apsorpcije) kod amfibola i piroksena

Pleokroizam je vrlo izražajno svojstvo kod amfibola i nekih piroksena, pa je stoga također bitno za određivanje pojedinih vrsta minerala iz tih skupina. U pravilu se određuje apsorpcija glavnih titrajnih pravaca (X , Y , Z). Treba imati na umu da se samo kod rompskih piroksena i amfibola osi apsorpcijskog elipsoida podudaraju s osima optičke indikatriše, dok se kod monoklinskih minerala tih skupina minerala samo jedna os apsorpcijskog elipsoida

podudara s jednim titrajnim pravcem optičke indikatriše, a preostale osi su pod nekim kutom u odnosu na preostala dva titrajna pravca. Ipak, u praksi se pokazalo da je određivanje i označavanje apsorpcije i boja smjerom glavnih titrajnih pravaca optičke indikatriše sasvim dovoljno u većini slučajeva. Budući da se univerzalnim stolićem titrajni pravci mogu dovesti u znatnije bolje podudaranje s titrajnom ravninom polarizatora, onda je i određivanje pleokroizma i apsorpcije znatno točnije u usporedbi s određivanjima pomoću standardne konfiguracije polarizacijskog mikroskopa.

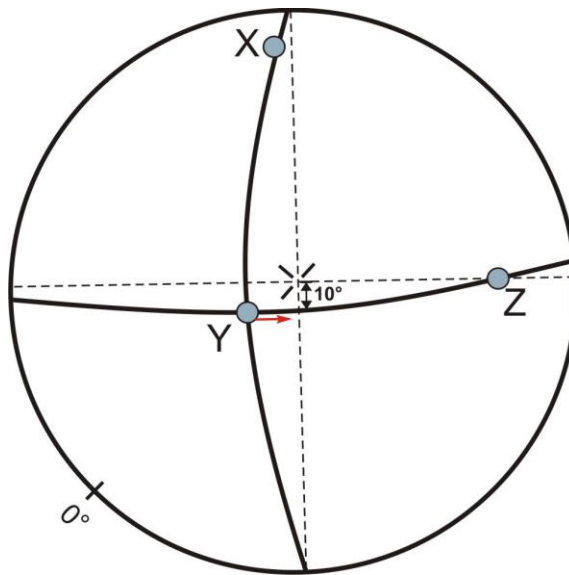
Kako je za potpuno određivanje apsorpcije i pleokroizma kod optički anizotropnih dvoosnih minerala ta svojstva potrebno opisati za tri glavna titrajna pravca optičke indikatriše, za sama određivanja potrebno je odabrati dva presjeka. Jedan presjek odabire se za određivanje apsorpcije titrajnih pravaca X i Z, a drugi za titrajni pravac Y.

Za određivanje apsorpcije titrajnih pravaca X i Z bira se presjek s najvećim dvolomom tj. najvišom interferencijskom bojom (kod obje skupine minerala to su uzdužni presjeci s vidljivim jednim sustavom kalavosti).

Postupak određivanja apsorpcije za titrajne pravce X i Z je sljedeći:

- Odabere se jedan presjek s najvišom interferencijskom bojom i dovede se u središte nitnog križa.
- Odrede se položaji oba titrajna pravca, te se na osnovu dobivenih podataka o kutnim pomacima po osima A_1 i A_2 konstruira stereogram opažanja.
- Titrajni pravac Y, koji se nalazi okomito na titrajne pravce X i Z, treba dovesti u podudarni položaj s osi mikroskopa, tj. A_5 . Kako bi se zakretanjem univerzalnog stolića to napravilo, kao pomoć koristimo upravo konstruirani stereogram opažanja. Prvo dovedemo titrajni pravac Z (njega smo već prethodno odredili) u podudarni položaj s osi A_4 . Istovremeno zakrećemo stereogram opažanja tako da nam projekcija (stereografski pol) titrajnog pravca Z pada na ekvator, a ravnina okomita na njega se proteže od sjevernog do južnog pola stereografske projekcije. Stereogram opažanja zadržimo u tom položaju. Istovremeno nam ravnina XY optičke indikatriše stoji točno okomito na os A_4 , tj. okomito na okretni stolić mikroskopa i pruža se smjerom vertikalne niti nitnog križa. Sada je još potreban zakret za određeni kut oko osi A_4 kako bismo doveli titrajni pravac Y u os mikroskopa (A_5). Pogledamo u stereogram opažanja i provjerimo kolika je kutna udaljenost po vertikalnom promjeru stereograma opažanja između projekcije titrajnog pravca Y (on je tamo gdje se sijeku ravnine okomite na projekcije titrajnih pravaca X i Z) i središta projekcije kroz koje ujedno prolazi optička os mikroskopa. Za taj kut potrebno je još zakrenuti iz početnog položaja po osi A_4 (skala na bubnju za zakretanje po osi A_4 postavljena je u početni položaj, tj. 0°). Ako je u stereogramu opažanja titrajni pravac Y južno od ekvatora projekcije, pomičemo bubanj za očitani kut od sebe, tj. u smislu porasta vrijednosti kuta. Ako je pak sa sjeverne strane ekvatora, zakrećemo bubanj prema sebi za taj kut. Na slici 2.24. prikazan je primjer takvog stereograma opažanja s kutom između titrajnog pravca Y i

osi A_5 od 10° . Na taj način namjestili smo titrajni pravac Y u os mikroskopa, te se titrajni pravci X i Z nalaze točno u ravnini mikroskopskog stolića.



Slika 2.24. Primjer određivanja pleokroizma i prikaza u stereogramu opažanja koji nam služi i kao pomoć za namještanje titrajnog pravca Y u os mikroskopa (A_5)(vidi tekst).

- Unaprijed poznavajući položaj titrajne ravnine polarizatora, sada lako možemo točno odrediti vrijednost apsorpcije i boju za titrajne pravce X i Z, zakrećući presjek oko osi A_1 univerzalnog stolića.

Za određivanje apsorpcije titrajnog pravca Y, postupak je sljedeći:

- Odaberemo presjek s umjerenom jakom interferencijskom bojom, tj. presjek približno okomit na titrajni pravac X ili Z, u kojem leži titrajni pravac Y ili neki drugi njemu približan. Kod amfibola i piroksena to su presjeci približno okomiti na os c tj. oni u kojima se vide oba sustava kalavosti. Odabrani presjek dovedemo u središte nitnog križa.
- Odrede se položaj i identitet oba titrajna pravca u presjeku, te se konstruira stereogram opažanja.
- Na sličan način kako je u prethodnom primjeru opisano, dovedemo s osi mikroskopa (A_5) u podudarni položaj titrajni pravac X ili Z, ovisno od toga koji od njih zatvara manji kut s osi A_5 (to utvrdimo iz stereograma opažanja).
- Titrajni pravac Y se zakretanjem oko osi A_1 dovede u podudarni položaj s titrajnom ravninom polarizatora, te se analizira njegova boja.

2.7.3. ODREĐIVANJE SRASLAČKIH ZAKONA

Univerzalnim stolićem mogu se jednostavno određivati položaji sraslačkih osi i ravnina, kao i sraslačkog šava. U crtavanjem rezultata mjerenja pojedinih te konstrukcijom ostalih sraslačkih elemenata u stereogramu opažanja, moguće je u usporedbi s ostalim kristalografskim elementima odrediti sraslačke zakone.

Vrste srastanja mogu se definirati na različite načine. Kod određivanja univerzalnim stolićem najpraktičniji je kristalografski način opisa sraslaca prema sraslačkoj osi. Sraslačka os je smjer u kristalu oko kojeg se jedna od dvije sraslačke jedinke iz početnog međusobno paralelnog položaja, zakreće za 180° i na taj način dovodi u sraslački položaj prema drugoj jedinki. Iz definicije sraslačke osi jasno se razabire da je ona os simetrije 2. reda ili digira, pri čemu je bitno napomenuti kako sraslačka os ne može ići kristalografskim smjerom duž kojeg na kristalu već postoji takva os simetrije, a koja je određena samom simetrijom kristala. Okomito na sraslačku os nalazi se sraslačka ravnina. Ako se odabire bilo koji geometrijski element na nekoj od sraslačkih jedinki, on se mora nalaziti u ravnini u kojoj se također nalaze sraslačka os i isti takav geometrijski element na drugoj sraslačkoj jedinki, međutim on se nalazi s druge strane sraslačke osi ali pod istim kutom prema njoj kao i istovrsni geometrijski element na prvoj sraslačkoj jedinki. Isto vrijedi i za titrajne pravce dvoosnih anizotropnih kristala koji su međusobno srasli, npr. kod plagioklasa koji se u pravilu pojavljuju u obliku sraslaca te se oni često razmatraju prilikom određivanja univerzalnim stolićem. Iz toga proizlazi kako je sraslačka os raspolovnica kutova između dva analogna geometrijska ili optička elementa na dvije međusobno srasle kristalne jedinke. To je svojstvo sraslačke osi iznimno bitno i korisno kod grafičkog određivanja vrste srastanja u stereogramu opažanja.

Prema položaju sraslačke osi u odnosu na geometrijske (kristalografske) elemente sraslih jedinki, sraslaci pa time i tzv. sraslački zakoni mogu se podijeliti na **okomične, bridne i kompleksne**.

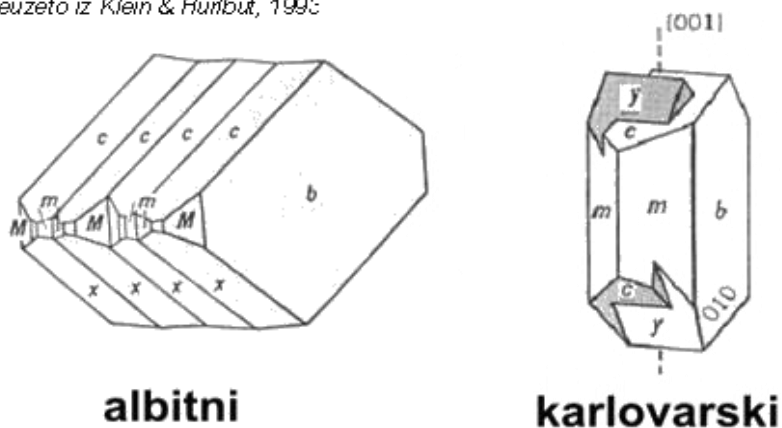
- 1. Okomični sraslački zakoni** su oni kod kojih je sraslačka os okomica na neku kristalnu plohu. Takvi sraslački zakoni su najčešći. U stereogramu opažanja sraslačke osi takvih zakona podudaraju se s izmjerenim položajem sraslačkog šava (tj. stereografskim polom izmjerene okomice na sraslački šav).
- 2. Bridni sraslački zakoni** su oni kod kojih je sraslačka os paralelna s nekim bridom na kristalu, tj. određenim kristalografskim smjerom. U stereogramu opažanja sraslačke osi bridnih zakona nalaze se u samom tragu sraslačkog šava, tj. na iscrtanoj ravnini koja je okomita na izmjereni položaj okomice na sraslački šav.
- 3. Kompleksni sraslački zakoni** kod kojih je sraslačka os okomica na neki kristalni brid koji leži u određenoj kristalnoj plohi. Takvi sraslaci se najrjeđe javljaju. U stereogramu opažanja sraslačka os se kao i kod bridnih zakona nalazi u samom tragu sraslačkog šava.

Određivanja sraslaca osobito je značajno kod mjerenja plagioklasa, pa su u tablici 2 prikazani najznačajniji sraslački zakoni koji se javljaju kod feldspata, a na slici 2.25. vrlo česti albitni i karlovarski zakon.

Tablica 2. Sraslački zakoni česti kod feldspata

Naziv	Sraslačka os	Sraslački šav
Albitni	$\perp(010)$	(010)
Manebaški	$\perp(001)$	(001)
Bavenski	$\perp(021)$	(021)
Karlovarski	[001]	(010)
Periklinski	[010]	(001)
Albitno-karlovarski	$\perp[001]/(010)$	(010)

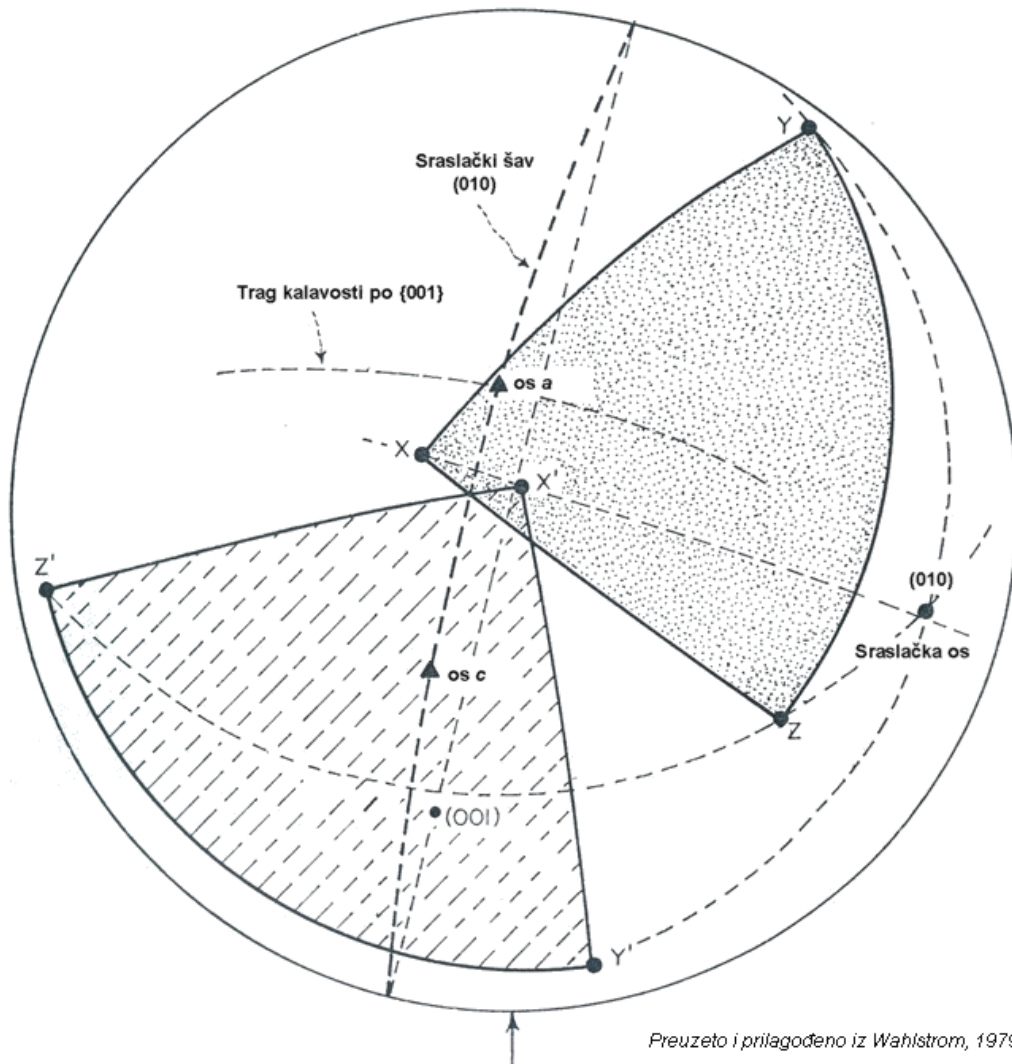
Preuzeto iz Klein & Hurlbut, 1995



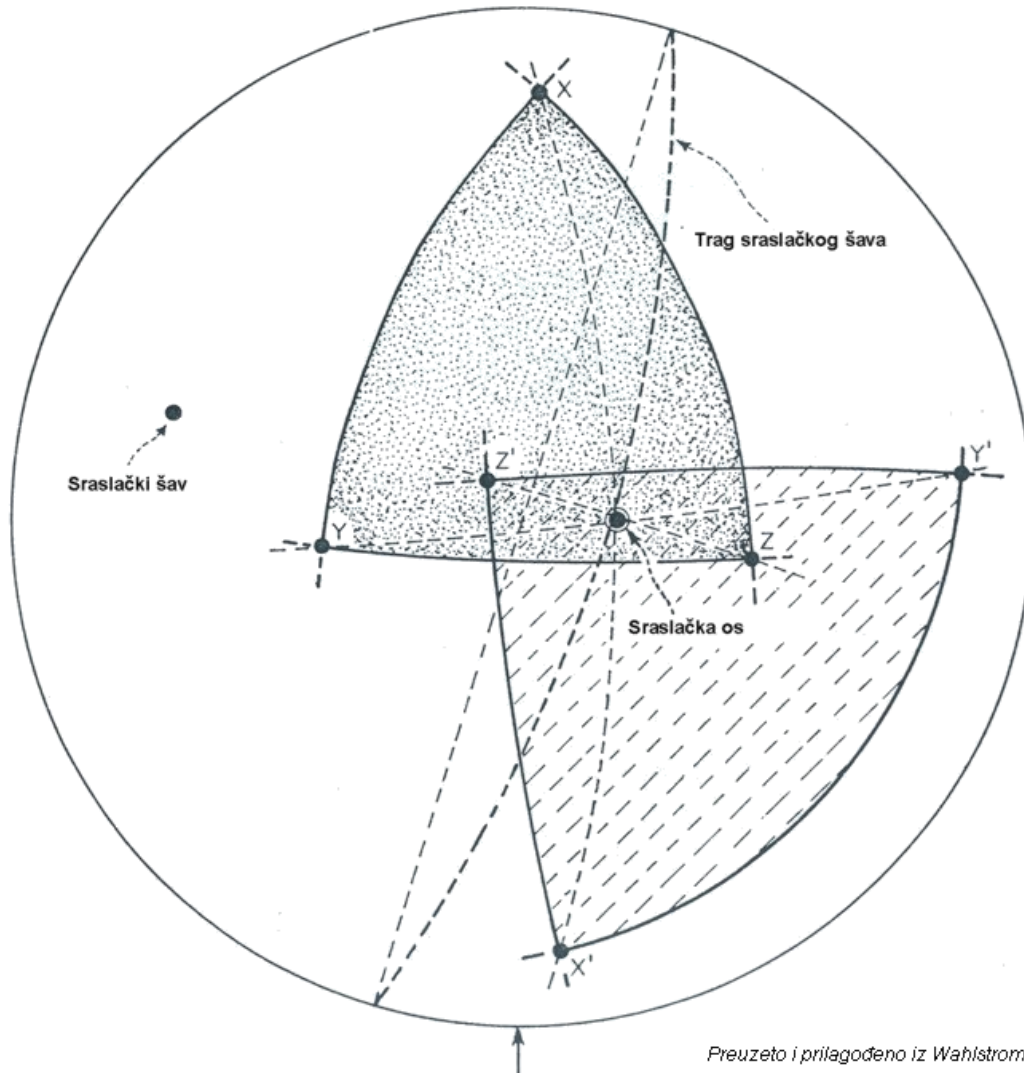
Slika 2.25. Albitni i karlovarski zakon, vrlo česti kod feldspata.

Za određivanje sraslačkih zakona iz stereograma opažanja obično se koriste dvije metode kojima je cilj utvrđivanje položaja (stereografskog pola) sraslačke osi u samoj projekciji. Obje metode kreću od ucrtavanja položaja titrajnih pravaca X, Y i Z u projekciju, i to u pravilu za dvije sraslačke jedinice opažene u mineralnom presjeku. Radi utvrđivanja sraslačkih odnosa, tj. vrste sraslačkog zakona, ucrtava se i izmjereni položaj sraslačkog šava, dakle njegov stereografski pol (položaj okomice na sraslački šav), kao i ravnina okomita na njega, a koja predstavlja direktan položaj šava kao plohe u projekciji.

1. U prvoj od metoda stereogram opažanja se rotira dok se položaji (stereografski polovi) za dva odgovarajuća titrajna pravca dviju sraslih jedinki (npr. titrajni pravac X u jednoj i titrajni pravac X drugoj srasloj jedinki) ne nađu na isto meridijanu (velikom krugu) Wulffove mreže, te se zatim taj meridijan iscrta u stereografskoj projekciji. Isti postupak se ponovi za preostala dva titrajna pravca. Tako iscrtana tri meridijana, gdje svaki povezuje projekcije odgovarajućih titrajnih pravaca na dvije srasle jedinke, sijeku se u jednoj točki ili tvore jedan mali sferni trokut. Ta točka ili težište malog sfernog trokuta su projekcija (pol) sraslačke osi. Zatim se stereogram opažanja zakreće dok se projekcija sraslačkog šava (njegov stereografski pol) ne dovede na ekvator Wulffove mreže (pravac istok-zapad). Tada se od te projekcije po ekvatoru odbroji 90° te se dobije položaj na ekvatoru kroz koji prolazi sami trag sraslačkog šava, koji je tada moguće iscrtati po meridijanu koji također prolazi kroz tu točku na ekvatoru. Samu projekciju sraslačkog šava može se direktno ucrtati na osnovu podataka dobivenih mjerenjem sraslačkog šava univerzalnim stolićem, dakle prilikom mjerenja ostalih geometrijskih elemenata. Sada, kada se u stereogramu opažanja nalaze ucrtane projekcije sraslačke osi i sraslačkog šava, mogu se na osnovu njihovog međusobnog odnosa donijeti zaključci o vrsti sraslaca. Ako se stereografski pol sraslačke osi podudara s onim sraslačkog šava, tada se radi o **okomičnom** sraslačkom zakonu (Slika 2.26.). U slučaju da se projekcija sraslačke osi nalazi na samom tragu sraslačkom šavu, koji je za 90° udaljen od njegovog stereografskog pola (položaj koji smo izmjerili direktnim mjerenjem univerzalnim stolićem), tada se radi o **bridnom** sraslačkom šavu (Slika 2.27.).
2. Kod druge metode (prema Bereku) stereogram opažanja se zakreće povrh Wulffove mreže dok se projekcije dvaju analognih titrajnih pravaca na dvije sraslačke jedinke ne dovedu na isto meridijanu (veliki krug). Tada se pomoću Wulffove mreže očita koliko po tom meridijanu iznosi kutna udaljenost, te se na pola te udaljenosti označi točka. Zatim se od te točke po istom meridijanu odbroji 90° . Nakon toga se stereogram opažanja zakreće povrh Wulffove mreže dok se jedna od tih točaka ne nađe na ekvatoru (smjer istok-zapad), a zatim se od druge točke po velikom krugu (meridijanu) stereografske projekcije povuče kraći luk. Isto se ponovi i za drugu točku, a nakon toga i za preostale parove projekcija titrajnih pravaca dviju sraslih jedinki. Iscrtani kraći lukovi sijeku se u jednoj točki – sraslačkoj osi, ili eventualno zatvaraju manji sferni trokut, čije je težište položaj sraslačke osi u projekciji. Daljnji postupak je istovjetan onom opisanom kod prethodne metode, a temelji se na opažanju odnosa dobivenom položaja sraslačke osi i direktno izmjerenog i u stereogram opažanja ucrtanog položaja sraslačkog šava.



Slika 2.26. Rješavanje sraslačkog zakona u stereogramu opažanja prema prvoj metodi u slučaju **okomičnog** srastanja kod plagioklasa. Opaža se kako je sraslačka os za 90° udaljena od traga sraslačkog šava, a istovremeno se podudara s njegovim stereografskim polom (označen s (010)). Položaj kristalografske osi **a** utvrđen je presjecištem tragova ravnina (010) i (001), a kristalografske osi **c** poznatim kutnim odnosom prema kristalografskoj osi **a**.



Slika 2.27. Rješavanje sraslačkog zakona u stereogramu opažanja prema prvoj metodi u slučaju **bridnog** srastanja kod plagioklasa. Iz stereograma opažanja vidljivo je kako sraslačka os leži u sraslačkom šavu.

Uz već spomenute općenite odnose između položaja sraslačke osi i sraslačkog šava u stereogramu opažanja kod pojedinih skupina sraslaca, postoje još neke pravilnosti koje se mogu iščitati u samom stereogramu, a osobito su korisne pri rješavanju sraslaca kod plagioklasa:

- U stereogramu opažanja za plagioklase često se opaža da okomice dvaju geometrijskih elemenata često stoje gotovo pod pravim kutom. U tom se slučaju obično radi o okomicama na bazni i bočni pinakoid. Kako ti pinakoidi definiraju kalavost kod feldspata, a okomice na njih su vrlo često sraslačke osi, oni su tada ujedno i sraslački šavovi, a često i terminalne plohe.
- Kod kiselih plagioklasa točka koja odgovara okomici na $\{010\}$ nalazi se u blizini titrajnog pravca Z, a točka koja odgovara okomici na $\{001\}$ u blizini titrajnog pravca Y.
- Kod albitnog zakona opaža se nastavljanje pukotina kalavosti iz jednog sraslog pojedinca u drugi, gotovo nepromijenjenim smjerom te gotovo okomito na šav. Sraslački šav je (010) , dok su spomenute pukotine kalavosti paralelne s (001) .
- Kod manebaškog zakona može se primijetiti slično kao kod albitnog zakona, samo je sraslački šav (001) , a pukotine kalavosti okomite na njega odgovaraju (010) .
- Eventualnu dvojbu o kojem sraslačkom zakonu se radi može se riješiti u Nikitinovom dijagramu promatranjem pored kojih linija podaci za odgovarajuće geometrijske elemente padaju, a još dodatne nejasnoće u Nikitinovome dijagramu provjerom reljefa minerala pomoću Beckeove linije (odnos indeksa loma u kiselim i bazičnim plagioklasima).
- Kod periklinskog zakona opažaju se lamele koje nisu u potpunosti paralelne s kalavošću po (001) . To su lamele srasle po periklinskom zakonu, a manje-više okomito na njih se vide pukotine kalavosti i eventualno sraslački šavovi po (010) . Kod periklinskog srastanja sraslačka os je paralelna s $[010]$, te se pukotine kalavosti po (010) nastavljaju bez ikakve promjene iz jednu u drugu sraslu jedinku.

3. BEREKOV NAGIBNI KOMPENZATOR

Kod istraživanja optički anizotropnih minerala osobiti značaj ima određivanje vrijednosti razlike u hodu (Δ) određenog mineralnog presjeka u mikroskopskom preparatu. To proizlazi iz poznatog odnosa razlike u hodu prema debljini preparata (d) i dvolomu promatranog presjeka ($n_2 - n_1$):

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

Jasno je stoga, kako se određivanjem razlike u hodu uz poznatu standardnu vrijednost debljine pripremljenog mikroskopskog preparata (0,02 – 0,03 mm) može odrediti i vrijednost dvoloma. Dvolom je bitno svojstvo svakog promatranog minerala, te osim što je bitno za njegovu identifikaciju, bitno je i za razumijevanje njegovih ostalih optičkih svojstava.

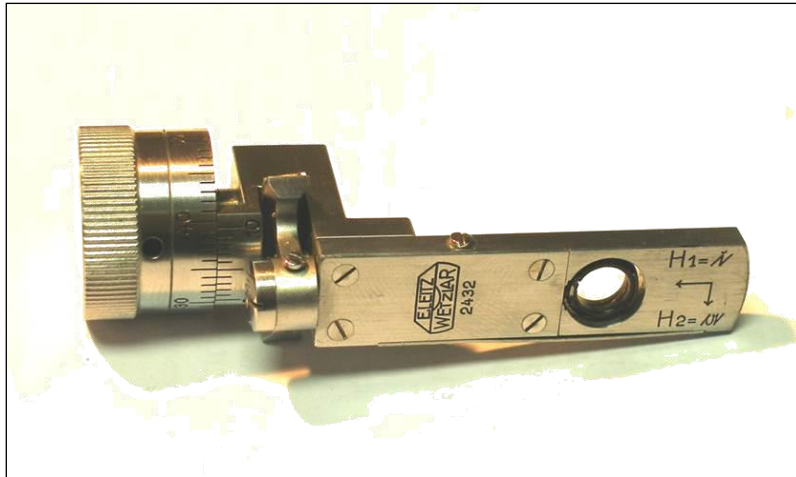
Uobičajeno, visinu razlike u hodu pa tako i dvoloma, možemo procijeniti na osnovu opažene interferencijske boje. Uspoređujući opaženu boju s podacima u Michel-Levyjevoj tablici (nomogramu), možemo uz poznatu debljinu preparata očitati približne vrijednosti dvoloma i razlike u hodu. Uz to, u uobičajenoj rutini kod određivanja vrijednosti razlike u hodu pomažu nam standardni kompenzatori koji se isporučuju zajedno s polarizacijskim mikroskopom. To su gipsni kompenzator s razlikom u hodu λ , tinjčev s razlikom u hodu $\lambda/4$ te kremen (kvarcni) klin s razlikom u hodu od $\lambda/2 - 3\lambda$, gdje je $\lambda = 550 \text{ nm}$. Pomoću spomenutih kompenzatora dodajemo ili oduzimamo neku od navedenih razlika u hodu razlici u hodu koju zrake svjetlosti nastale dvolomom u anizotropnom presjeku ostvaruju pri prolasku kroz njega. Razumljivo je da su određivanja takvim kompenzatorima približna zbog činjenice da razlike u hodu u promatranim presjecima minerala rijetko odgovaraju točno navedenih razlikama u hodu kompenzatora.

Za točno određivanje razlike u hodu nekog anizotropnog presjeka pomoću kompenzatora, trebalo bi koristiti kompenzator koji stvara potpuno istu razliku u hodu između dvolomom nastalih zraka svjetlosti kao i promatrani mineralni presjek. Naravno, bilo bi potpuno nepraktično konstruirati iznimno veliki broj kompenzatora koji bi prekrivali raspon mogućih razlika u hodu koji u različitim presjecima stvaraju minerali, pa čak i kada bi se to ograničilo na one minerale koji se češće javljaju u stijenama (tzv. petrogeni minerali).

Stoga se je Max Berek (1886. - 1949.) zgodno dosjetio kako upotrebom samo jednog kompenzatora pokriti veliki raspon mogućih razlika u hodu u mineralima. On je konstruirao 1913. godine jedan takav kompenzator, koji se prema njemu naziva Berekov nagibni kompenzator (Slika 3.1.).

Njegova primarna namjena je određivanje razlike u hodu anizotropnog presjeka, te tako i dvoloma uz poznatu debljinu preparata.

Berekov nagibni kompenzator odlikuju visoka osjetljivost i veliko radno područje.



Slika 3.1. Berekov nagibni kompenzator

3.1. KONSTRUKCIJA BEREKOVOG NAGIBNOG KOMPENZATORA

Kako prikazuje slika 3.2., Berekov nagibni kompenzator načinjen je od kućišta (stariji modeli su u metalnom, dok su noviji modeli često puta izrađeni u plastičnom kućištu), u koje je umetnuta kalcitna pločica izbrušena točno okomito na optičku os, odnosno na kristalografsku os c . Kalcitnu pločicu moguće je zakretati duž uzdužne osi kompenzatora u obje strane. Zakretanje se obavlja preko graduiranog zakretnog bubnja pomoću mehanizma koji ga povezuje s pločicom. Graduirani zakretni bubanj omogućava zakretanje pločice za točno određeni kut, koji je moguće očitati na skali s kutnim vrijednostima. Maksimalni zakret iznosi 30° u jednu i 30° u drugu stranu, a točnost očitavanja je $0,1^\circ (\pm 0,05^\circ)$. Kada je pločica u početnom položaju (paralelno je namještena s pločastim tijelom kompenzatora koje se umeće u mikroskop), vrijednost na graduirano skali zakretnog bubnja iznosi 30° . Vrijednost na skali pri maksimalnoj vrijednosti zakreta u jednu stranu iznosi 0° , a u drugu stranu 60° .



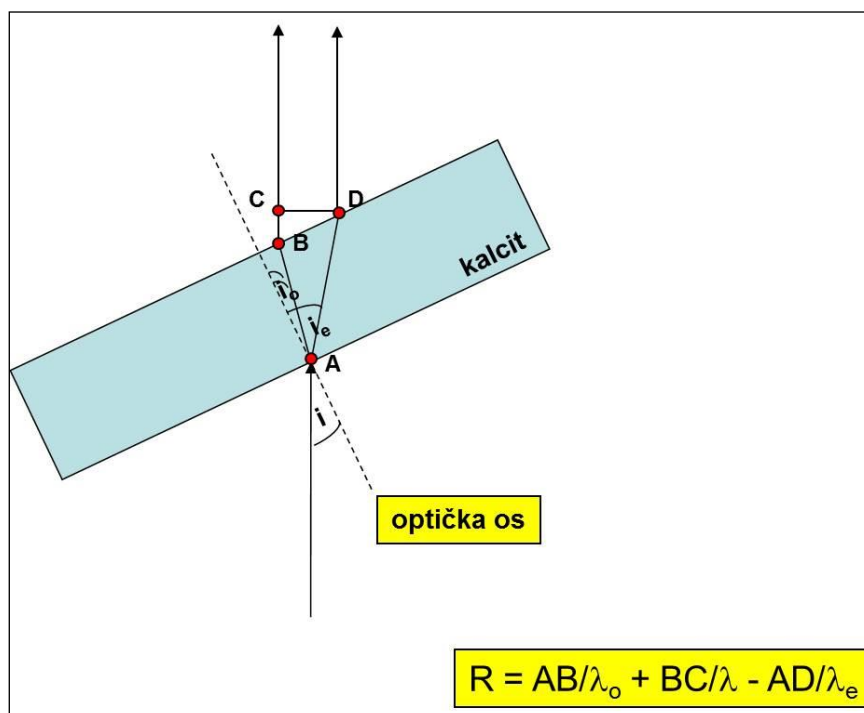
Slika 3.2. Konstrukcija Berekovog nagibnog kompenzatora

Budući da pri maksimalnim zakretima rubovi kalcitne pločice izlaze iz ravnine kućišta kompenzatora, **nužno je pri umetanju kompenzatora u mikroskop podesiti vrijednost na skali na početnu vrijednost (30°)**, kako se kalcitnom pločicom ne bi zapelo o rub utora za kompenzator na mikroskopu, čime bi se ona mogla oštetiti. Isto vrijedi i prilikom izvlačenja kompenzatora iz mikroskopa.

3.2. PRINCIP RADA BEREKOVOG NAGIBNOG KOMPENZATORA

Pri prolasku svjetlosti kroz nagibni kompenzator, ona prolazi kroz kalcitnu pločicu koja je izbrušena okomito na optičku os. Kada je kalcitna pločica namještena u svoj početni položaj tj. površina pločice paralelna je ravnini kompenzatora, a kut na skali graduiranog zakretnog bubnja iznosi 30°, svjetlost u kompenzator ulazi točno duž optičke osi. U tom slučaju u kompenzatoru nema dvoloma tj. svjetlost ne ostvaruje nikakvu dodatnu razliku u hodu pored one koju je ostvarila u promatranom presjeku.

Međutim čim pločicu pomoću graduiranog bubnja i malo zakrenemo iz njezinog početnog položaja, svjetlost u kompenzator više neće upadati duž optičke osi te će doći do dvoloma (Slika 3.3.). Čim je taj kut zakreta veći, bit će i veći dvolom a samim time i razlika u hodu koju će svjetlost ostvariti prolaskom kroz Berekov nagibni kompenzator. Uz to, iz slike 3.3. jasno se vidi da se nagibanjem pločice povećava i put prolaska svjetlosti, dakle i njezina efektivna debljina.



Slika 3.3. Princip rada Berekovog nagibnog kompenzatora

Samo određivanje razlike u hodu promatranog presjeka pomoću Berekovog nagibnog kompenzatora zasniva se na namještanju razlike u hodu u kompenzatoru pomoću zakretanja kalcitne pločice na onu vrijednost koja po svojem iznosu odgovara onoj razlici u hodu koju je svjetlost ostvarila u promatranom presjeku. Međutim, pri tome je bitno da su središnji presjeci indikatrisa u presjeku i kompenzatoru suprotno orijentirani tj. da se nalaze u nepodudarnom položaju. Na taj će se način te dvije po iznosu jednake razlike u hodu poništiti, a promatrač će opaziti da je presjek pri takvom namještanju Berekovog nagibnog kompenzatora potamnio. U tom slučaju se govori o **položaju kompenzacije**, po kojem su kompenzatorske pločice i nazvane.

Samo određivanje razlike u hodu u presjeku obavlja se u sljedećih nekoliko koraka:

- Promatrani presjek se namjesti u položaj potamnjenja.
- Preparat se tada zakrene za 45° u položaj maksimalne rasvjete.
- Umetne se Berekov kompenzator **u početnom položaju (= 30°)**.
- Provjerava se je li orijentacija promatranog presjeka zrna u podudarnom (interferencijske boje rastu sa zakretanjem graduiranog bubnja kompenzatora) ili nepodudarnom položaju (interferencijske boje se smanjuju).
- U slučaju podudarnog položaja, mikroskopski stolić treba zakrenuti za 90° kako bi se preparat dovelo u nepodudarni položaj s kompenzatorom.
- Bubanj kompenzatora se zakreće iz početnog položaja u jednom smjeru, dok zrno ne potamni (ako je malo) ili preko njega prijeđe tamna linija – kompenzacijski potez (u slučaju da je zrno veliko). Kada dođe do spomenutog potamnjenja, zaustavi se zakretanje graduiranog bubnja kompenzatora te se očita i približeži dobiveni kut zakreta. To se očitavanje obično označi kao očitavanje a .
- Zatim se bubanj kompenzatora okreće u suprotnom smjeru do drugog položaja kompenzacije, tj. dok se ponovno ne uoči potamnjenje presjeka. Tada se zaustavi zakretanje bubnja, te se na skali očita dobiveni kut zakreta. To je očitavanje b .
- Kut nagiba kompenzatora (kompenzacije) i , izračunava se iz dobivena dva očitavanja:

$$i = (a-b)/2$$

- Konačno se računa se razlika u hodu (Δ):

$$\Delta = C_{\lambda} f(i)$$

pri čemu je:

C_{λ} = konstanta kompenzatora za svjetlost kojom se obavilo mikroskopsko opažanje.

Obično dolazi u popratnoj dokumentaciji zajedno s kompenzatorom.

$f(i)$ = vrijednost funkcije kuta nagiba pločice.

- Prije uklanjanja kompenzatora iz mikroskopa, **obavezno zakretanjem graduiranog bubnja vratiti kompenzator u početni položaj!** (vrijednost na skali tada iznosi 30°)

Za određivanje razlike u hodu promatranog presjeka iz kuta nagiba Berekovog kompenzatora, potrebne su dvije veličine koje u pravilu nije potrebno izračunavati, budući da ih se može iščitati iz popratne dokumentacije nagibnog kompenzatora. Ipak, evo kratkog pojašnjenja njihovog značenja.

Konstanta kompenzatora (C_λ)

Konstanta kompenzatora ovisna je o valnoj duljini svjetlosti koju se koristi za mikroskopiranje, a može se izračunati iz sljedećeg izraza:

$$C_\lambda = \frac{dn_o}{2} \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_o^2} \right)$$

gdje je:

d = debljina kalcitne pločice u kompenzatoru

n_o = indeks loma ordinarne zrake kalcita za valnu duljinu svjetlosti kojom se mikroskopira

n_e = indeks loma ekstraordinarne zrake kalcita za valnu duljinu svjetlosti kojom se mikroskopira

Funkcija nagiba kompenzatora, $f(i)$

Funkcija nagiba kompenzatora može se izračunati iz sljedećeg izraza, koji odražava geometrijske odnose dvolomom nastalih zraka u kalcitnoj pločici Berekovog nagibnog kompenzatora u odnosu na kut njezinog nagiba (i):

$$f(i) = \sin^2 i (1 + 0,2040 \sin^2 i + 0,0627 \sin^4 i)$$

Vrijednosti funkcije $f(i)$ za kutove nagiba kompenzatora u rasponu od 0 - 31,9° često puta nije potrebno izračunavati, budući da se već izračunate vrijednosti obično dolaze u tabličnom prikazu zajedno s dokumentacijom kompenzatora.

A. Plagioklasi:

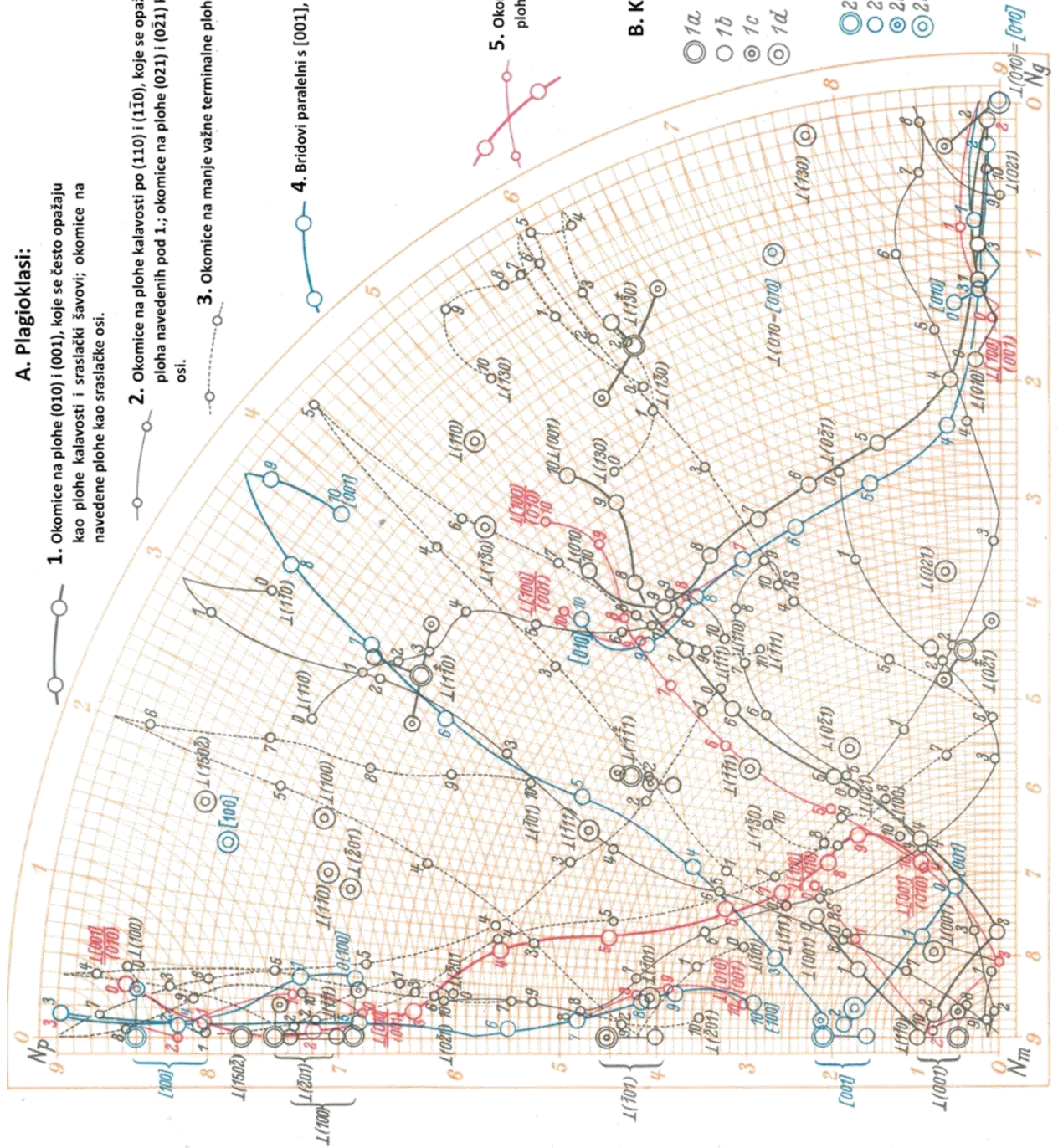
1. Okomice na plohe (010) i (001), koje se često opažaju kao plohe kalavosti i sraslački šavovi; okomice na navedene plohe kao sraslačke osi.

2. Okomice na plohe kalavosti po (110) i (110), koje se opažaju rjeđe od ploha navedenih pod 1.; okomice na plohe (021) i (021) kao sraslačke osi.

3. Okomice na manje važne terminalne plohe.

4. Bridovi paralelni s [001], [100] i [010] kao sraslačke osi.

5. Okomice na bridove [001], [100] i [010] u plohama (010) i (001) kao sraslačke osi.



B. Kalijski feldspati:

- 1a ortoklas
 - 1b natrijev ortoklas
 - 1c anortoklas (?)
 - 1d mikroklin
- okomice na plohe
- 2a ortoklas
 - 2b natrijev ortoklas
 - 2c anortoklas (?)
 - 2d mikroklin
- bridovi

Položaj najvažnijih geometrijskih elemenata feldspata u odnosu na glavne titrajne pravce optičke indikatrise

POPIS LITERATURE

- Barić, Lj. (1954): Nagibni kompenzatori, Stručna izdanja – Knjiga I, Hrvatsko geološko društvo, 316-358
- Emmons, R.C. (1943): The Universal Stage, with Five Axes of Rotation. Geological Society of America Memoir, 8, str 205.
- Klein, C. & Hurlbut, C. S. (1993): Manual of Mineralogy (21st Edition), John Wiley & Sons, Inc., New York, 681 str.
- Nesse, W. D. (1991): Introduction to Optical Mineralogy (2nd Edition), Oxford University Press, New York, 335 str.
- Muir, I.D. (1981): The 4-Axis Universal Stage. Microscope Publications, Ltd., Chicago, str. 145
- Nikitin, V. V. (1934): Fedorovljeva metoda, Rad JAZU, knjiga 149, Zagreb, 104-149
- Sarantschina, G. M. (1963): Die Fedorow-Methode – Eine Einführung in die Verfahren mit dem Universaldrehtisch, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 135 str.
- Wahlstrom, E. E. (1979): Optical Crystallography (5th edition), John Wiley & Sons, New York, 488 str.