

A polarizációs mikroszkópia az ásvány- és kőzettani gyakorlatban

Szegedi Tudományegyetem
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

Schubert Félix
Mészáros Előd



Duális és kooperatív képzések és azokat támogató
szolgáltatások fejlesztése a Szegedi Tudományegyetemen
EFOP-3.5.1-16-2017-00004



SZÉCHENYI 2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

1. Az okulár korrekciós gyűrűjének használata

A jobb vagy a bal szemünkkel a mikroszkópba nézve rendszerint eltérő minőségű (élességű) képet látunk. Ez az eltérés a két szem eltérő „jóságával” magyarázható. Amennyiben ezt az eltérést nem korrigáljuk, úgy szemünk a munka során idő előtt elfárad, esetleg egyes bélyegeket nem vagy nehezebben veszünk észre. Ezért a mikroszkópokon a két szem eltérő dioptriáját egy korrekciós gyűrű segítségével kompenzáljuk. Ezt a műveltet minden alkalommal, a mikroszkópi munka megkezdésekor, egyszer kell elvégezni. A Brunel mikroszkópokon a baloldali okuláron található a dioptria korrekciós gyűrű (1.1. ábra).

A korrekció menete a következő:

- 0. Az okuláregységet a 1.1. ábrán bejelölt részen – két kézzel megfogva – az okulárokat mozgassuk olyan helyzetbe, hogy a mikroszkópba nézve a látómező egy kör legyen. Erre azért van szükség, mert szemgolyóink középpontjának távolsága eltérő, így minden felhasználónak a saját szemméretéhez kell igazítani az okulárokat. Amennyiben az okulárok tengelyvonala e (szem)távolságnál nagyobb, úgy a két okulárból származó kép nem áll össze egygé, ellenkező esetben az orrunk beszorul az okulárok közé.
- 1. Állítsunk a látómező közepére egy részletgazdag szemcsét/szemcséket, majd állítsuk a mikroszkópot 1N-os üzemmódba, a 20x-os nagyítású objektívet használva.
- 2. A bal szemünket becsukva a mikroszkóp élességállító gombja segítségével állítsuk be az élességet a jobb szemünkhöz (a jobboldali okulárban). Az éles kép létrejöttét követően az élességállító gombhoz a korrekciós művelet során már nem szabad hozzányúlni!
- 3. Ezután a jobb szemünket becsukva, a bal szemünkkel a baloldali okulárba nézve állítsuk be az élességet az okuláron található korrekciós gyűrű segítségével.

Ezzel korrigáltunk a két szemünk között fennálló dioptriakülönbséget. Ezután két szemmel a mikroszkópba nézve éles, tiszta képet látunk. Ezután a korrekciós gyűrű helyzetét nem kell megváltoztatni. A műveletet csak egy objektívvel kell elvégezni, az objektívek változtatásakor nem kell megismételni.



1.1. ábra A Brunel mikroszkópok okuláregységének felépítése

2. A mikroszkóp-objektíven található jelzések. A mikroszkóp nagyításának meghatározása. A méretarány kiszámítása és jelölése mikrofotókon.

A Brunel mikroszkópok objektívjeinek jelölésrendszerét a 2.1. ábra mutatja be:

A „PL” jelzés arra utal, hogy az objektívek korrigáltak, ami a látómező görbületéből fakadó élettenség mértékét csökkenti.

40× – az objektív nagyításának értéke. A mikroszkópi kép tényleges nagyításának mértékét az objektív és az okulár nagyításának szorzata

adja. A Brunell mikroszkópokon az okulár 10×-es nagyítású. Pl. 40×-es objektívet használva x 10×-es okulár nagyítással = 400× nagyítású mikroszkóp képet eredményez.

0,65 – a numerikus apertúra értéke (az objektív feloldó-képességének mérőszáma)

160 – tubus hosszúság mm-ben (ez az okulárdarab alsó vége és (a revolverfoglalat) az objektívmenet közötti távolság)

0,17 – a fedőlemez maximális vastagsága mm-ben



2.1. ábra A Brunel mikroszkópok objektíveinek jelölésrendszere.

Numerikus apertúra

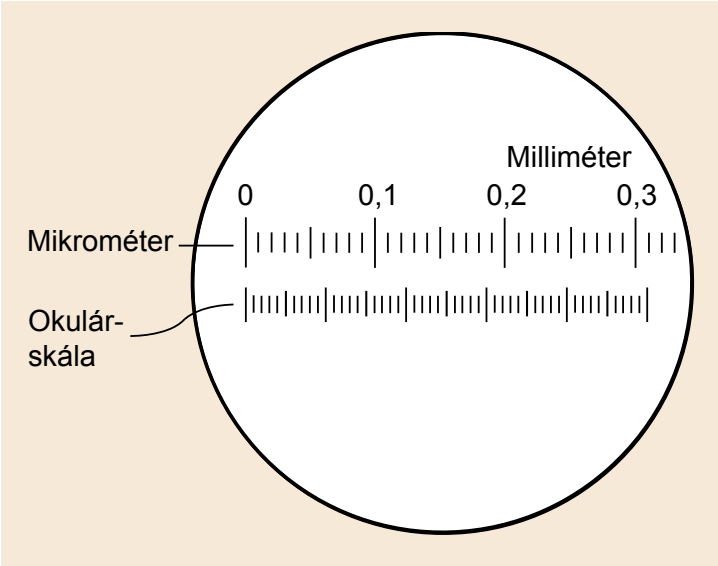
A numerikus apertúra (NA) értéke az objektív optikai feloldóképességéről ad információt. Az NA értéke a $[n \sin \theta]$ kifejezés alapján számítható ki, ahol n a minta felszíne és az objektív frontlencséje közötti közeg törésmutatója, míg θ az apertúraszög fele. A törésmutató értéke 1,0 („száraz” objektívek) és 1,54 (olaj immerziós objektívek) között változik. Az objektív fókusz távolságával változó apertúraszög a fókuszba állított mintából érkező képalkotó fénysugarak maximális szöge, amit az objektív frontlencséje be tud fogadni. Az NA alapján az objektívek száraz ($NA < 0,95$) vagy olaj immerziós ($NA > 0,95$) típusúak lehetnek.

Az okulármikrométer kalibrációjának menete

A Brunel mikroszkópok jobb oldali okulárjának beosztása révén lehetőség nyílik a mikroszkóp látómezőjében megjelenő objektumok méretének meghatározására. Az okulárskálán az egységnyi osztás valós mérete függ az objektív nagyításától, ezért az egységnyi méretet minden objektívhez egyenként meg kell határozni. E kalibrálás tárgylemez alakú, a közepén ált. 1 mm-es hosszúságú, egyenközű beosztásokat tartalmazó eszközzel (mikrométer) történik (2.2. ábra). Amennyiben az okulárskála pl. 10 egysége a kalibráló mikrométer alapján 0,06 mm-nek felel meg, úgy az okulárskála



2.2. ábra A tárgyasztalra helyezhető mikrométer, a közepén a 10 µm-es osztásközű egységeket tartalmazó üveglemezzel.



2.3. ábra Az mikroszkópok okulár-mikrométerének kalibrálása a tárgyasztalra helyezett mikrométer segítségével.

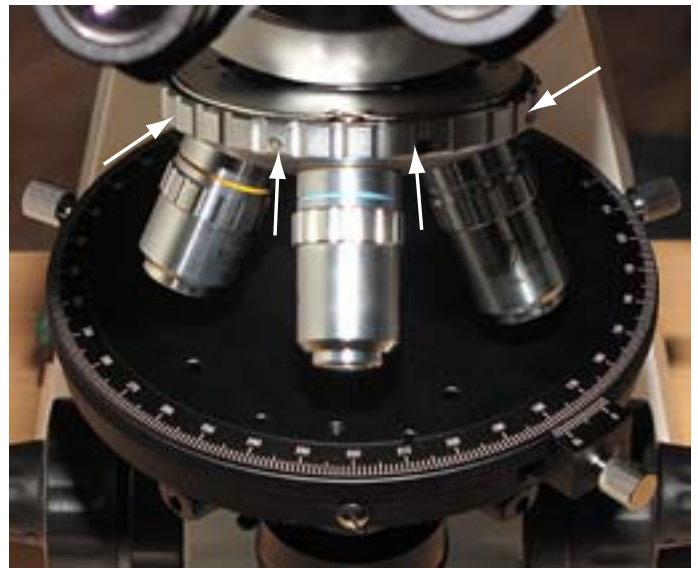
egy egysége a valóságban 0,006 mm-t (6 μm) jelöl. A 2.4. táblázat a Brunel mikroszkópokon használt objektívekhez tartozó okuláregységek valós méretét adja meg.

Objektív nagyítás	Okulár egység	Valós méret
4×	1 egység	25 μm
10×	1 egység	10 μm
40×	1 egység	2,5 μm
100×	1 egység	1 μm

2.4. ábra A Brunel mikroszkópok okuláregységeinek valós mérete különböző objektívek használata esetén.

3. Az objektívek centrálásának menete

A jól centrált mikroszkóp objektívei pontosan a tárgyasztal középpontjára „néznek”. A rögzített (nem forgatható) tárgyasztalú mikroszkópokon a némi-
leg „elcentrált” objektív nem okoz komoly gondot, mivel a szátkeresztek középpontjába állított objektum a következő mozgatásig nem kerül ki a látómezőből. A polarizációs mikroszkópban egy nem pontosan a tárgyasztal középpontjára „néző” objektív használatakor egy körbeforgatás alatt a vizsgált szemcse excentrikus pályán mozog, akár a látómezőből is eltűnhet, majd ismét visszatér a látómezőbe. Hasonló jelenséget okoz az „elcentrált” tárgyasztal is. Egyes mikroszkópokon (pl. Brunel) az objektívekhez hasonlóan a tárgyasztal is centrálható, azaz az objektívek centrálását megelőzően meg kell bizonyosodni a tárgyasztal megfelelő centráltságáról. Az objektívek elállítódását leggyakrabban a nem megfelelő használat okozza. Ez elkerülhető, ha az objektívcseré során soha nem az objektívet, hanem a revolverfoglatot (3.1. ábra) megfogva váltunk nagyítást.

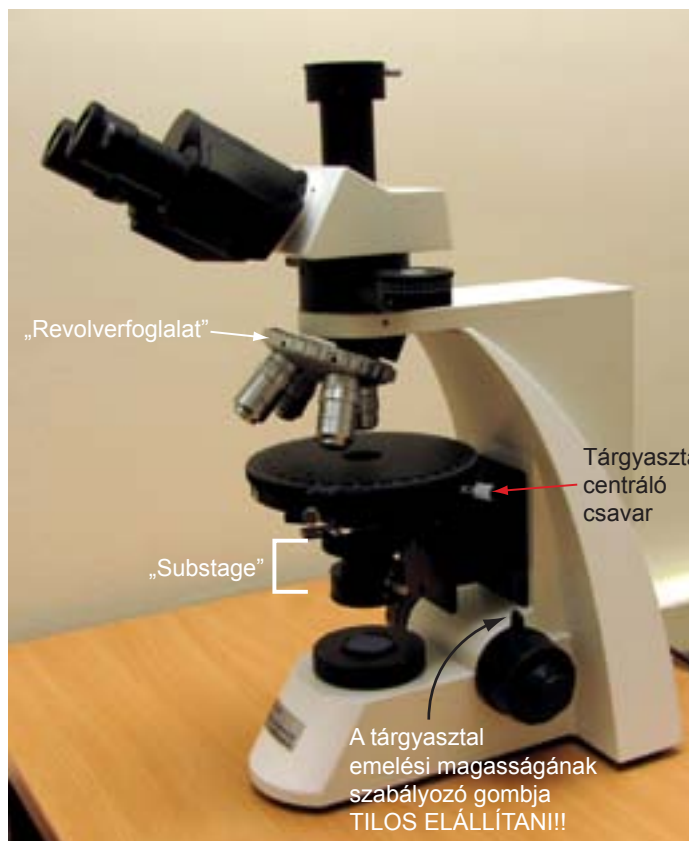


3.1. ábra A fehér nyilak az objektív foglatát jelölik. Az objektívek cseréjekor a revolverfoglatot csak ennél a résznél fogva szabad elforgatni.

Első lépésben a tárgyasztal centrálását végezzük el, az azon található két ezüst színű csavarokkal, melyek a mikroszkóp felé mutatnak (3.2. ábra). A tárgyasztal centrálásának menete megegyezik az objektívek esetében említettel. A tárgyasztal centrálását

KIZÁRÓLAG a 10×-es nagyítású, rögzített objektívvel szabad elvégezni. Ezen nem találhatók centráló csavarok, így nem állítódhat el, azaz a centrálás teljes folyamata során kiindulópontnak tekinthető.

A centrálás megkezdésekor állítsunk egy minél kisebb szemcsét a szátkeresztek metszéspontjába. „Elcentrált” objektív (ill. tárgyasztal) esetén – egy körbeforgatás során – a szemcse kimozdul a metszéspontból (rosszabb esetben a látómezőből is), majd a körbeforgatás végén visszatér oda. A centrálás során a szemcse által leírt képzeletbeli kör középpontját kell megpróbálnunk a szátkeresztek metszéspontjába vinni. Ezt az objektív (ill. tárgyasztal) mozgatásával érjük el, amit az objektív két oldalán elhelyezkedő, süllyesztett csavarok, imbusz kulcs segítségével történő mozgatásával (a tárgyasztal esetében a két ezüst színű csavarral) végzünk. A művelet iteratív módon történik: egy körbeforgatás → a szemcse által leírt képzeletbeli kör



3.2. ábra A tárgyasztal egyik centráló csavarjának helye a Brunel mikroszkópon (vörös nyíl). A másik csavar a mikroszkóp másik oldalán, azonos helyzetben található.

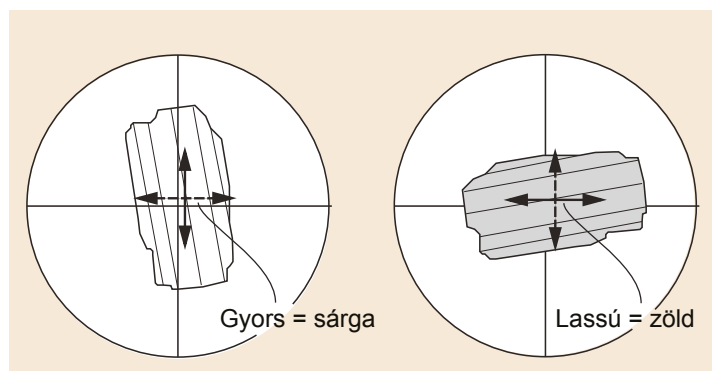
középpontjának a szátkeresztek középpontjára igazítása → újabb körbeforgatás → a képzeletbeli kör középpont újabb igazítása, stb. Az újabb és újabb igazítások után a szemcse által leírt képzeletbeli körök átmérője egyre kisebb lesz, míg végül a szemcse – a körbeforgatás során – nem mozdul egy a középpontból. A fent leírt műveletet a mikroszkóp minden „elcentrált” objektívjén el kell végezni.

1. lépés A tárgyasztal centrálása a 10×-es objektívhez (ezután az asztal centráló csavarjaihoz NEM szabad hozzányúlni!!).
2. lépés A 4×-es objektív centrálása.
3. lépés A 40×-es objektív centrálása.
4. lépés A 100×-os objektív centrálása.

4. A pleokroizmus meghatározása, rögzítése

Pleokroizmusról akkor beszélünk, ha egy ásvány a tárgyasztal körbeforgatása során - 1N-os üzemmódban - más-más színt vagy ugyanazon szín különböző árnyalatait mutatja. Ez a jelenség abból fakad, hogy egyes ásványok - a különböző kristálytani irányokban - eltérően abszorbeálják a lassú, ill. a gyors fény sugarakat. Amikor a gyors fény sugar rezgési iránya párhuzamos a polarizátorral, akkor az abba az irányba jelentkező abszorpció révén kialakult színt látjuk (4.1. ábra). Amikor a lassú fény sugar rezgési iránya esik egybe a polarizátorral, akkor az arra jellemző színt látjuk. Köztes esetben a két szín keveréke figyelhető meg. Ha a két különböző irányban jelentkező színek (ill. azonos szín esetén azok árnyalatai) nagyban különböznek, akkor erős, kismértékű különbség esetén gyenge pleokroizmusról beszélünk. A pleokroizmus leírása többféleképpen történhet.

Az **izotróp** ásványok nem mutatnak pleokroizmust. Az **anizotróp, egy optikai** tengelyű ásványok legfeljebb kétféle pleokroós színt mutathatnak. Ekkor a pleokroizmust az ϵ és ω fény sugarakra vonatkozó színekkel szokás megadni (4.1. ábra). Egy másik konvenció az alábbi módon jelöli a pleokroizmust (pl. rutil $\epsilon \geq \omega$), amit arra utal, hogy az ϵ irányában az ásvány abszorpciós képessége nagyobb, ezért abban az irányban sötétebb színt látható.



4.1. ábra A pleokroizmus rögzítése a lassú ill. gyors rezgési irányokba eső szín alapján.

rendű interferenciaszínt mutató szemcse 1N állásnál az ω sugárhoz tartozó színt mutatja. Egy maximális interferenciaszíntű szemcse - a tárgyasztal körbeforgatásakor - felváltva az ϵ , ill. az ω -hoz tartozó színt mutatja. Mivel az ω -hoz tartozó szín már ismert, az ϵ -hoz tartozó szín könnyen meghatározható.

Az egy optikai tengelyű ásványokban az abszorpció általában a c-kristálytani tengellyel párhuzamosan nagyobb, azaz akkor látjuk a sötétebb pleokroós színt, amikor a c-tengely párhuzamos helyzetbe kerül a polarizátor rezgési síkjával. Kivétel (többek között) a turmalin, ami a melléktengelyek irányába mutatja a nagyobb abszorpciót (sötétebb színt). Ez utóbbi tulajdonságot rendellenes pleokroizmusnak nevezzük (4.2. ábra).

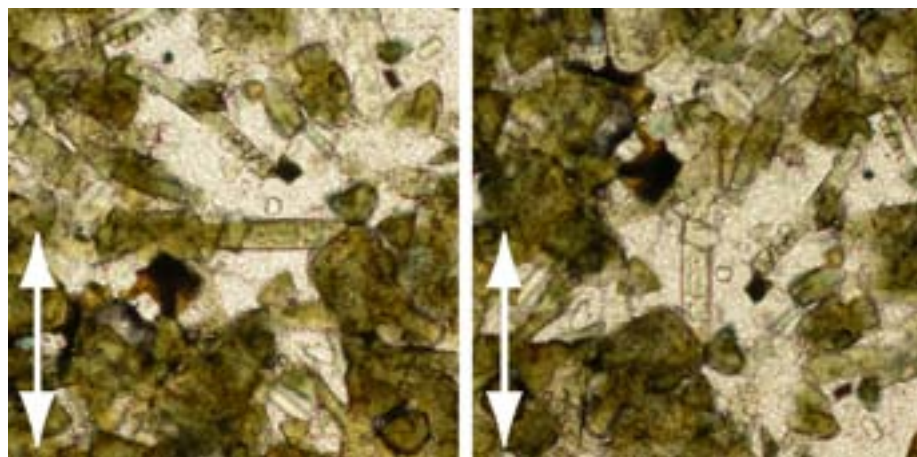
Az **anizotróp, két optikai** tengelyű ásványok esetében max. háromféle pleokroós szín figyelhető meg, a három indikatrix tengelynek (X, Y, Z) eltérő abszorpciós képességének megfelelően. A pleokroizmus megadása a fent említettek alapján történik, azzal a különbséggel, hogy nem két, hanem három

Megjegyzés

E jegyzetben - az éppen tárgyalt témának megfelelően - kétféleképpen említjük az anizotróp ásványokban kialakult két fény sugarat (az ásványban, az adott irányba eső rel. törésmutató, ill. a sugársebesség alapján). A nagyobbik törésmutató irányába haladót „lassúnak”, a kisebbik törésmutató irányába haladót „gyorsnak” nevezzük.

Pleokroós egy optikai tengelyű ásványok esetén a c-kristálytani tengelyre merőleges metszeten minden irányban egyféle szín, az ω sugárra jellemző szín figyelhető meg, mivel e metszet minden irányában a ω sugár rezeg. A legerősebb pleokroizmus a c-kristálytani tengellyel párhuzamos metszeten jelentkezik, mivel ezek mind az ϵ , mind az ω fény sugarakat tartalmazzák. Azaz egyazon ásvány szemcséi közül a legalacsonyabb

irányra kell megadni a jellemző pleokroós színt, ill. a fényabszorpció mértékét. Pl. a hornblende esetében X =sárga, Y =halvány zöld, Z =sötét zöld. Ugyanez a másik jelölésrendszer szerint $X < Y < Z$.



4.2. ábra A turmalin pleokroós viselkedése. A fehér nyilak a polarizátor rezgési irányát mutatják.

Ugyanazon ásvány legalacsonyabb interferenciaszínt mutató szemcséje – 1N-os állásnál – az Y tengelyre vonatkozó színt mutatja. A maximális interferenciaszíntű szemcsében (amiben – az XZ főmetszetben – az és törésmutatójú sugarak rezegnek) az X és Z tengelyek irányában jelentkező pleokroós színek figyelhetők meg, az egymásra merőleges helyzetekben. Segédlemez

felhasználásával meghatározható, hogy melyik szín, melyik törésmutatójú sugárhoz tartozik (ld. még *Anizotróp szemcse rezgési irányainak meghatározása*).

5. A relatív törésmutató meghatározása

Vékonycsiszolatok vizsgálata során a leggyakrabban alkalmazott, az egyes ásványszemcsék relatív törésmutatójának meghatározására alkalmazott módszer a Becke-vonal elmozdulásának vizsgálatával történik. A Becke-vonal valójában egy, a szemcsék körül megjelenő, fényes körvonal/sáv. Legkönnyebben közepes nagyítású objektív és némileg zárt diafragma esetén figyelhető meg. A vizsgált szemcsét a mikroszkópban - a fenti beállítások mellett - élesre állítjuk, majd a tárgyasztalt lassan süllyesztve előállítjuk a Becke-vonalat. Két egymással szomszédos, különböző törésmutatójú szemcse közül a Becke-vonal a tárgyasztal süllyesztésével a nagyobbik törésmutatójú szemcse felé mozdul el. A tárgyasztal emelésével a jelenség a ellenkező irányba játszódik le, azaz a Becke-vonal a kisebbik törésmutatójú szemcse felé tolódik el. Előfordulhat, hogy egyes ásványszemcsék esetében az egyik irányba nem vagy csak korlátozottan játszódik le a jelenség, ezért a kérdéses esetekben célszerű mind a tárgyasztal süllyesztésekor, mind emelésekor lejátszódó jelenséget megfigyelni. Rendszerint a tárgyasztalt süllyesztve (ezzel párhuzamosan a nagyobbik törésmutatójú szemcse irányába elmozduló Becke-vonalat keresve) végezzük a vizsgálatokat azon okból kifolyólag, hogy a tárgyasztalt az objektív-től távolítva, az utóbbi biztosan nem érinti a vékonycsiszolatot.

FIGYELEM: A különböző gyártmányú mikroszkópokon a tárgyasztal süllyesztése az élességállító csavar különböző irányú mozgásával végezhető el. Célszerű a süllyesztéshez szükséges mozgatási irányról előre megbizonyosodni.

Különösen ajánlott megkísérelni a kérdéses ásvány törésmutatójának összevetését az alkalmazott ragasztóanyag (pl. epoxy, kanadabalzsam) törésmutatójával. Ezt a csiszolat peremén, a ragasztóanyaggal érintkező szemcsén tehetjük meg. A különböző gyártók termékeire vonatkozó törésmutatók eltérhetnek, de rendszerint $n=1,540$ körüliek. Hasonlóképpen informatív lehet egy ismert és a meghatározandó szemcsék törésmutatóinak összehasonlítása.

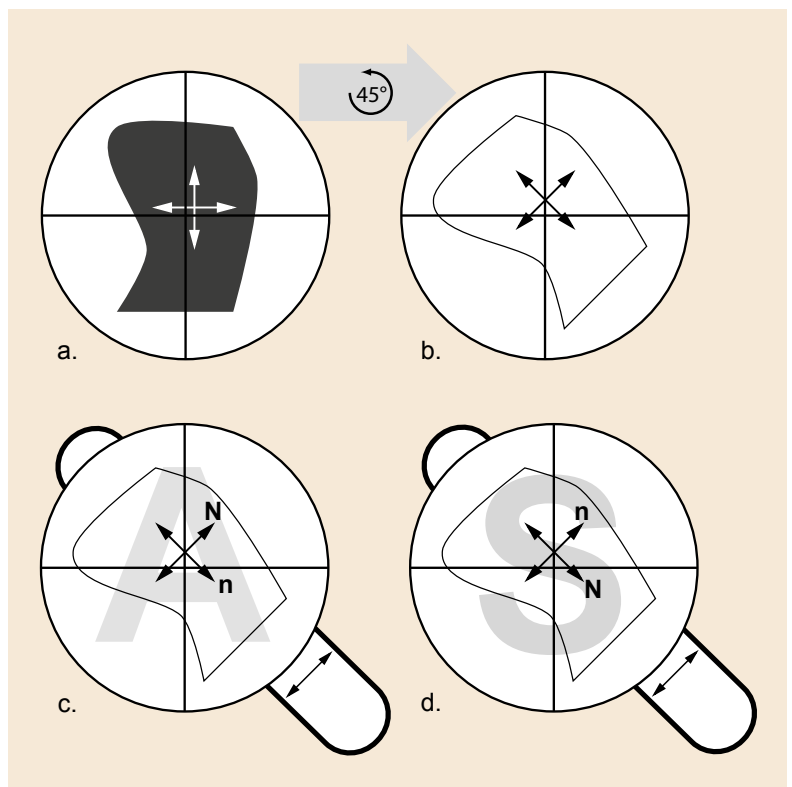
6. Anizotróp szemcse rezgési irányainak meghatározása (ld. még A kisebb és nagyobb törésmutatójú rezgési irányok meghatározása segédlemezzel)

Anizotróp szemcsében minden, az optikai tengelytől eltérő irányban haladó fénysugár kettőtörést szenved, és két, egymásra merőleges irányban rezgő ordinárius és extraordinárius (egy optikai tengelyű) ill. két extraordinárius (két optikai tengelyű ásványok) sugárként halad tovább. Ha a két, egymásra merőleges fénysugár rezgési iránya egybeesik (párhuzamossá válik) a polarizátor és analizátor rezgési irányaival, akkor a szemcse kioltási helyzetbe kerül (elsötétül) (6.1.a., 7.3. ábra) (ld. A kioltás típusai). Ekkor a tárgyasztal peremén található fokbeosztás segítségével rögzíthetjük, milyen helyzetben áll a két rezgési irány a szemcsében. Gyakorlaskor célszerű a szóban forgó szemcsét lerajzolni és bejelölni rajta a két rezgési irányt! A két irány közül az egyik irányában a nagyobb (N), míg a rá merőleges irányban a szemcse kisebb (n) törésmutatója helyezkedik el.

A szemcsét diagonális helyzetbe forgatva (azaz a kioltási pozícióból 45° -kal elfordítva, 6.1.b. ábra) az n vagy N rezgési irány párhuzamossá válik a segédlemez nagyobbik törésmutató irányával. Amennyiben a szemcse nagyobbik törésmutatója (N) került párhuzamos helyzetbe a segédlemez nagyobbik törésmutató irányával, úgy összeadódást (addíciót) (6.1.c., 7.4. ábra) látunk, míg ha a kisebbik (n) akkor kivonódást (szubsztrakciót) látunk (6.1.d., 7.5. ábra, ahol $n'_v = N$ és $n'_a = n$). (A 6.1.d. ábrán bemutatott állást *szubsztrakciós helyzetnek* nevezzük; ismerete elengedhetetlen a kvarcékkel történő interferencia szín meghatározás során.)

Célszerű - beiktatott segédlemezzel - egy teljes körbeforgatást elvégezni és megfigyelni, hogy az addíció és szubsztrakció 90 fokként felváltva jelentkezik! Egyes esetekben a segédlemezzel előálló szín olyan kis mértékben tér el az ásványszemcse normális interferencia színétől, hogy nem vagy csak nehezen állapítható meg, addíció vagy szubsztrakció történt-e. Ilyen esetekben célszerű 1.) a tárgyasztalt 90° -kal elfordítani, ahol bizonyosan az eddighez képest ellentétes jelenség játszódik le és így a normális interferencia színhez képesti változás - esetleg - megfigyelhető, 2.) a vizsgálatot a másik segédlemezzel is elvégezni.

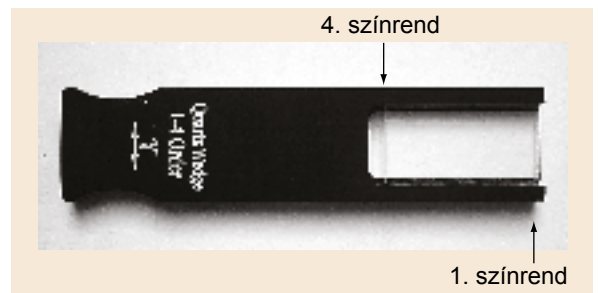
Figyeljük meg, hogy az optikai jelleg meghatározásakor a fent leírtakkal teljesen azonosan járunk el. A különbség csupán annyi, hogy a tengelykép elkészítésével a ϵ és ω (ill. α , β , γ) sugarak rezgési irányait már ismerjük (a fenti eljárás során csak a két sugár törésmutatójának relatív nagyságát határoztuk meg, de nem tudtuk, melyik az ϵ, ω (ill. α, β, γ) sugár).



6.1. ábra Anizotróp szemcse rezgési irányainak, ill. a lassú és a gyors sugár - szemcse alakjához viszonyított - helyzetének meghatározása

7. Az interferencia szín meghatározása kvarcék segítségével

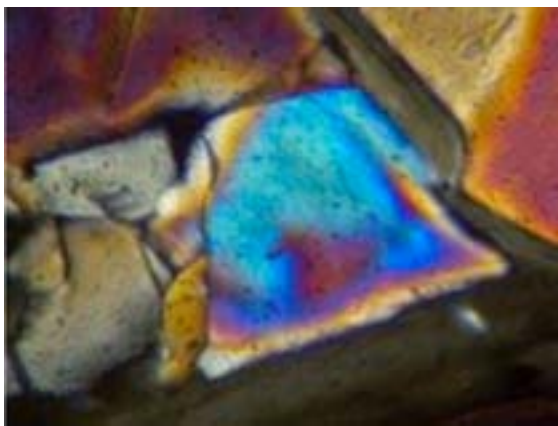
Keresztezett nikol állásnál, *szubsztrakciós* helyzetben egy ásványszemcse fölé a kvarcéket (7.1. ábra) lassan betolva előbb-utóbb a segédlemezben a kialakuló útkülönbség egyenlővé válik az ásványszemcsében kialakuló útkülönbséggel. Ilyenkor a kvarcéket kihúzva meg tudjuk határozni az ásvány interferencia színét.



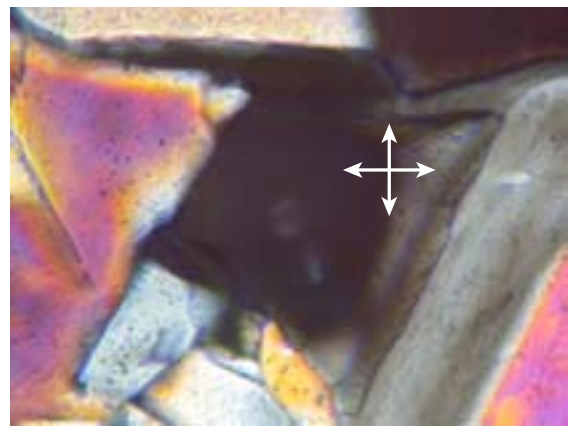
7.1. ábra A BRUNEL mikroszkópokhoz használatos kvarcék. A keresztezett nikolok között az eszközben négy színrendnyi útkülönbség (1.–4. színrend) alakulhat ki.

A vizsgálat menete:

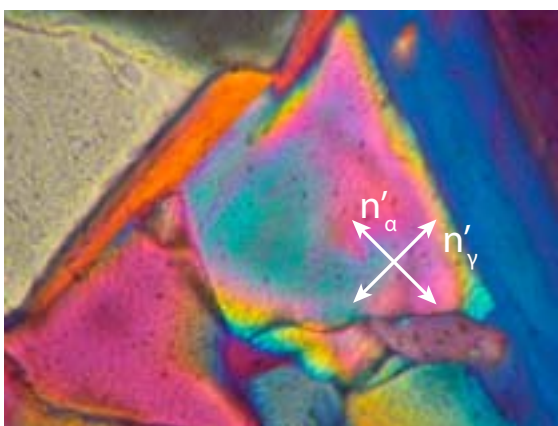
→ 1. A kérdéses interferencia színű szemcsét (7.2. ábra) állítjuk szubsztrakciós helyzetbe (7.3.-5. ábrák) (ld. Anizotróp szemcse rezgési irányainak meghatározása!)



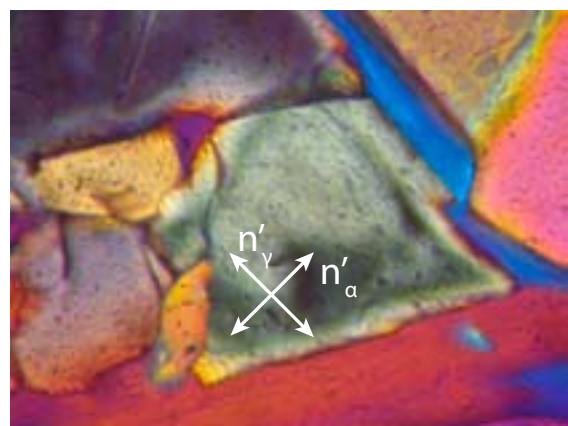
7.2. ábra A kérdéses (kék) interferencia színű ásvány keresztezett nikolos képe.



7.3. ábra A szemcse, kioltási helyzetbe állítva. A fehér nyílak a szemcse rezgési irányainak helyzetét mutatják, melyek ekkor párhuzamosak a polarizátorok rezgési irányával.



7.4. ábra A 7.3. képen ábrázolt helyzethez képest +45°-kal elforgatott szemcse, gipsz lemezzel (addíciós helyzet).

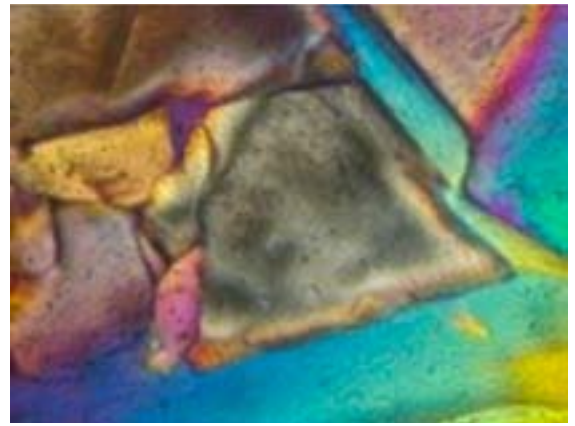


7.5. ábra A 7.3. képen ábrázolt helyzethez képest -45°-kal elforgatott szemcse, gipsz lemezzel (szubsztrakciós helyzet).

→ 2. Keresztezett nikolállásnál lassan toljuk be a kvarcéket, amíg a szemcse el nem sötétedik (7.6. ábra). Az elsötétedés eltérő mértékű és típusú lehet az egyes ásványok esetében. Egyes esetekben az elsötétedés csak részleges (ld. 7.6. ábra), míg más esetekben egy sávban jelentkezik az elsötétedés. Ekkor – a csiszolatot eltávolítva a tárgyasztalról – a kvarcék által okozott interferencia szín megegyezik a

szemcse színével.

→ 3. A kvarcéket kihúzva meghatározhatjuk, hogy hányad rendű interferencia színt láttunk. A színrend meghatározása legegyszerűbben úgy történik, hogy a kérdéses interferenciaszín rendűsége = a kvarcék kihúzásakor előforduló sárga színű sávok száma + 1. Azaz a fenti példánál maradva: az ásványt eltávolítva a kvarcék (az ásvány interferencia színével megegyező) kék színt mutat, majd a kvarcéket lassan kihúzva, az abban kialakuló interferenciaszínek között egyszer jelenik meg sárga. Azaz az ásvány interferencia színe másodrendű kék (egyszer jelent meg a sárga szín + 1 = másodrendű). Amennyiben a kérdéses interferencia szín sárga (azaz a kvarcék kihúzásának megkezdésekor sárga színt látunk), úgy ez nem számítandó bele a sárga szín megjelenésének számába.



7.6. ábra A vizsgált szemcse - szubsztrakciós helyzetben - a kvarcék hatására elsötétedett állapotban.

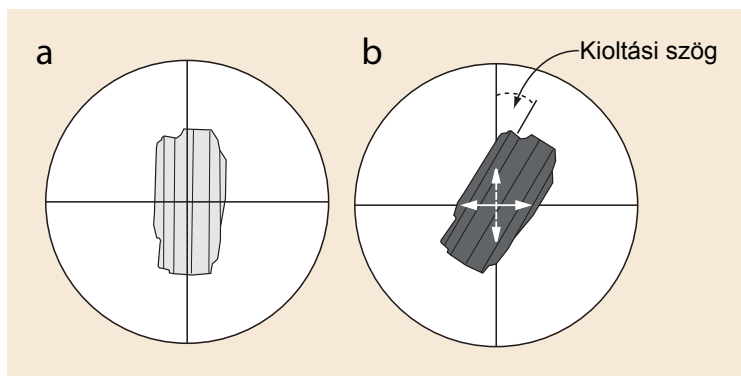
8. A kioltási szög meghatározása (ld. még Anizotróp szemcse rezgési irányainak meghatározása)

Kioltás alatt azt az állapotot értjük, amikor egy anizotróp ásványszemcse rezgési irányai egybeesnek a mikroszkóp analizátorának és polarizátorának rezgési irányjaival. Ebben a helyzetben az ásványszemcse elsötétül. A tárgyasztal egy körbeforgatása alatt a szemcse négyszer (90° -onként) kerül kioltási helyzetbe (azaz négyszer sötétedik el). Két kioltási helyzet között, azaz a kioltási helyzettől 45° -ra éri el a vizsgált szemcse interferenciaszíne a maximális intenzitást. (Figyelem!! Nem az adott ásvány legmagasabb rendű interferenciaszínéről van szó, hanem az adott szemcse interferenciaszínének maximális intenzitásáról (fényességéről).)

Egy ásványszemcse megnyúltsági vagy jellemző hasadási iránya és a rezgési iránya által bezárt szöget kioltási szögnek nevezzük.

A kioltási szög meghatározásának menete:

- 1. Forgassuk a tárgyasztalt abba a pozícióba, ahol az ásványszemcse megnyúlási vagy hasadási iránya párhuzamos a $\hat{E}$ -D-i szálkereszttel. Ekkor jegyezzük fel a tárgyasztal peremén elhelyezkedő goniométer állását (g_1) (8.1a. ábra).
- 2. Forgassuk a tárgyasztalt (valamelyik irányba) addig, amíg a szemcse kioltási helyzetbe kerül (8.1b. ábra). (Amennyiben a szemcse már az 1. pontban leírt művelet után kioltási helyzetben volt, úgy a szemcse egyenes kioltású, a 2. pontban leírtakat nem kell elvégezni.) Ekkor a szemcse kisebbik vagy nagyobbik törésmutató iránya párhuzamos $\hat{E}$ -D-i szálkereszttel. Ekkor is jegyezzük fel a goniométer állását (g_2).



8.1. ábra A rezgési irányok, majd a kioltási szög meghatározásának menete.

A kioltási szög (α_k) a g_1 és g_2 szögek különbségének abszolút értéke ($g_1 - g_2$). Mivel az ásvány rezgési irányai derékszöget zárnak be egymással, ezért ha a kioltási szöget a 2. pontban elvégzett forgatással ellentétes irányba végezzük el, akkor az így kapott szög (g_2') egyenlő lesz a ($90^\circ - \alpha_k$) kifejezéssel. A hétköznapi gyakorlatban a g_2 ill. g_2' szögek közül rendszerint a kisebbik szöget szoktuk feljegyezni kioltási szöggént.

A kioltási szög értékét nagymértékben befolyásolja a szemcse orientációja. Ezért a kioltási szög meghatározásakor meg kell adni, hogy a vizsgálat a szemcse milyen helyzetében történt, pl. a maximális interferenciaszint mutató metszeten (az optikai tengelyek horizontális helyzete esetén - két optikai tengelyű ásványon), hasadási felszínen vagy valamelyik jellemző kristálytani síkkal párhuzamos metszeten.

9. A kioltás típusai: egyenes, ferde, szimmetrikus, „azonosíthatatlan”, mottled, unduláló, sugaras

→ **Egyenes (v. párhuzamos)** kioltásról (9.1a. ábra) beszélünk, ha a kioltás akkor következik be, amikor az ásvány valamely hasadási nyomvonala, ill. megnyúltsága párhuzamos a szálkeresztekkel (azaz a nagyobbik vagy a kisebbik törésmutató iránya párhuzamos a szemcse fenti irányainak valamelyikével). Ilyenkor a kioltási szög $\alpha_k = 0^\circ$.

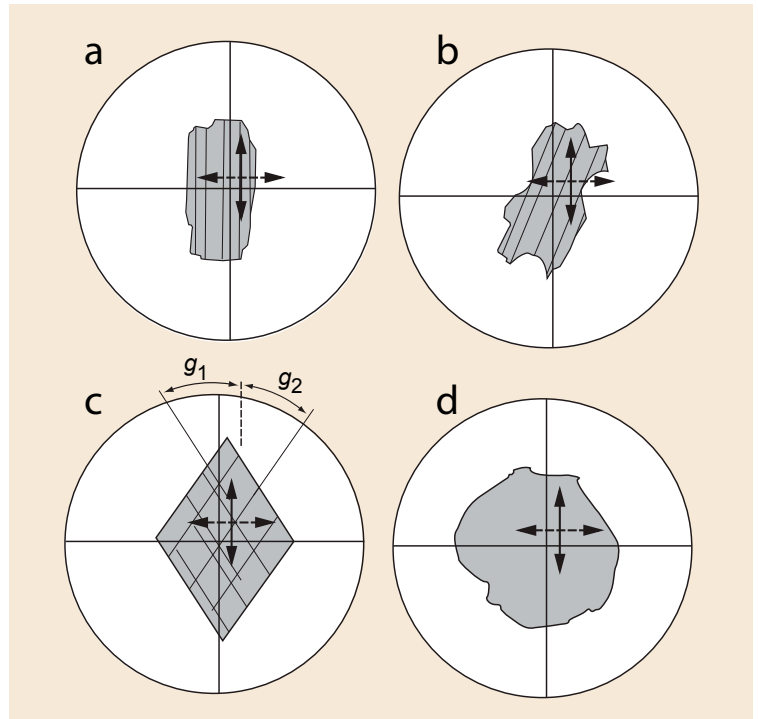
→ **Ferde** kioltáskor (9.1b. ábra) az ásvány valamely hasadási nyomvonala, ill. megnyúltsága a kioltási helyzetben szöget zár be a szálkeresztekkel ($\alpha_k > 0^\circ$). (Ld. A kioltási szög meghatározása!) Ilyen esetben egyik rezgési irány sem esik egybe az ásvány hasadási nyomvonalaival, ill. megnyúltságának irányával.

→ **Szimmetrikus** kioltás (9.1c. ábra) kétirányú hasadást vagy kétféle kristálylapot mutató ásványszemcséken jelentkezhet. Amennyiben e hasadási irányok vagy kristálylapok ugyanazon rezgési irányhoz mért kioltási szögei egyenlőek ($\alpha_{k1} = \alpha_{k2}$), úgy szimmetrikus kioltásról beszélünk.

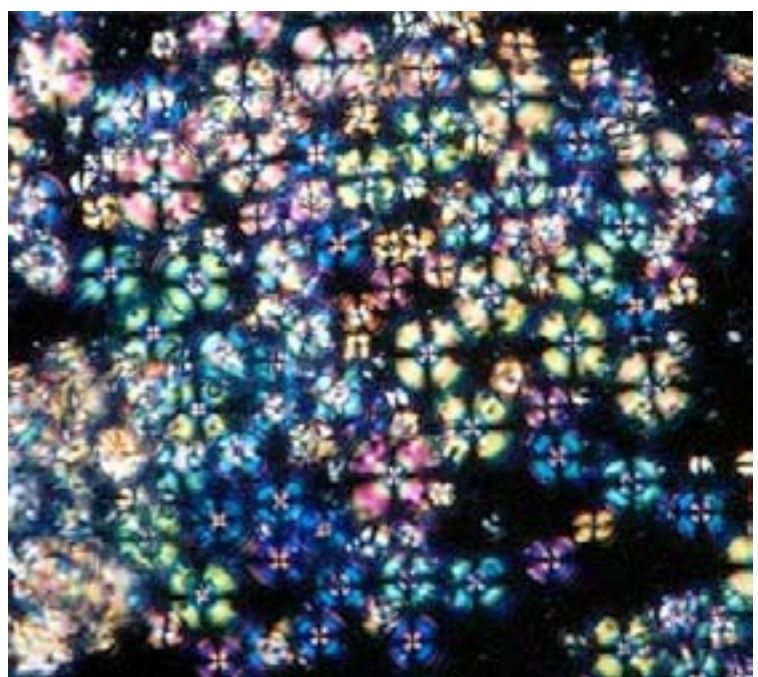
→ **„Azonosíthatatlan”** kioltásról (9.1d. ábra) olyan ásványszemcsék esetén beszélünk, melyeken sem kristálylapok, sem megnyúltság nem fedezhető fel. A kioltás 90° -onként ezeken is bekövetkezik, de a kioltási szög – a fenti bélyegek hiánya miatt – nem határozható meg.

Az eddig említettektől eltérően egyes, a mikroszkópban megjelenő objektumok – látószólag – nem egységes kioltását az alkotó ásványok sugaras, tűs habitusa okozhatja (9.2. ábra). Ilyenkor az amúgy egyenes kioltású szemcsék közül mindig azok vannak kioltási helyzetben, melyek párhuzamosak a szálkeresztekkel (a polarizátor/analizátor rezgési irányjaival). A tárgyasztal körbeforgatásakor ilyen esetben egy „mozdulatlan”, tengelyképszerű forma figyelhető meg.

Egyes szemcséken a kioltás a fentiektől eltérően nem egységesen következik be. E sajátos kioltás több okra is visszavezethető, pl. kémiai zónásság, deformáció hatására bekövetkező átkristályosodás. A deformáció ha-



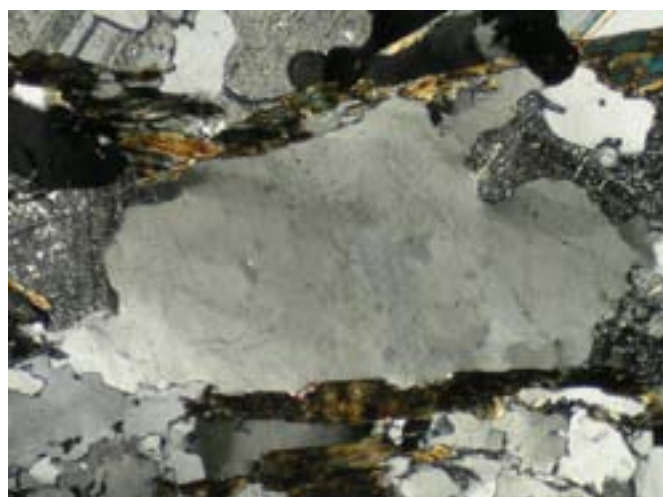
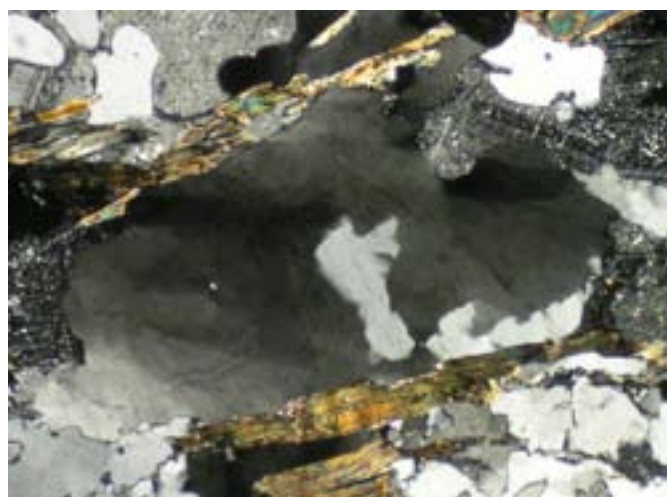
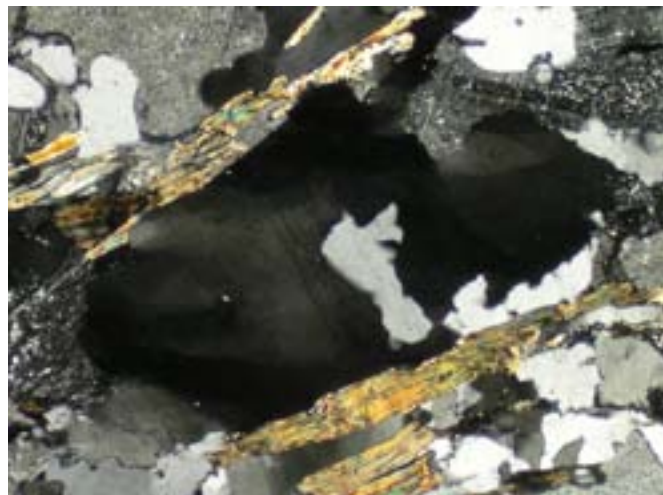
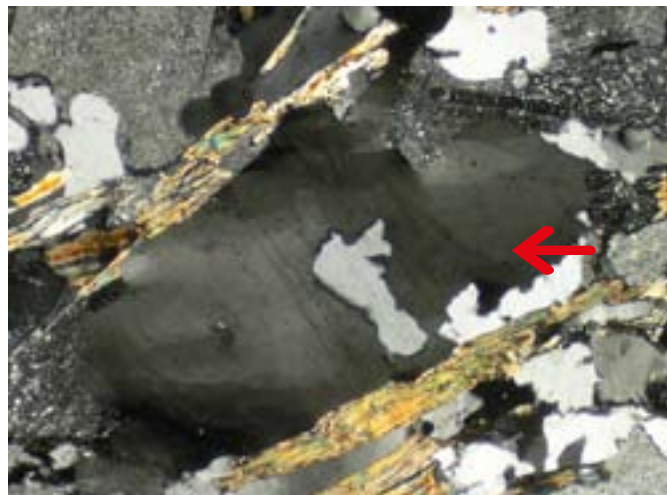
9.1. ábra Az alapvető kioltási típusok, a. egyenes, b. ferde, c. szimmetrikus, d. nem meghatározható.



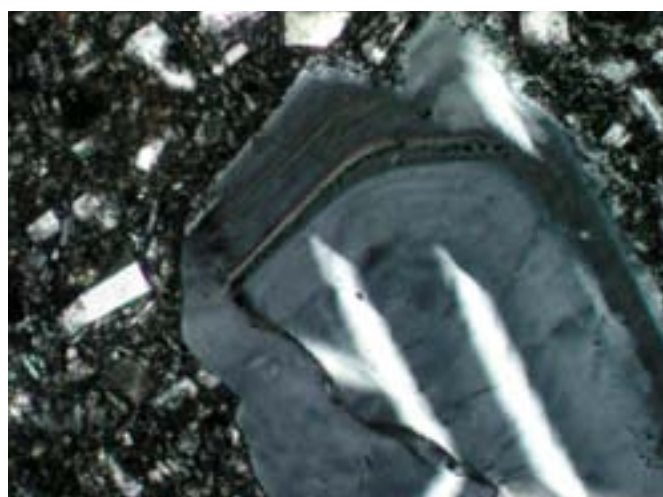
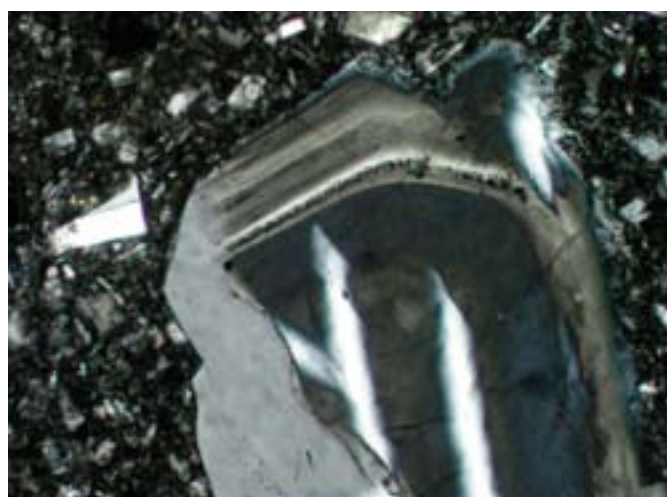
9.2. ábra Tűs habitusú, (pl. hólyagüregben) radiális növekedésű ásványszemcsék jellegzetes kereszt alakú „kioltási képe”.

tására meggörbült, elhajlott szemcsék a tárgyasztal körbeforgatása során szakaszosan olthatnak ki (9.3. ábra). Ha ez szabálytalanul vagy hullámosan történik akkor *unduláló* kioltásról beszélünk (ez leggyakrabban dinamikus rekrisztallizáción átesett kvarc szemcsékben figyelhető meg).

A kémiai eltérő (zónás) ásványokban (pl. plagioklász) – a triklin és monoklin ásványokra jellemző összetételüggő kioltási szög miatt – a mag ill. a peremi részek kioltása/kioltási szöge eltérő lehet (9.4. kép).



9.3. ábra Az első képen piros nyíllal jelölt kvarc szemcse forgatása közben jelentkező jellegzetes, "foltos", unduláló kioltása



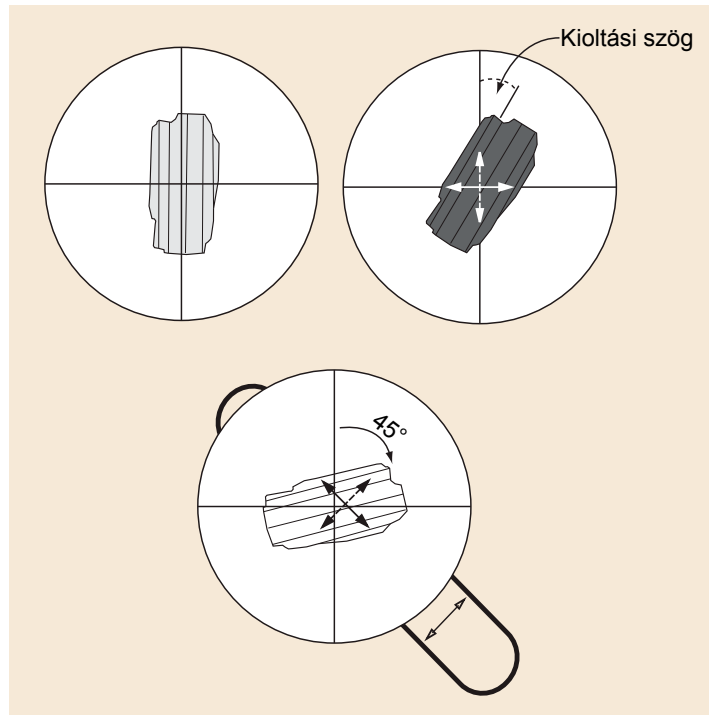
9.4. ábra Kémiai zónásságot mutató plagioklász szemcse. A tárgyasztal forgatásakor megfigyelhető a peremi és magzónák eltérő kioltása, ami a kristályosodáskor kialakult eltérő összetétel eredménye.

10. A főzónajelleg meghatározása

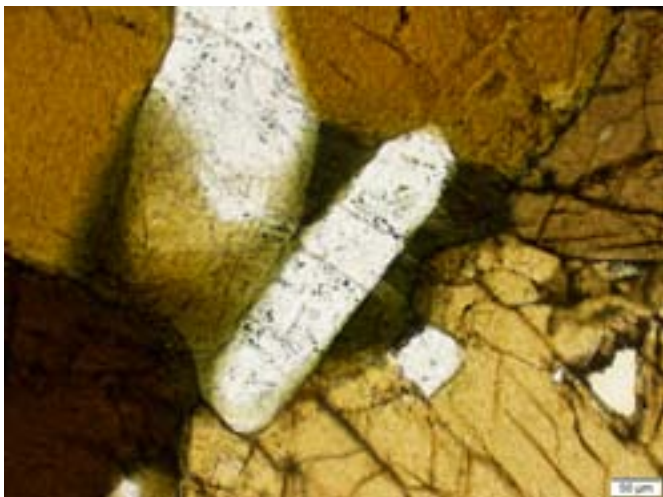
Egy ásványszemcse főzónajellege lehet pozitív (+) vagy negatív (–) attól függően, hogy a nagyobbik törésmutató rezgési iránya a szemcse megnyúltságának irányába esik-e (+) vagy nem (–). Noha jelölésük azonos, a főzóna jelleg ill. optikai jelleg jelentése eltérő!

A meghatározás menete (10.1.–10.6. ábra):

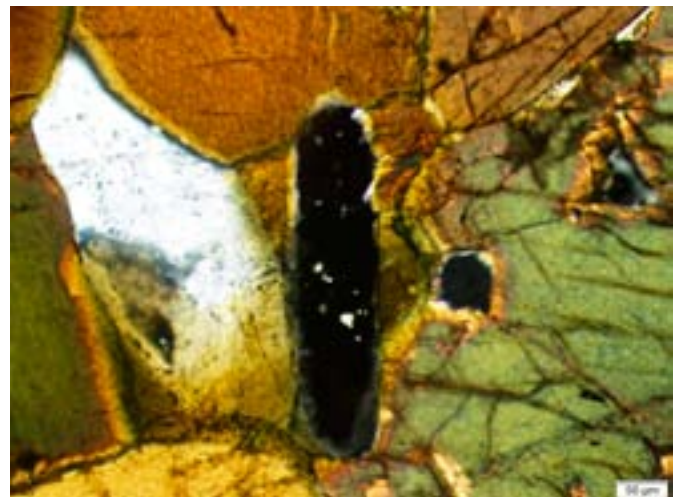
1. Forgassuk a szemcsét olyan helyzetbe, hogy hasadási iránya vagy megnyúltsága párhuzamos legyen az É-D-i hajszálkereszttel.
2. Forgassuk a szemcsét kioltási helyzetbe (a kisebbik kioltási szög irányába).
3. Forgassuk el az asztalt 45° -kal az óramutató járásával egyező irányba, így a rezgési irány párhuzamos lesz az ÉK-DNy-i iránnyal (és a segédlemez legnagyobb törésmutató irányával).
4. Iktassuk be a segédlemezt – addíció esetén az ásvány és a segédlemez nagyobbik törésmutató iránya egybeesik, azaz az ásvány nagyobbik törésmutató iránya az ásvány hasadási iránya ill. megnyúltságának irányába esik, főzóna jellege +. Szubsztrakció esetén az ásvány hasadási iránya ill. megnyúltsága irányába a kisebbik törésmutató helyezkedik el, főzóna jellege –.



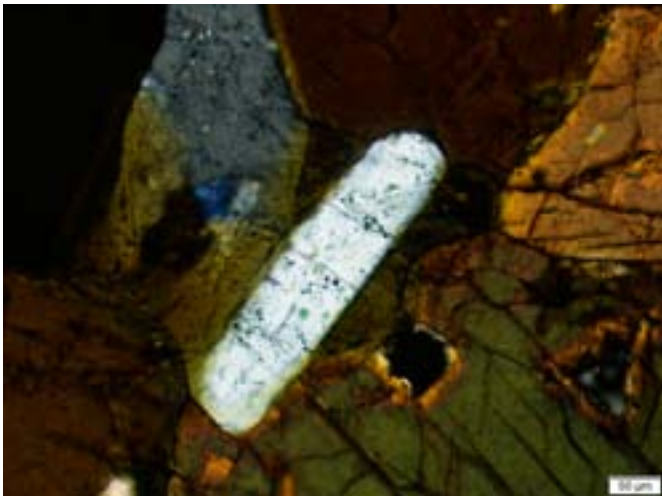
10.1. ábra A rezgési irányok, majd a kioltási szög meghatározásának menete.



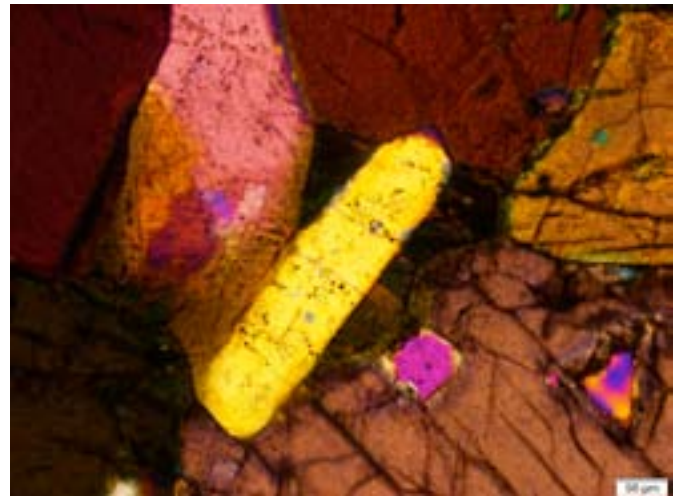
10.2. ábra A főzónajelleg meghatározásának menetét a vörös nyíllal jelölt apatit szemcsén követjük végig (10×, 1N).



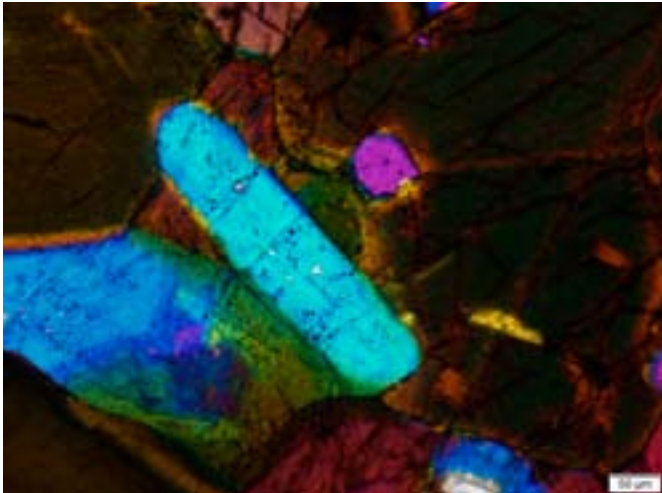
10.3. ábra A szemcse keresztezett nikolok között, kioltási helyzetben. Ekkor leolvassuk és feljegyezzük a tárgyasztal fokbeosztásának állását (10×, +N).



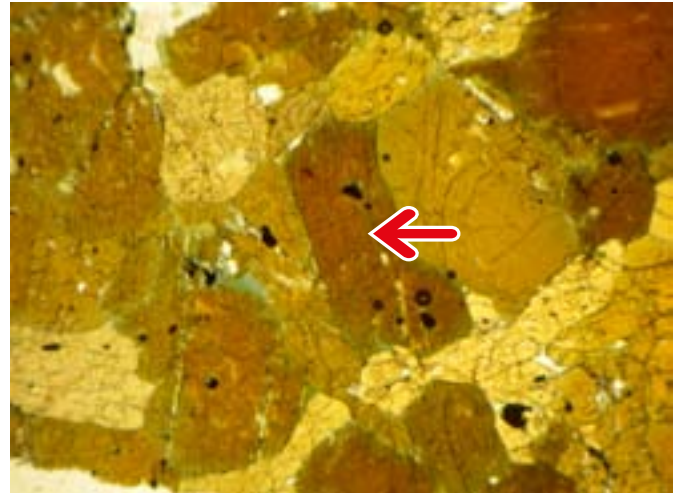
10.4. ábra A tárgyasztal fokbeosztásának segítségével a kioltási helyzetből 45° -kal, az óramutató járásával egyező irányba elforgatott szemcse. Ekkor a rezgési irányok a függőleges és vízszintes szálkereszt szögfelezőiben helyezkednek el ($10\times$, +N). A vizsgált szemcse interferencia színe elsőrendű szürke.



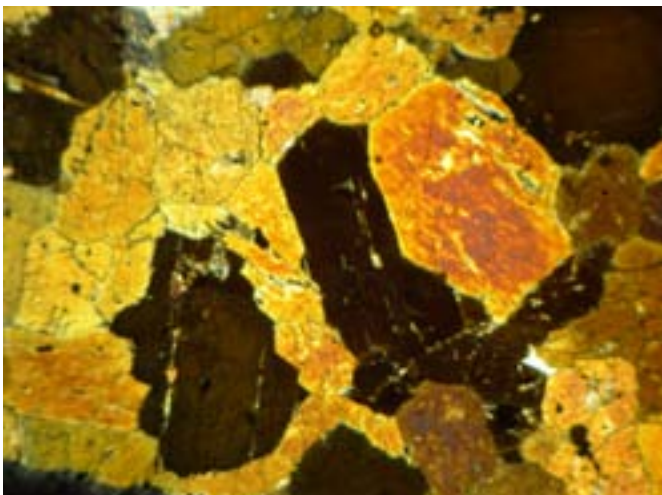
10.5. ábra A szemcse keresztezett nikolok között, gipsz segédlemezrel. A szemcse interferencia színe így elsőrendű sárga, ami szubsztrakciót jelöl. Azaz a szemcse – az adott metszetben rezgő – (a szemcse megnyúltságával párhuzamos) kisebbik törésmutatója egybeesik a segédlemez nagyobbik törésmutató irányával, ennél fogva a szemcse főzóna jellege negatív ($10\times$, +N).



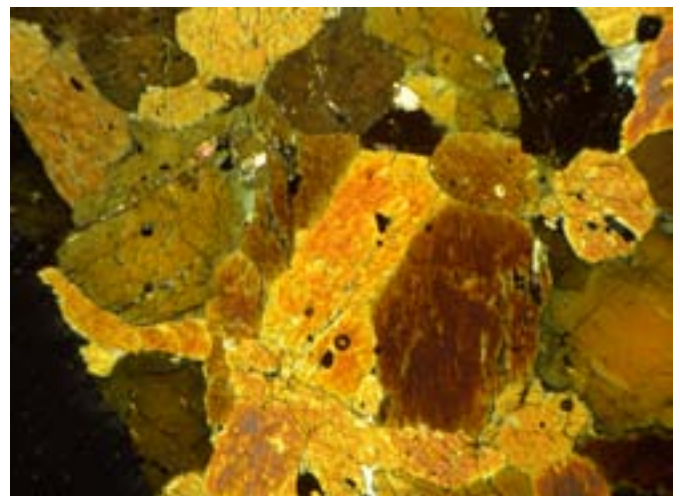
10.6. ábra A 10.5. ábrán bemutatott helyzetből 90° -kal elfordítva, a szemcse interferencia színe másodrendű kékre változik, ami addíciót jelez, mivel a szemcse nagyobbik törésmutatója párhuzamos a segédlemez nagyobb törésmutatójának irányával. Ez is a szemcse negatív főzóna jellegét igazolja ($10\times$, +N, gipsz lemezzel).



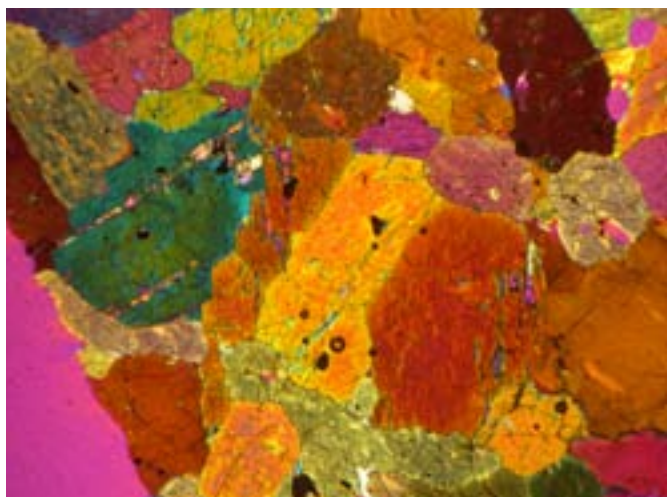
10.7. ábra A főzónajelleg meghatározásának menete egy hornblende szemcse esetében (vörös nyíl) ($10\times$, 1N).



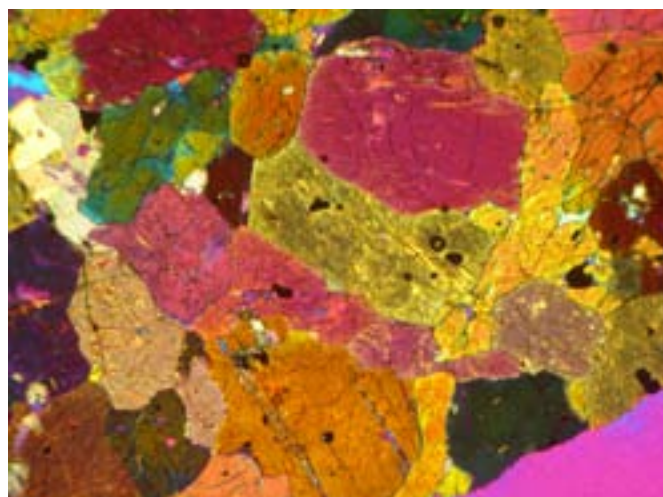
10.8. ábra A szemcse keresztezett nikolok között, kioltási helyzetben. ($10\times$, +N).



10.9. ábra A kioltási helyzetből 45° -kal, az óramutató járásával egyező irányba elforgatott helyzetű szemcse. A rezgési irányok a függőleges és vízszintes szálkereszt szögfelezőiben helyezkednek el ($10\times$, +N). A vizsgált szemcse interferencia színe elsőrendű narancssárga.



10.10. ábra A szemcse keresztezett nikolok között, gipsz segédlemezzel. A szemcse interferencia színe így másodrendű sárgavörös, ami addíciót jelöl. Azaz a szemcse nagyobbik (a szemcse megnyúltságával párhuzamos) törésmutató iránya egybeesik a segédlemez nagyobbik törésmutató irányával, ennél fogva a főzóna jelleg pozitív ($10\times$, +N). Figyeljük meg, hogy a fehér nyíllal jelölt területen, ahol már nincs közet a vékonycsiszolaton, az alkalmazott (gipsz) segédlemez interferencia színe jelenik meg (elsőrendű ibolya).



10.11. ábra A 10.10. ábrán bemutatott helyzetből 90° -kal elfordítva, a szemcse interferencia színe elsőrendű szürke-sárga, ami szubsztrakciót jelez, mivel a szemcse kisebbik törésmutatója párhuzamos a segédlemez nagyobbik törésmutató irányával. Ez is a szemcse pozitív főzóna jellegét igazolja ($10\times$, +N, gipsz lemezzel).

11. Tengelykép készítése. Különböző helyzetű metszeteken megjelenő tengelyképek.

Egy ásványszemcse egy vagy két optikai tengelyű voltának, ill. optikai jellegének meghatározásához tengelykép készítése szükséges.

Ehhez a mikroszkópon kisebb átalakítást kell elvégeznünk, aminek menete a következő:

→ 1. Igazítsuk a kérdéses szemcsét a szálkereszt középpontjába, és keresztezzük a nikolokat. A nagyítást úgy célszerű megválasztani, hogy a kérdéses szemcse az egész látómezőt kitöltse. A tengelykép elkészítése előtt ugyancsak célszerű ellenőrizni, hogy a használni kívánt objektív megfelelően be van-e centrálva, ugyanis nagy nagyítás és "elcentrált" objektív mellett a vizsgált szemcse – a tárgyasztalt forgatva – kikerülhet a látómezőből (ld. Az objektívek centrálásának menete).

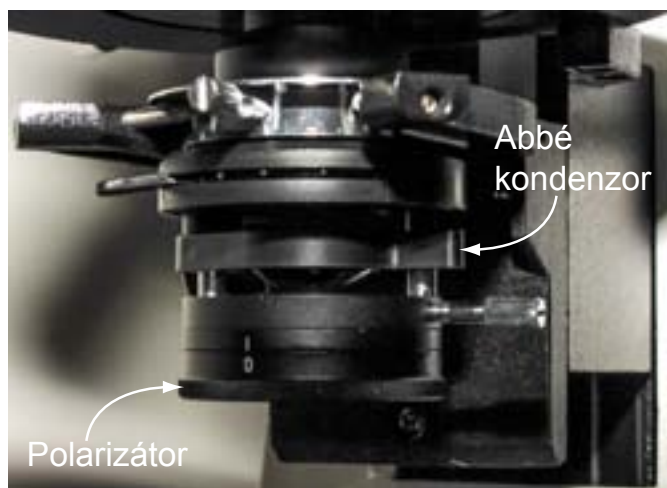
→ 2. Kapcsoljunk konoszkópos üzemmódba, azaz iktassuk ki a fényútból a polarizátor feletti lencsét (Abbé kondenzor) (11.1. ábra). (Más típusú mikroszkópokon ezt az Abbé kondenzor beiktatásával érjük el, de a Brunel mikroszkópok "fordított" felépítése miatt éppen a fenti lencse beiktatásával válik a mikroszkóp ortoszkópos üzemművé.)

→ 3. Iktassuk be a Bertrand lencsét (ld. 1.1. ábra).

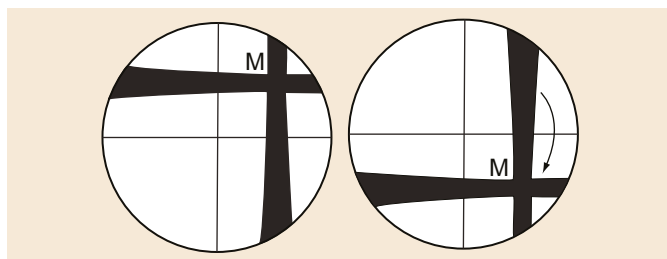
A tengelykép minősége és megjelenése nagymértékben függ az indikatrix tengelyeinek helyzetétől, ezért fontos megjegyezni, hogy milyen tengelykép típusokkal találkozhatunk a szemcse orientációjától, azaz az indikatrix helyzetétől függően.

Egy optikai tengelyű ásványok

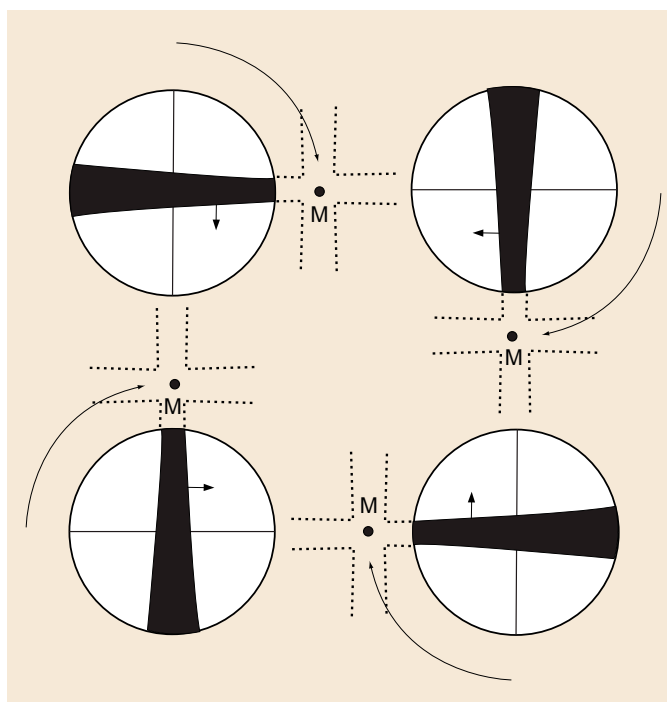
Az egy optikai tengelyű ásványok esetében az izogirák a síkot négy térrészre bontják. Az egyes térrészek egy segédlemez beiktatására más-más módon viselkednek (addíciós ill. szubsztrakciós jelenségek játszódnak le). Amennyiben a szemcse optikai tengelye és a mikroszkóp optikai tengelyvonala közötti szög 0° és kb. 30° közé esik, úgy a melatop vagy a látómező közepén marad (0°), vagy



11.1. ábra Az Abbé kondenzor helyzete a Brunel mikroszkópokon.



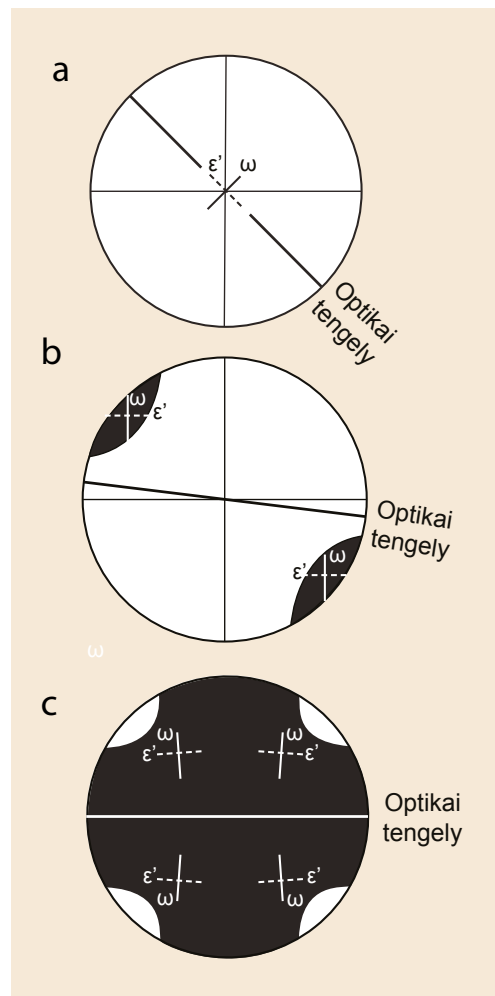
11.2. ábra Egy optikai tengelyű ásvány tengelyképe a tárgyasztal 90° -os elforgatása előtt és után, olyan esetben amikor a szemcse optikai tengelye és a mikroszkóp optikai tengelyvonala közötti szög kisebb, mint 30° .



11.3. ábra Egy optikai tengelyű ásvány tengelyképe a tárgyasztal többszakaszos elforgatása előtt (0°) és után (90° , 180° és 270°). A szemcse optikai tengelye és a mikroszkóp optikai tengelyvonala közötti szög több, mint 30° .

tárgyasztal körülforogatásával egy kört ír le a látómezőben ($<30^\circ$) (11.2. ábra). Azon esetekben, amikor a melatop a látómezőn kívülre esik (azaz a szemcse optikai tengelyének iránya jelentősebb mértékben (több, mint 30° -kal) eltér a mikroszkóp optikai tengelyvonalától, akkor a tárgyasztal körülforogatása során a látómezőn felváltva söpörnek át az egyes izogirák (11.3. ábra). Egy izogíra látómezőn történő átvonulásával egyidejűleg kerülünk át az egyik térféldéből egy másikba (11.3. ábra). Ezek mozgásának iránya a tárgyasztal forgatási irányától függ. Az izogirák hasonló jellegű megjelenése figyelhető meg a két optikai tengelyű, általános helyzetű ásványszemcséken is. Ilyenkor előfordulhat, hogy egyértelműen nem határozható meg az ásvány egy vagy két optikai jellegű volta (továbbá optikai jellege).

Sajátos – a két optikai tengelyű ásványokra jellemző – tengelyképet láthatunk, amennyiben a szemcse optikai tengelye a tárgyasztal síkjában fekszik. Az ilyen helyzetű szemcsékben alakul ki a maximális útkülönbség, ezáltal a legmagasabb rendű interferencia szín. Az optikai tengely É-D, ill. K-Ny-i irányú helyzetében e szemcsék tengelyképein széles, homályos izogirák jelennek meg, melyek csaknem a teljes látómezőt kitöltik (11.4. ábra). A tárgyasztal néhány fokos elforgatásakor az izogirák ketté válnak és – abból a térféldéből, amelyikbe az optikai tengely kerül – kilépnek a látómezőből. Megjegyzendő, hogy bizonyos helyzetű két optikai tengelyű ásványszemcsék rendkívül hasonló kinézetű és viselkedésű tengelyképet mutatnak (ld. 11.9. ábra), ezért az optikai tengelyre merőleges irányból készített tengelyképek használatát az optikai jelleg meghatározása esetén kerüljük!



11.4. ábra Egy egy optikai tengelyű ásvány tengelyképe a tárgyasztallal párhuzamos helyzetű optikai tengely esetén. Az a.-c. ábrák a tárgyasztal 45° -kal történő elforgatásakor lejátszódó jelenségeket mutatják be (ld. az optikai tengely irányát). Jellemző, hogy a c. ábrán bemutatott helyzetből, a tárgyasztal néhány fokos elforgatásával az izogirák hirtelen szétválnak és eltávoznak a látómezőből.

Két optikai tengelyű ásványok

A két optikai tengelyű ásványok esetében az alábbi öt tengelykép típus fordulhat elő attól függően, hogy az optikai tengelyek, az optikai tengelysík ill. az optikai normális milyen helyzetűek a mikroszkóp optikai tengelyvonalához képest: a hegyes és a tompa biszektrix felőli, az egyik optikai tengely, az optikai normális felőli, ill. az általános.

1. A hegyes biszektrix felőli tengelykép

A melatopok helyzetét az izogirák elvékonyodó részei jelzik. Ez azonban csak a nagyobb kettőstörésű (magasabb interferencia színű) ásványok szemcséin figyelhető meg. Alacsonyabb interferencia szín (pl. elsőrendű szürke) esetén az izogíra sötét árnyalata nem, vagy nehezen különíthető el a melatop környezetének szürke színétől (11.5. ábra).

2. Az (egyik) optikai tengely felőli tengelykép (11.6a., b. ábra)

Ilyen esetekben az egyik melatop (azaz az egyik optikai tengely dőléspontja) a látómező közepén helyezkedik el. Amennyiben a $2V < \sim 30^\circ$, akkor a másik melatop is a látómezőben lehet, egyébként a látómezőn kívül helyezkedik el. Kis $2V$ esetén (ld. A $2V$ meghatározásának módszerei c. fejezet) a tengelykép úgy néz ki, mintha a hegyes biszektrix felől készült volna (amelyen a hegyes szögfelező nem pontosan a látómező közepén helyezkedik el).

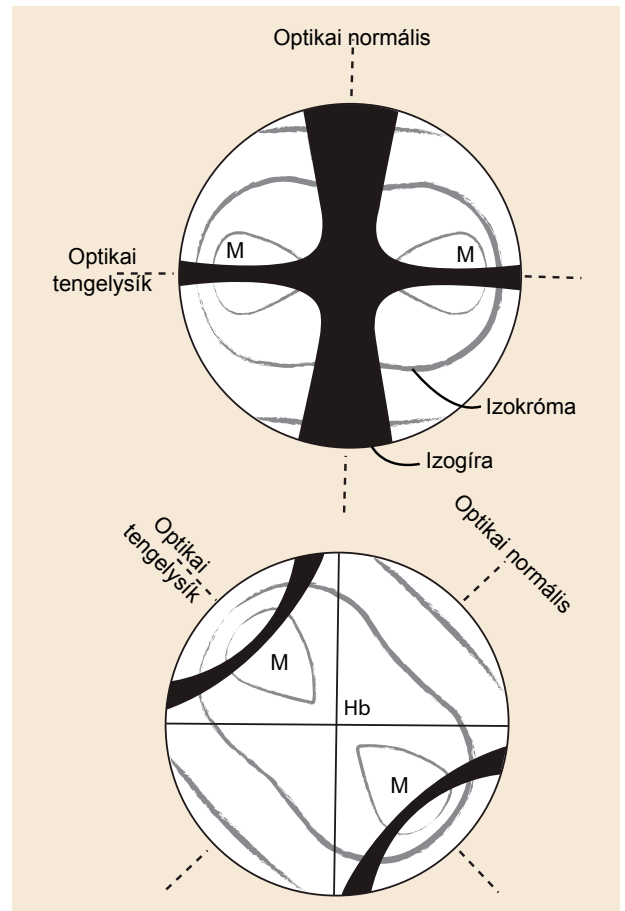
Ha a $2V > 60^\circ$, akkor a 11.7. ábrán bemutatott tengelykép mintázat figyelhető meg. Amennyiben az optikai tengelysík É-D vagy K-Ny-i helyzetű, akkor csak az egyik izogíra jelenik meg a látómezőben. A tárgyasztalt az óramutató járásával megegyező irányba mozgatva az izogíra az óramutatóval ellentétes irányba mozdul el a melatop körül, és fordítva.

Az izogíra maximális görbülete az optikai tengelysík 45° -os helyzetében jelentkezik. A hegyes szögfelező dőléspontja az izogíra konvex oldalán helyezkedik el.

A $30^\circ < 2V < 60^\circ$ tulajdonsággal bíró ásványok esetében a hegyes szögfelező dőléspontja a látómezőben lesz, és az optikai tengelysík É-D ill. K-Ny-i helyzetében a vastag izogíráág egy része megfigyelhetővé válik (az optikai normálissal párhuzamos helyzetben).

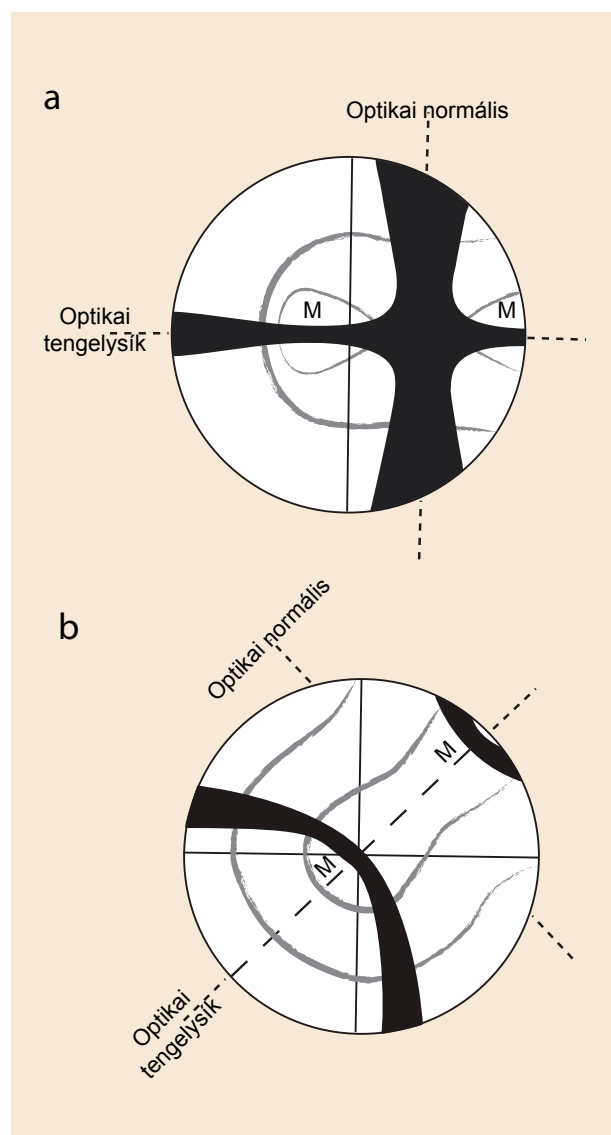
3. A tompa biszektrix felőli tengelykép (11.8. ábra)

E szemcsék tompa szögfelezője párhuzamos a mikroszkóp optikai tengelyvonalával. A bennük kialakuló útkülönbség és ennél fogva az interferencia szín az adott ásványra jellemző maximális és minimális értékek között helyezkedik el. Mivel a tompa szögfelező és az optikai tengelyek közötti szög több, mint 45° ,

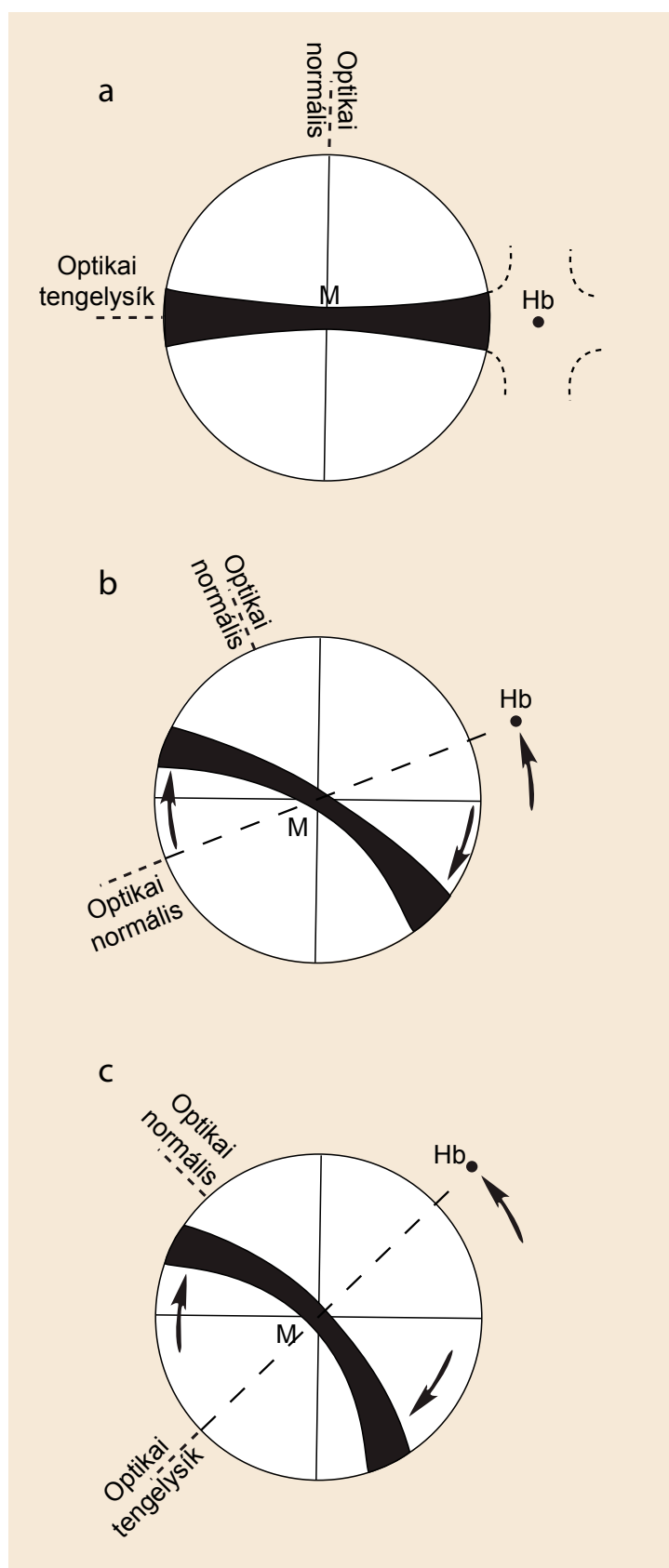


1.5. ábra Két optikai tengelyű ásvány tengelyképe a hegyes biszektrix felől, az optikai sík vízszintes (a.), ill. ettől 45° -kal elforgatott (b.) helyzetében.

a melatopok a látómezőn kívülre esnek. Az optikai tengelysík É-D vagy K-Ny-i helyzetében az izogirák keresztet formáznak a látómezőben. A tárgyasztal kb. 5–15°-os elforgatásakor az izogirák elhagyják a lá-



11.6. ábra Az egyik optikai tengely felőli tengelykép olyan esetben, amikor a $2V$ értéke kisebb mint 30° . A b. ábrán a második melatop is a látómezőben van, ami miatt a kép úgy néz ki, mint egy nem középpontos, hegyes biszektrix felőli tengelykép.



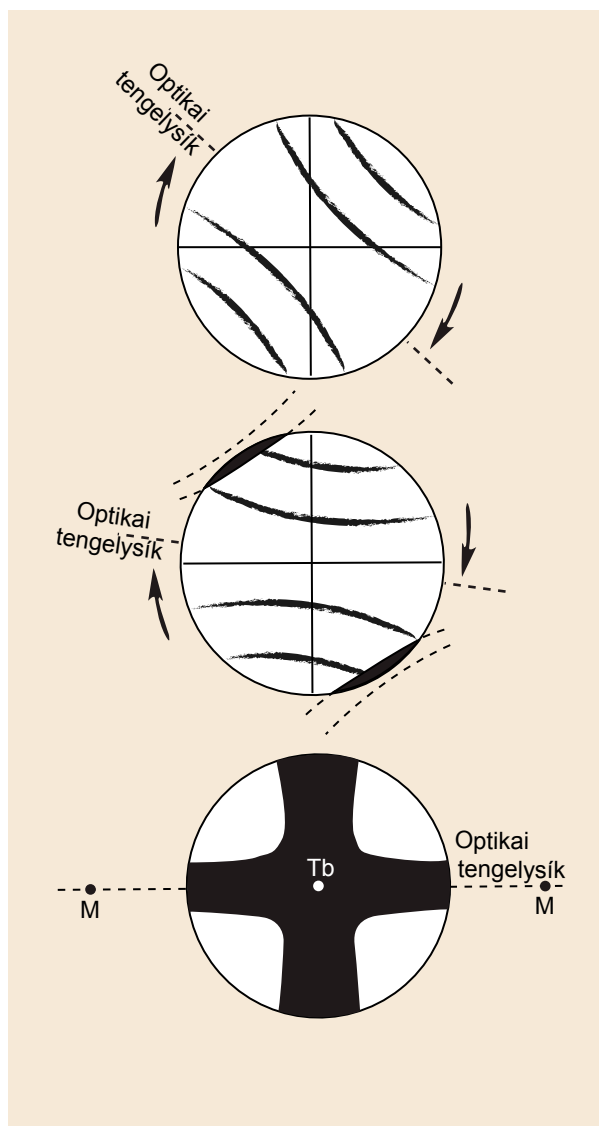
11.7. ábra Az egyik optikai tengely felőli tengelykép olyan esetben, amikor a $2V$ értéke nagyobb mint 30° . A második melatop már kívül esik a látómezőn. Az a. ábrán az optikai tengelysík csapása K-Ny-i irányú. A b. és c. ábrák az izogíra ág mozgását mutatja a tárgyasztal óramutató járásával ellentétes irányú forgatása során.

tómezőt. Kis 2V esetében a tompa biszektrix felőli tengelykép a fentiek helyett, sokkal inkább az optikai normális irányából jelentkező tengelyképhez lesz hasonló.

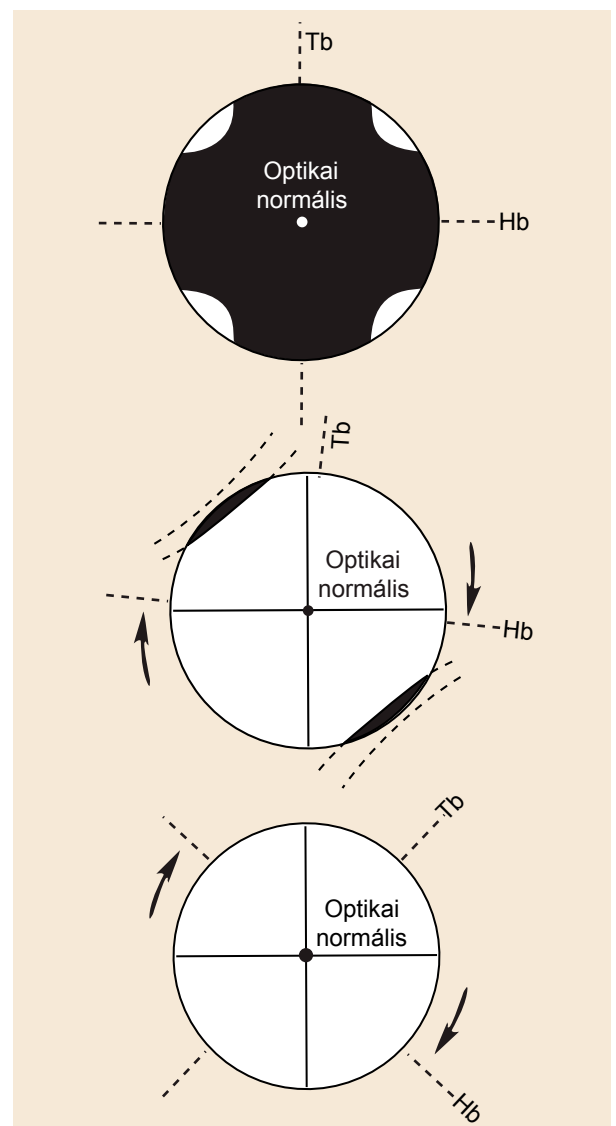
4. Az optikai normális felőli (flash) tengelykép

Ebben az esetben az optikai normális merőleges a tárgyasztalra. Mivel ebben a helyzetben az X és Z indikatrix tengelyek (azaz az n_α és n_γ irányok) párhuzamosak a tárgyasztallal, ezért a vékonycsiszolat azonos ásványszemcséi közül, ezek mutatják a maximális interferencia színeket.

Az X és Z tengelyek É-D, ill. K-Ny-i helyzete esetén a látómezőben széles, elmosódott tengelykép jelenik meg. A tárgyasztal kismértékű, kb. 5°-os elforgatásával az izogírágak szétválnak és kilépnek a



1.8. ábra A tompa biszektrix felőli tengelykép. (a) A K-Ny-i helyzetű optikai sík esetén az izogírák széles keresztet formáznak. A melatopok távol helyezkednek el a látómezőtől. (b) Az asztal már 15°-nál kevesebb elforgatására az izogírák kilépnek a látómezőből. (c) Az optikai sík 45°-os helyzetében az izogírák már nem figyelhetők meg a látómezőben.

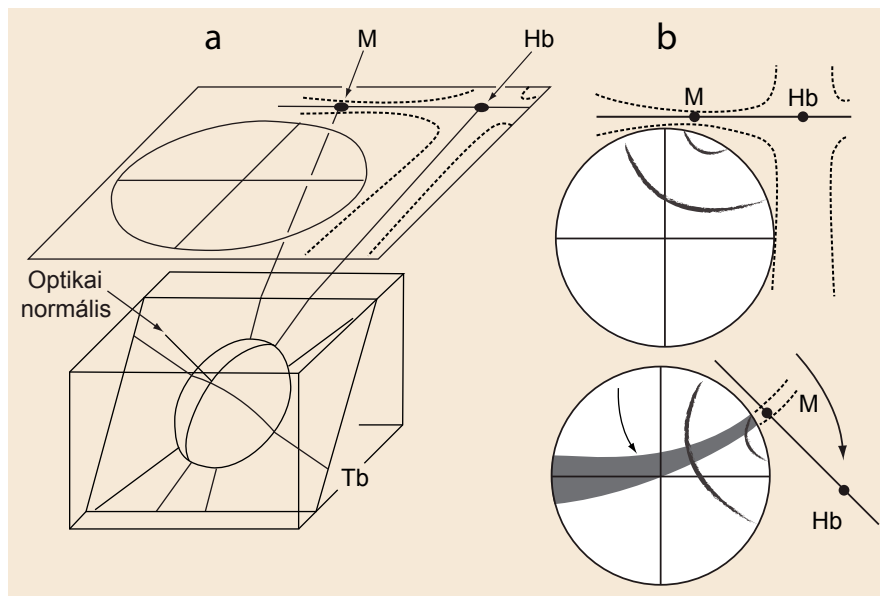


11.9. ábra Az optikai normális felőli tengelykép. Az optikai normális dőféspontja a látómező közepére esik. Az a. ábrán az hegyes biszektrix Ny-K-i, míg a tompa É-D-i csapású. (b) A tárgyasztal néhány fokos elforgatását követően az izogírák elválnak és kilépnek a látómezőből. (c) A hegyes és tompa biszektrixek 45°-os helyzetében – az ásvány interferencia színe látható, míg az izogírák a látómezőn kívül helyezkednek el.

látómezőből. E szemcsék tengelyképe – gyakorlatilag – megegyezik azon egy optikai tengelyű ásványok tengelyképével, amelyek optikai tengelye párhuzamos a tárgyasztallal (11.4. ábra).

5. Általános helyzetű szemcse tengelyképe

A 11.10. ábra egy általános helyzetben elhelyezkedő, két optikai tengelyű szemcsére jellemző optikai tengelyképet ábrázol. A tárgyasztal 360°-os körbeforgatása során az izogíráág – az egy optikai tengelyű ásványok tengelyképénél látottakhoz hasonlóan – négyszer söpör át a látómezőn. Ennélfogva az adott szemcse egy vagy két optikai tengelyű voltának elkülönítése – a körbeforgatás során az É-D ill. K-Ny-i irányokkal soha nem párhuzamos – izogíra görbült alakja révén lehetséges.



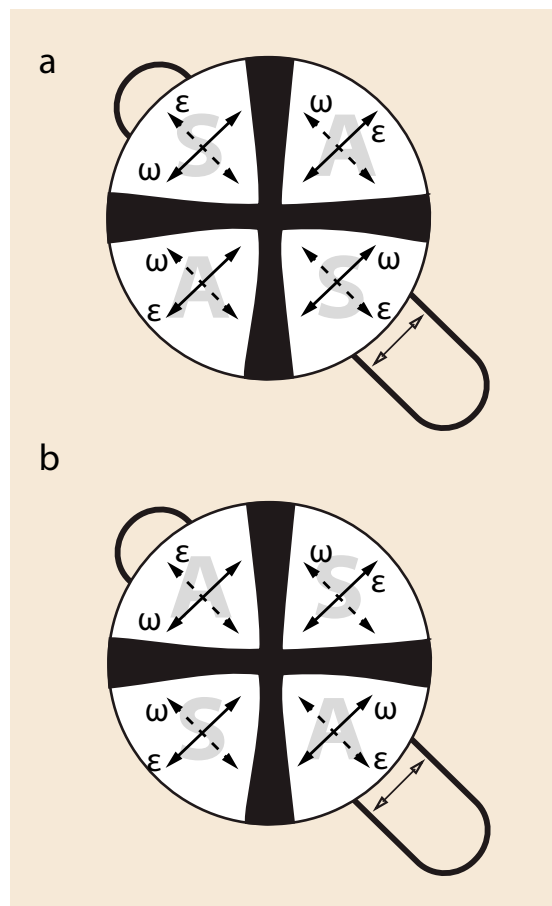
11.10. ábra Általános helyzetű két optikai tengelyű ásvány indikatrixa (a) és tengelyképe (b). Az izogíráág fokozatosan söpör át a látómezőn, de soha nem párhuzamos a függőleges ill. vízszintes szálkeresztekkel.

12. Az optikai jelleg meghatározása

Egy optikai tengelyű ásványok

Az egy optikai tengelyű ásványok esetében az optikai jelleget az határozza meg, hogy az ordinárius vagy az extraordinárius sugár törésmutatója nagyobb e. Pozitív optikai jellegről beszélünk, ha $n_\epsilon > n_\omega$ míg negatívról, ha $n_\epsilon < n_\omega$ ahol n_ϵ az extraordinárius és n_ω az ordinárius sugár törésmutatója.

Az optikai jelleg meghatározásához tengelykép készítése szükséges, amit az indokol, hogy ekkor ismert az ordinárius és extraordinárius sugár rezgési iránya. Bármely, tetszőleges térszögben az ϵ sugár rezgési iránya sugár-, míg a ω sugáré érintő irányú (12.1. ábra). A tengelykép fölé egy segédlemez tiktatva, melynek legnagyobb törésmutató iránya ismert, két, egymással átellenes helyzetű térszögben addíciót (magasabb színrendet), míg a másik két térszögben szubsztrakciót (alacsonyabb színrendet) látunk. Addíciót látunk azon térszögekben, amelyekben a segédlemez nagyobb törésmutató iránya az ϵ és ω sugarak közül a nagyobbik törésmutatójával esik egybe. Pozitív optikai jelleg esetén ez az ϵ , míg negatívánál az ω (ld. fent). Amennyiben a két izogíráág egyidejűleg nem jelenik meg a látómezőben (az optikai/c-kristálytani tengely nem merőleges a tárgyasztalra), úgy beiktatott segédlemez mellett a tárgyasztalt körbeforgatva az addíciót és szubsztrakciót mutató térszögek felváltva váltogatják egymást.



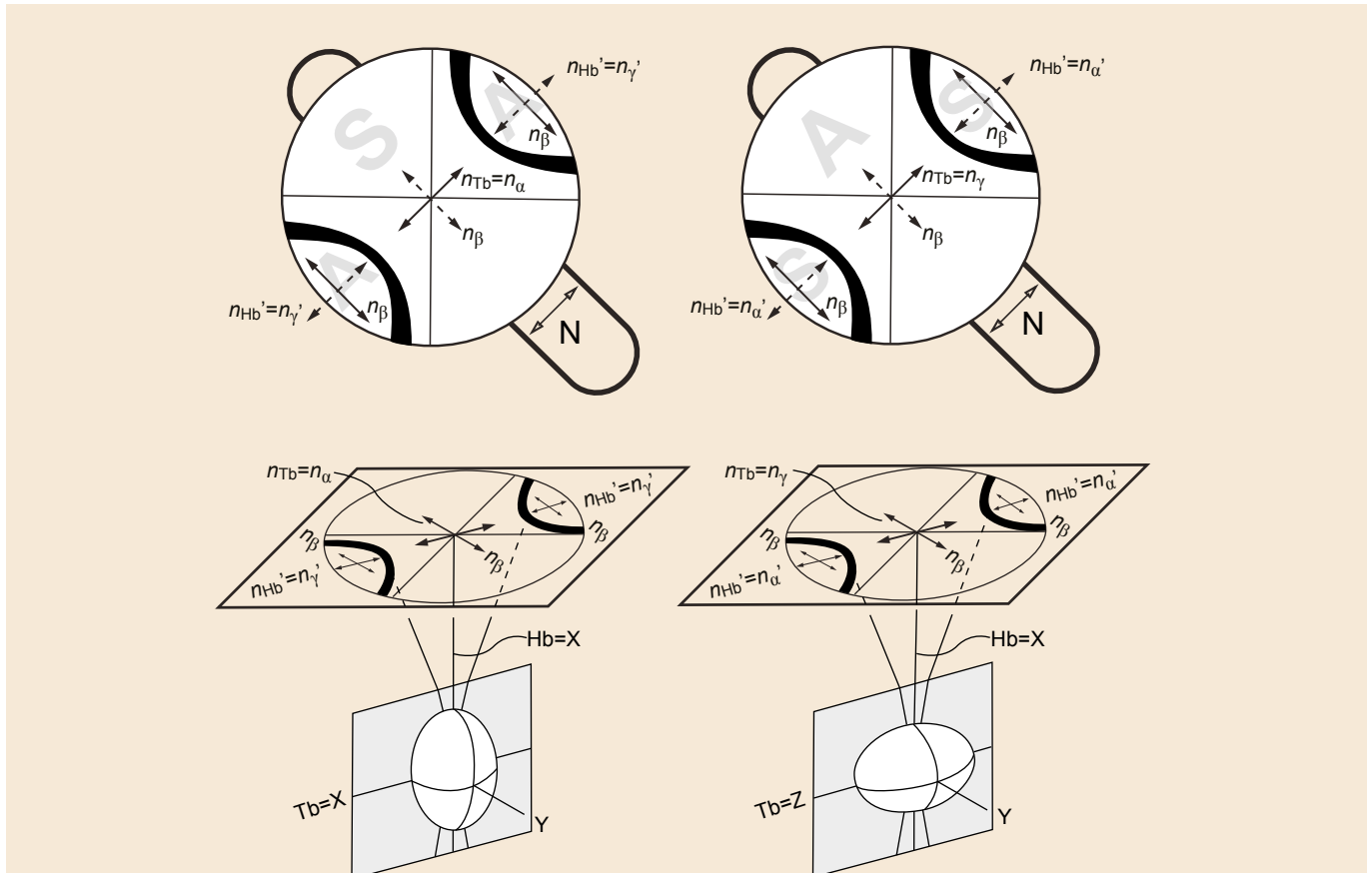
Két optikai tengelyű ásványok

A két optikai tengelyű ásványok optikai jellegét az határozza meg, hogy a két optikai tengely által bezárt hegyesszög (2V) szögfelezőjében az nagyobbik (γ) vagy a kisebbik (α) törésmutató helyezkedik-e el. Ennélfogva az előbbi esetben (+), míg az utóbbiban (–) optikai jellegről beszélünk.

Az optikai jelleg meghatározását lehetőség szerint hegyes biszektrix ill. az optikai tengely felől készített tengelyképeken végezzük. Az optikai tengelykép előállításának menete megegyezik a **Tengelykép készítése** c. részben leírtakkal. A könnyebb érthetőség kedvéért a meghatározás menetét egy hegyes biszektrix felőli metszeten, közepes 2V-vel jellemezhető ásványszemcsén mutatjuk be.

A hegyes biszektrix irányában haladó két fénysugár közül az egyik az optikai normális (Y) irányába rezeg, törésmutatója MINDIG n_β . A tompa biszektrixszel párhuzamosan haladó fénysugár irányába a törésmutató a szemcse optikai jellegétől függően vagy n_α (+ optikai jelleg esetén), vagy n_γ (– optikai jelleg esetén). Az optikai jelleg meghatározásakor tehát az a kérdés, hogy a látómező közepén, az optikai síkkal párhuzamosan a kisebb vagy a nagyobb törésmutató helyezkedik el.

12.1. ábra Egy optikai tengelyű pozitív (a.), ill. negatív (b.) optikai jellegű ásvány tengelyképén lejátszódó addíciós és szubsztrakciós térszögek mintázata. Az alkalmazott segédlemez legnagyobb törésmutatójának iránya ÉK-DNy-i.

A határozás menete a következő (12.2. ábra):

12.2. ábra Az optikai jelleg meghatározása egy két optikai tengelyű ásvány hegyes biszektrix felőli metszetéből készült tengelyképén. Hb: hegyes biszektrix, Tb: tompa biszektrix, N: a segédlemez nagy törésmutatójának iránya, A: addíció, S: szubsztrakció. Az X, Y és Z az indikatrix tengelyeit jelölik, amelyek rendre megegyeznek az n_α , n_β és n_γ törésmutatók irányaival.

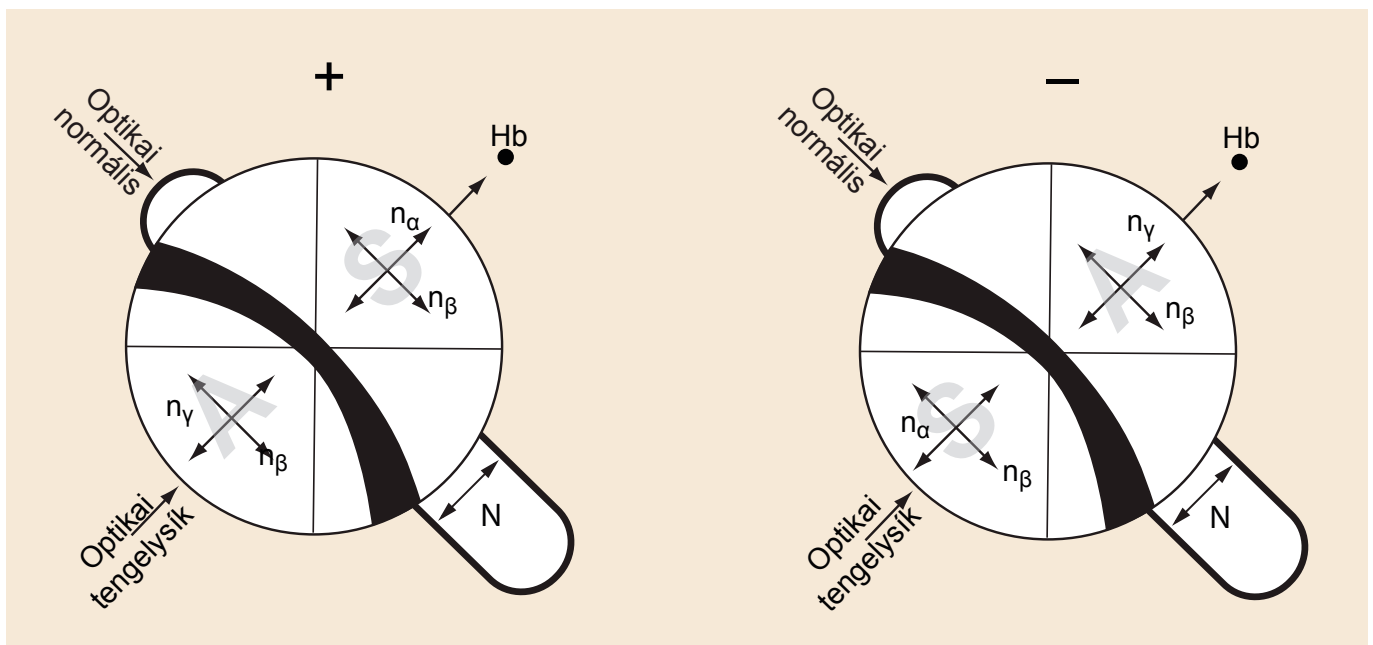
- Keressünk egy olyan helyzetű szemcsét, amit a hegyes biszektrix felől látunk (ezen a metszeten köztes interferencia színt fogunk látni - azaz a megfelelő helyzetű szemcse kiválasztásához némi szerencse is kell).
- Forgassuk el a tárgyasztalt, hogy a optikai sík ÉK-DNy-i irányba álljon. A tengelykép középső részén ekkor a tompa biszektrixben elhelyezkedő fénysugár a ÉK-DNy-i irányban, az optikai síkkal párhuzamosan fog elhelyezkedni.
- Iktassuk be a megfelelő segédlemezt, melynek legnagyobb törésmutató-iránya ÉK-DNy-i helyzetű. Rögzítsük az interferencia szín változását a tengelykép központi, ill. az izogírákon kívüli részén.
- Amennyiben a melatopok között szubsztrakciót tapasztalunk, úgy a segédlemez legnagyobb törésmutató irányával párhuzamosan, ÉK-DNy-i irányban a legkisebb törésmutató (n_α) helyezkedik el. Ez egyben azt jelenti, hogy a tompa biszektrixben az X tengely helyezkedik el, így a hegyes biszektrixben a Z tengelynek kell elhelyezkedjen, azaz ásvány pozitív optikai jellegű. Ha a melatopok között addíció jelentkezik, akkor a a segédlemez legnagyobb törésmutató irányával párhuzamosan (ÉK-DNy-i irányban) a legnagyobb törésmutató (n_γ) kell elhelyezkedjen (ez egyben azt jelenti, hogy a tompa biszektrixben a Z tengely húzódik). Ebben az esetben a hegyes biszektrixben - kizárásos alapon - az X tengely helyezkedik el, azaz az ásvány negatív optikai jellegű.

Az izogíra-ágakon kívül az interferencia jelenségek a melatopok között lezajlóakkal ellentétesen jelennek meg (pl. ha a látómező közepén addíciót látunk, akkor az izogírákon kívül szubsztrakció törté-

nik). Ha az optikai síkot ÉNy-DK-i irányba állítjuk, akkor az addíciós és szubsztrakciós területek felcserélve jelennek meg.

Amennyiben az optikai jelleget valamelyik optikai tengely felőli metszeten kívánjuk meghatározni, úgy ehhez az adott ásvány vékonycsiszolaton belül előforduló legalacsonyabb interferencia színű szemcséjét kell kiválasztanunk. Ha a 2V kicsi, akkor mindkét melatop a látómezőben marad (11.7. ábra), azaz a tengelyképet úgy kezelhetjük, mintha a hegyes biszektrix felől készült volna. Nagyobb 2V esetén előfordulhat, hogy csak az egyik melatop jelenik meg a látómezőben, ilyenkor a hegyes biszektrix felőli tengelykép felét látjuk (11.8. ábra) (*ld. Tengelykép készítése c. fejezet!*).

Forgassuk a tárgyasztalt addig, amíg az optikai sík ÉK-DNy-i helyzetűvé válik (12.3. ábra), ekkor az izogíráág ÉK felé domborodik. Ezután az így kapott tengelyképet úgy tekinthetjük, mintha egy hegyes biszektrix felőli kép DNy-i részét látnánk, azaz a hegyes biszektrix az ÉK-i ténegyedben helyezkedik el. Az optikai jelleg meghatározásának menete ezután megegyezik a hegyes biszektrix felőli metszeten bemutatottal.



12.3. ábra Az optikai jelleg meghatározása egy két optikai tengelyű ásvány egyik optikai tengelye felőli metszetből készült tengelyképen. Hb: hegyes biszektrix, N: a segédlemez nagy törésmutatójának iránya, A: addíció, S: szubsztrakció.

13. Segédlemezek

A segédlemezek a mikroszkópok diagonális (45° -os) helyzetű nyílásába illeszthető, fém keretbe rögzített lemezek. A Brunel mikroszkópokhoz három segédlemez tartozik: egy kvarcék és egy 150 nm-es ($\lambda/4$, csillám) és egy 550 nm-es (λ , gipsz) útkülönbséget előidéző segédlemez.

A kvarcék egy ék alakban, a c-kristálytani tengellyel párhuzamosan kivágott, négy színrendet átfogó kvarc lemezből áll. Használata megtalálható a 7. *Az interferencia szín meghatározása kvarcék segítségével c. fejezetben.*

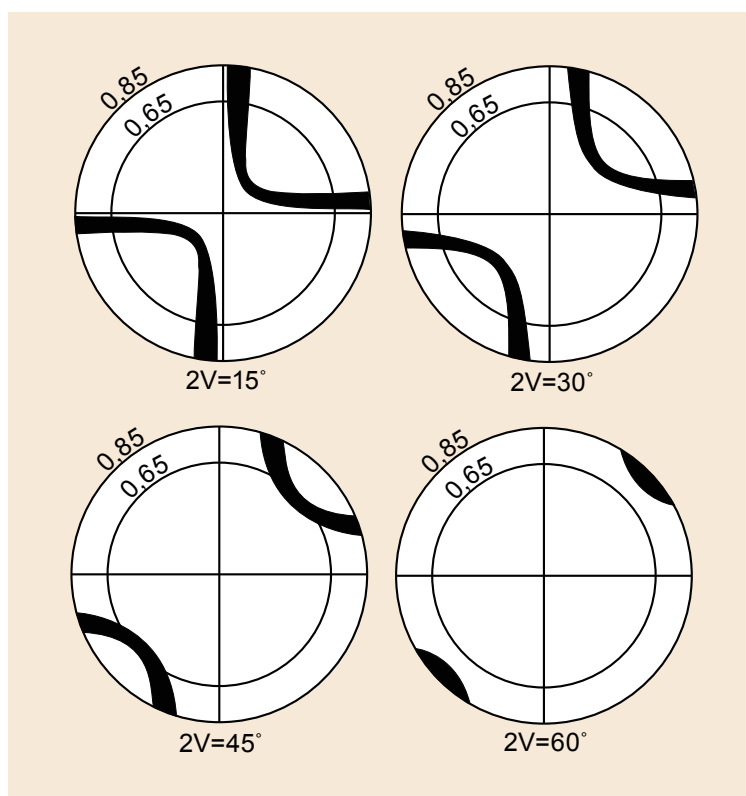
Az utóbbi két segédlemez leggyakrabban a rezgési irányokhoz tartozó törésmutatók egymáshoz viszonyított nagyságának meghatározására használatos. Azon ásványok esetében, melyek magas rendű interferenciaszín mutatnak, a csillám lemez használata javasolt, ami kisebb útkülönbséget idéz elő, mint a gipszlemez. Egy amúgy is magas interferenciaszínű ásvány színét a gipsz lemez még jobban eltolja, ami megnehezíti az addíció/szubsztrakció jelenségének meghatározását. Ellenkező esetben (alacsony interferencia színű ásvány) az addíció/szubsztrakció egyértelmű eldöntése a nagyobb útkülönbséget előidéző, gipszlemezzel végezhető el. A gipszlemez egy teljes színrenddel tolja el magasabb ill. alacsonyabb színrendek felé az ásvány saját interferencia színét, míg a csillámlemez csak csekély interferencia szín változást okoz, ami megnehezíti az addíció/szubsztrakció kimutatását. Egy I. rendű szürke interferencia színű ásványra a csillámlemezt betolva az interferencia szín mind addíció, mind szubsztrakció esetén I. rendű szürke marad, míg ugyanezen ásvány esetében a gipsz lemez addíciós esetén II. rendű kék, míg szubsztrakciókor I. rendű sárga interferencia színt idéz elő. Mindazonáltal meg kell jegyezni, hogy önmagában a kék szín nem jelez minden esetben addíciót, ahogy a sárga szín sem mindig szubsztrakcióra utal.

14. A 2V meghatározásának módszerei

A két optikai tengelyű ásványok optikai tengelyei által bezárt szög (2V) meghatározására több módszer is létezik. Itt csak két egyszerűbb, hozzávetőleges értéket adó eljárást ismertetünk.

1. módszer

A 14.1. ábra hegyes biszektrix felőli tengelykép-variációkat mutat 0,65 ill. 0,85 numerikus apertúrájú (ld. 2. fejezet A mikroszkóp-objektíven található jelzések) objektív használata esetén, feltételezve, hogy az $n_g = 1,6$. Mivel a legtöbb két optikai tengelyű ásvány törésmutatója 1,5-1,7 közé esik, ezért a 14.1. ábra 10–15° pontossággal alkalmas a 2V értékének rutinszerű meghatározására.



14.1. ábra A 2V értékének rutinszerű megbecslése a hegyes biszektrix felőli tengelyképeken, a melatopok távolsága alapján, $2V=15^\circ$, 30° , 45° és 60° esetén. A belső körök 0,65, míg a külsők 0,85-ös numerikus apertúrájú objektívek látómezejét ábrázolja.

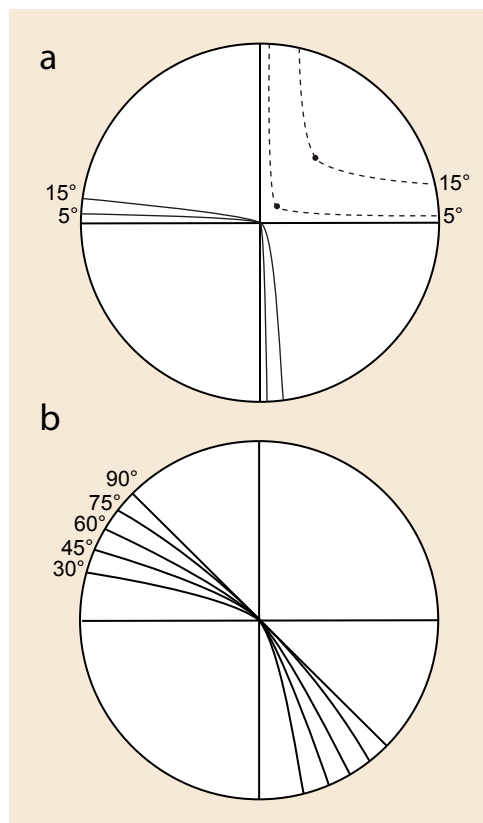
2. módszer

Az optikai tengelyképen – az optikai sík hajszálkereszthez viszonyított 45° -os helyzetében – az izogirák görbületének mértéke a 2V értékétől függ (14.2. ábra). Ha a $2V=90^\circ$, akkor az izogirák egyenesek, míg a 2V értékének csökkenésével az izogirák egyre görbültebbé válnak. Ha a $2V<25-30^\circ$, akkor mindkét melatop (az optikai tengelyek dőfspontjai) a látómezőben lesz. Ekkor a melatopok távolságának meghatározásával megbecsülhető a 2V értéke.

A $2V<5^\circ$ állapot esetén, a melatopok közötti távolság olyan kicsi lehet, hogy az izogirák – látszólag – egy egy optikai tengelyű ásvány tengelyképét mutatják. Ilyen esetben, a tárgyasztal körbeforgatásakor, az izogirák esetleg rendkívül kismértékű szétválása utal az ásvány két tengelyű volta.

A 2V meghatározásához szükséges orientáció, azaz az optikai tengely 45°-os helyzetének beállításának menete a következő:

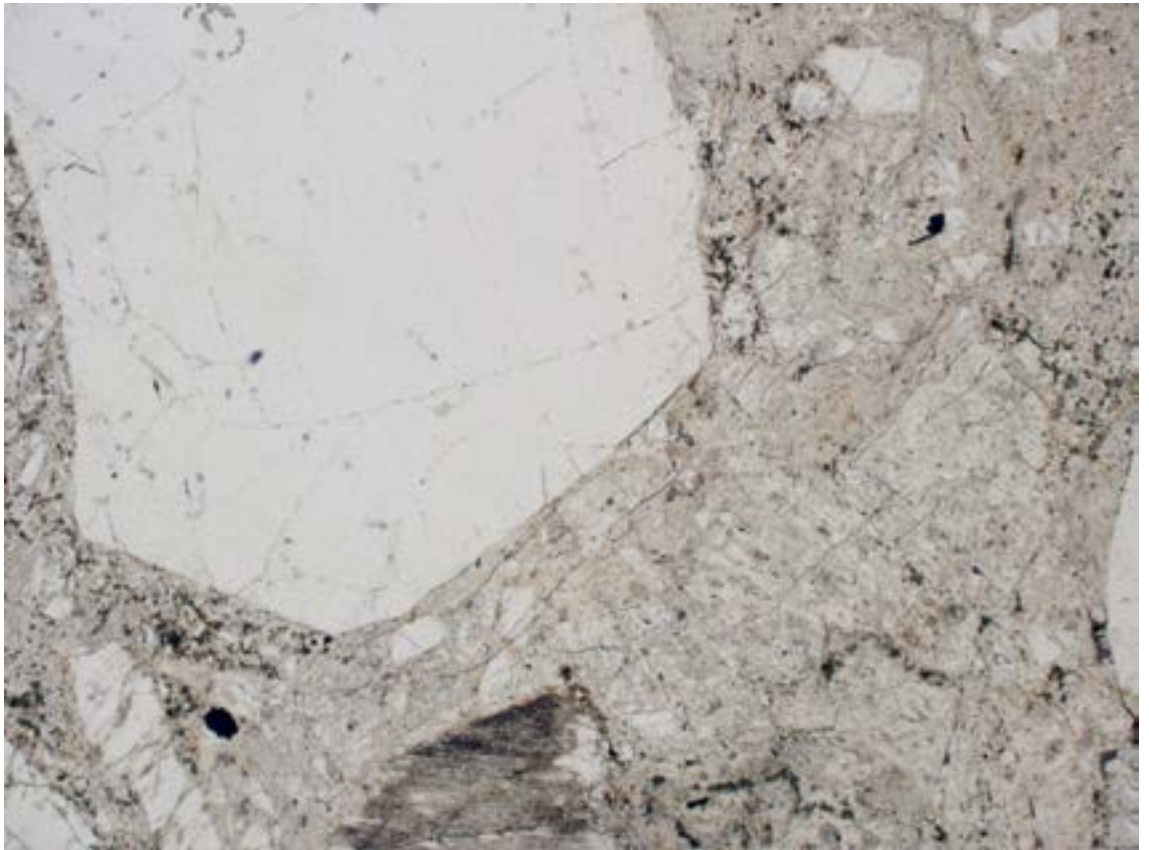
- Készítsünk egy optikai tengely felőli tengelyképet. Ehhez olyan szemcsét kell választanunk, ami fekete vagy nagyon sötét árnyalatú keresztezett nikol állásnál. A nem pontosan az optikai tengely felőli tengelyképen is el lehet végezni a vizsgálatot, de ekkor a meghatározott érték pontossága csökken.
- Forgassuk a tárgyasztalt olyan helyzetbe, hogy az optikai sík (azaz az optikai tengelyeket tartalmazó) É-D-i irányú legyen. Amennyiben a melatop nem pontosan a szálkereszt metszéspontjában helyezkedik el, úgy az izogíra jobbra vagy balra helyezkedik el az É-D-i szálkeresztől.
- Forgassuk el 45°-kal (a tárgyasztal fokbeosztásának segítségével) az óramutató járásával egyező irányba a tárgyasztalt. Ekkor az optikai sík ÉK-DNy-i irányba áll és az izogírák hasonlóak lesznek a 14.2. ábrán bemutatottakkal.
- Annak érdekében, hogy a 14.2. ábrát alkalmazhassuk a 2V értékének megbecsléséhez az izogíráknak ÉK-i irányba kell „domborodniuk”, azaz a hegyes szögfelezőnek az ÉK-i ténegyedben kell elhelyezkednie. Amennyiben a vizsgált izogíra DNY-i irányba konvex, úgy a tárgyasztal 180°-kal el kell forgatni a megfelelő orientáció elérése érdekében.



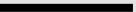
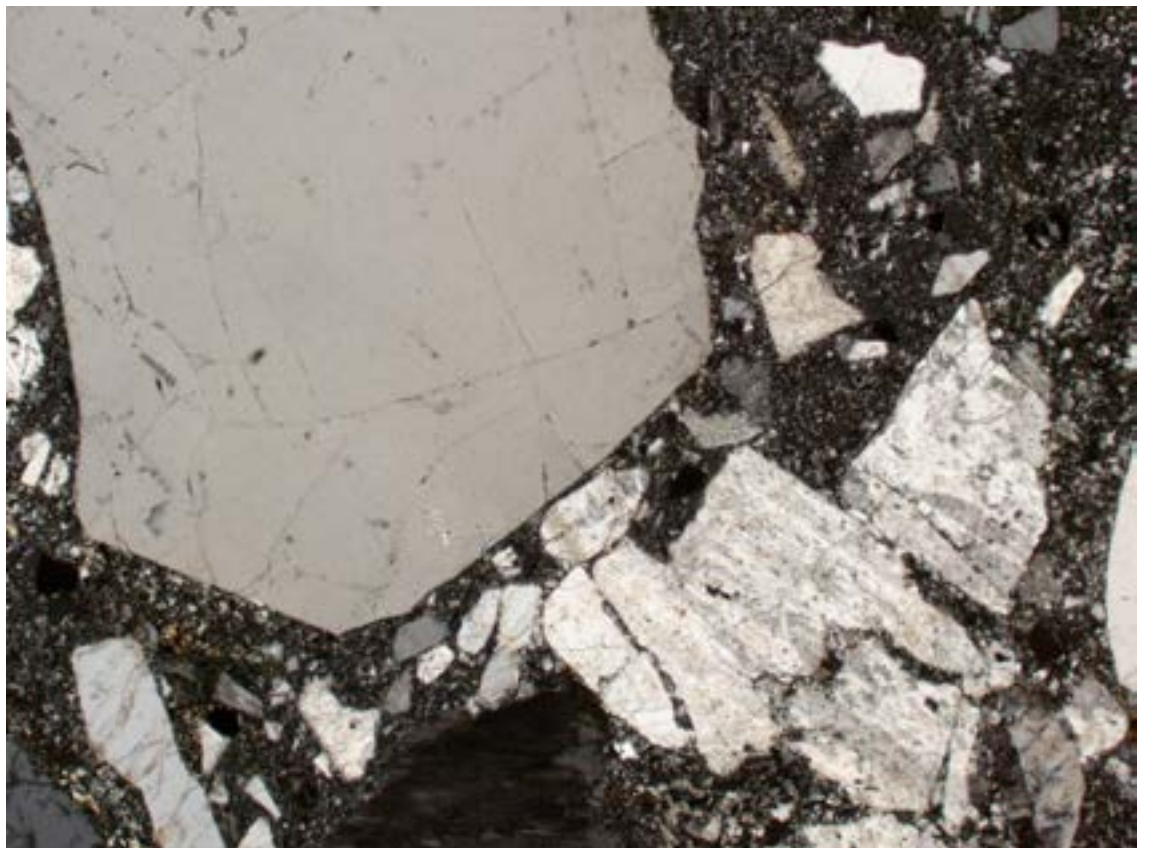
14.2. ábra Görbült izogírák az egyik optikai tengely felőli tengelyképeken, eltérő 2V értékek esetén. (a) Mindkét melatop a látómezőben van; a szaggatottal jelölt izogírák helyzetét az $n\beta$ értéke és az alkalmazott objektív numerikus apertúrája határozza meg. (b) Az izogírák alakja különböző 2V értékek esetén, ha a látómezőben egy melatop helyezkedik el.

NÉVMUTATÓ

aktinolit	26
alkáliföldpát	5
andaluzit	53
anhidrit	75
apatit	67
augit	19
barit	79
biotit	38
cirkon	59
egirin	22
epidot	63
gipsz	77
glaukofán	33
gránátok	49
hornblende	28
karbonátok	72
kianit	54
klorit	40
kloritoid	44
kvarc	3
leucit	10
muszkovit	35
nefelin	12
olivin	14
omfacit	23
ortopiroxének	17
oxyhornblende	31
plagioklászok	7
prehnit	46
rutil	69
spinel	71
staurolit	57
szerpentin	47
szillimanit	56
szodalit	13
titanit	61
tremolit	24
turmalin	65

Kvarc**SiO₂****Qz****1N**200 μm

Anhedrális, szintelen, kis reliefű kvarc fenokristály riolitban. A kvarc szemcse felszíne feltűnően üde a mellette található, erősen szericitesedett plagioklászhoz képest.

+N200 μm

A kvarszemcse elsőrendű szürke interferencia színe jól látható keresztezett nikolok mellett.

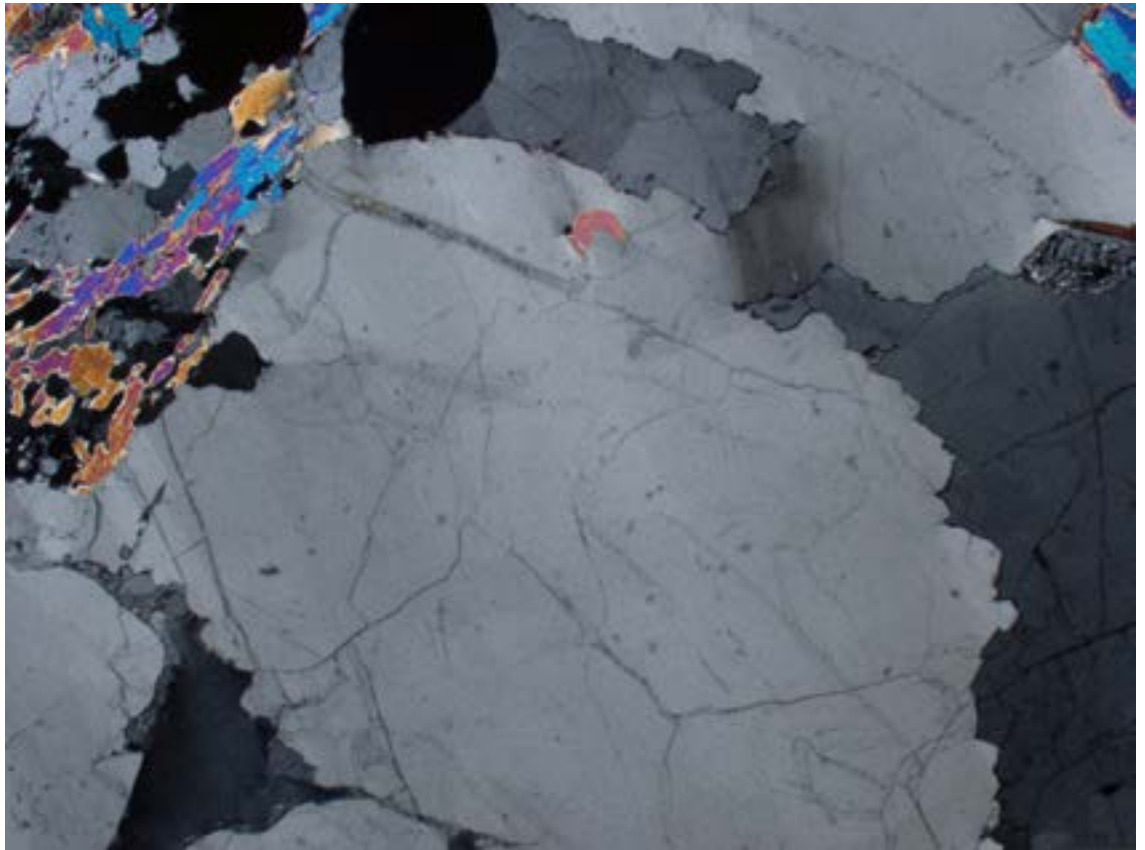
Kvarc

SiO₂

Qz

+N

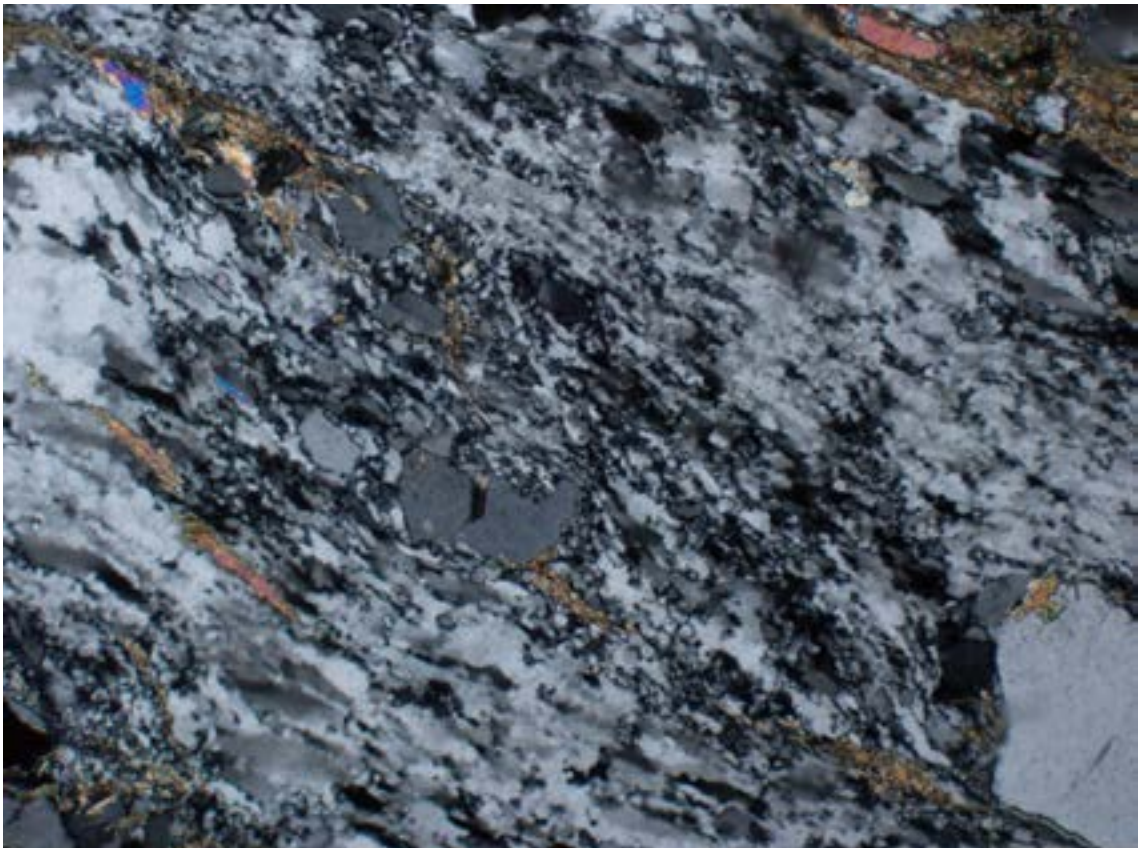
200 μm



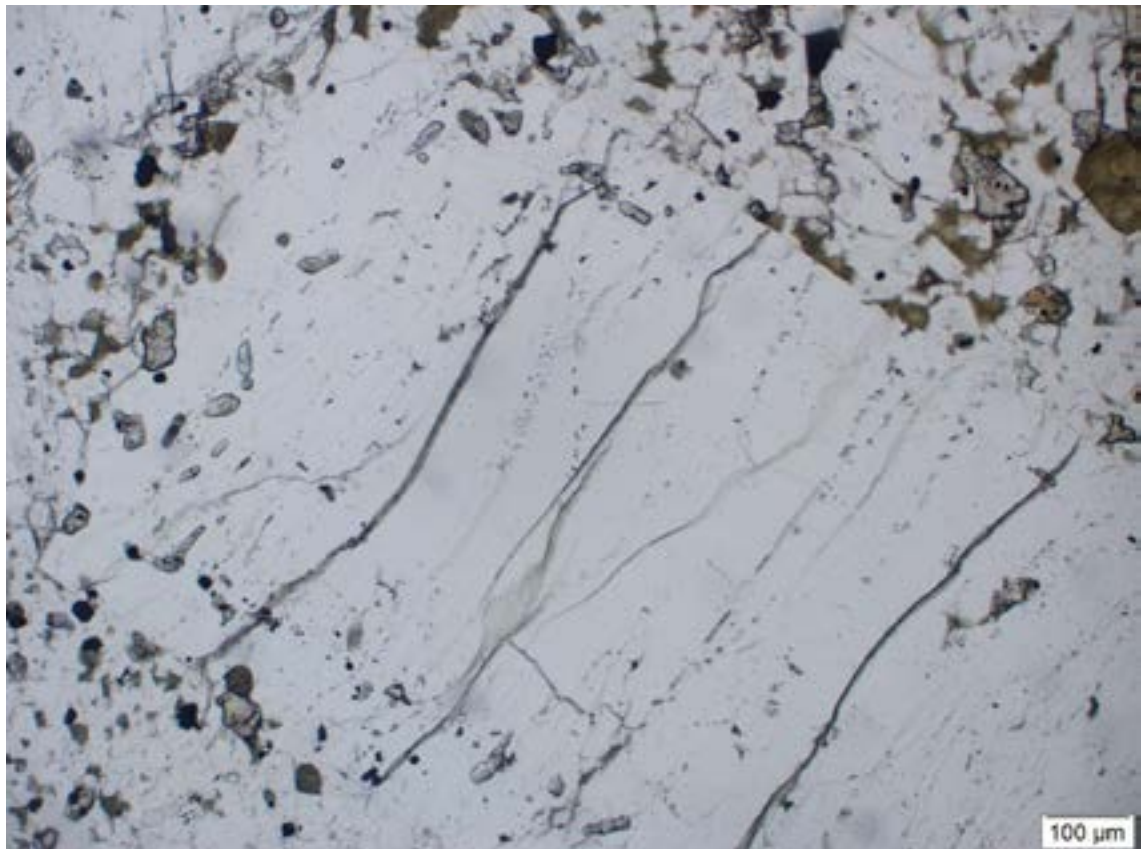
Enyhén unduláló kioltású, anhedrális kvarcsemmcsék gneiszben.

+N

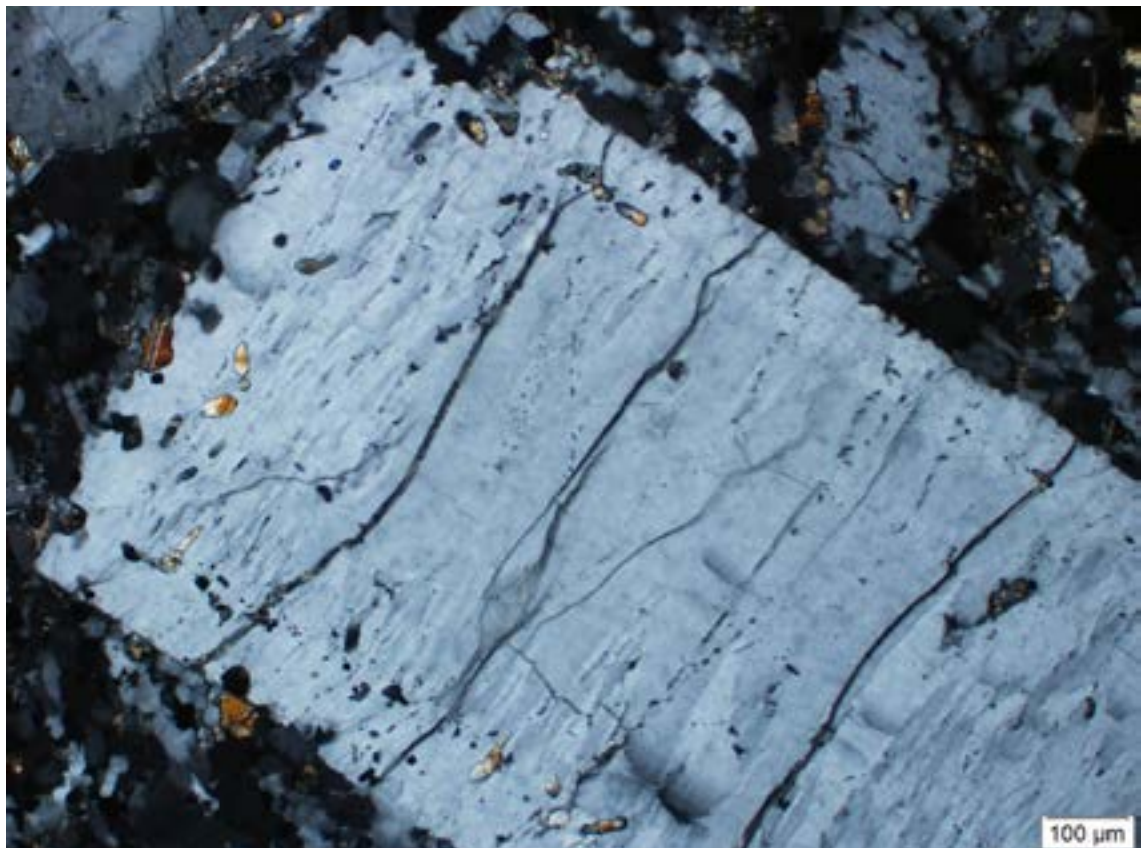
200 μm



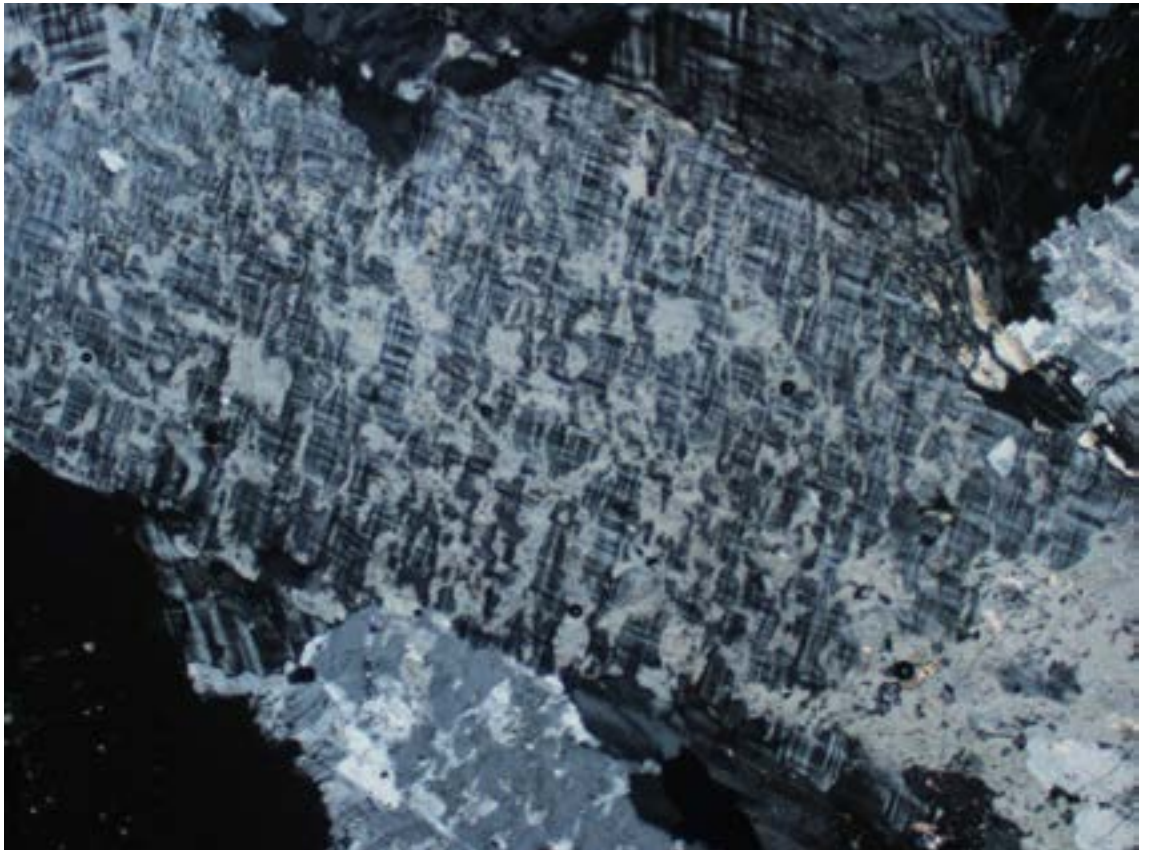
Dinamikus rekristallizációt szenvedett finomszemcsés kvarcszalag gneisz milonitban.

1N200 μm 

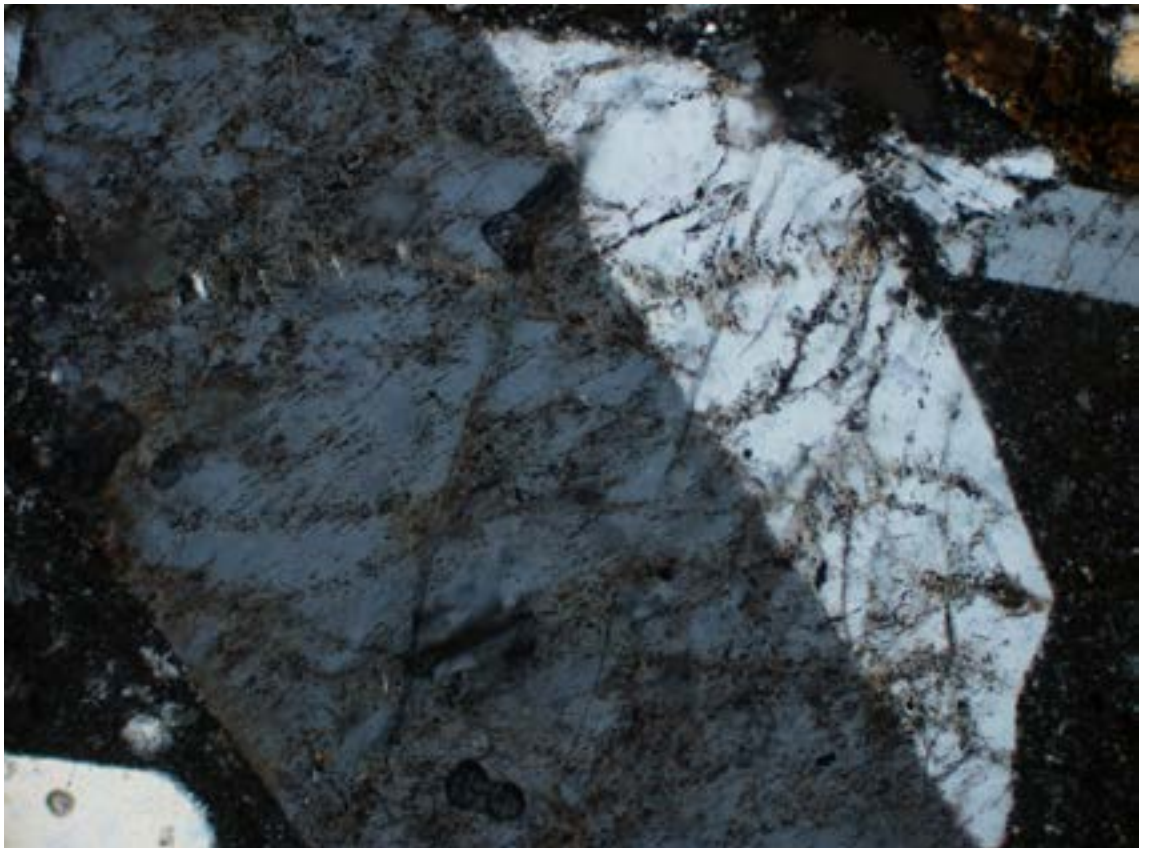
Színtelen, euhedrális kis reliefű alkáliföldpát fenokristály. A mátrixban klinopiroxén és alkáliföldpát látható.

+N200 μm 

A képen az alkáliföldpátra jellemző elsőrendű szürke interferenciaszín figyelhető meg.

1N200 μm 

Elsőrendű szürke interferencia színű, táblás, anhedrális mikroklin szemcse jellegzetes tartan (sakktáblára hasonlító mintázattal) ikerrel szienitben. A világos foltok albit lamellák (pertit)

+N200 μm 

Elsőrendű szürke interferencia színű, táblás, anhedrális mikroklin szemcse jellegzetes tartan (sakktáblára hasonlító mintázattal) ikerrel szienitben. A világos foltok albit lamellák (pertit)

1N

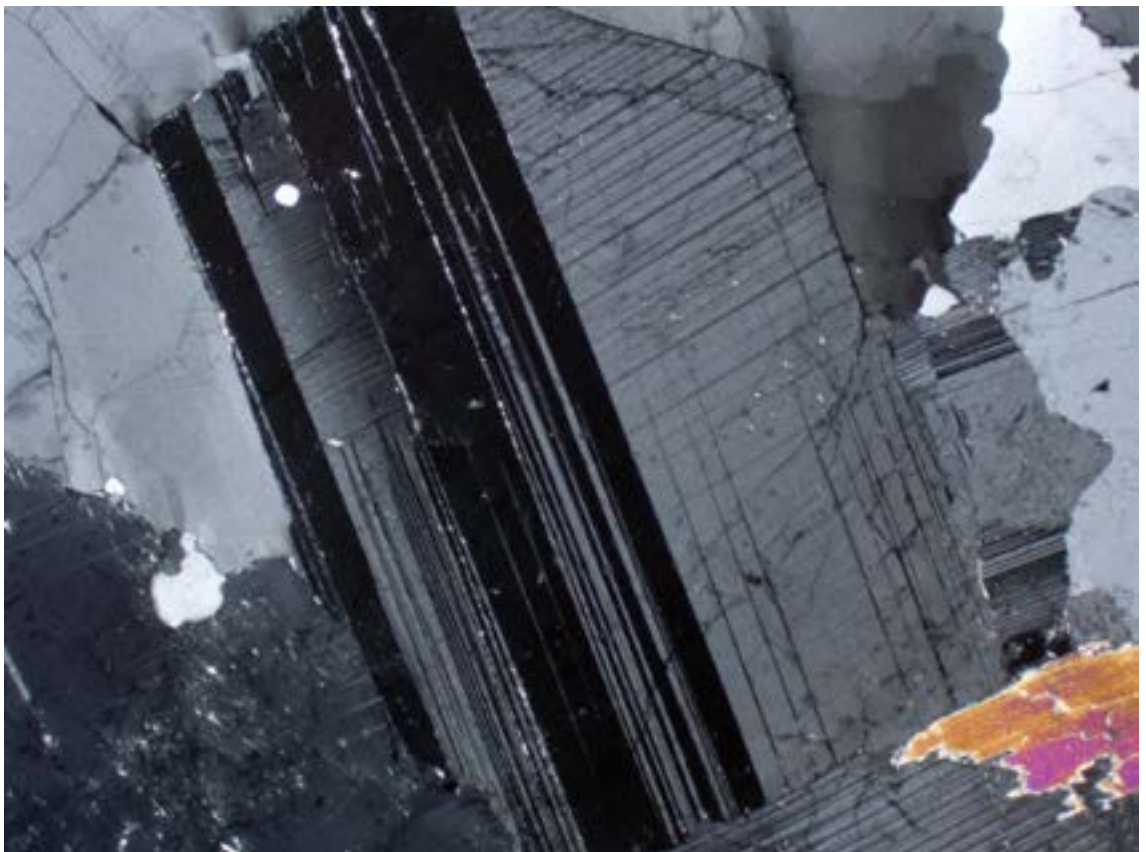
500 μm



Színtelen, kis reliefű, jól hasadó euhedrális plagioklász szemcse granodioritban.

+N

500 μm



Elsőrendű szürke interferencia színű, poliszintetikus ikerlemezőséget mutató szemcse keresztezett nikolos képe.

+N

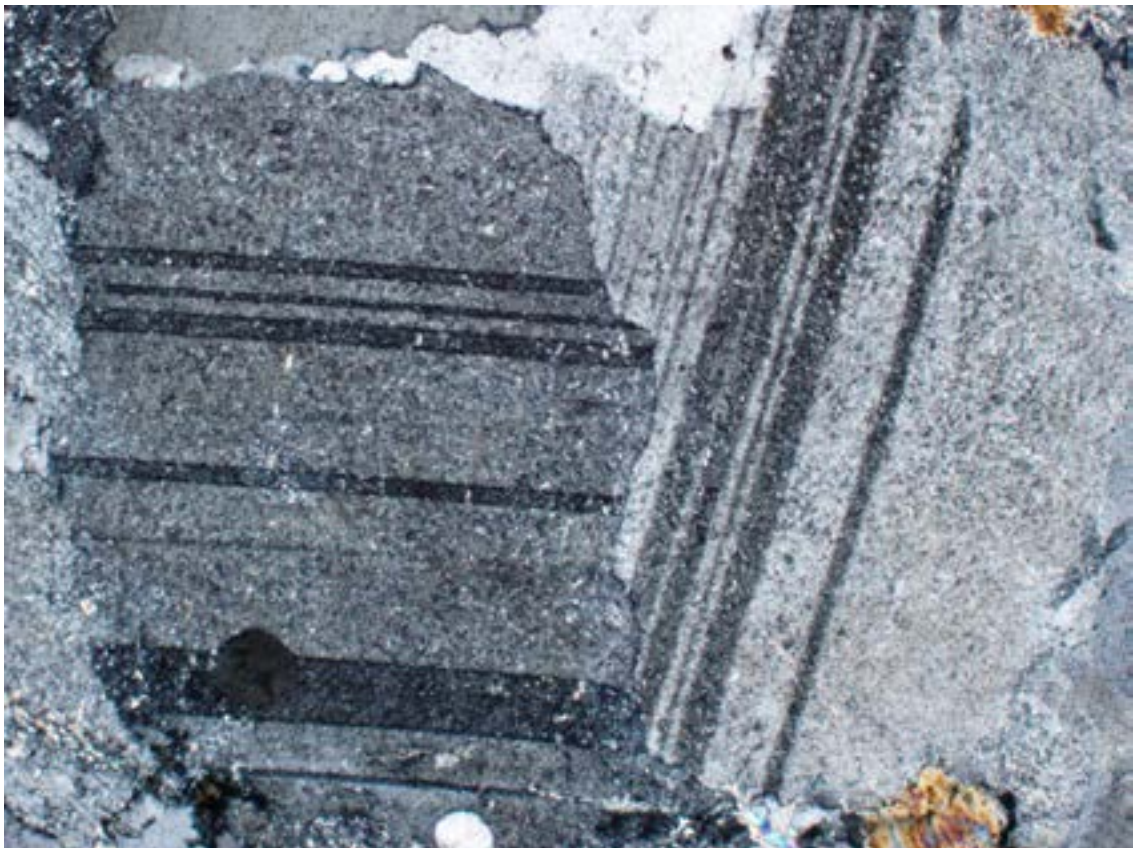
500 μm



Oscillációs zónásságot és poliszintetikus ikerlemezességet mutató euhedrális plagioklász szemcse andezitben.

+N

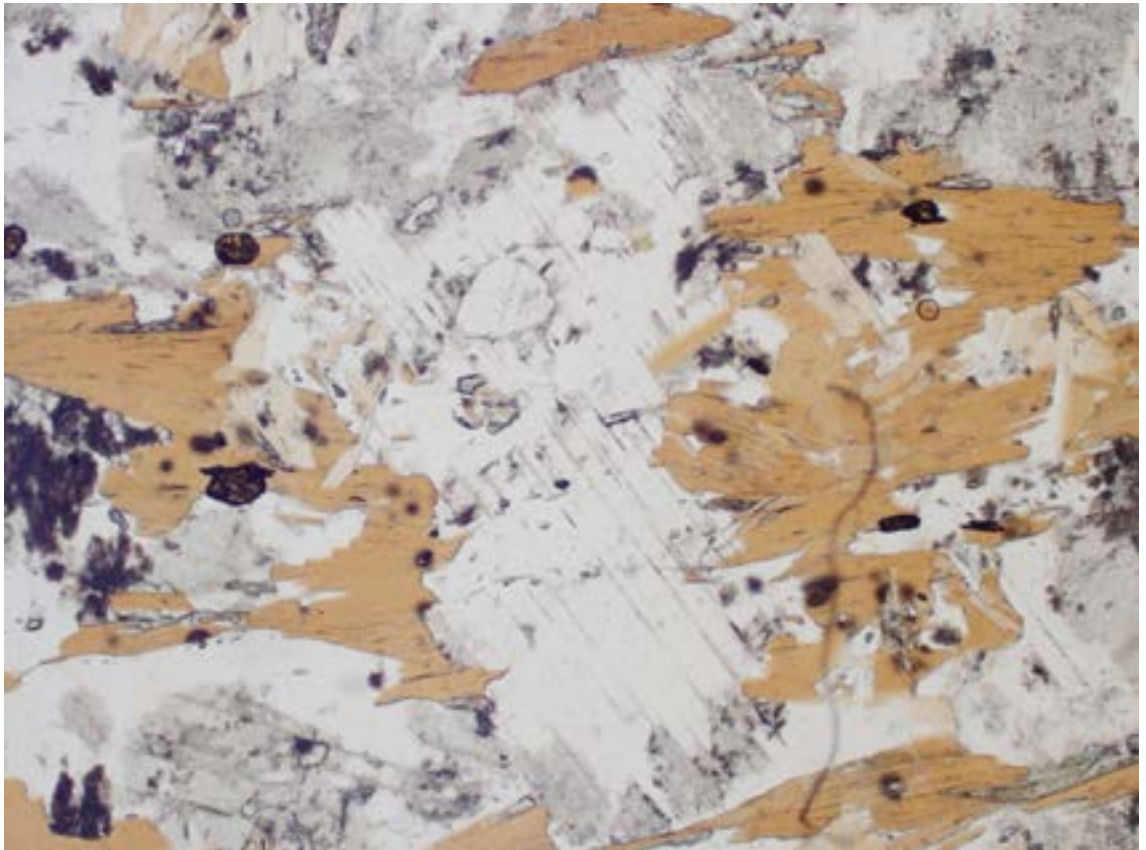
500 μm



Poliszintetikus ikerlemezességet mutató, szericitesedett, anhedrális, táblás plagioklász szemcsék granodioritban.

1N

500 μm



Anhedrális, hasadási nyomvonalakat tartalmazó plagioklász biotit mellett gneiszben.

+N

500 μm



A hasadási nyomvonalak mentén kezdődő szericitesedést mutató plagioklász szemcse.

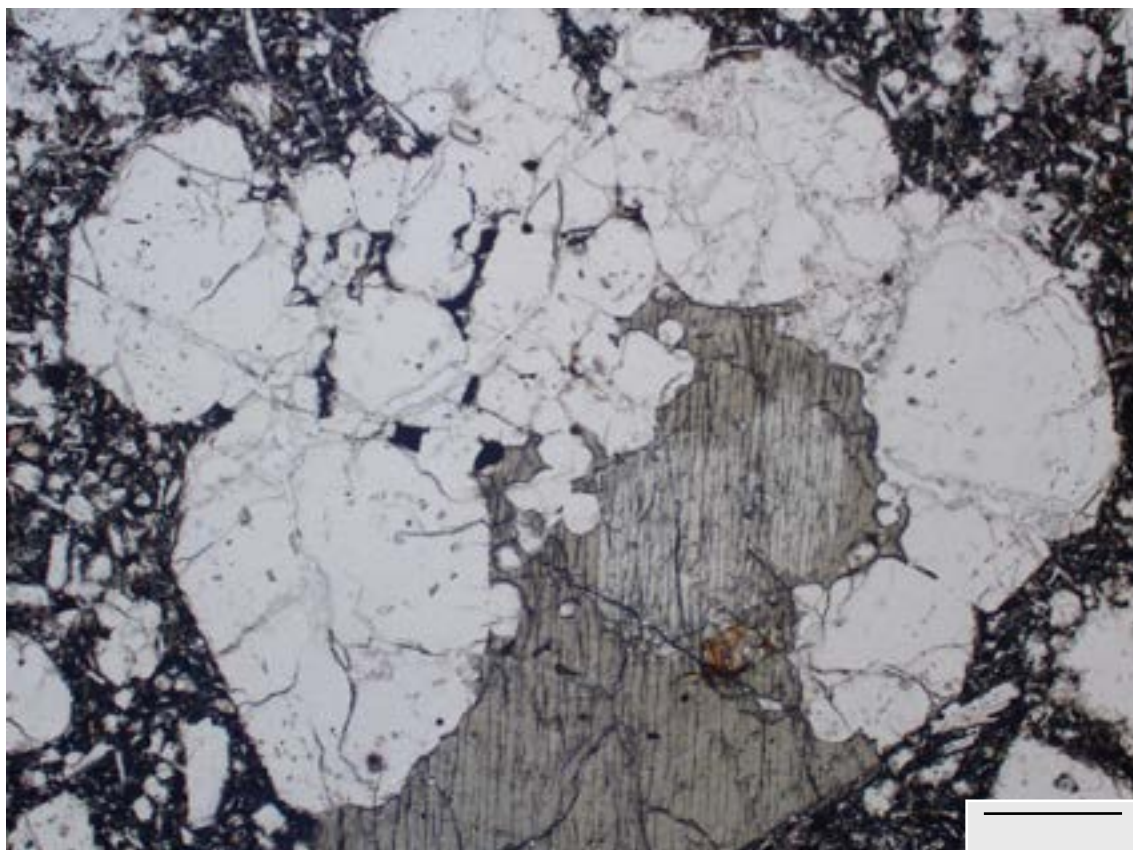
Leucit

KAlSi_2O_6

Lct

1N

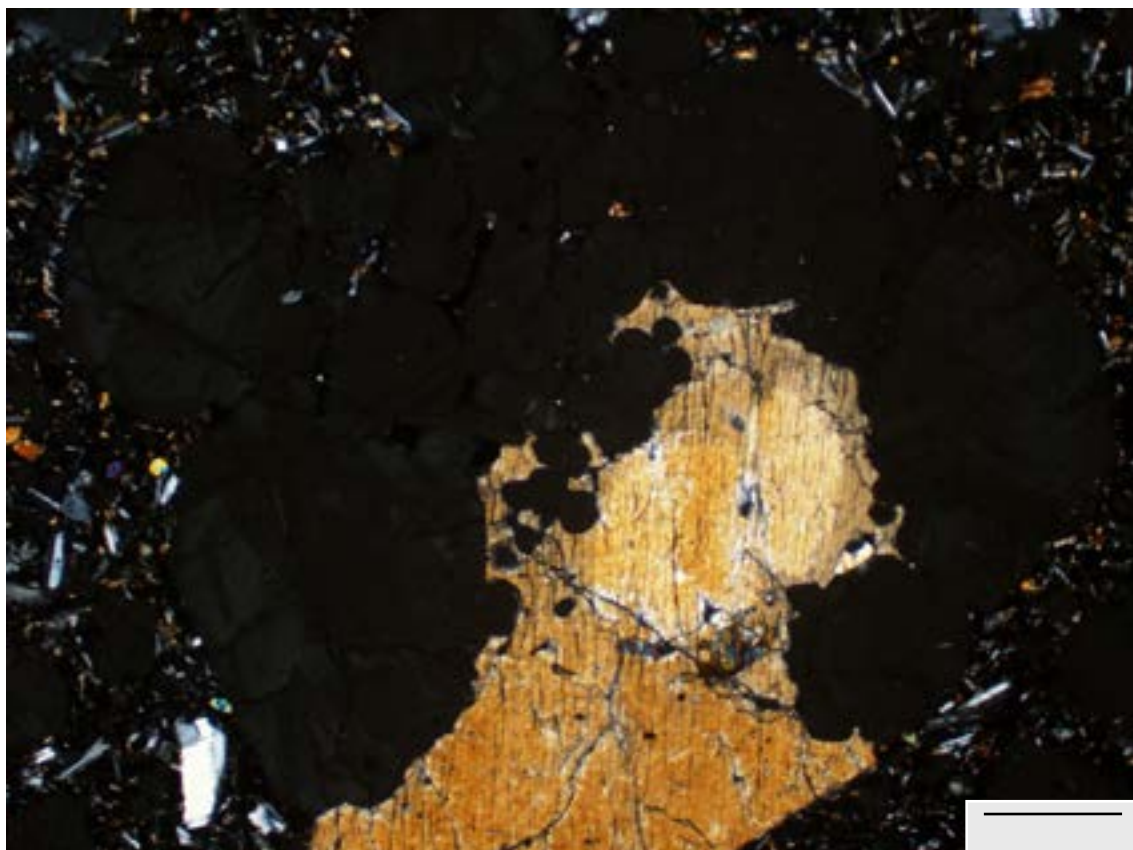
500 μm



Augit szemcsét övező szintelen, izometrikus, kis relieffel rendelkező leucit fenokr., leucititben.

+N

500 μm



Kersztezett nikollokkal megfigyelhető a leucit szemcsék kismértékű, rendellenes anizotrópiája, melynek következtében nem teljesen fekete a képe.

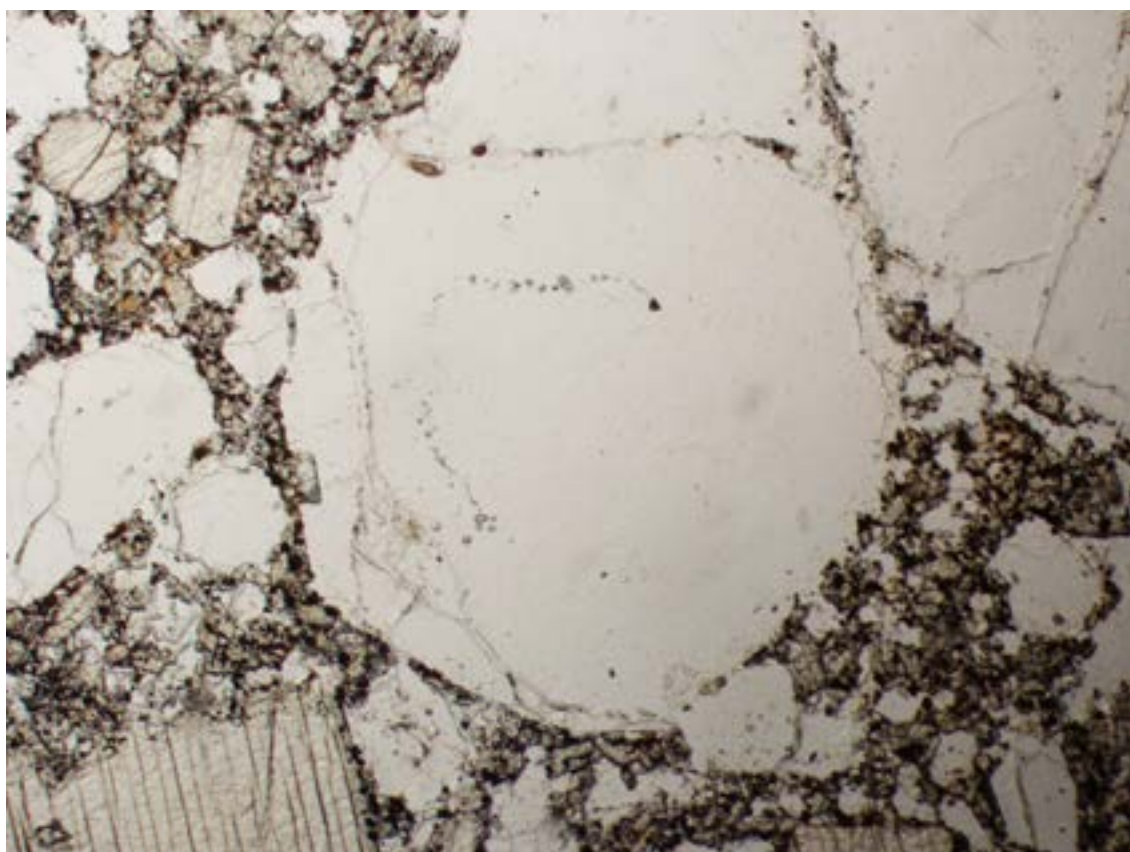
Leucit

KAlSi_2O_6

Lct

1N

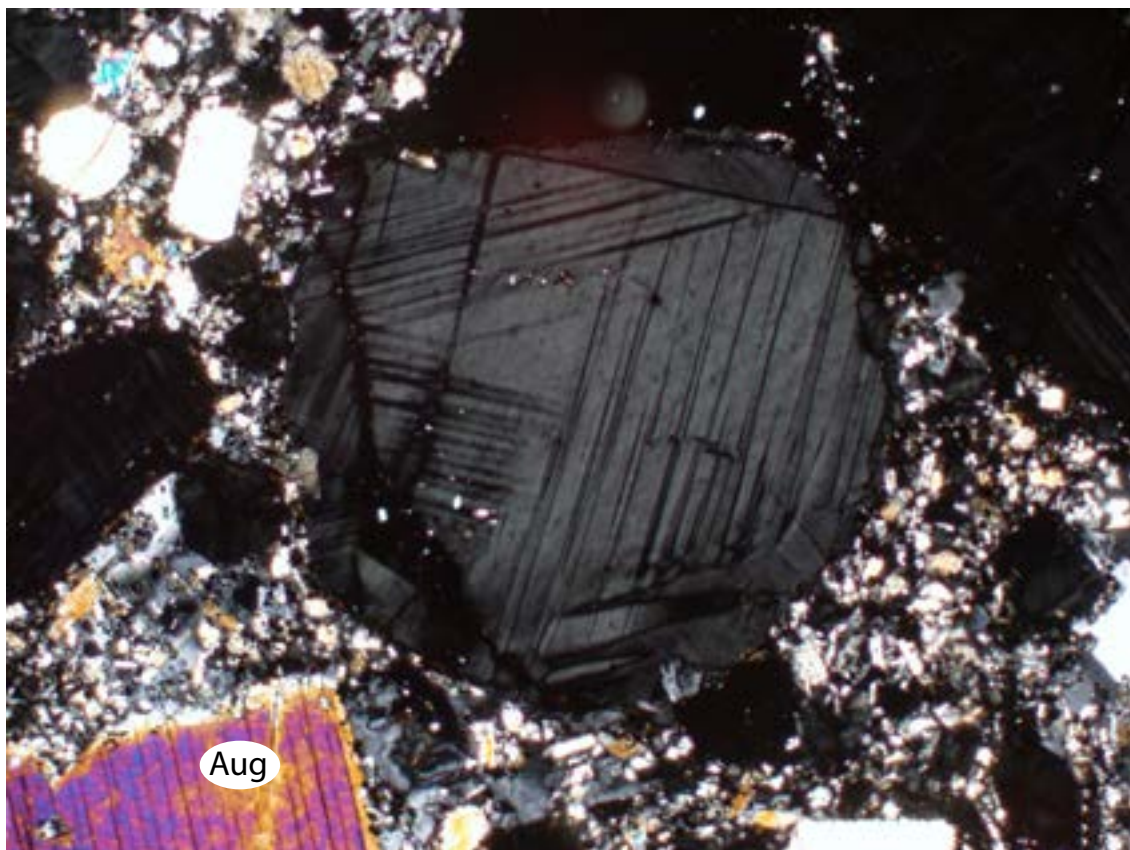
200 μm



Színtelen, izometrikus, anhedrális, leucit fenokristály.

+N

200 μm



Kersztezett nikollokkal rendkívül jellegzetes ikerlemezességet és rendellenes anizotrópia következtében elsőrendű szürke interferencia színt mutató leucit fenokristály.

Nefelin**(Na,K) AlSiO₄****Afs****1N**

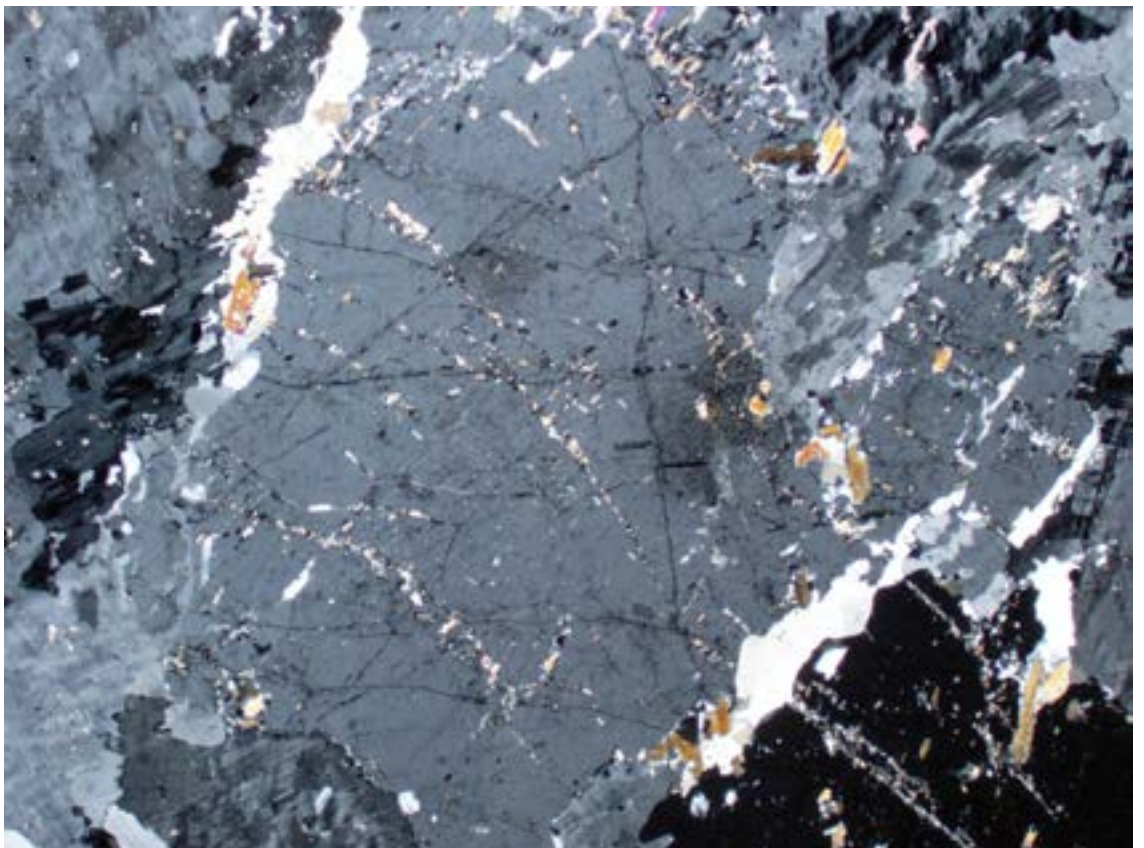
500 μm



Színtelen, enyhén repedezett, anhedrális, kis reliefű nefelin szemcse szodalitos nefelinszienitben. Megfigyelhető a nefelin alkáliföldpátnál némileg nagyobb fénytörése.

+N

200 μm



A nefelinre jellemző elsőrendű szürke interferencia színt mutató szemcse képe. Megfigyelhető a repedések mentén történő enyhe átalakulás.

Szodalit



Sdl

1N

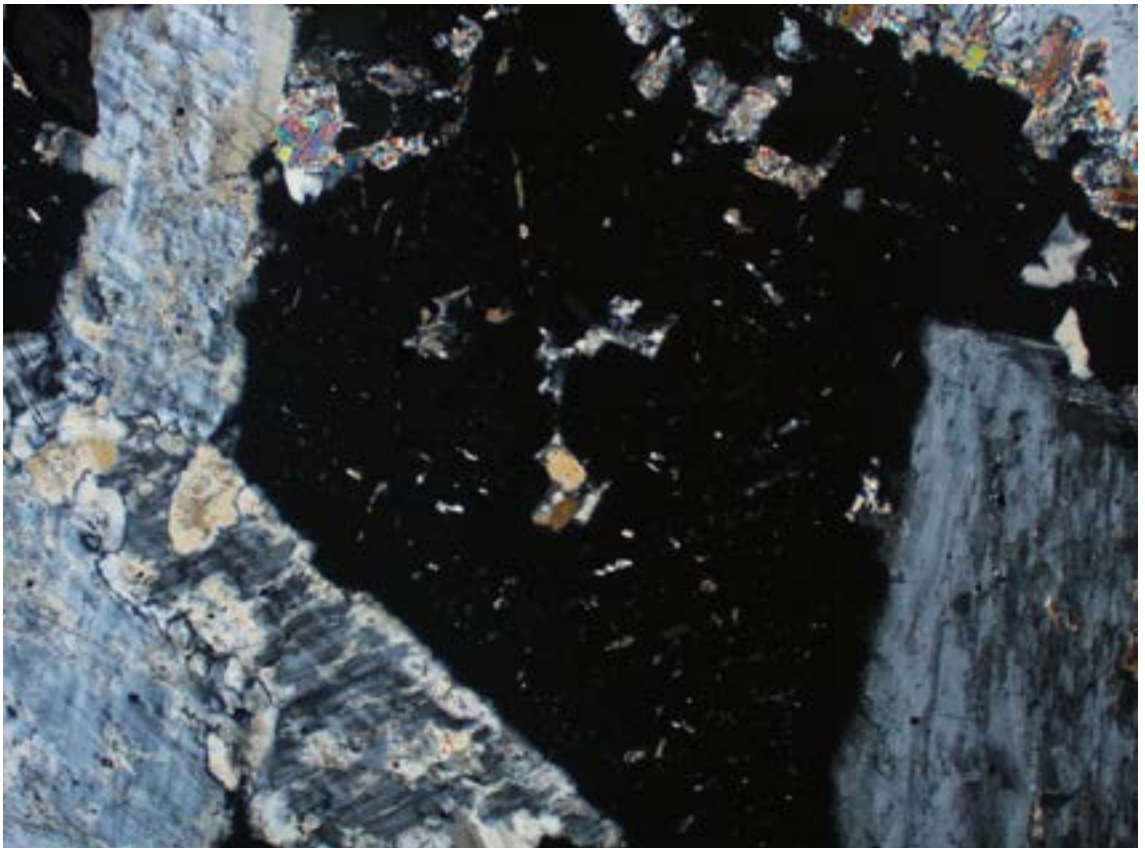
200 μm



Szintelen, anhedrális, a környező alkáliföldpátoknál kisebb relieffel rendelkező szodalit szemcse nefelinszenitben.

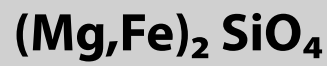
+N

200 μm



A keresztezett nikolok mellett izotróp szemcse az apró szilárdzárványok révén azonosítható.

Olivin



Ol

1N

200 μm



Színtelen, nagy relieffel rendelkező, anhedrális olivin fenokristály intergranuláris szövetű bazaltban. A gyengén fejlett, repedésszerű hasadási nyomvonalak mentén átalakulás nyomai láthatók. A mátrixot finomszemcsés plagioklász földpát és klinopiroxén alkotja.

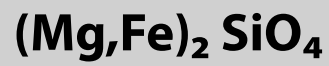
+N

200 μm



A nagy kettőstörésnek megfelelően az olivinszemcse interferencia színe harmadrendű kék-kékeszöld. Az alapanyag elsőrendű szürke interferencia színű szemcséi plagioklászok.

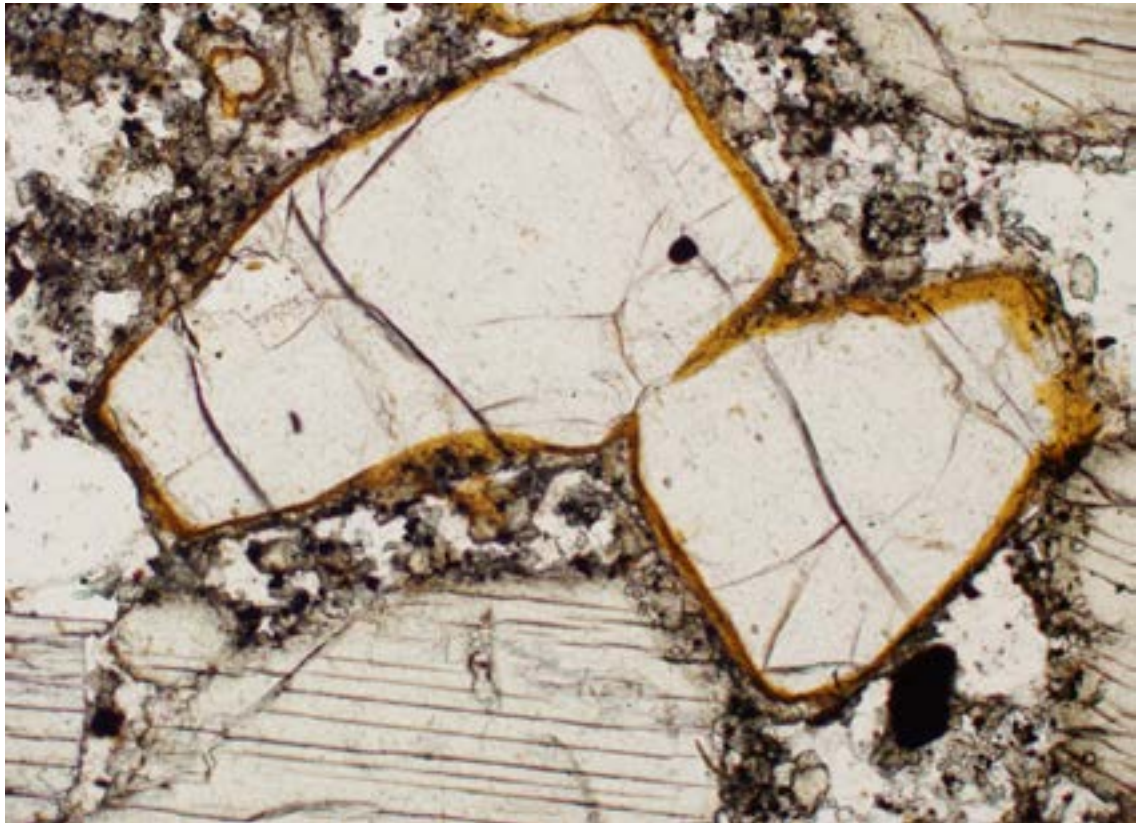
Olivin



Ol

1N

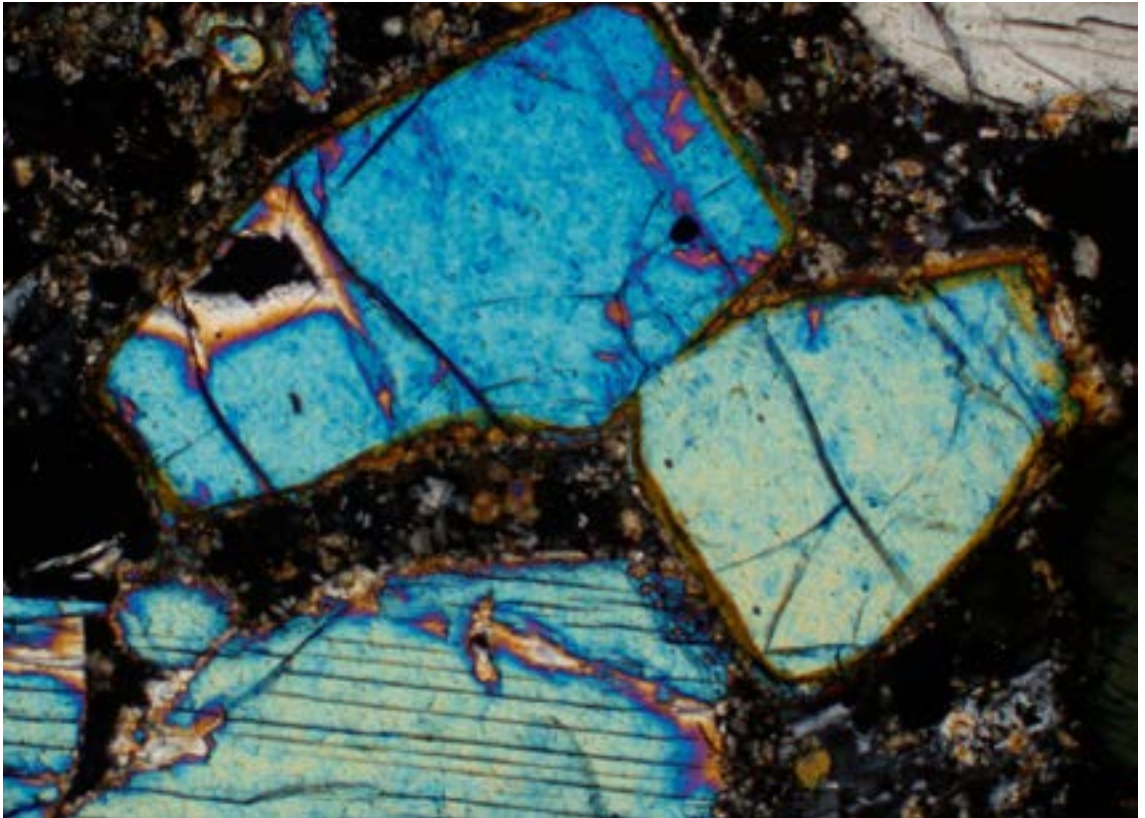
200 μm



Színtelen, nagy relieffel rendelkező, szubhedrális-anhedrális olivin fenokristályok klinopiroxén mellett. Jól megfigyelhető az olivin szemcséket átszelő szabálytalan lefutású, kis sűrűségű nyomvonalak, amelyek az ásvány rossz hasadására utalnak. Az olivin szemcsékkel szemben a piroxén kitűnő hasadása nagyon hangsúlyos. Az olivin szemcsék szegélyén jellegzetes limonit anyagú mállási szegély figyelhető meg.

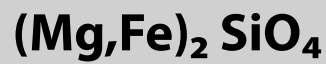
+N

200 μm



Megfigyelhető az olivin és klinopiroxén szemcsék nagyon hasonló harmadrendű kék-kékeszöld interferencia színe a képen látható metszeteken.

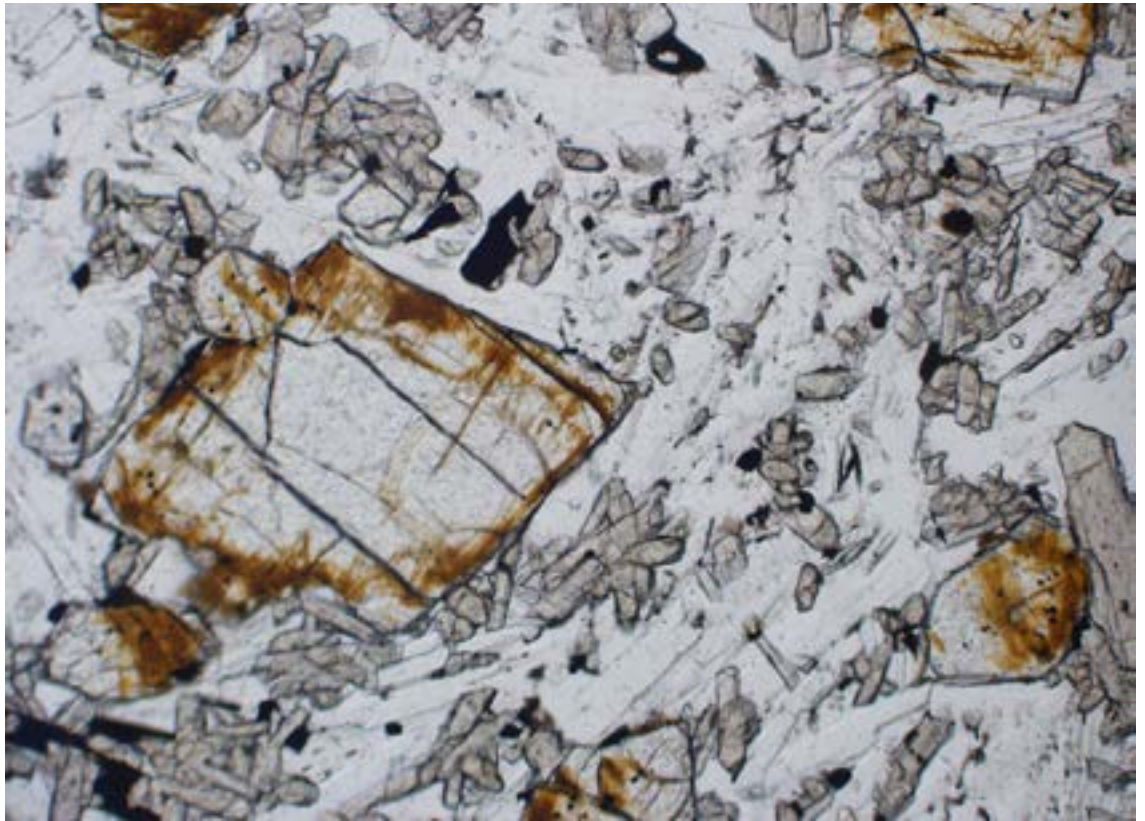
Olivin



Ol

1N

200 μm



Színtelen, nagy relieffel rendelkező, euhedrális és több kisebb anhedrális olivin fenokristály intergranuláris szövű, durvaszemcsés, holokristályos bazaltban. Jól megfigyelhető a rossz hasadás, valamint a szemcsék peremén megjelenő limonitos impregnáció. A mátrixban jól azonosíthatók a színtelen mátrixot alkotó plagioklászok. A mátrixban továbbá nagy reliffel rendelkező, halványbarna klinopiroxén szemcsék figyelhetők meg.

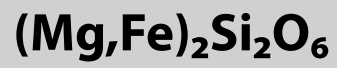
+N

200 μm



Keresztezett polarizátorok mellett jól megfigyelhető az olivin és a klinopiroxén másodrendű sárga-másodrendű kék, valamint a plagioklász földpát elsőrendű szürke interferencia színe. A plagioklász szemcséken a jellegzetes poliszintetikus ikresedés szintén jól azonosítható.

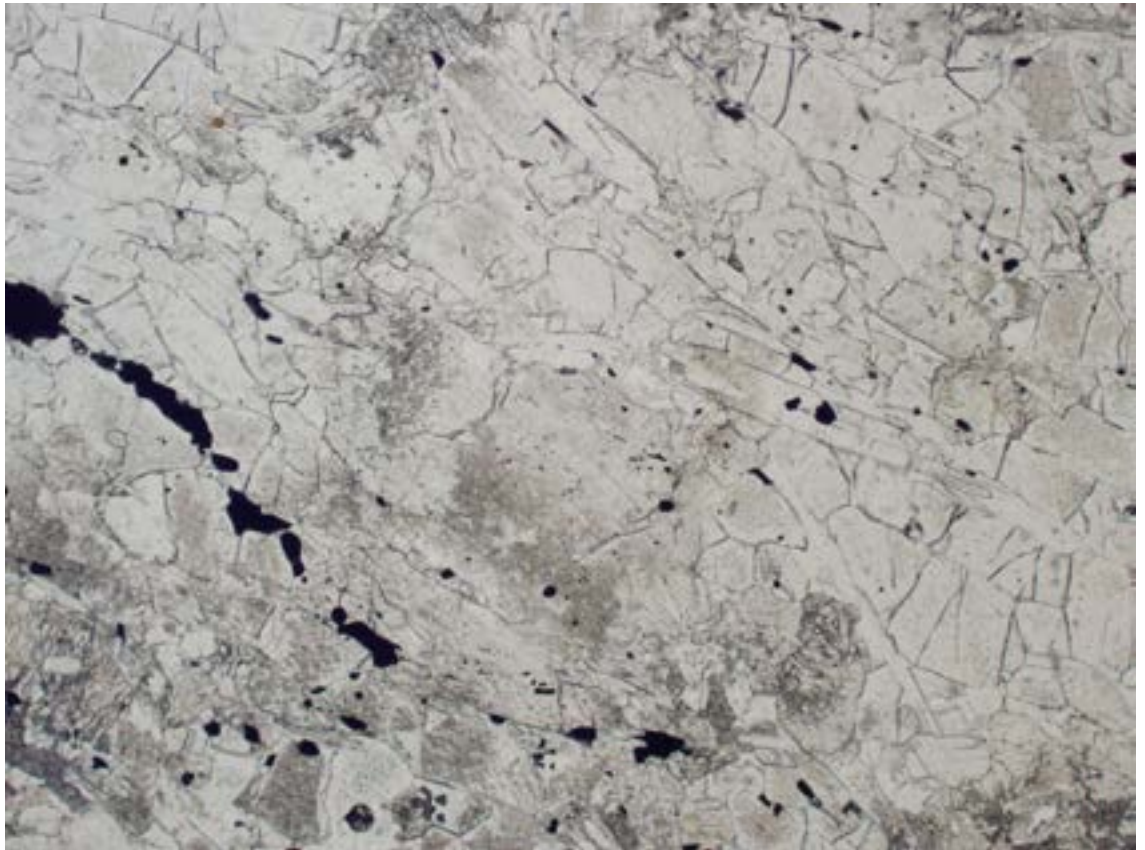
Ortopiroxén



Opx

1N

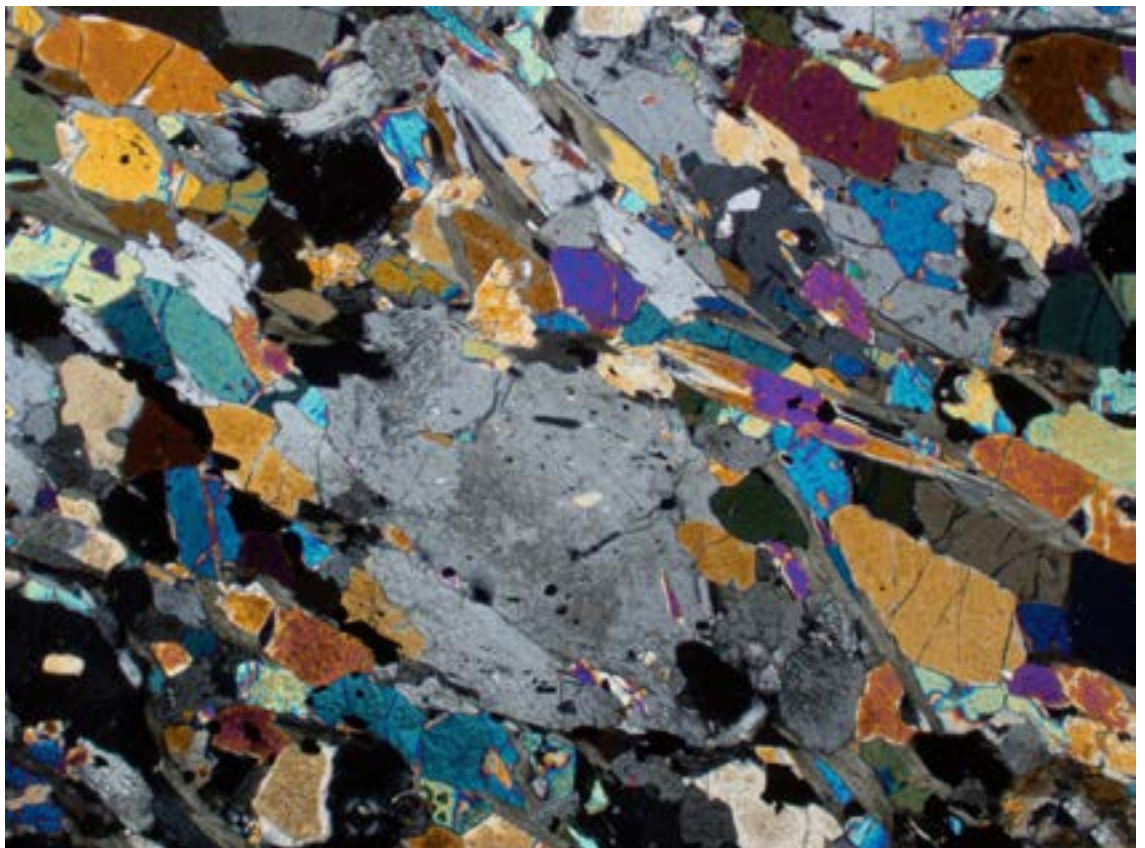
200 μm



Színtelen, nagy relieffel rendelkező, anhedrális ortopiroxén szemcsék dunitban.

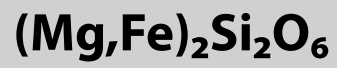
+N

200 μm



Az ortopiroxén szemcsék elsőrendű szürke interferencia színűkkel kitűnnek a magas interferencia színnel rendelkező olivin szemcsék halmazából.

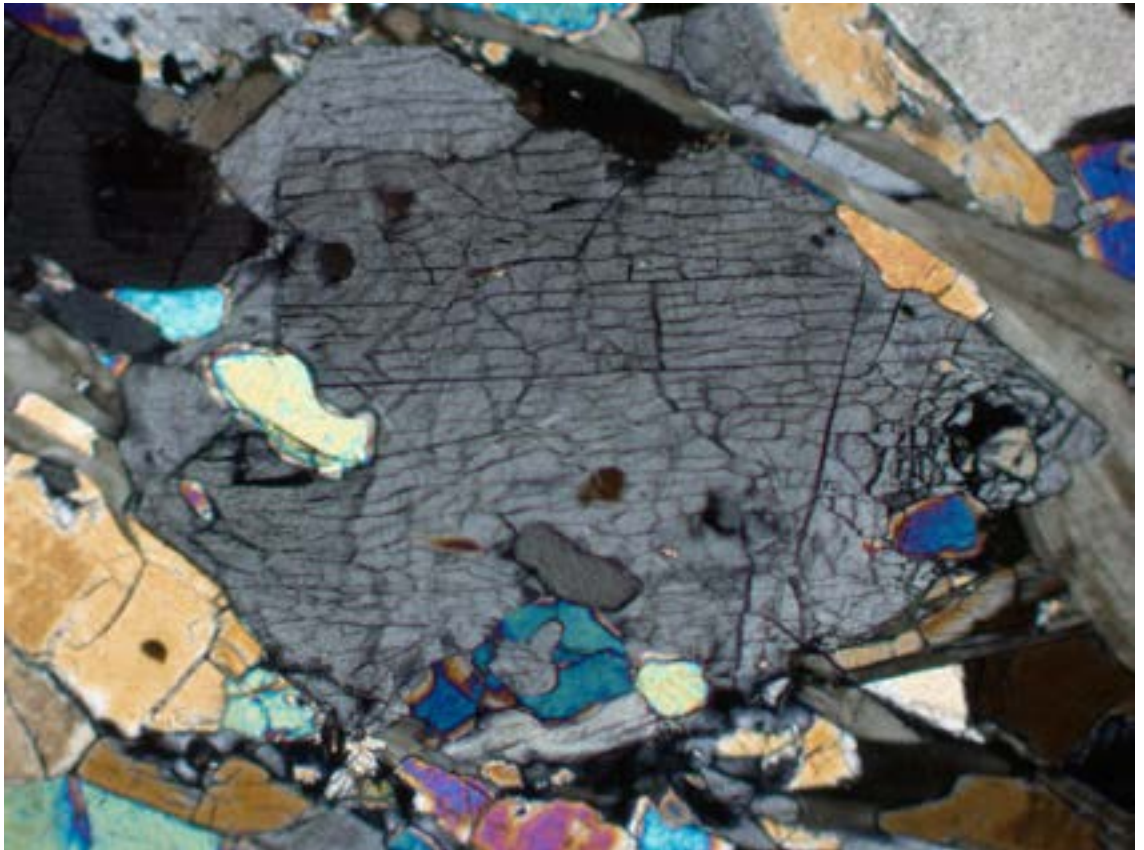
Ortopiroxén



Opx

+N

200 μm



Elsőrendű szürke interferencia színű, jó hasadást mutató ortopiroxén szemcse dunitban.

1N

200 μm



Kitűnő párhuzamos hasadást mutató ortopiroxén szemcse. Látható, hogy némiképp kisebb fénytöréssel rendelkezik, mint a körülötte található olivin szemcsék.

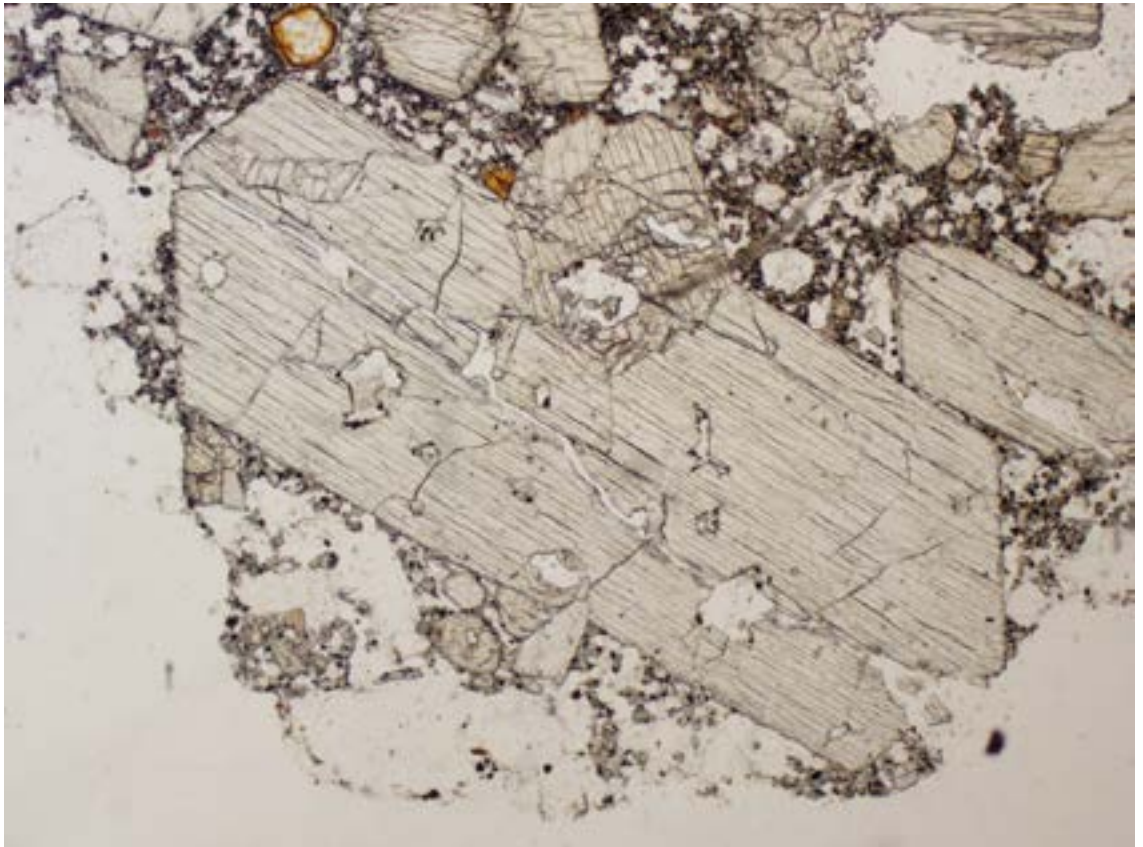
Klinopiroxén (Augit)



Aug

1N

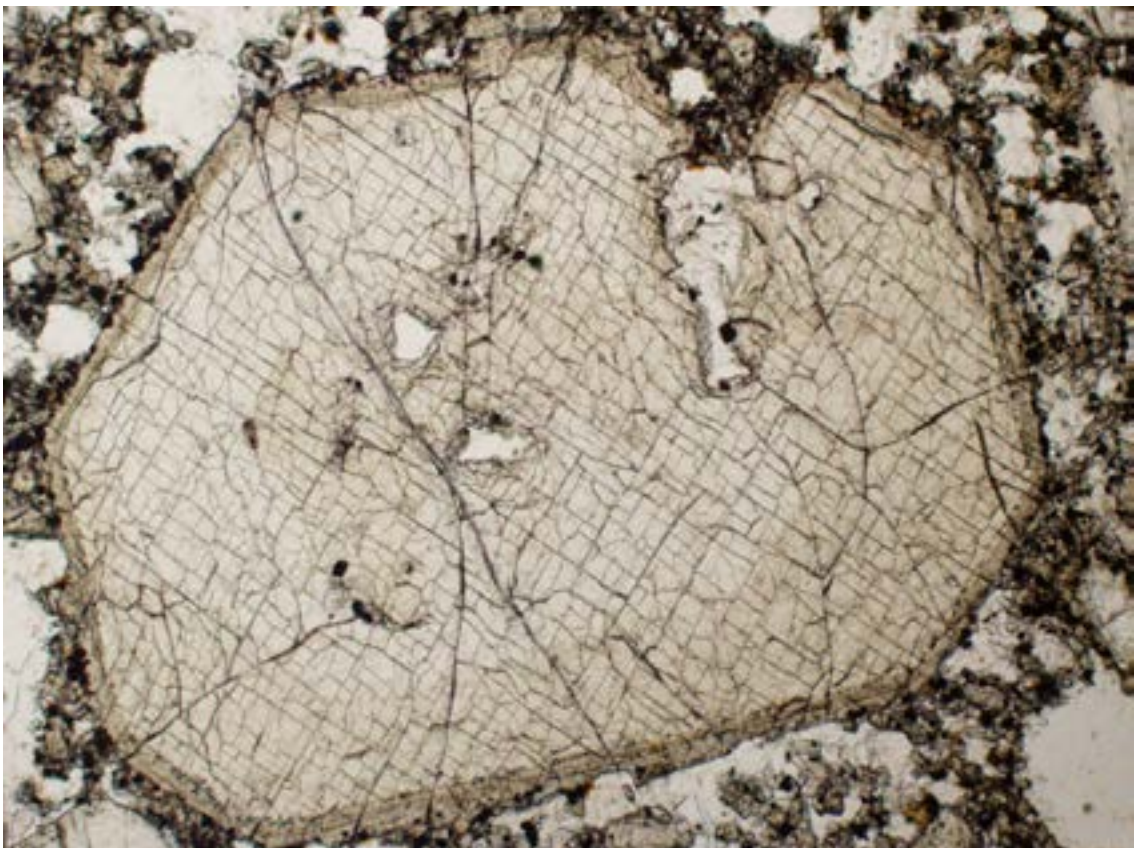
500 μm



Táblás habitusú, enyhén barnás színű, nagy relieffel rendelkező, euhedrális és több szubhedrális augit fenokristály bazanitban. A szemcsék orientációjától függően jól megfigyelhető a kitűnő egy, illetve kétirányú hasadás.

1N

500 μm



A c-tengelyre közel merőleges metszetű, euhedrális augit fenokristály, melyen jól megfigyelhető a piroxénekre jellemző $\sim 90^\circ$ -ot bezáró kétirányú hasadás.

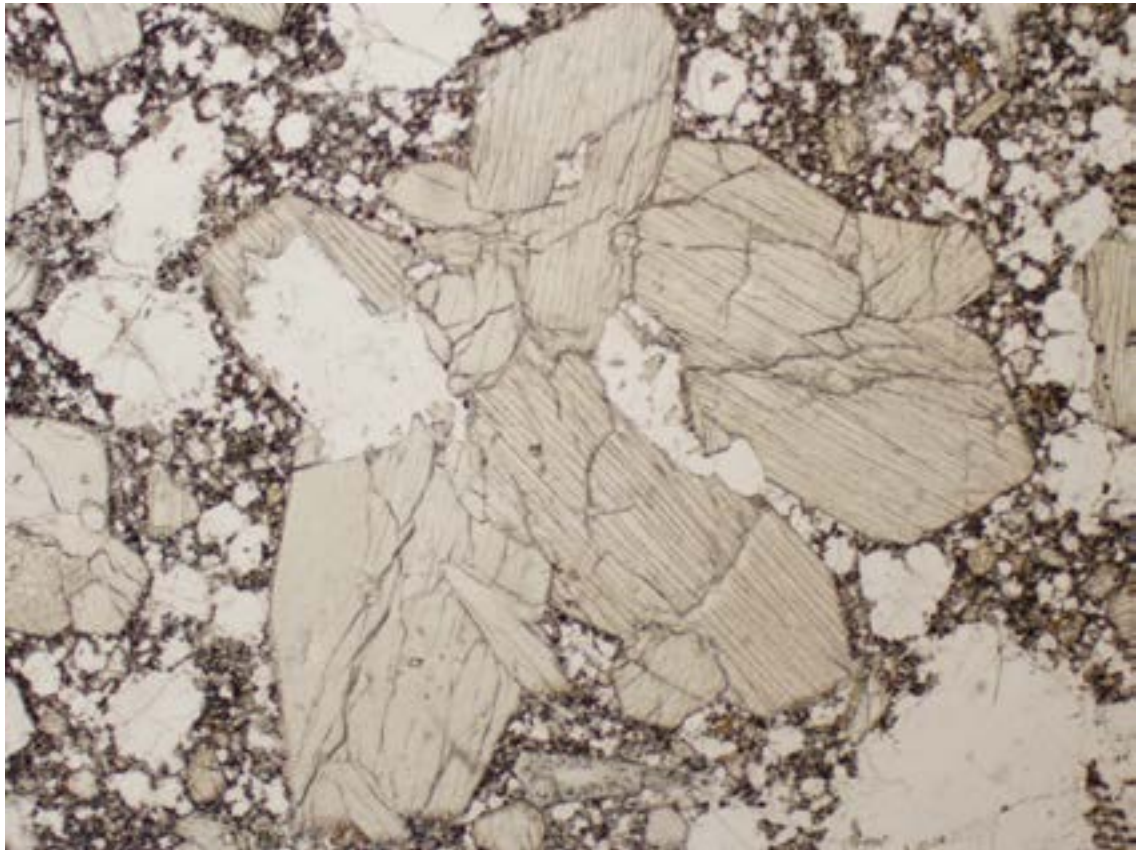
Klinopiroxén (Augit)



Aug

1N

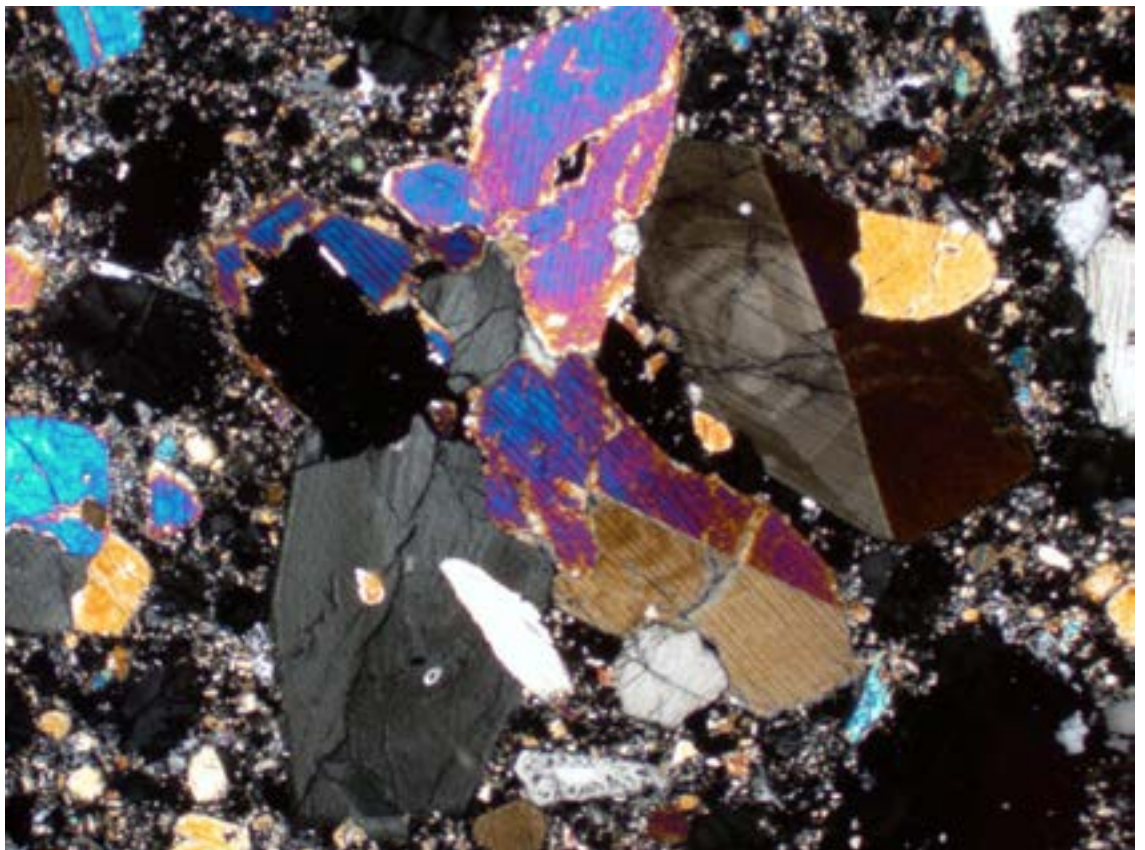
500 μm



Egymáson keresztül, halványbarna színű, szubhedrális augit fenokristályok bazanitban. A színtelen izometrikus szemcsék leucit kristályok.

+N

500 μm



Keresztezett nikollokkal jól megfigyelhető a szemcsék elsőrendű sárga–másodrendű kék interferencia színe, valamint a szemcsék gyakori kéttagú ikerlemezősége.

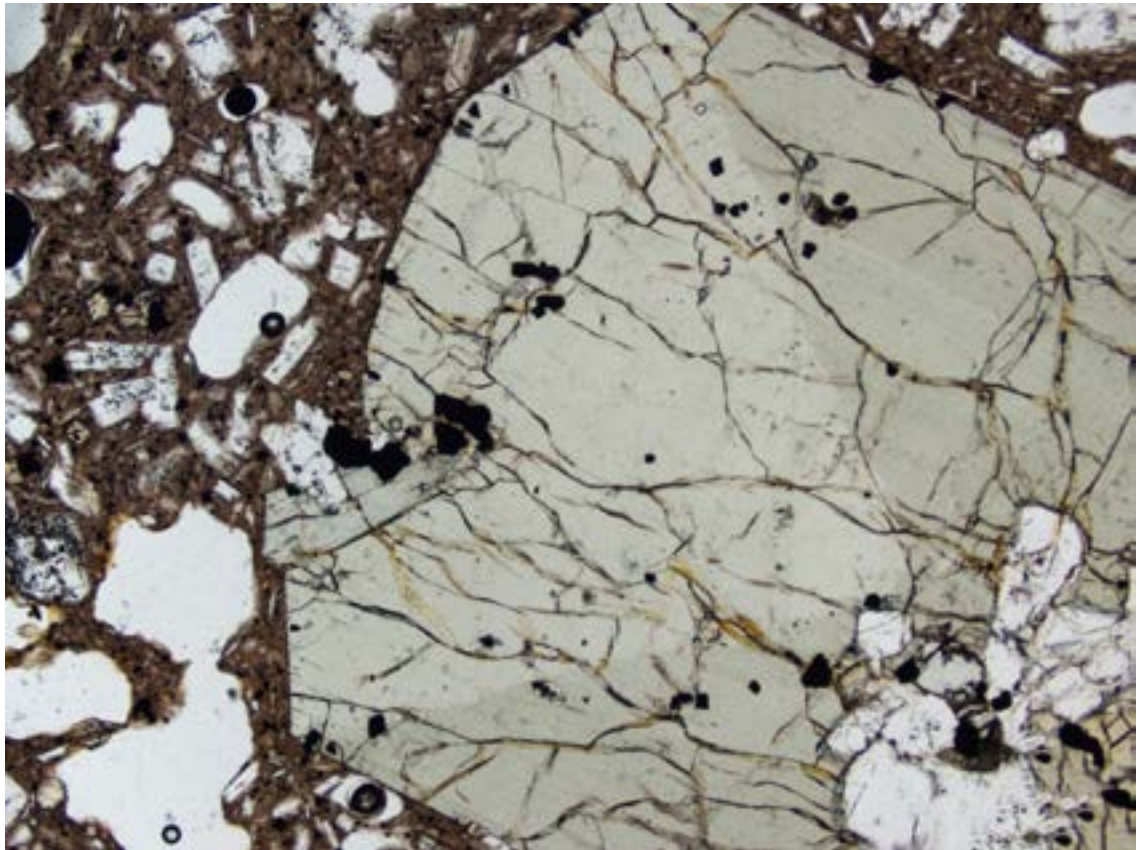
Klinopiroxén (Augit)



Aug

1N

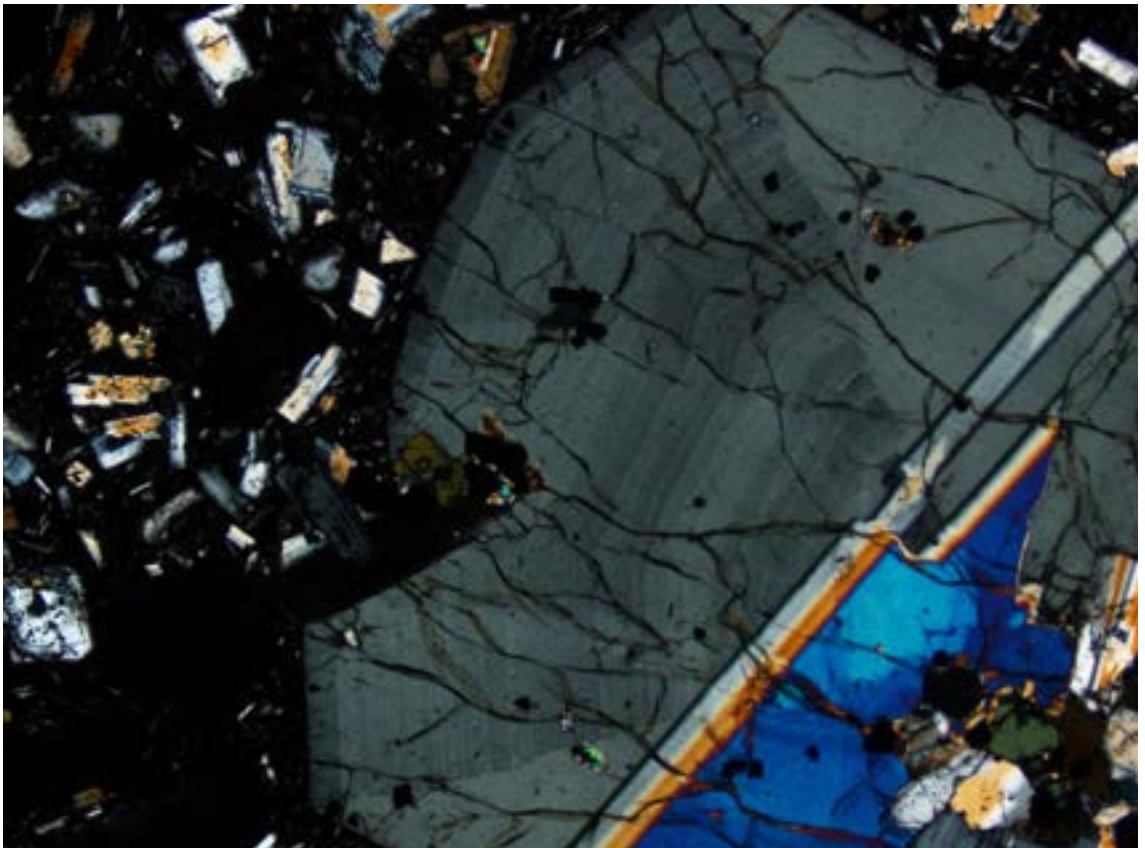
500 μm



Halvány barnászöld színű, euhedrális, zónás augit fenokristály bazaltban. A színtelen szemcsék a mátrixban plagioklász földpát kristályok, a mátrix kőzetüveg.

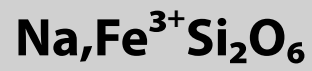
+N

500 μm



Keresztezett nikol állásnál jól látható a szemcse zónás megjelenése, valamint ikerlemezessége az eltérő interferencia színű lemezek miatt.

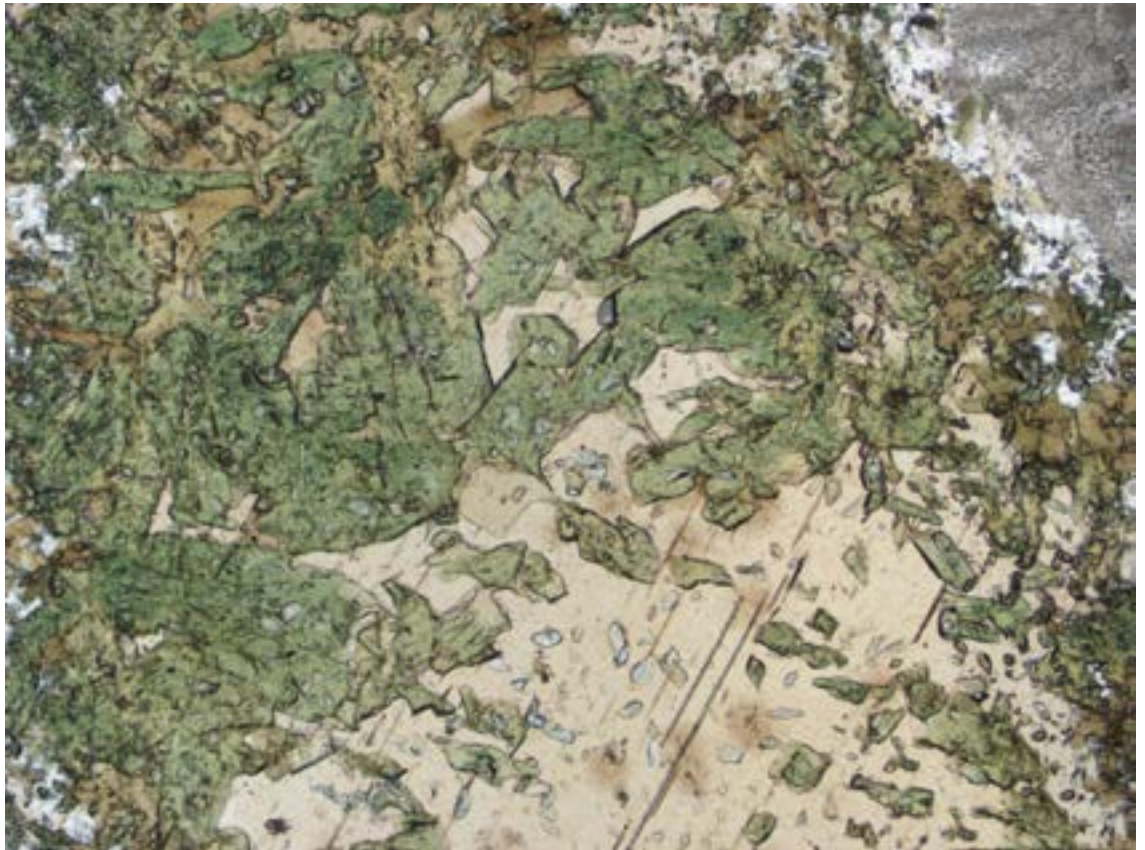
Klinopiroxén (Egirin)



Aeg

1N

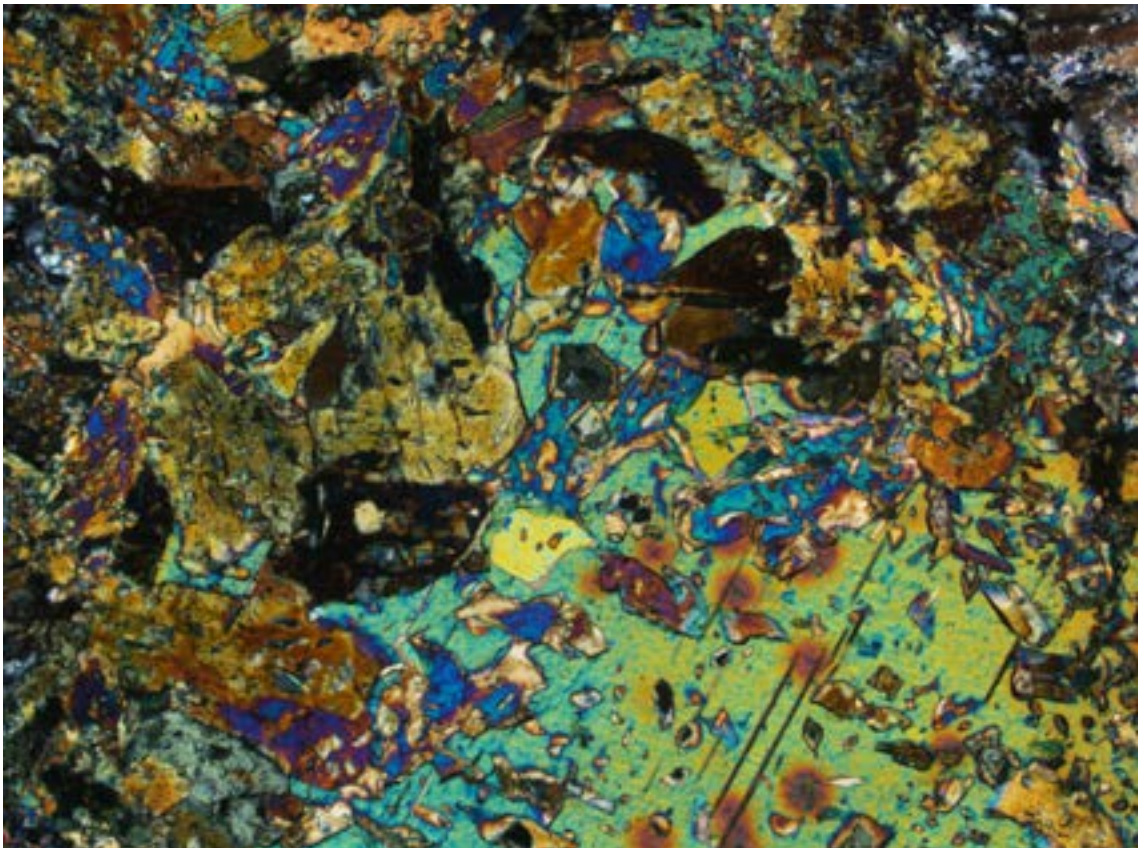
500 μm



Anhedrális, jellegzetes sötétzöld színű, éles határvonalú, nagy reliefű egirin szemcsék vörösesbarna biotit szegélyén szubvulkáni nefelinszenitben.

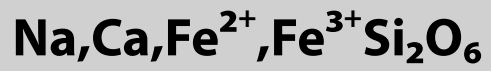
+N

500 μm



Keresztezett nikol állásnál jól látható a szemcse zónás megjelenése, valamint ikerlemezessége az eltérő interferencia színű lemezek miatt.

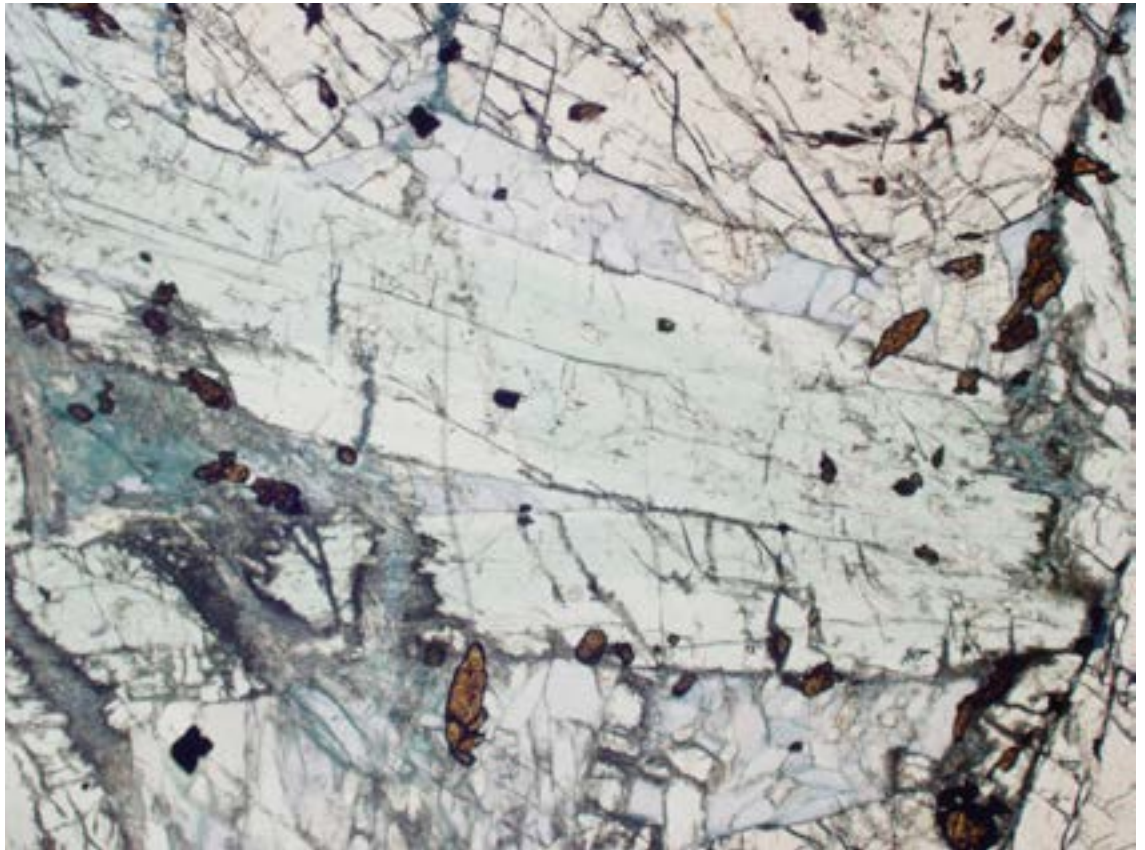
Klinopiroxén (Omfacit)



Omp

1N

500 μm



Léces habitusú, szubhedrális, halvány kékeszöld színű, nagy relieffel rendelkező omfacit szemcsék glaukofán és gránát mellett eklogitban.

+N

500 μm



Keresztezett nikol állásnál a szemcsék elsőrendű sárgásszürke–másodrendű kék interferencia színnel rendelkeznek.

Amfibol (Tremolit)



Tr

1N

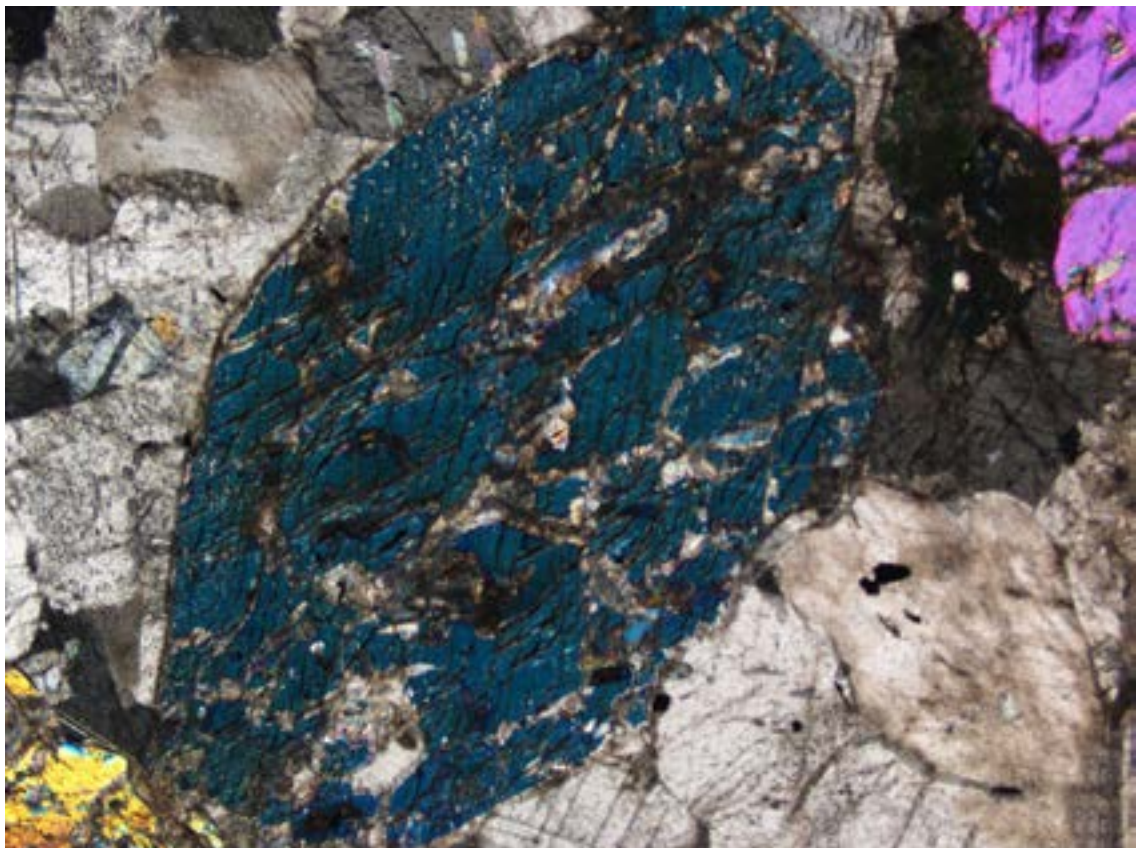
500 μm



Színtelen, nagy relieffel rendelkező, szubhedrális tremolit szemcse márványban. A szemcsében megfigyelhetők az amf.ibolokra jellemző 124°-os hasadási nyomvonalak.

+N

500 μm



A szemcse interferencia színe másodrendű kék, a képen látható további szemcséken elsőrendű sárga és érzékeny ibolya szín egyaránt látható.

Amfibol (Tremolit)



Tr

1N

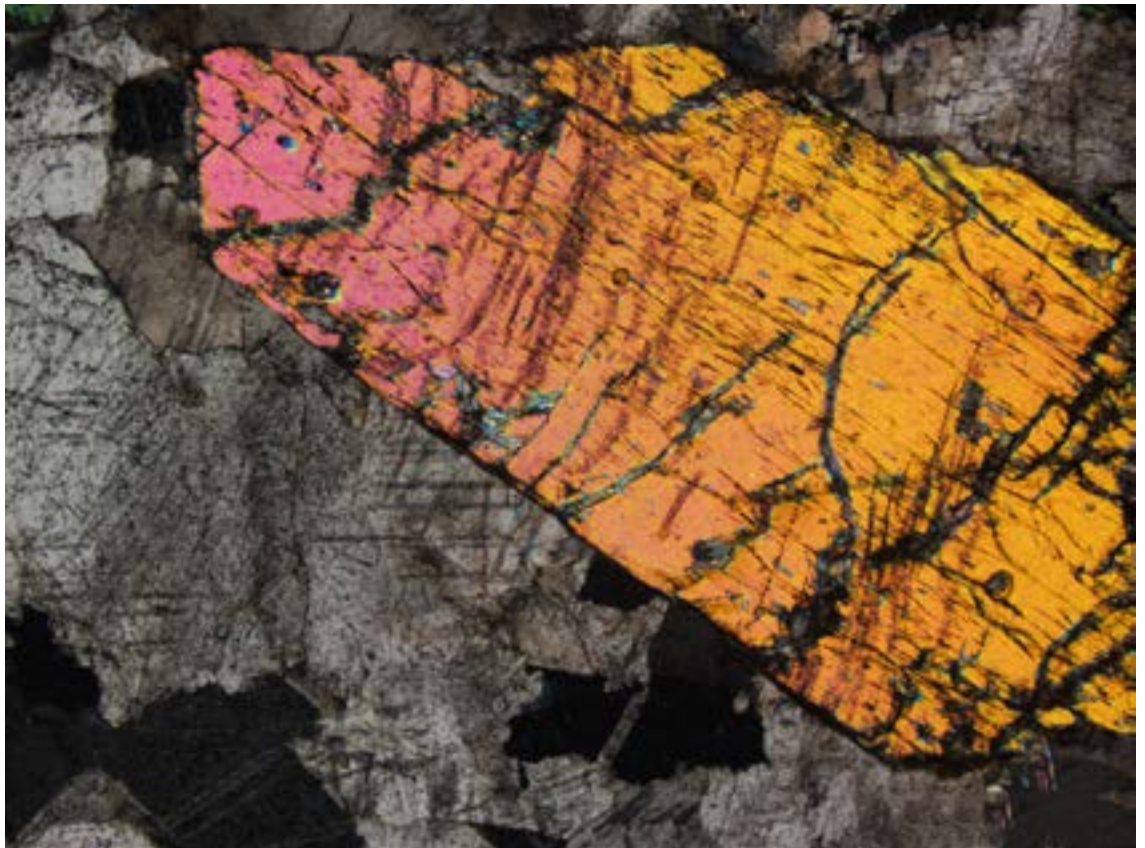
500 μm



Színtelen, táblás alakú, szubhedrális tremolit szemcse márványban. A szemcsén kitűnő párhuzamos hasadás figyelhető meg a sűrű hasadási nyomvonalak formájában.

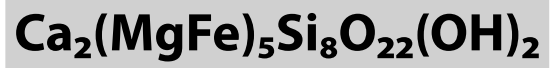
+N

500 μm



A szemcse interferencia színe elsőrendű sárga-érzékeny ibolya, mely markánsan elüt a szemcsével érintkező található karbonát negyedrendű interferencia színétől.

Amfibol (Aktinolit)



Act

1N

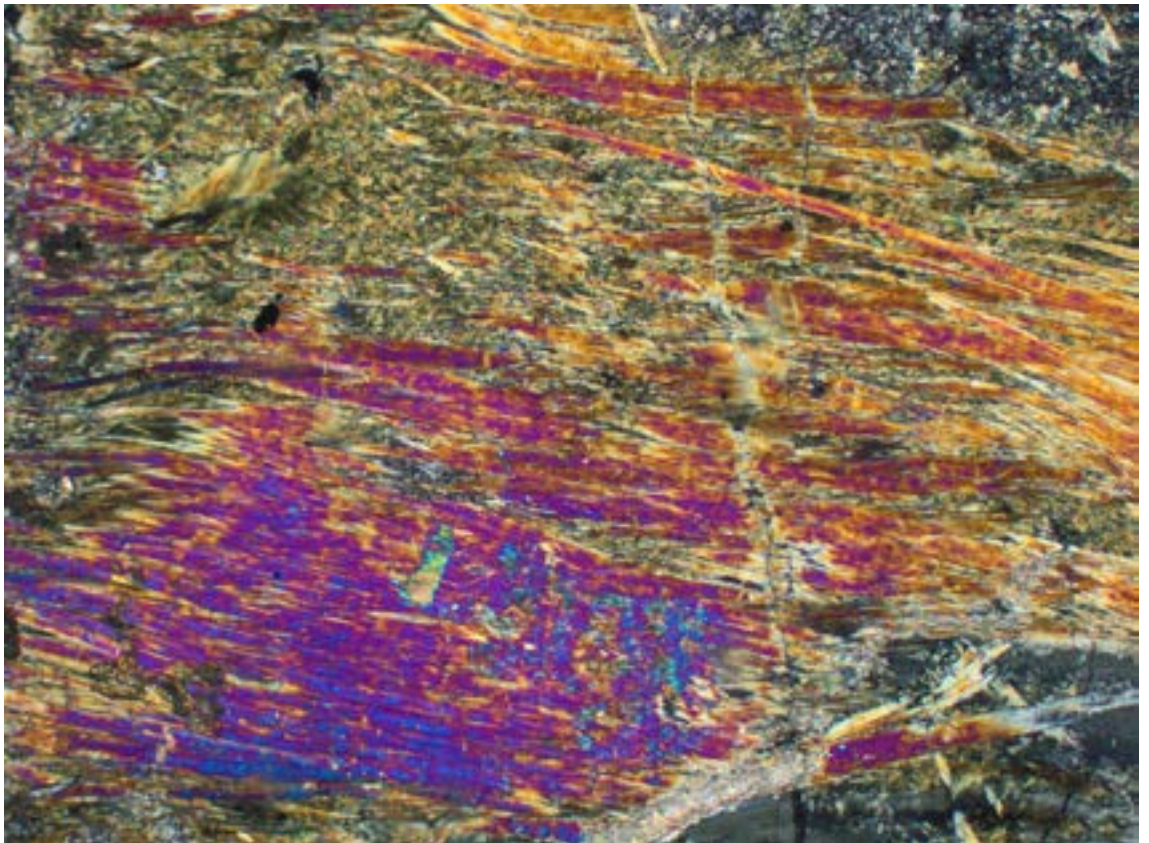
100 μm



Halványzöld, szálás–léces szubhedrális, nagy relieffel rendelkező aktinolit szemcsék metagabbroban.

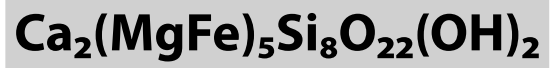
+N

100 μm



A szemcsék interferencia színe az aktinolitra jellemző elsőrendű sárga–másodrendű kék.

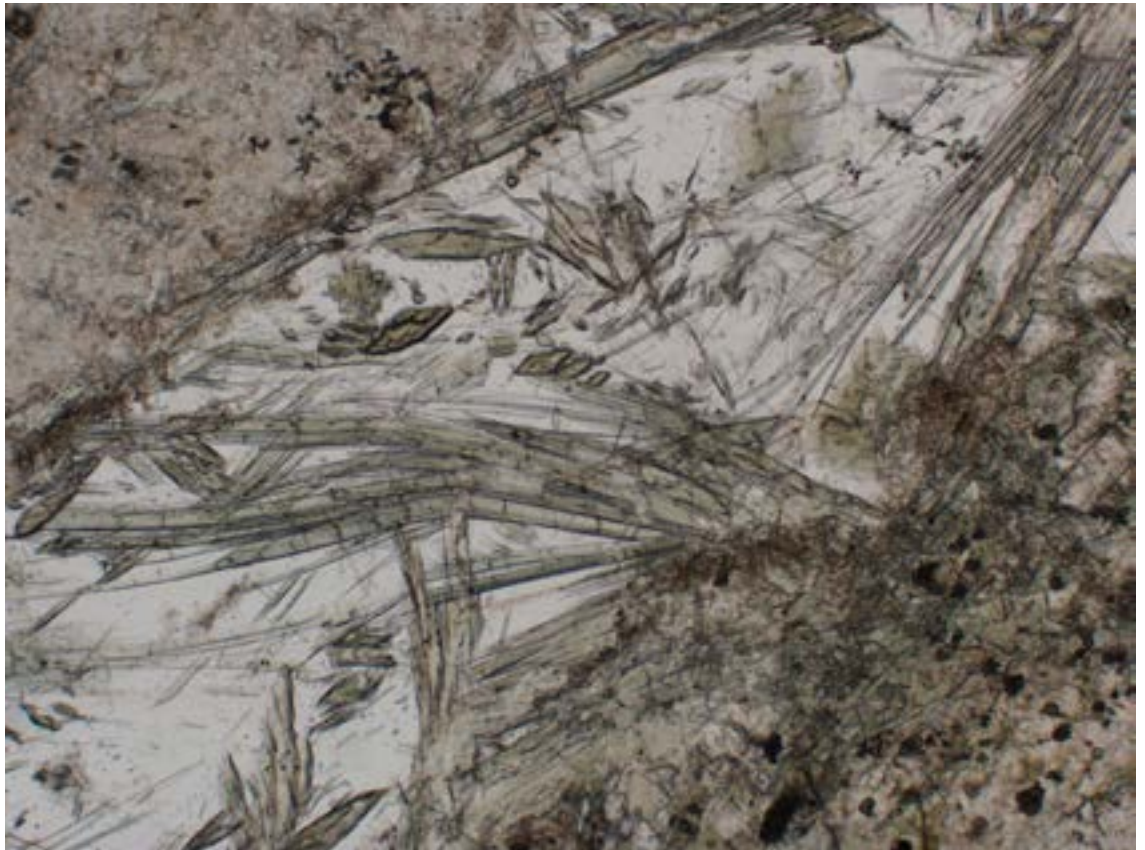
Amfibol (Aktinolit)



Act

1N

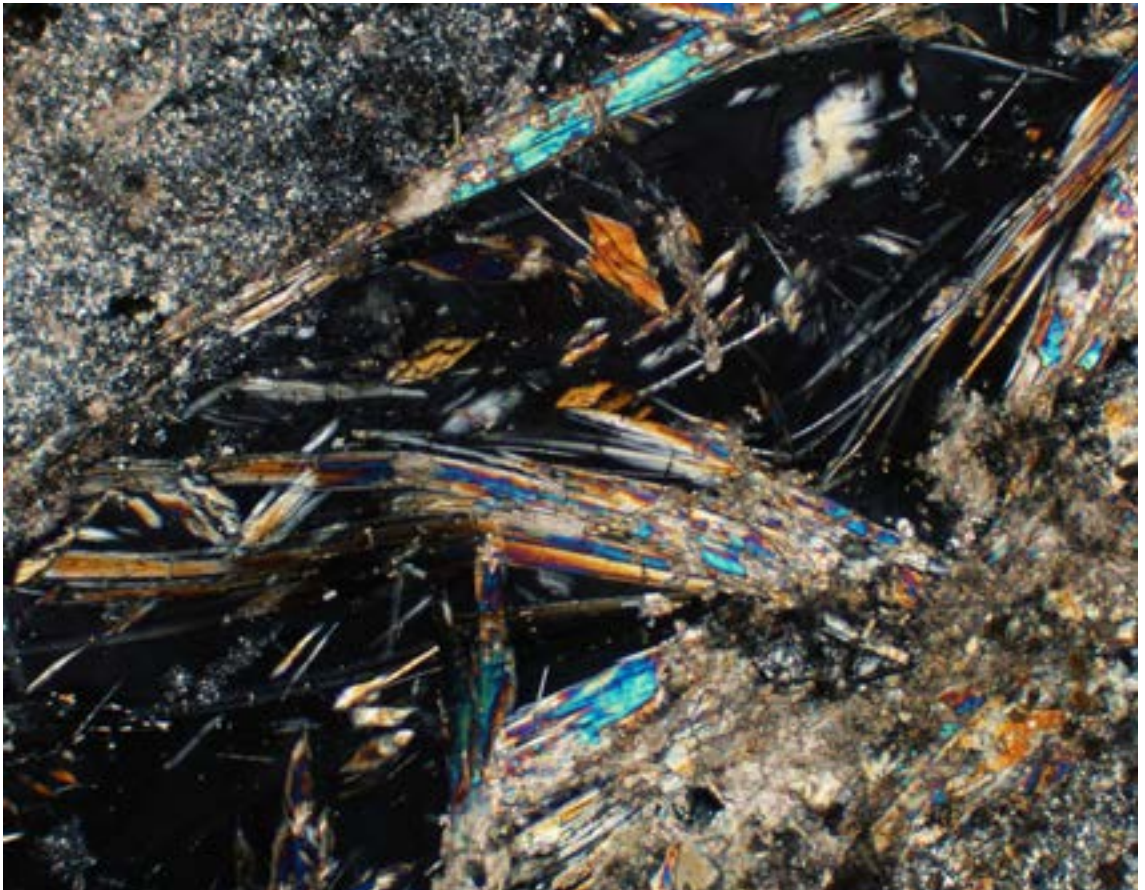
100 μm



Halványzöld pleokroos, léces megjelenésű aktinolit szemcsék metagabbró érkitöltésében.

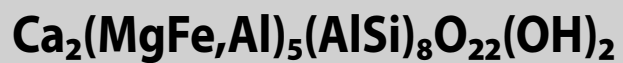
+N

100 μm



A szemcsék interferencia színe elsőrendű sárga–másodrendű kék.

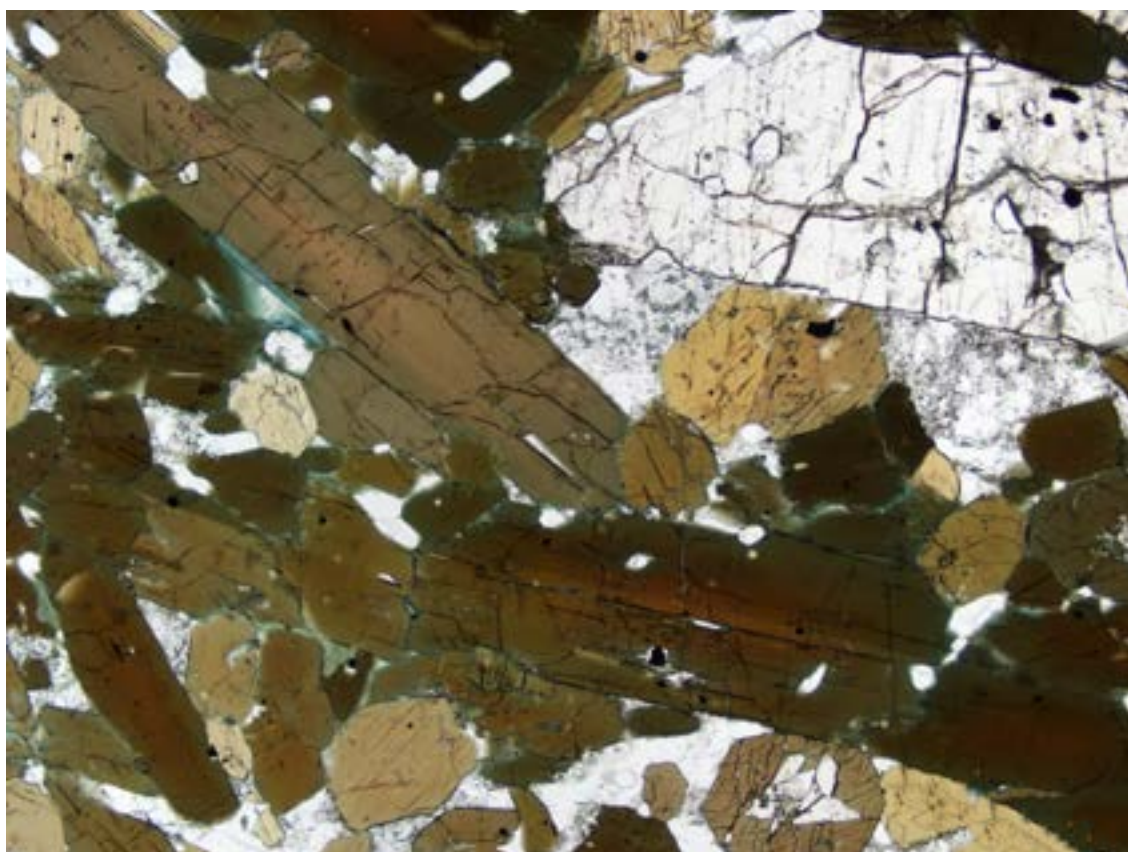
Amfibol (Hornblende)



Hbl

1N

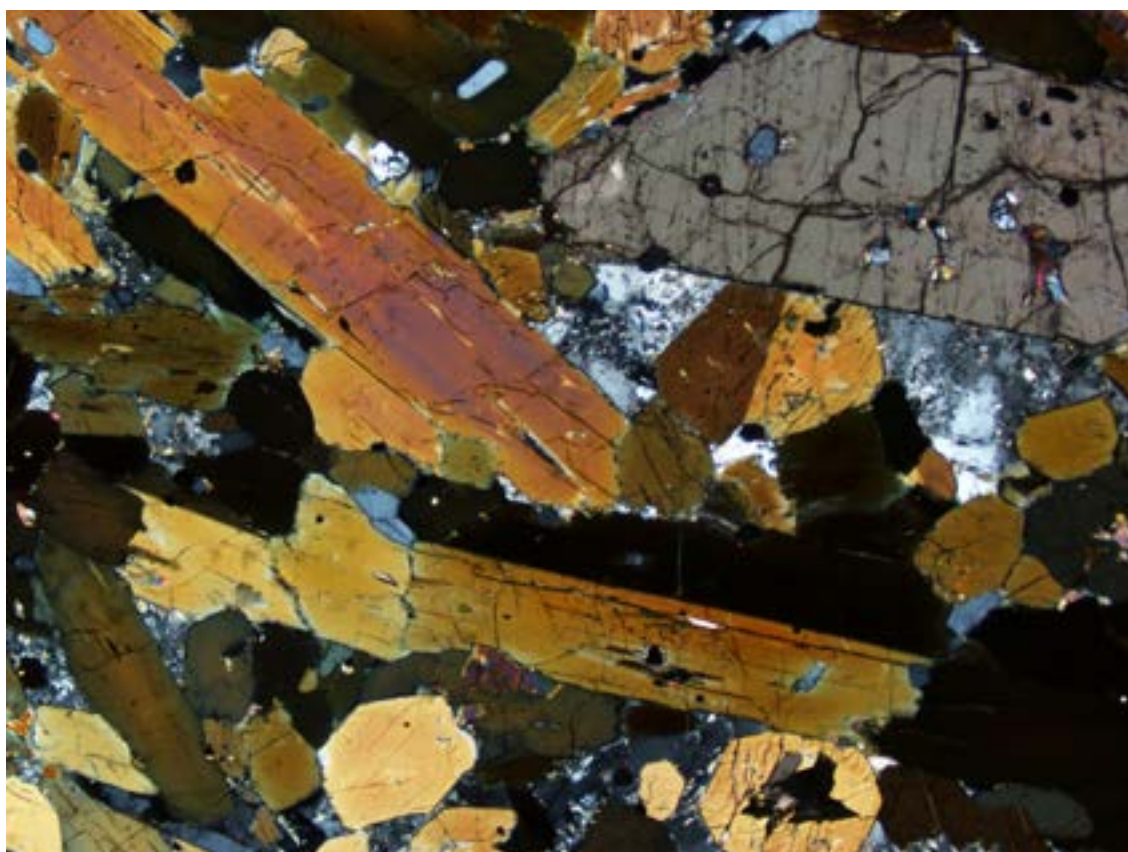
500 μm



Megnyúlt, léces zöldesbarna–világosbarna, erősen pleokroos, szubhedrális hornblende szemcsék hornblenditben. Néhány izometrikus metszeten jól megfigyelhető az amfibolokra jellemző kétirányú hasadás.

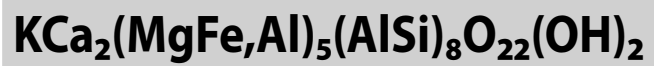
+N

500 μm



A szemcsék interferencia színe elsőrendű sárga–másodrendű kék.

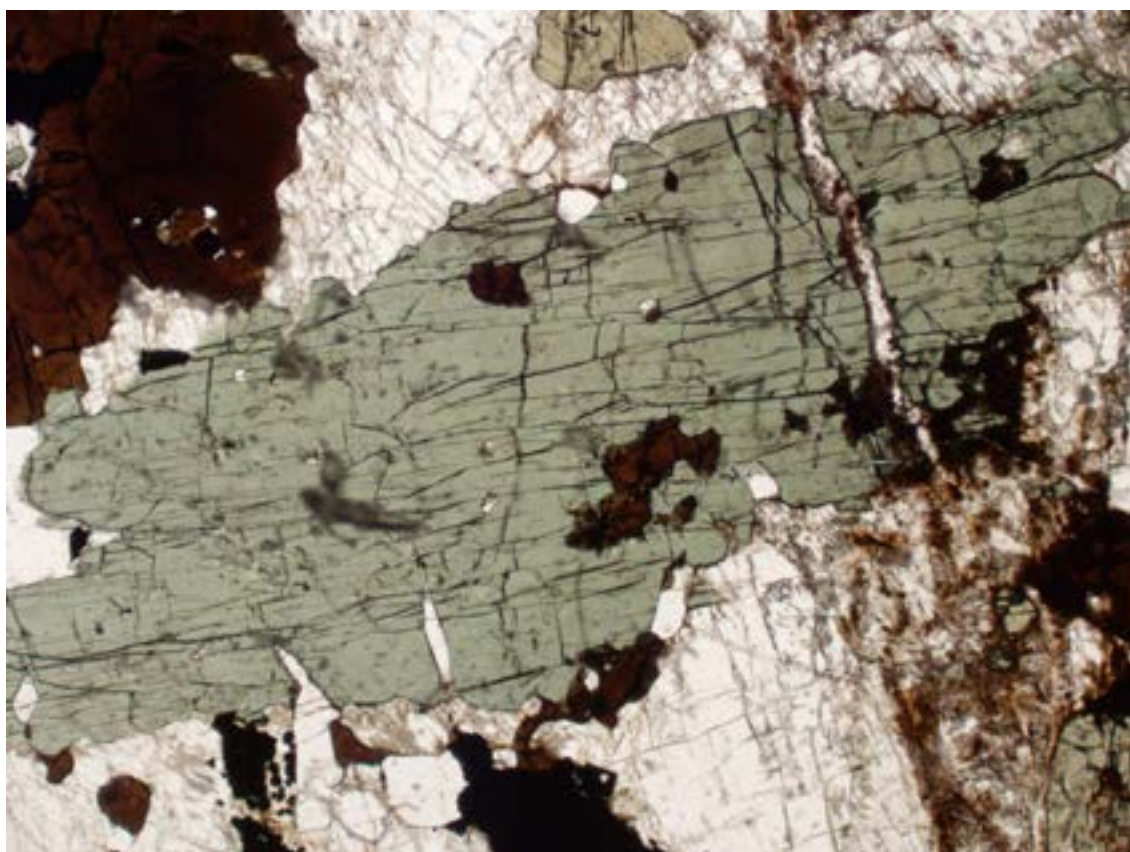
Amfibol (Hornblende)



Hbl

1N

500 μm



Táblás megjelenésű, barnászöld, anhedrális hornblende szemcse jól fejlett hasadási nyomvonalakkal.

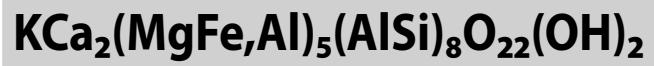
+N

500 μm



A szemcse interferencia színét erősen elfedi zöld sajátzíne.

Amfibol (Hornblende)



Hbl

1N

500 μm



Szubhedrális–anhedrális, kékeszöld–barnászöld színű hornblende szemcsék biotit tartalmú amfibolitban. Jól megfigyelhető az amfibolszemcsék biotitához viszonyított nagyobb fénytörése.

+N

500 μm



Keresztezett nikolok mellett jól látható a hornblende szemcsék biotitnál kisebb kettőstörése és a szemcsék felszínének egységes kioltása. Ezzel szemben a biotit hullámos és foltos kioltással rendelkezik.

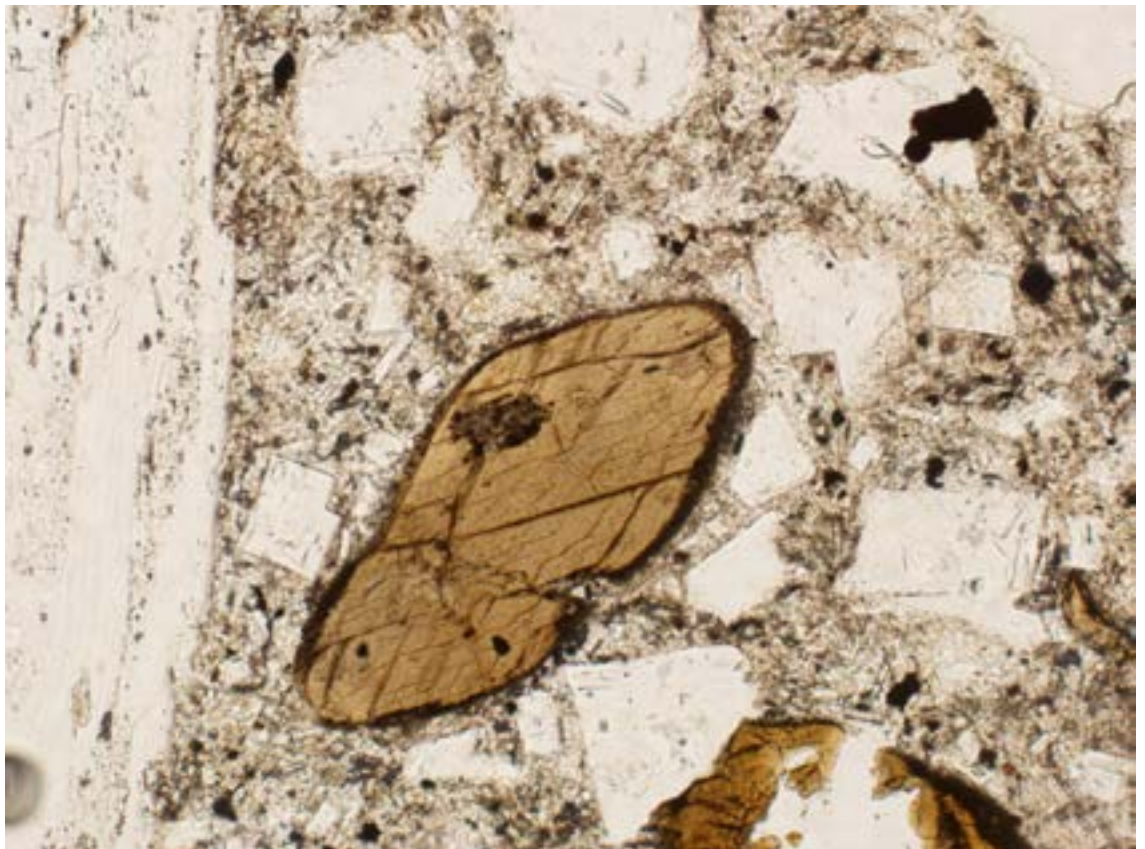
Amfibol (Oxihornblende)



Hbl

1N

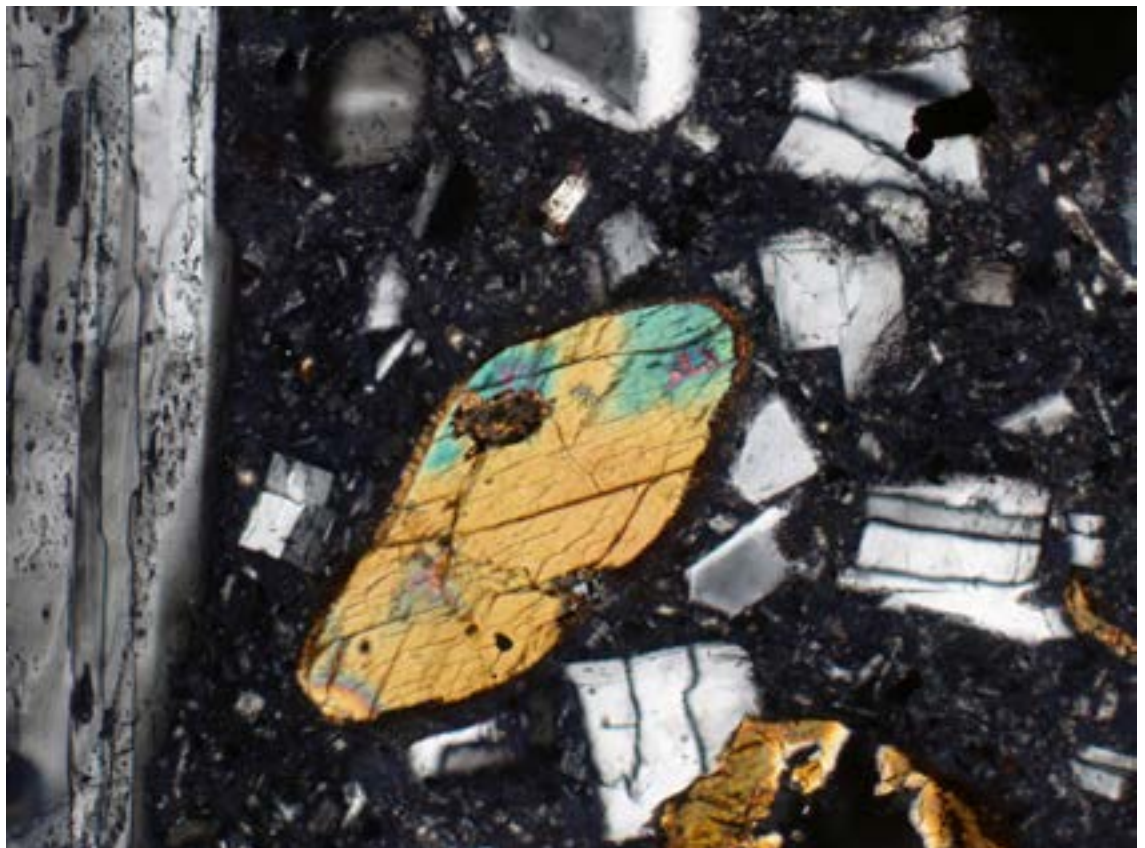
100 μm



Barna színű, anhedrális oxihornblende szemcse andezitben. Megfigyelhető az amfibolokra jellemző kétirányú hasadás, valamint a nagy relief.

+N

100 μm



A szemcse elsőrendű sárga interferencia színét nagyon erősen átfedi a saját színe. A környező szintelen, elsőrendű szürke interferencia színnel rendelkező ásvány plagioklász.

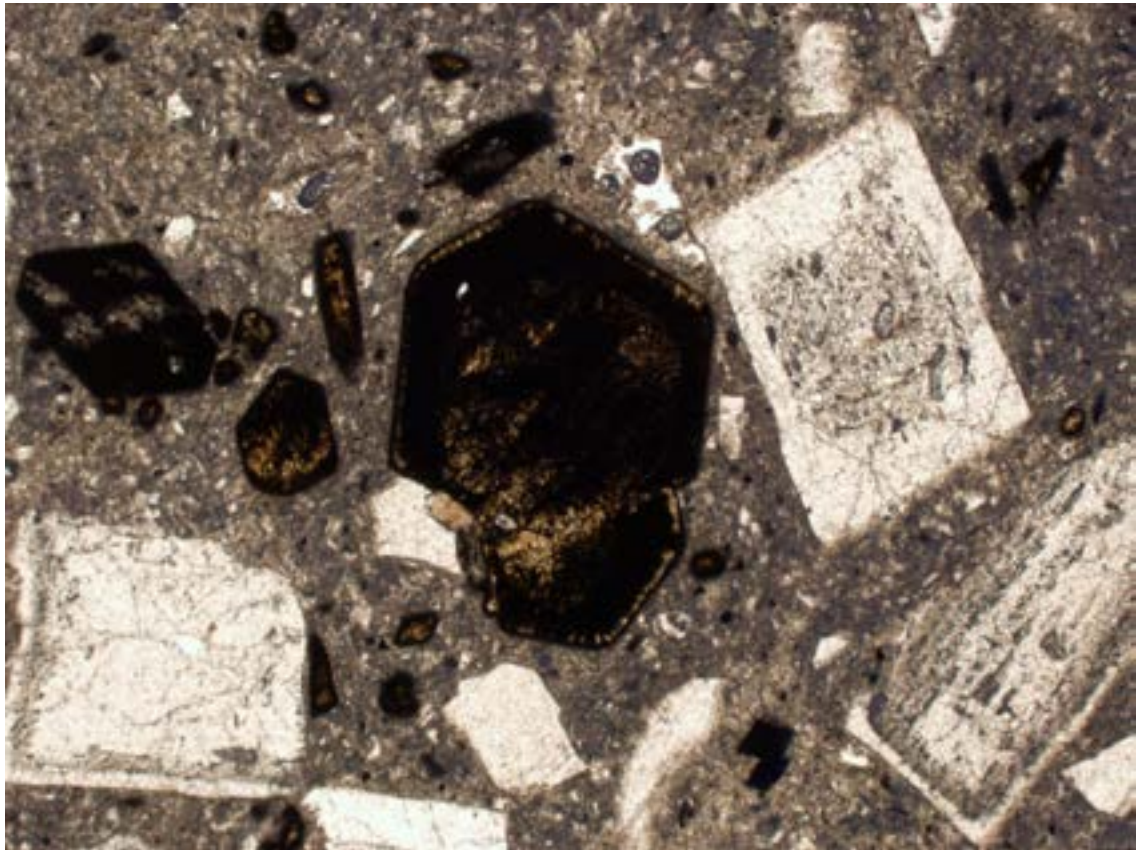
Amfibol (Oxihornblende)



Hbl

1N

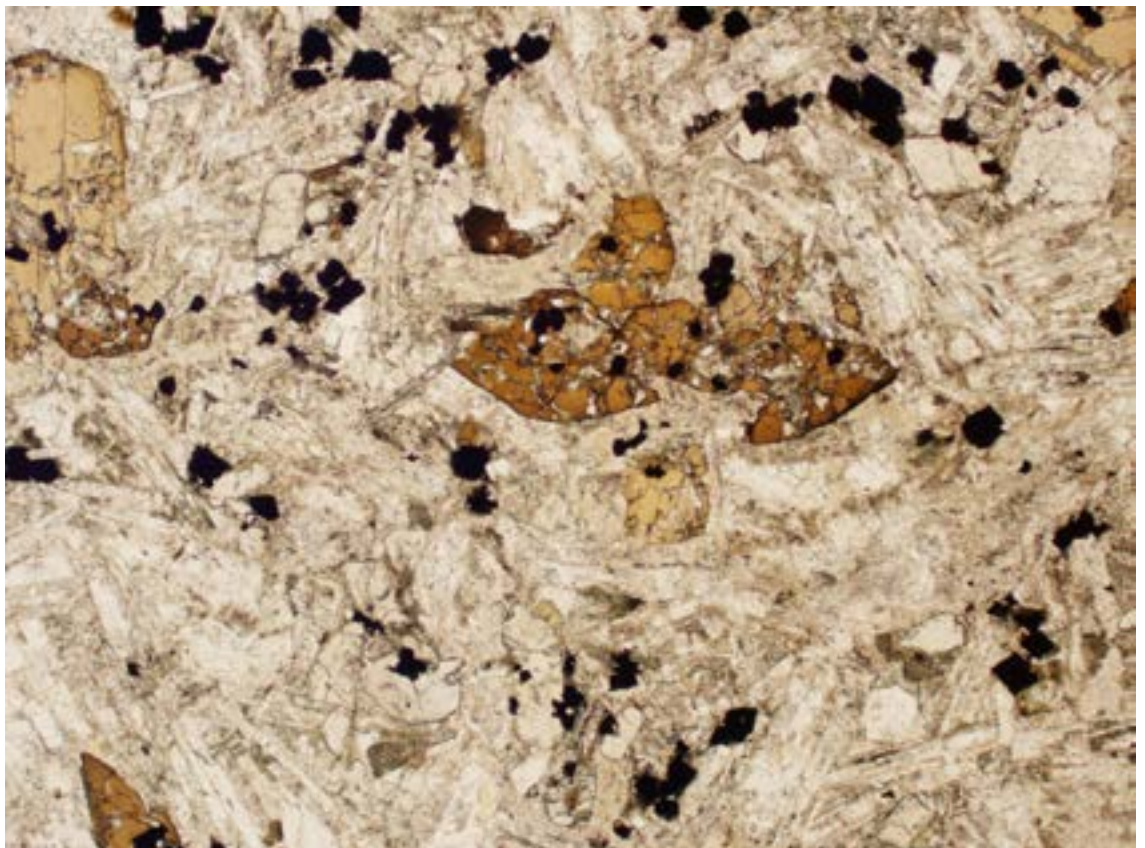
100 μm



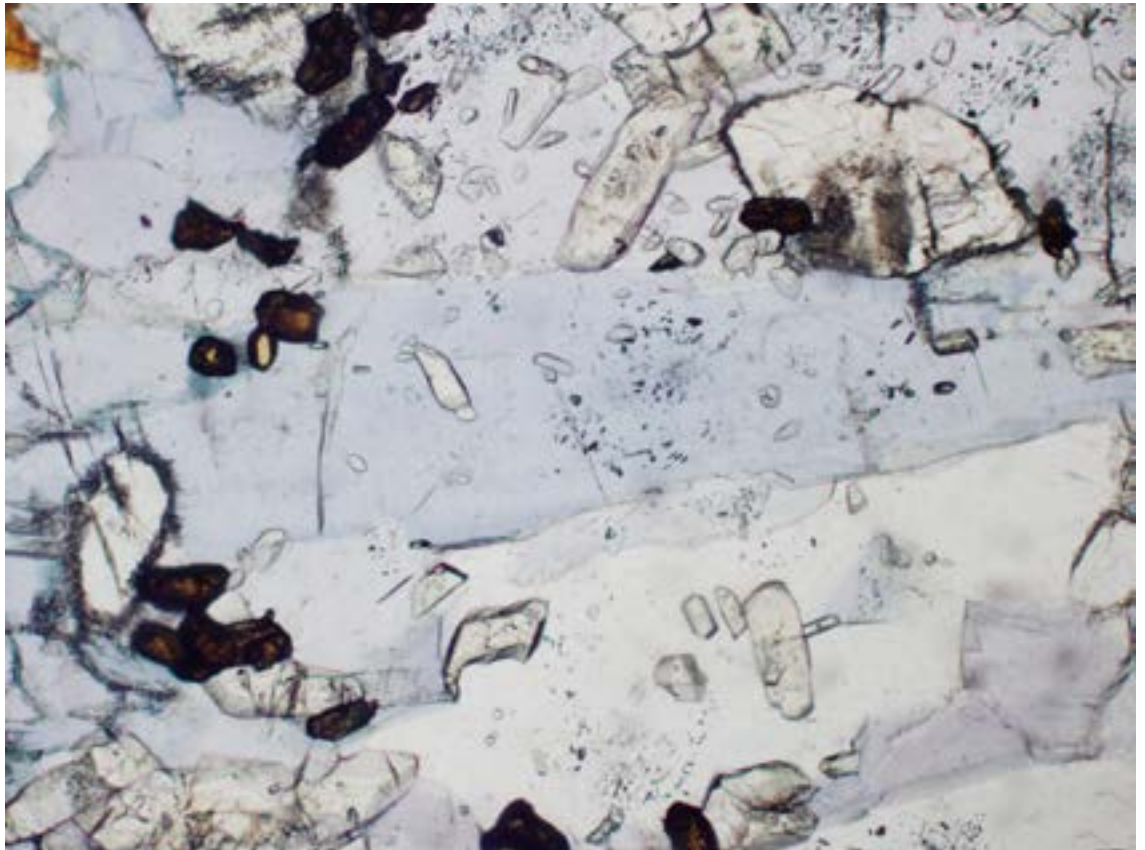
Erősen opacitos (opakosodott), sötétbarna euhedrális oxihornblende és színtelen plagioklász fenokristályok andezitben.

+N

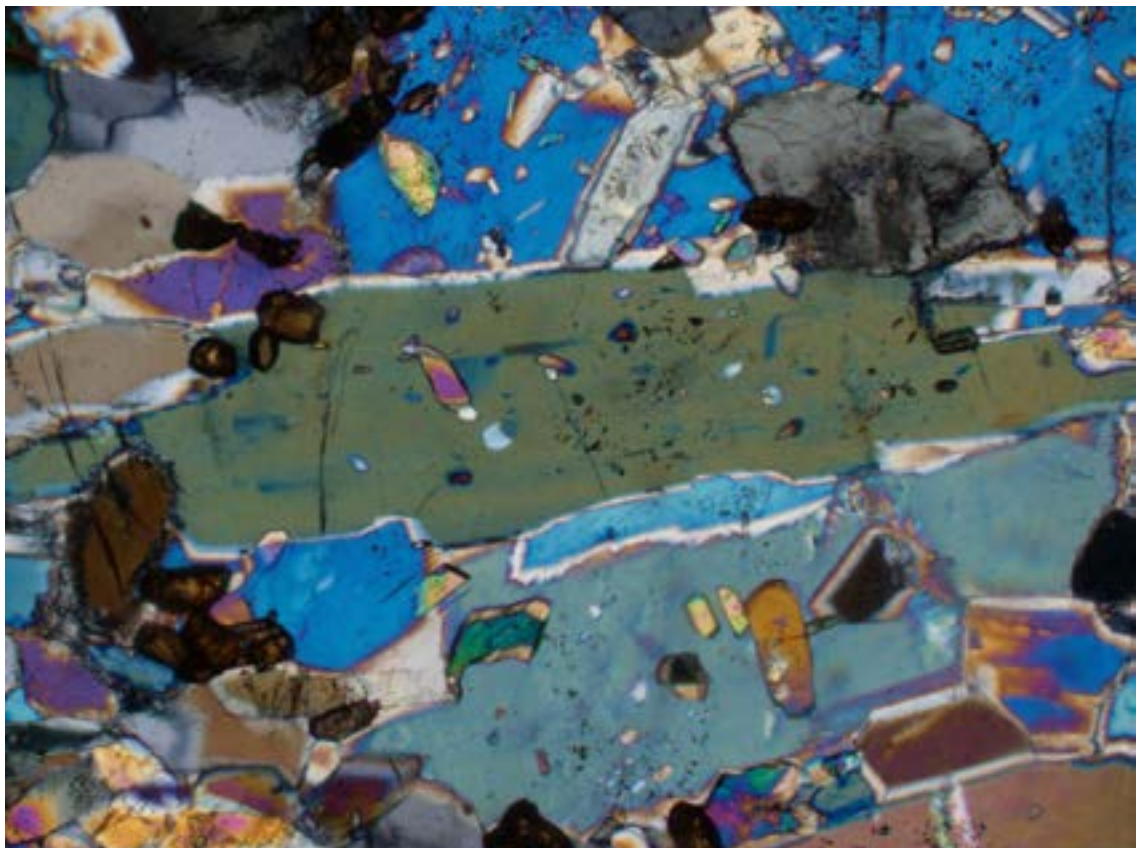
100 μm



Üde, világosbarna, szubhedrális oxihornblende szemcsék plagioklász lécek és enyhén színezett klinopiroxén szemcsék mellett andezitben.

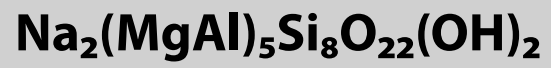
1N200 μm 

Kék–halvány sárgászöld pleokroizmussal rendelkező, kis–közepes reliefű anhedrális glaukofán szemcsék eklogitban. A többi amfibolhoz képest sokkal kisebb relief és fénytörés jól megfigyelhető a szemcséken.

+N200 μm 

A szemcsék interferencia színe elsőrendű sárgától–másodrendű kékig terjed, mely tartomány jellemző az ásványra.

Amfibol (Glaukofán)



Gln

1N

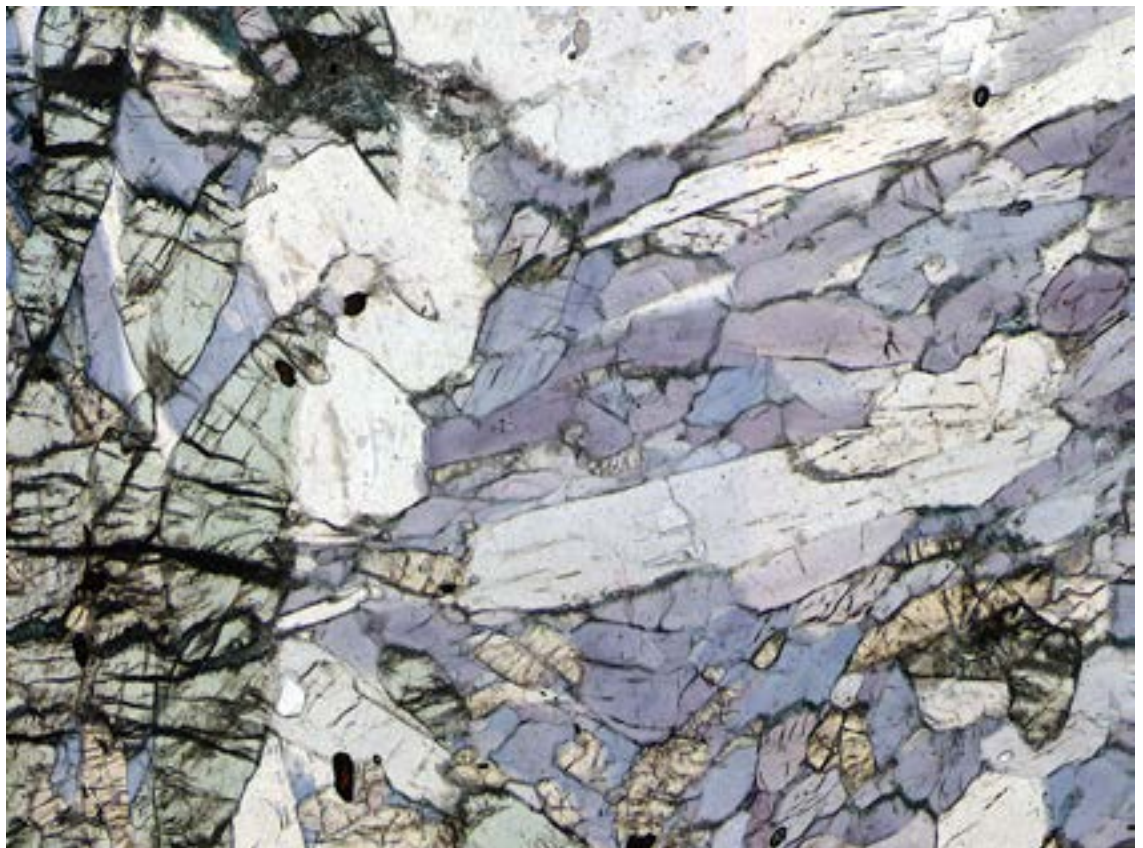
1000 μm



Halvány sárgászöld–kék sajátzínű glaukofán szemcsék halványzöld, nagyon enyhén pleokroos omfacittal és világosbarna gránáttal eklogitban. Látható a piroxén és a gránát szemcsék nagyobb fénytörése, reliefe.

+N

1000 μm



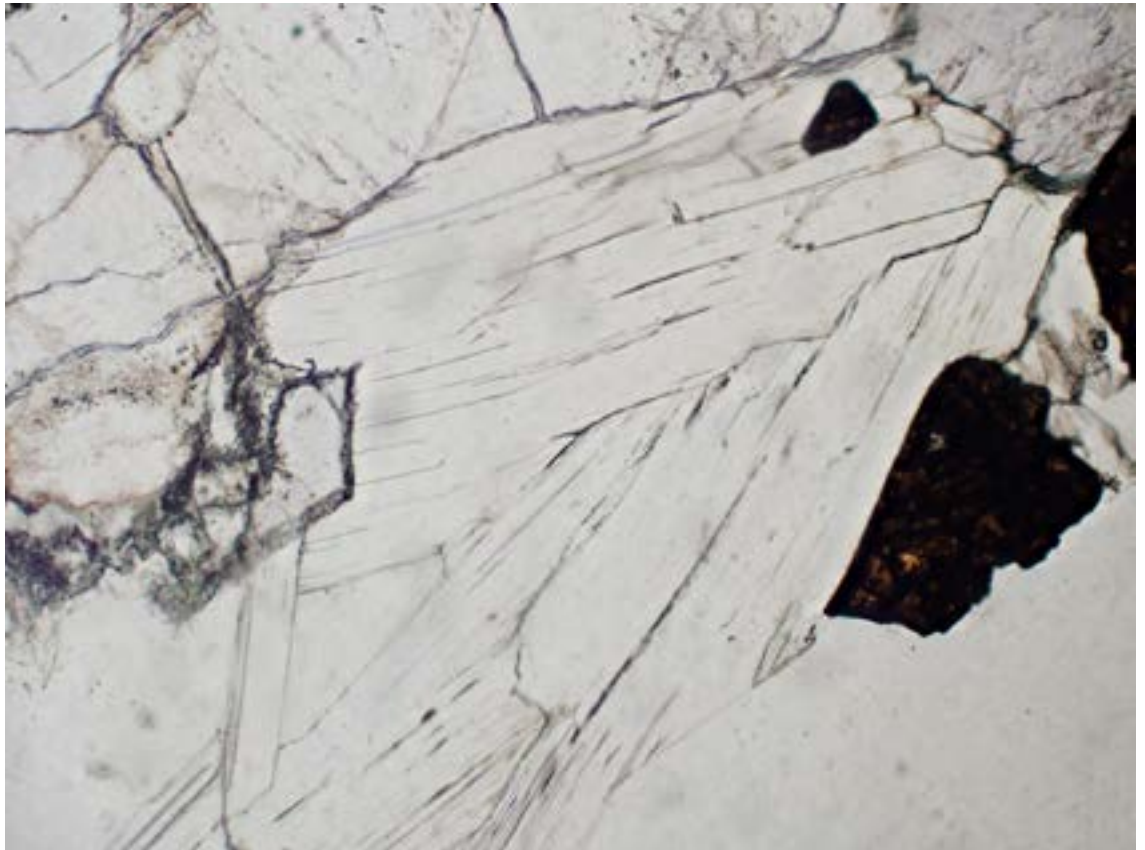
Muszkovit



Ms

1N

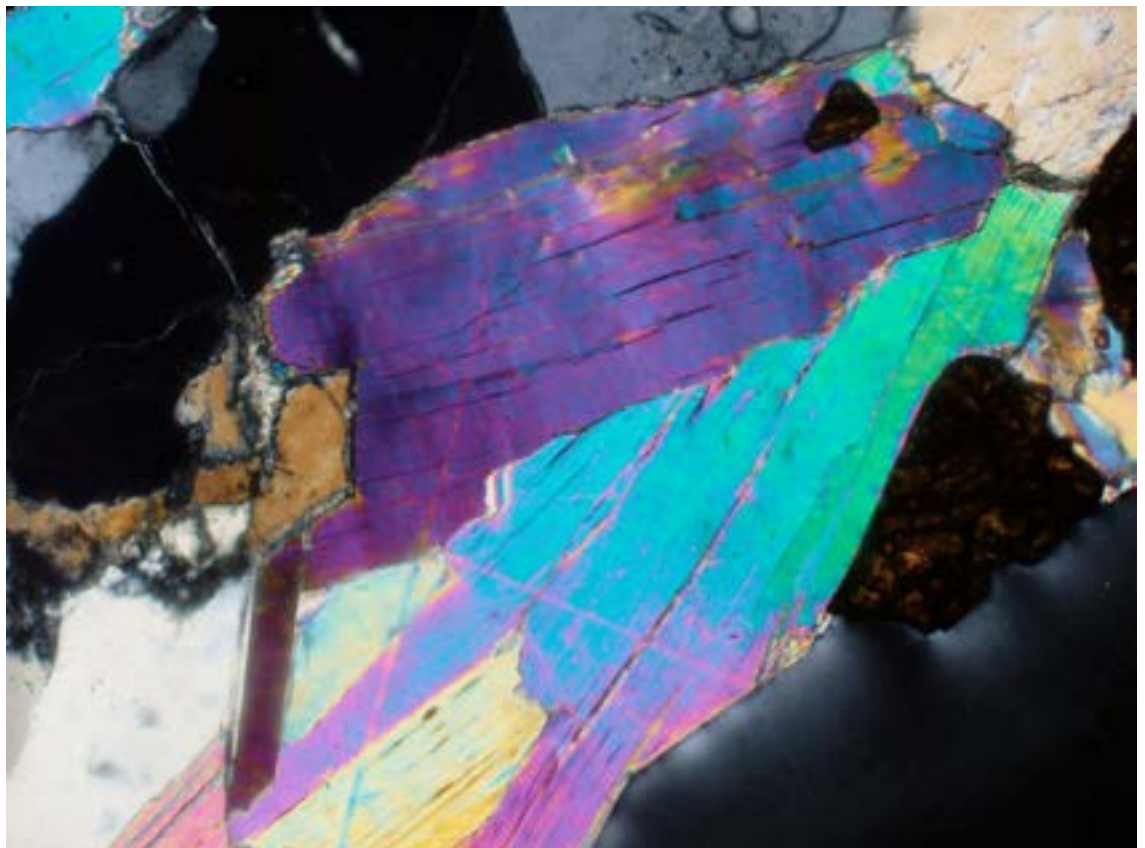
200 μm



Táblás, lemezes megjelenésű, szintelen, anhedrális muszkovit szemcsék muszkovitgneiszben. A szemcsék kitűnő hasadást mutatnak, fénytörésük közepes. A bronzbarna szemcsék rutil kristályok.

+N

200 μm



A képen a muszkovitra nagyon jellemző érzékeny ibolya – másodrendű kék interferencia szín figyelhető meg. Jellemzősége a képem is azonosítható foltosság.

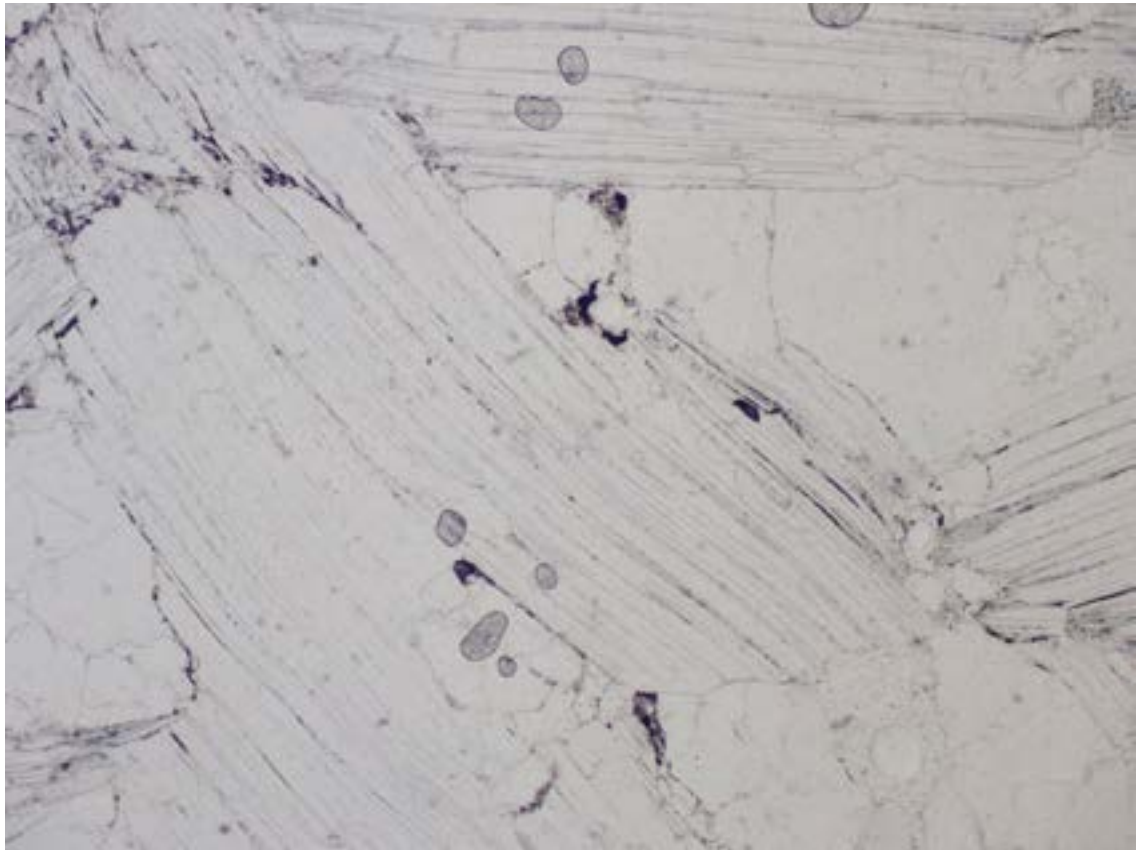
Muszkovit



Ms

1N

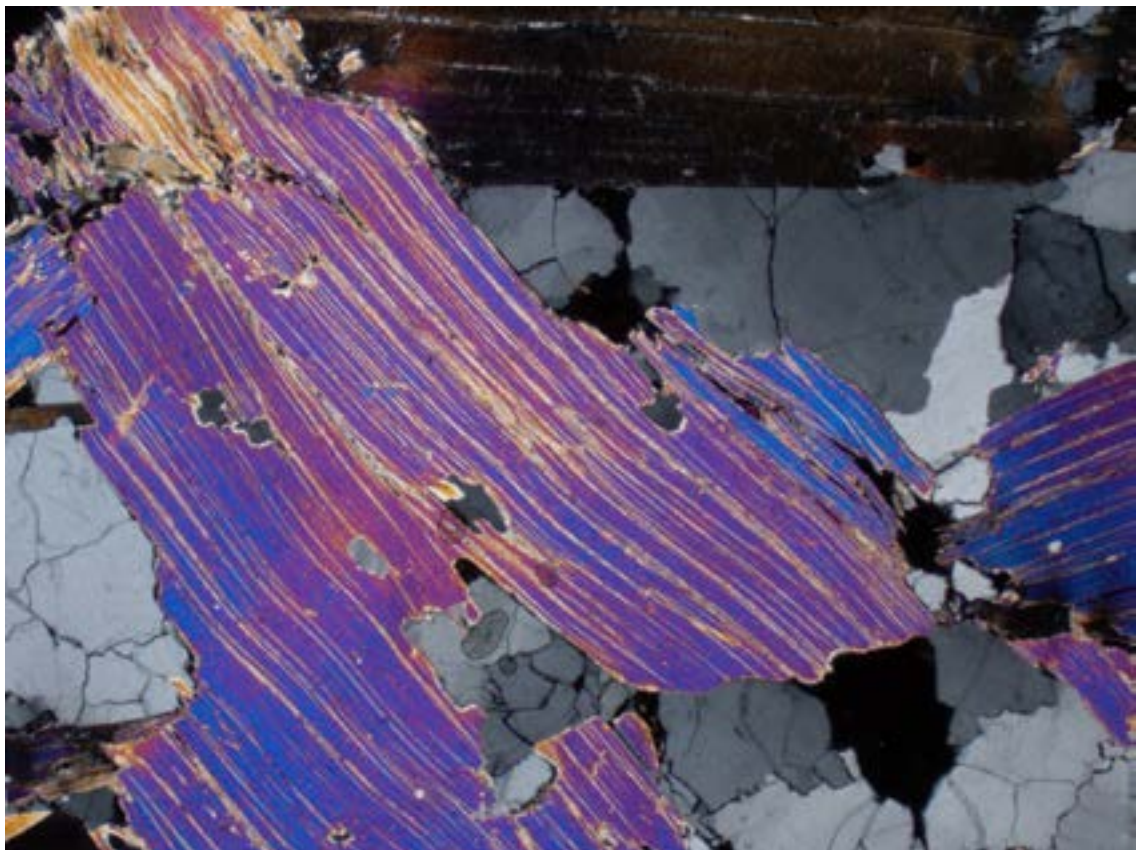
500 μm



Táblás, lemezes megjelenésű, szintelen, anhedrális muszkovit szemcsék, melyek kitűnő hasadást mutatnak. Megfigyelhető a szemcsék kvarchoz viszonyított nagyobb fénytörése.

+N

500 μm



A képen megfigyelhető a foltos kioltás, valamint a jobb felső sarokban a muszkovitra jellemző, hasadási irányokhoz viszonyított egyenes kioltás.

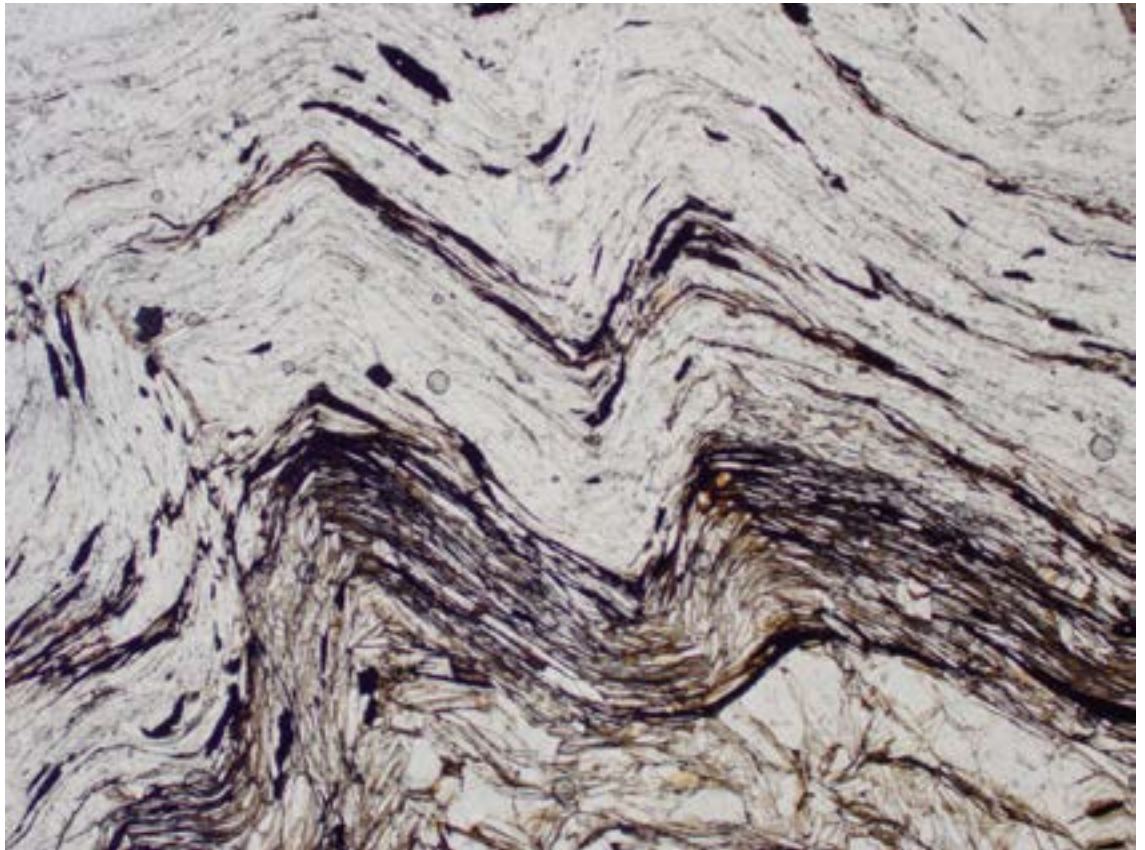
Muszkovit



Ms

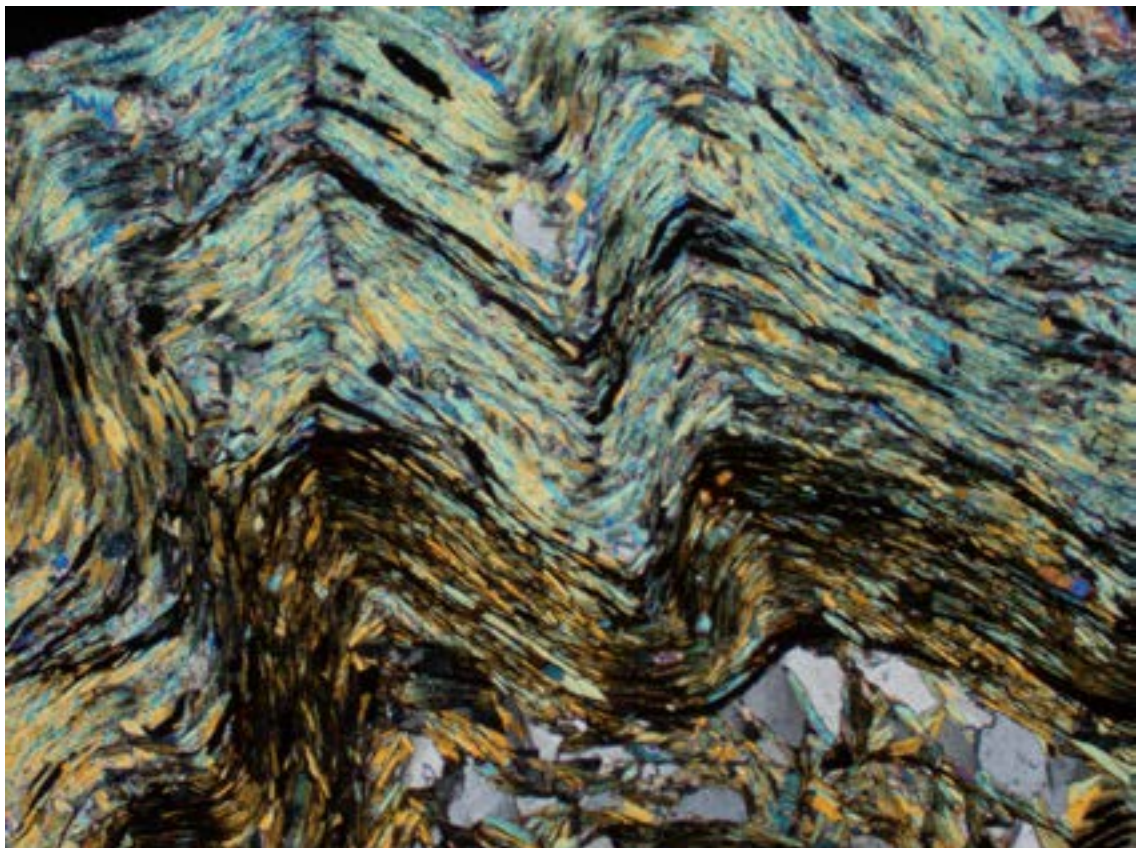
1N

500 μm

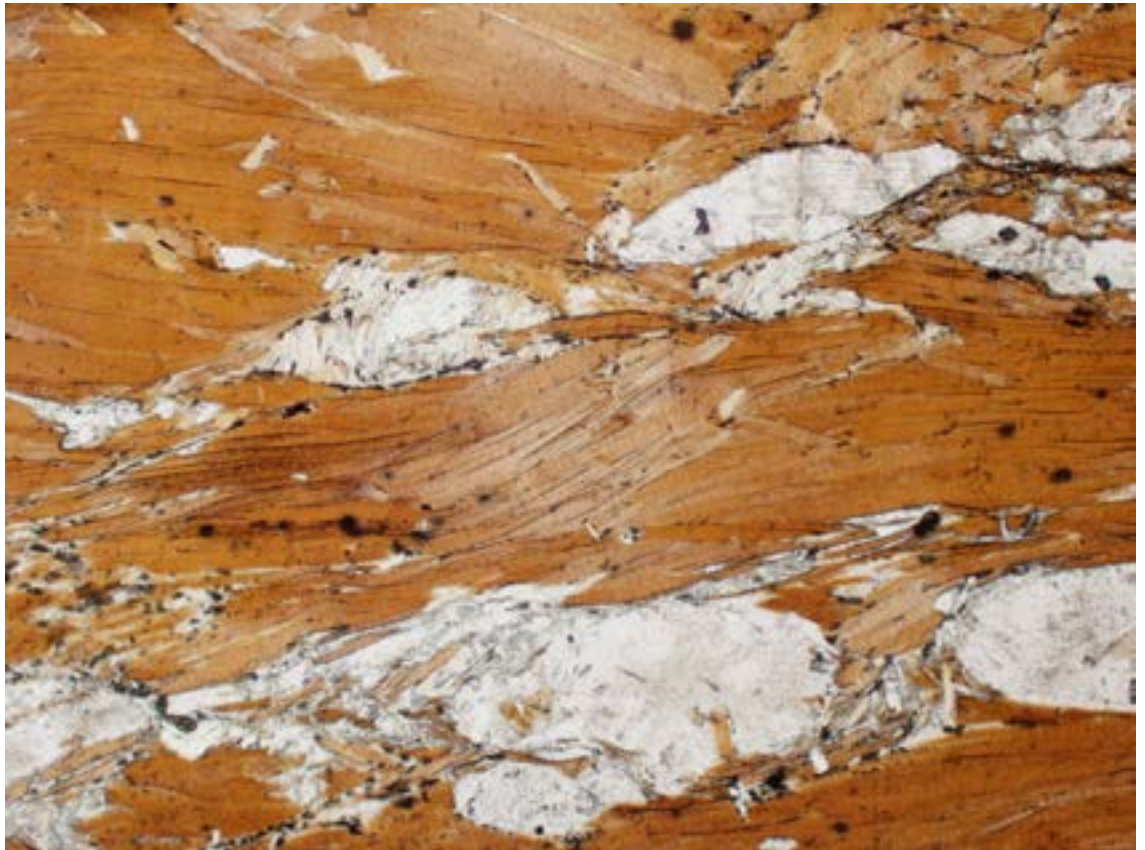


+N

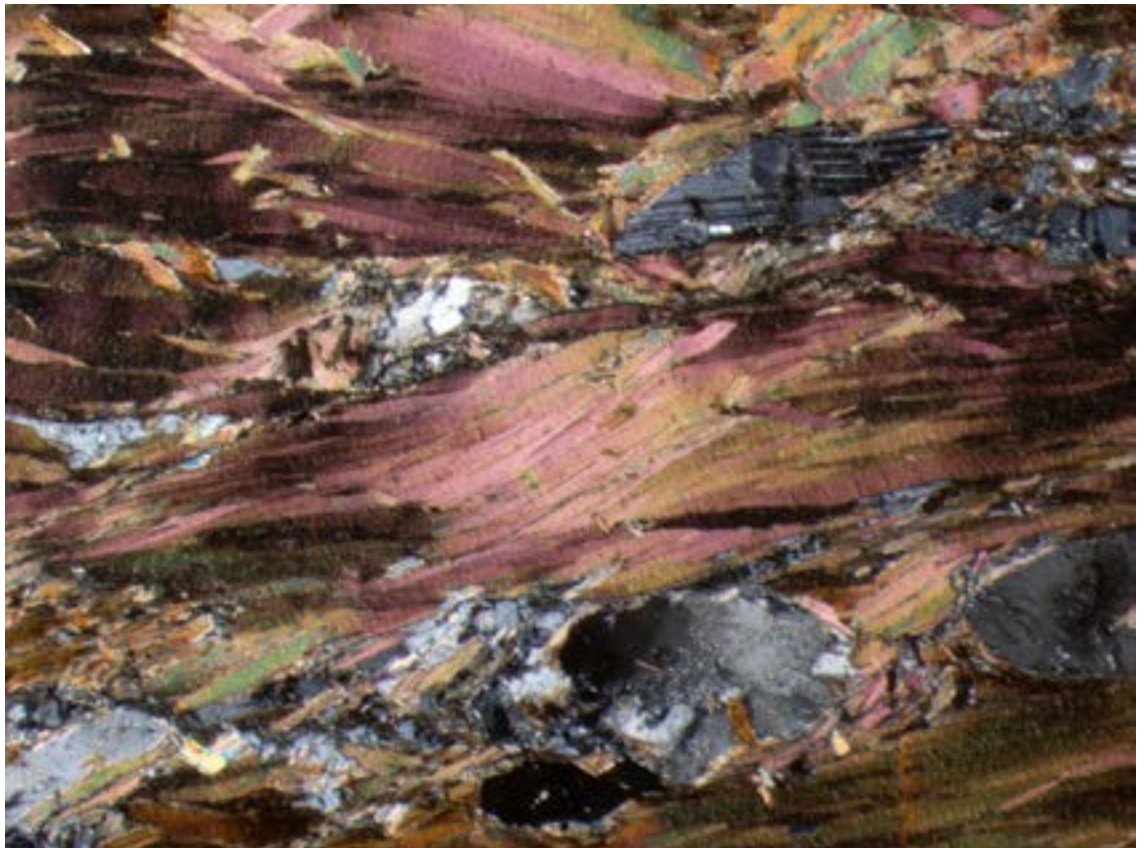
500 μm



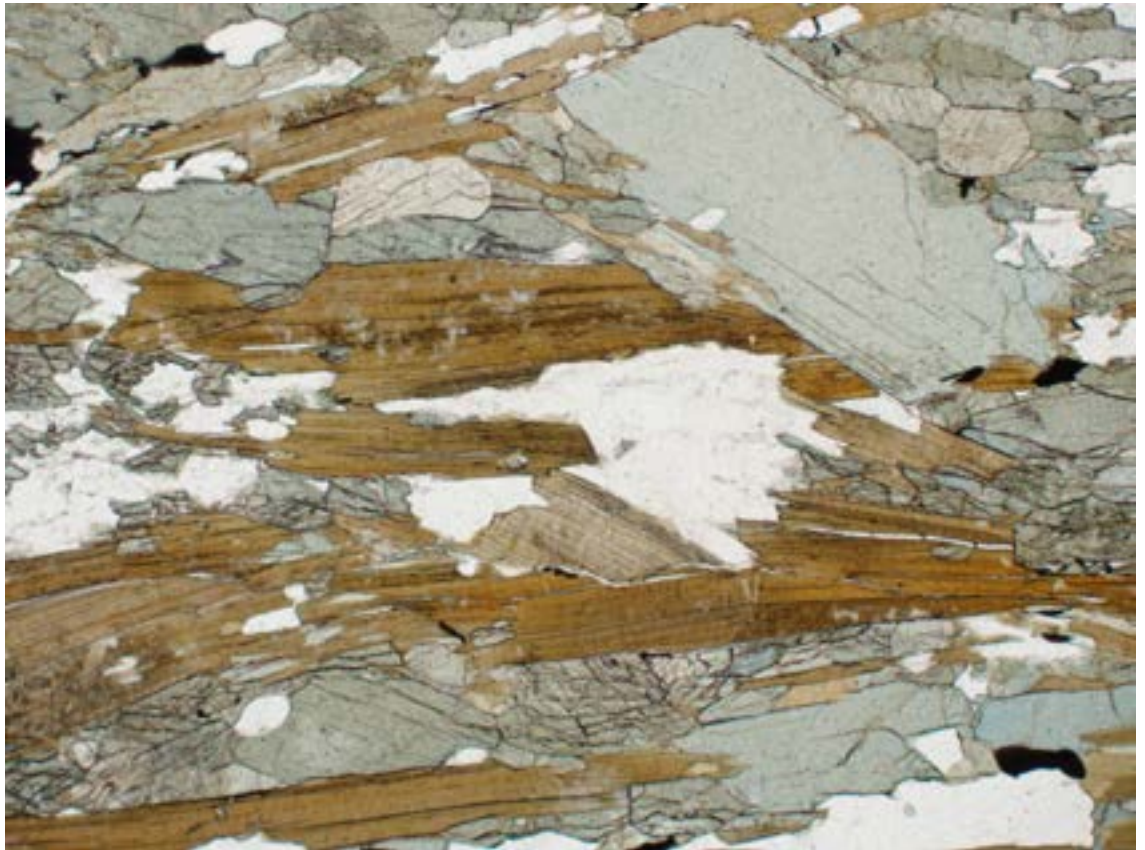
Redőzött finomszemcsés muszkovit kötegek csillámpalában.

Biotit**Bt****1N**500 μm 

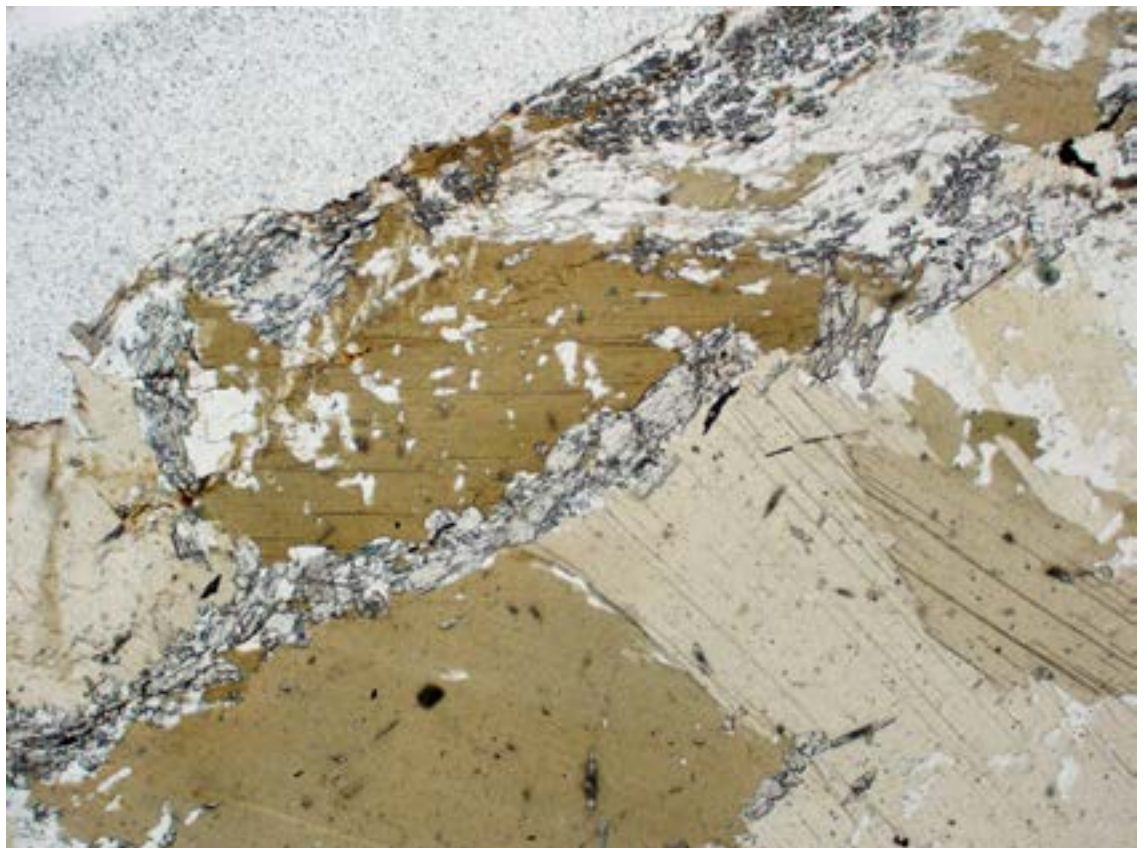
Vörösesbarna, léces–lemezes, kiváló hasadású biotit szemcsék csillámpalában. A fekete foltok cirkon körüli pleokroos udvarok.

+N500 μm 

Kersztezett nikol állásnál megfigyelhető az erős sajtószín módosító hatása. Jellegzetes, foltos interferencia színe a muszkovithoz hasonló.

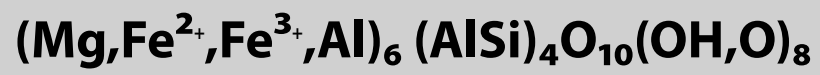
Biotit**Bt****1N**200 μm 

Vörösbarna biotit lemezek kitűnő egyirányú hasadással kékeszöld hornblende szemcsék mellett amfibolitban.

1N500 μm 

Erős pleokroizmust mutató, zöldesbarna–világosbarna színű biotit porfiroblasztok, melyeket kianit vesz körül. A párhuzamos hasadási nyomvonalak kitűnően megfigyelhetők.

Klorit



chl

1N

50 μm



Halványzöld, lemezes megjelenésű, erősen pleokroos klorit szemcsék muszkovit-klorit palában.

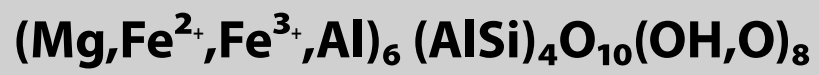
+N

50 μm



Rendellenes barna interferencia színű klorit szemcsék.

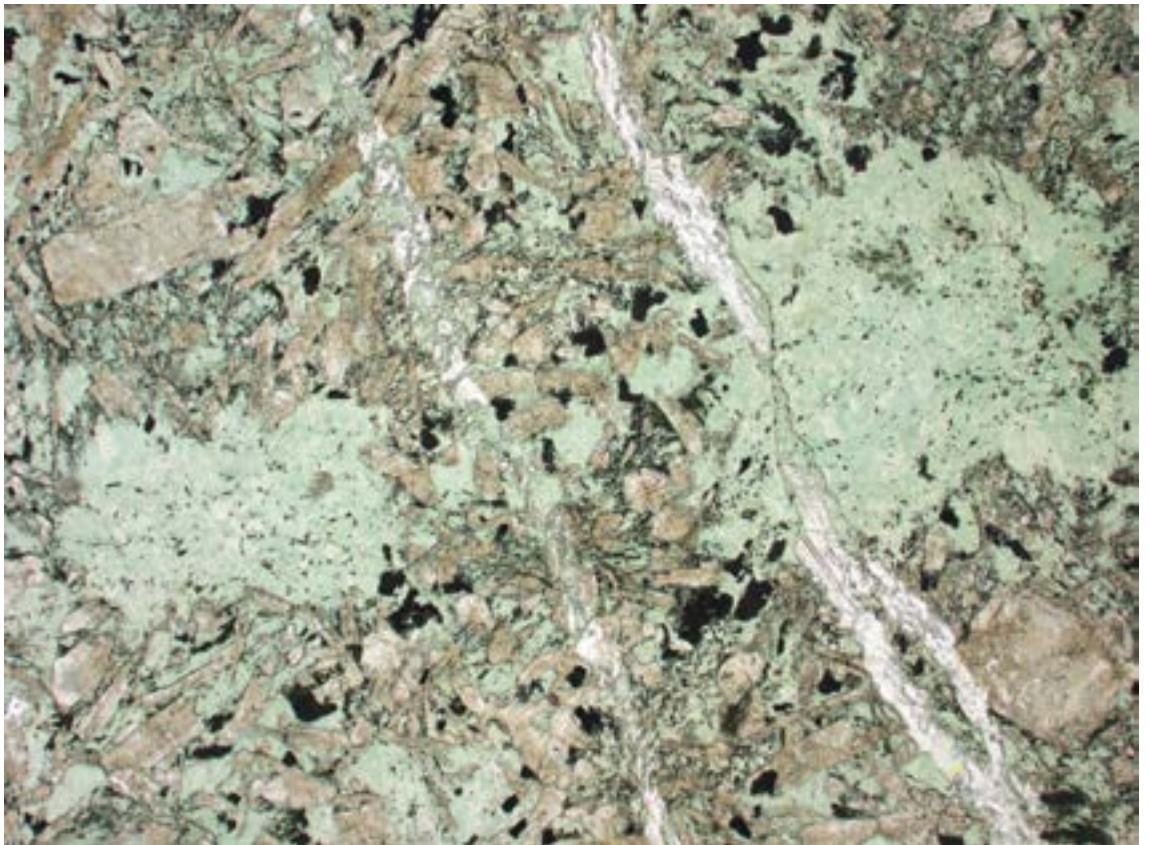
Klorit



chl

1N

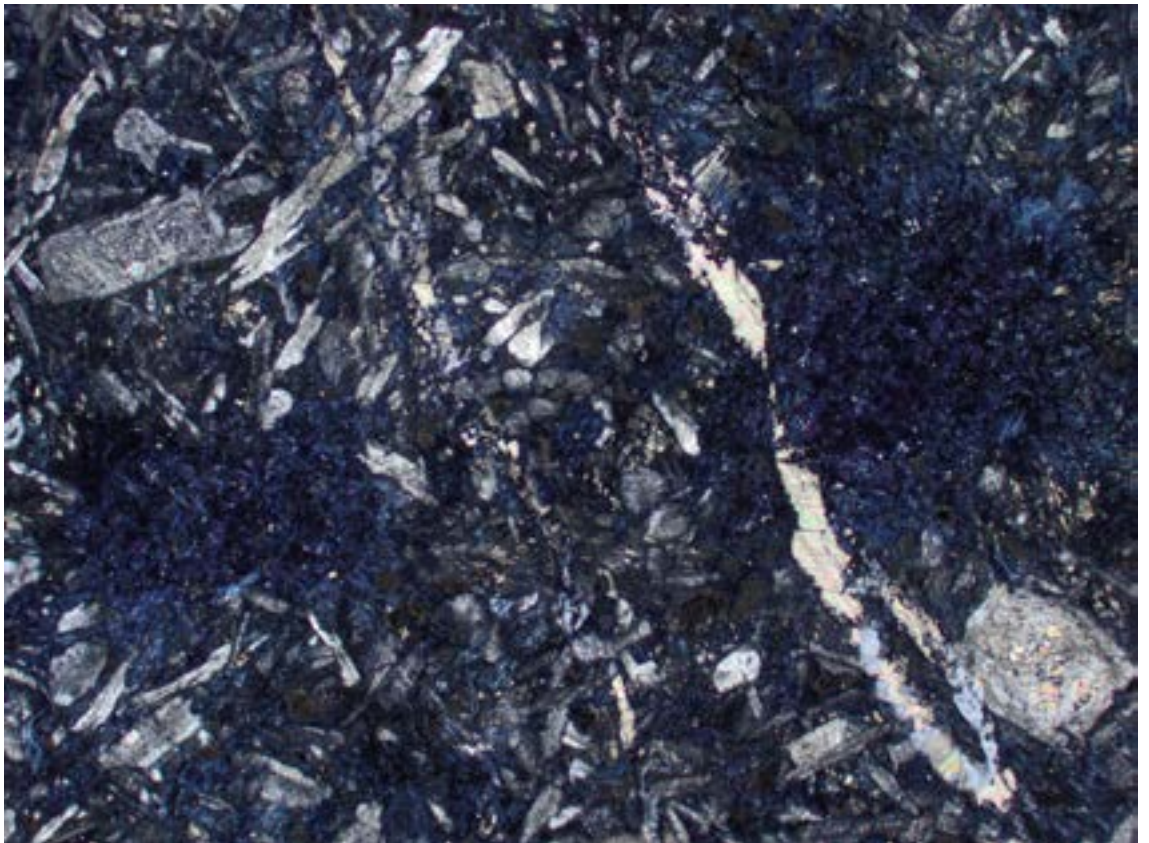
500 μm



Halványzöld klorit halmazok erősen bontott andezitben.

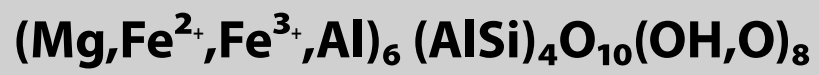
+N

500 μm



Keresztezett nikolokkal jól látható a halmazoknak a kloritra nagyon jellemző rendellenes levendulakék interferencia színe.

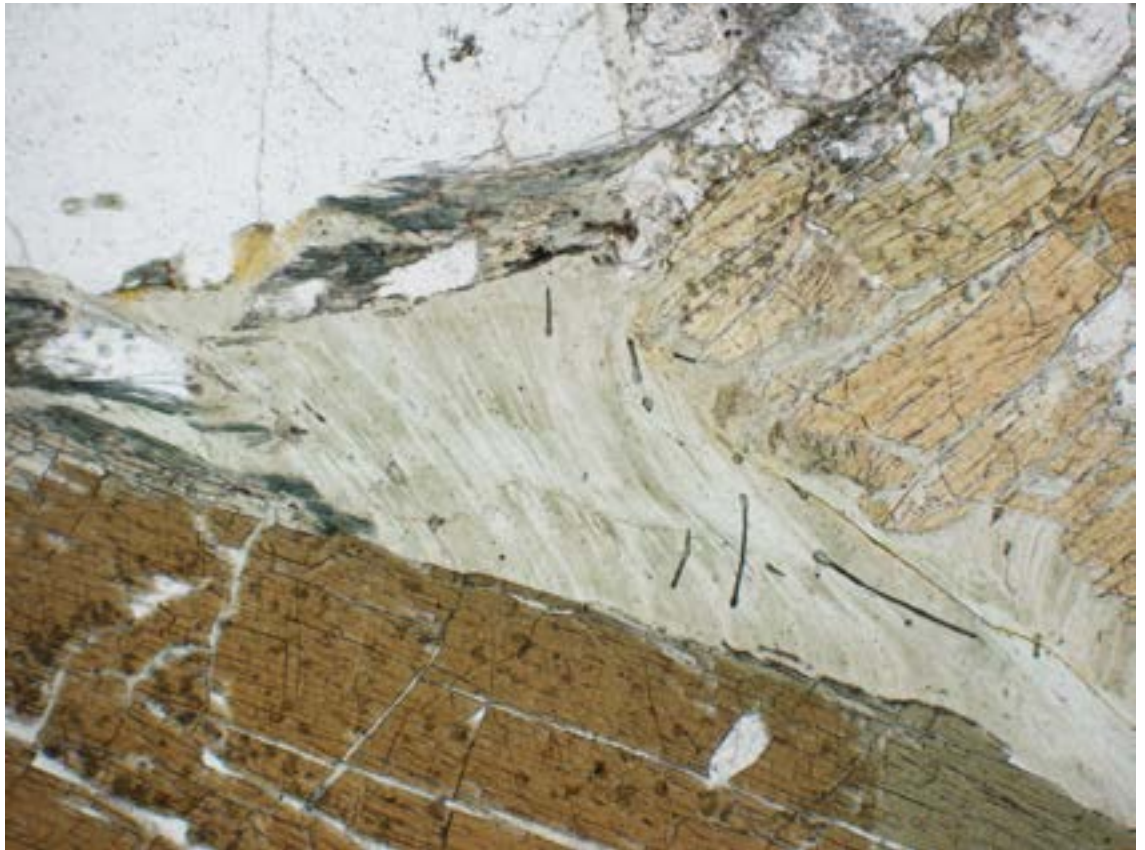
Klorit



chl

1N

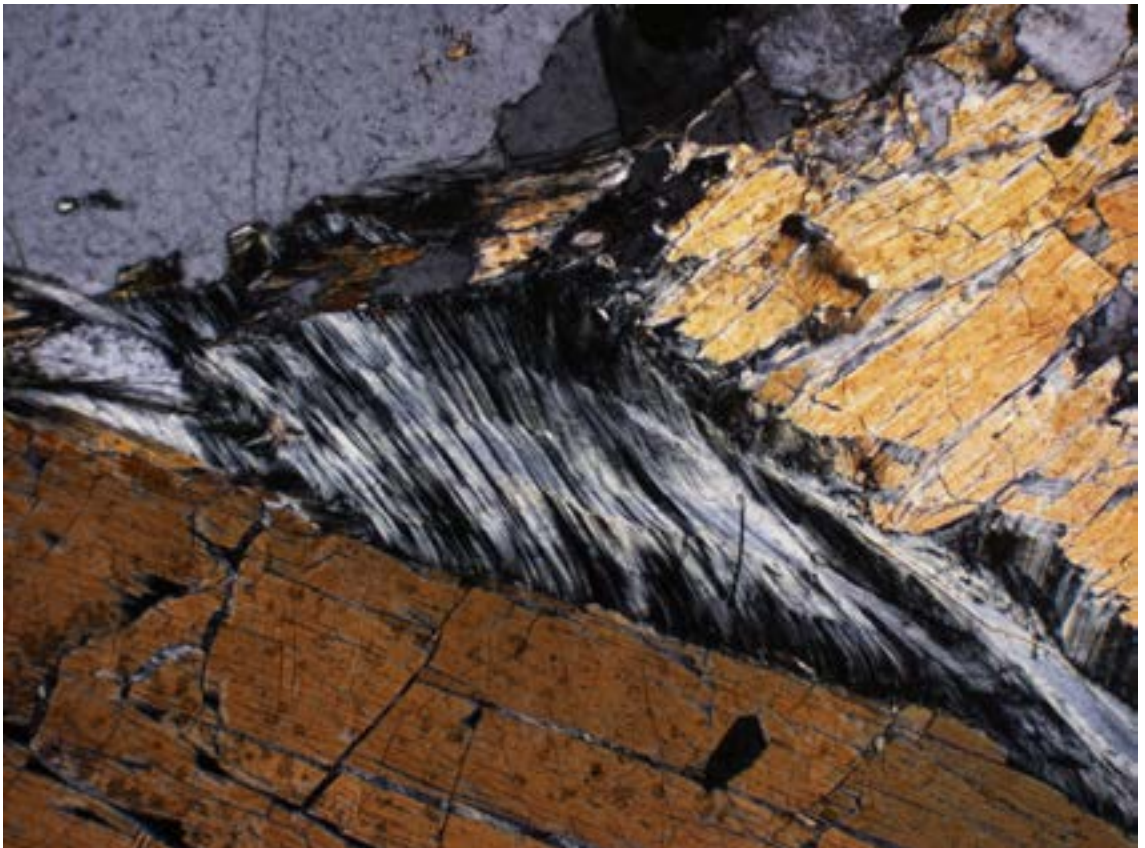
500 μm



Halványzöld, rostos klorit két hornblende szemcse között metagabbróban.

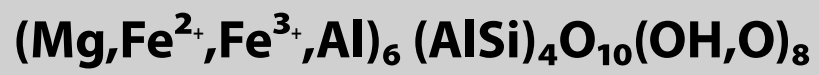
+N

500 μm



A klorit tipikus elsőrendű szürke interferencia színe látható, továbbá jól azonosítható a rostos habitusa a szemcsehalmaznak.

Klorit



chl

1N

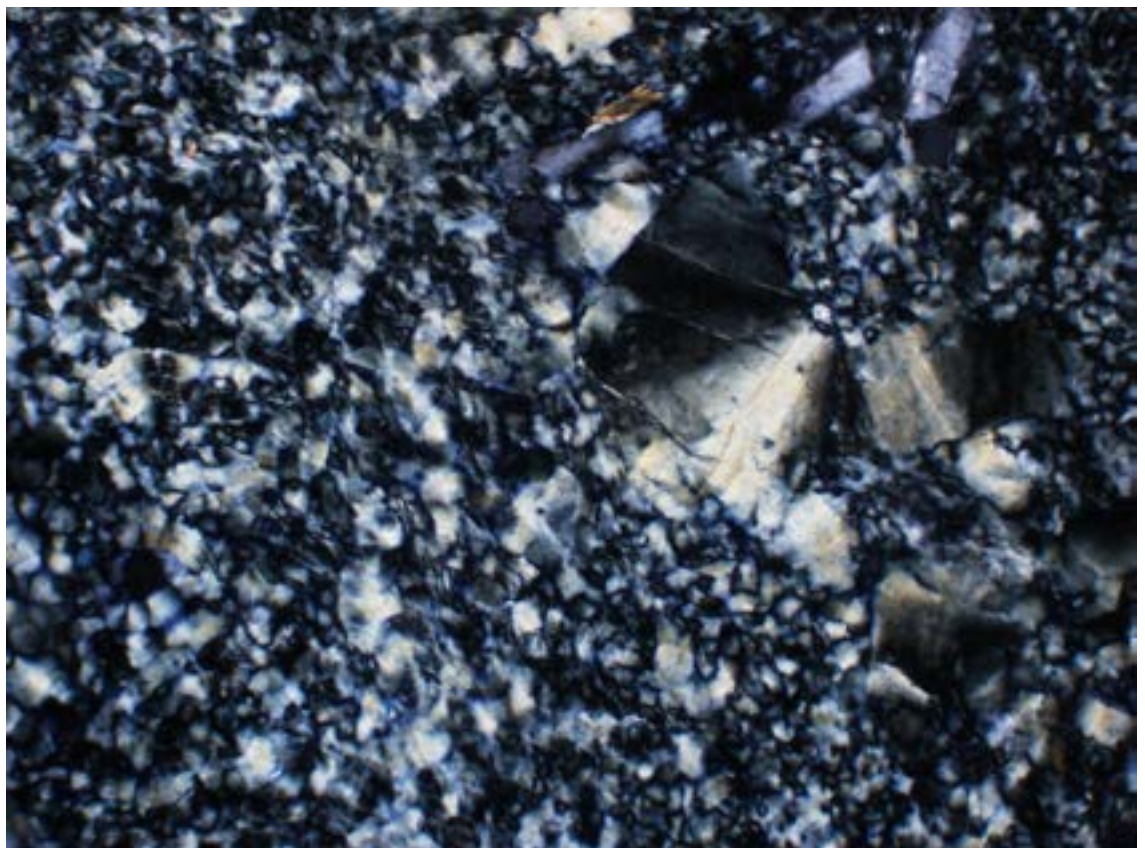
500 μm



Erősen átalakult biotit szemcse kloritosodott szegéllyel gránitban.

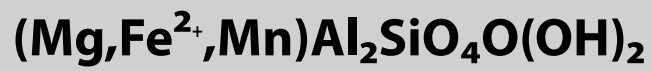
+N

500 μm



Finomszemcsés, elsőrendű szürke interferencia színű klorit halmaz metagabbro üregkitöltésében.

Kloritoid



Cld

1N

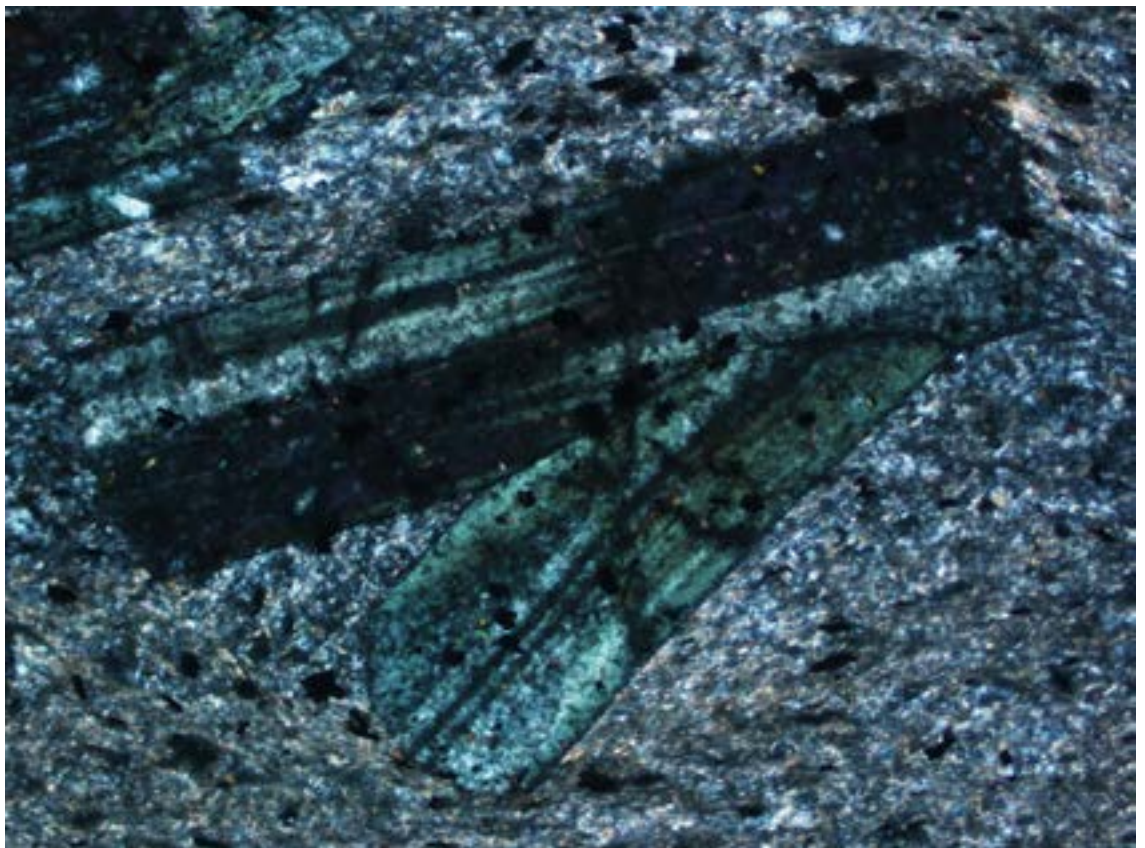
100 μm



Kékeszöld színű, nagy relieffel rendelkező, euhedrális kloritoid szemcsék agyagpalában. Az alsó szemcsén megfigyelhető a jellegzetes homokóra szerű zónásság.

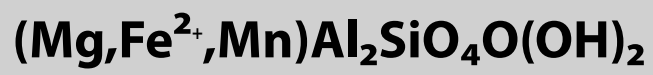
+N

100 μm



A szemcsék interferencia színét saját színük erősen elnyomja, de a poliszintetikus ikerlemezesség jól azonosítható.

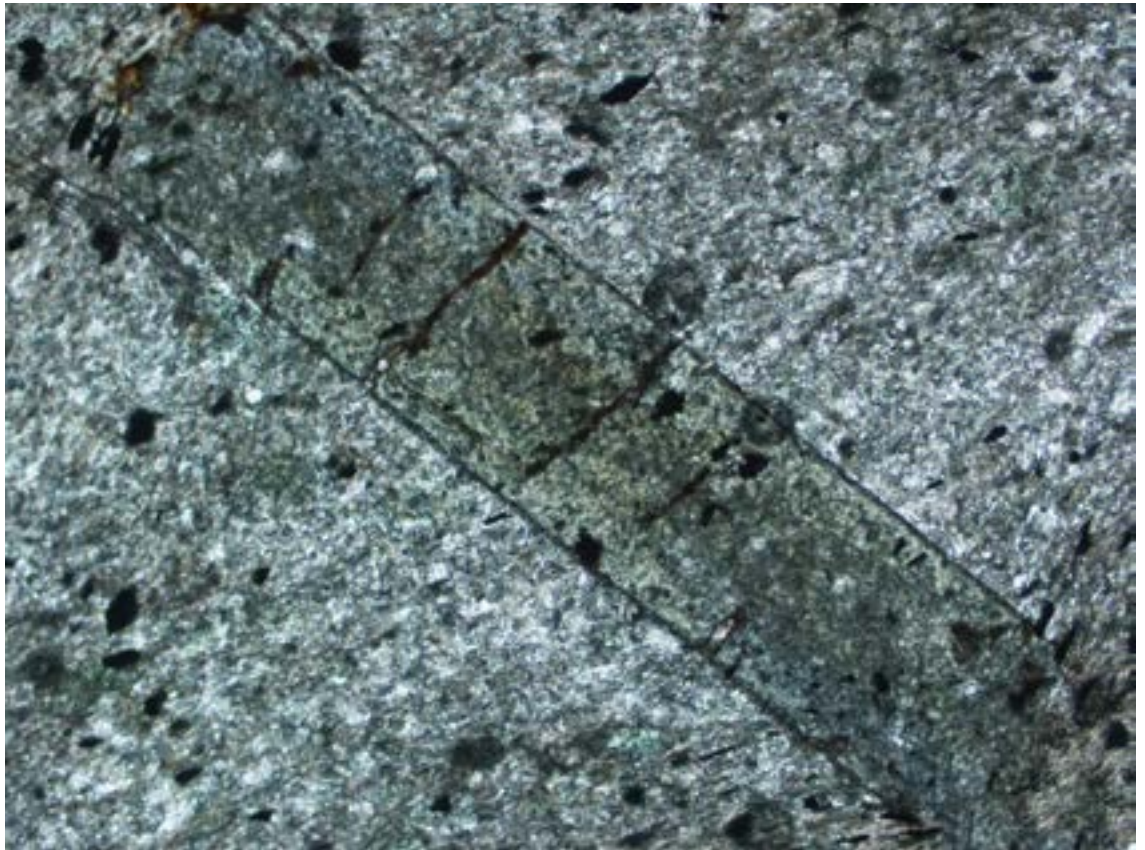
Kloritoid



cld

1N

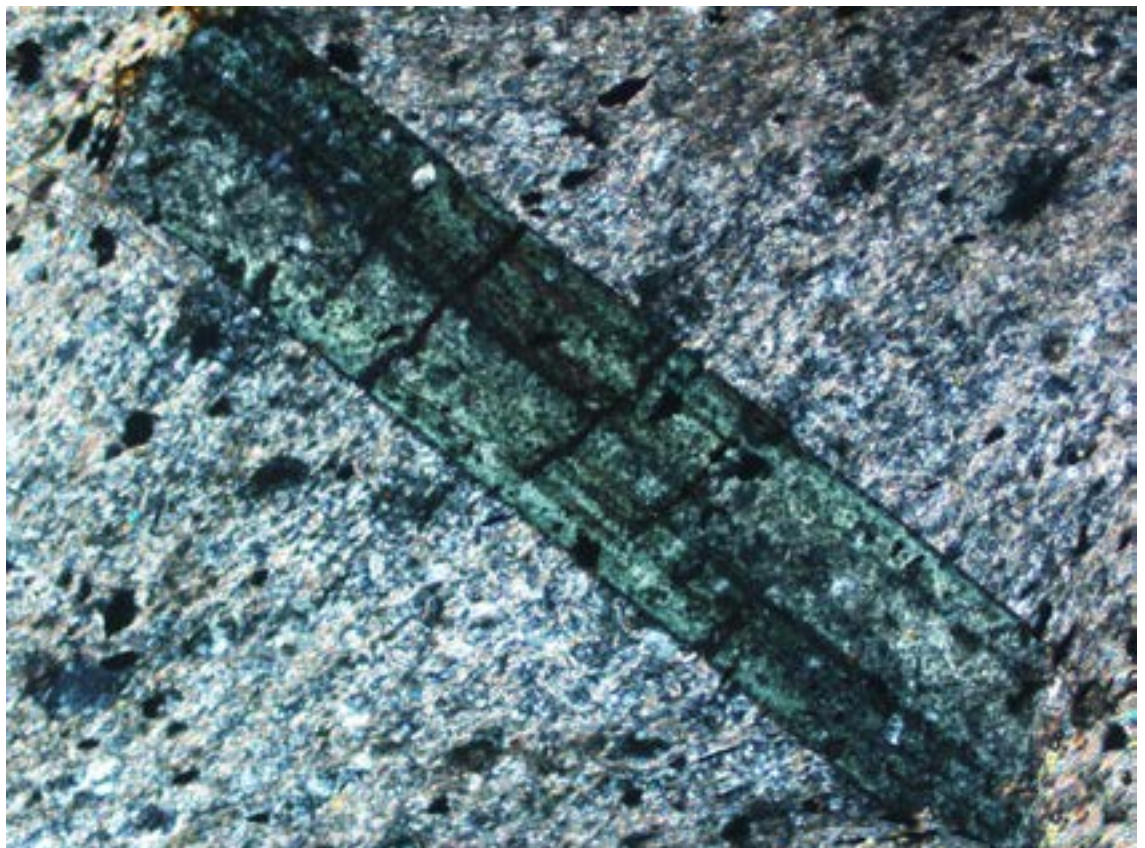
100 μm



Sárgászöld színű, éles körvonalú, peremein kékeszöld kloritoid kristály agyagpalában.

+N

100 μm



A szemcse interferencia színét saját színe erősen elnyomja.

Prehnit



Prh

1N

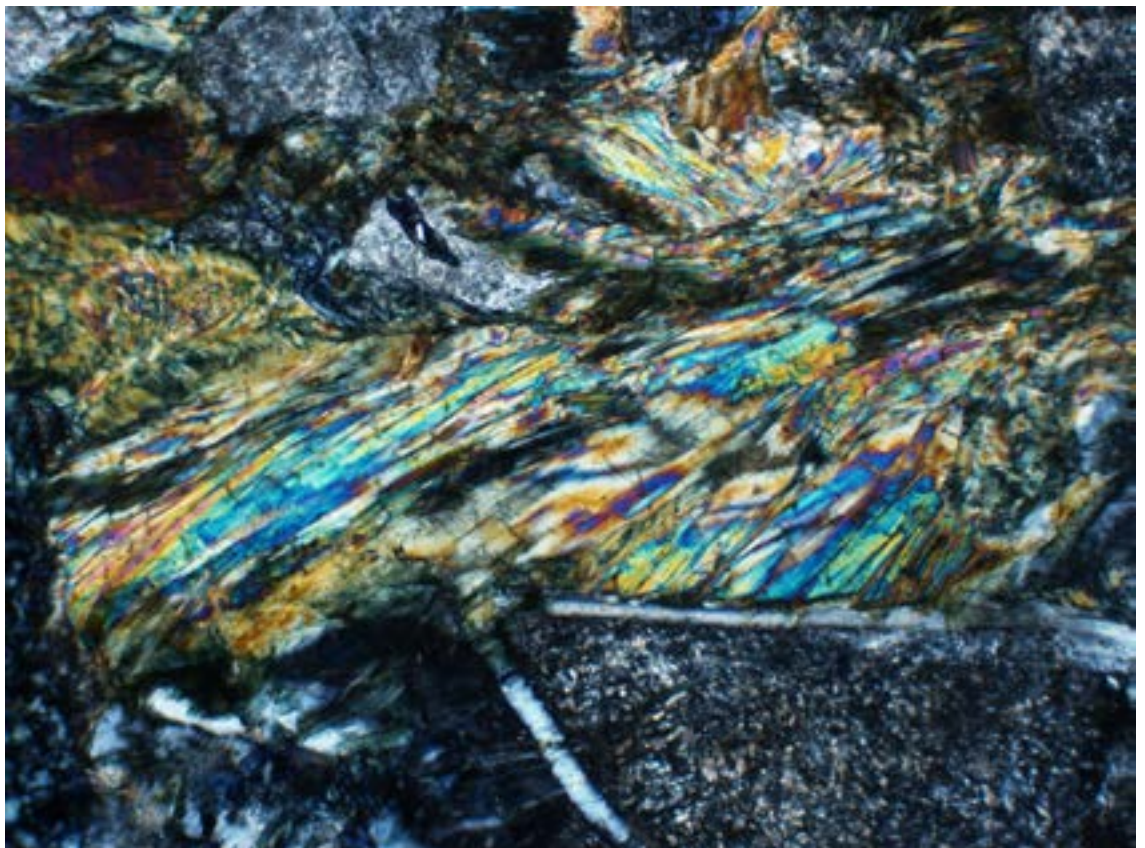
100 μm



Nagy fénytörésű, világoszöld saját színű, szálás habitusú üregkitöltő prehnit metagabbroban. Az élénkzöld halmaz baloldalon klorit.

+N

100 μm



A szemcsék a prehnitre jellemző másodrendű interferencia színeket mutatják.

Szerpentin



Srp

1N

500 μm



Rostos habitusú, szintelen, kis fénytörésű szerpentin szerpentinitben.

+N

500 μm



Rostos, elsőrendű szürke interferencia színű szerpentinin.

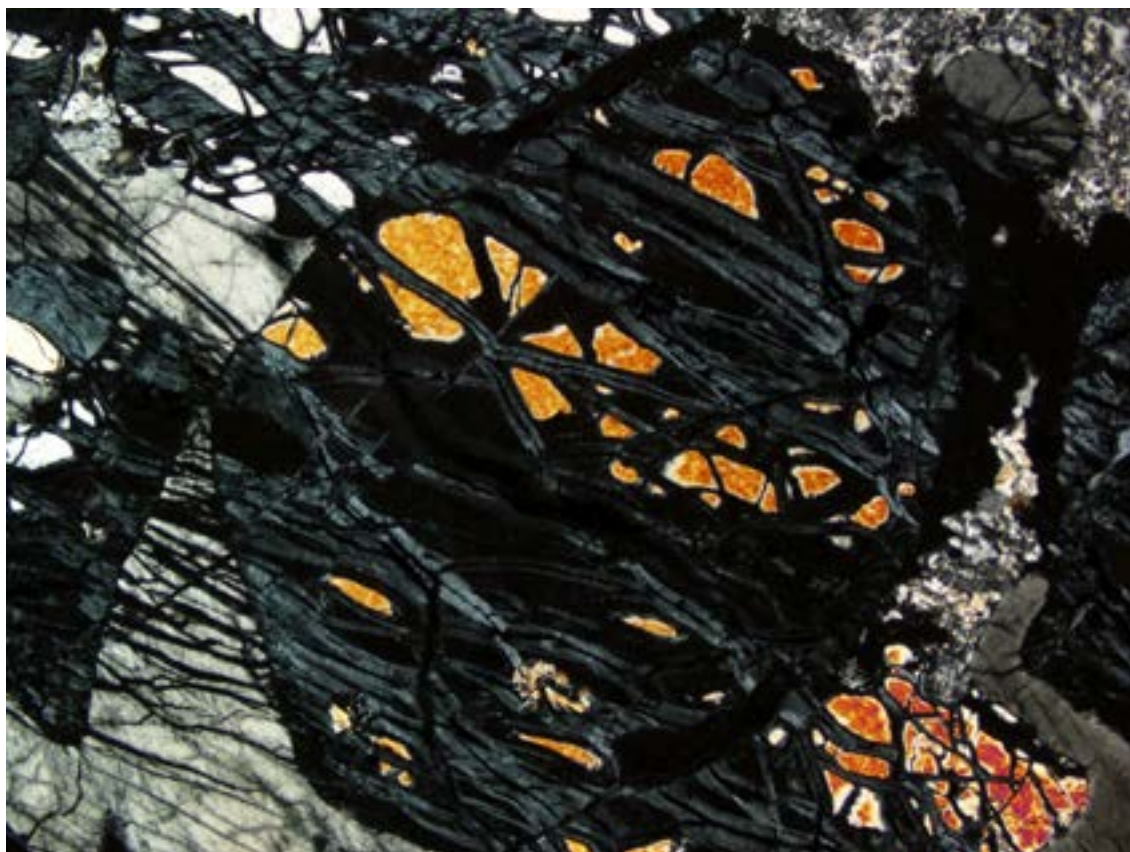
Szerpentin



Srp

+N

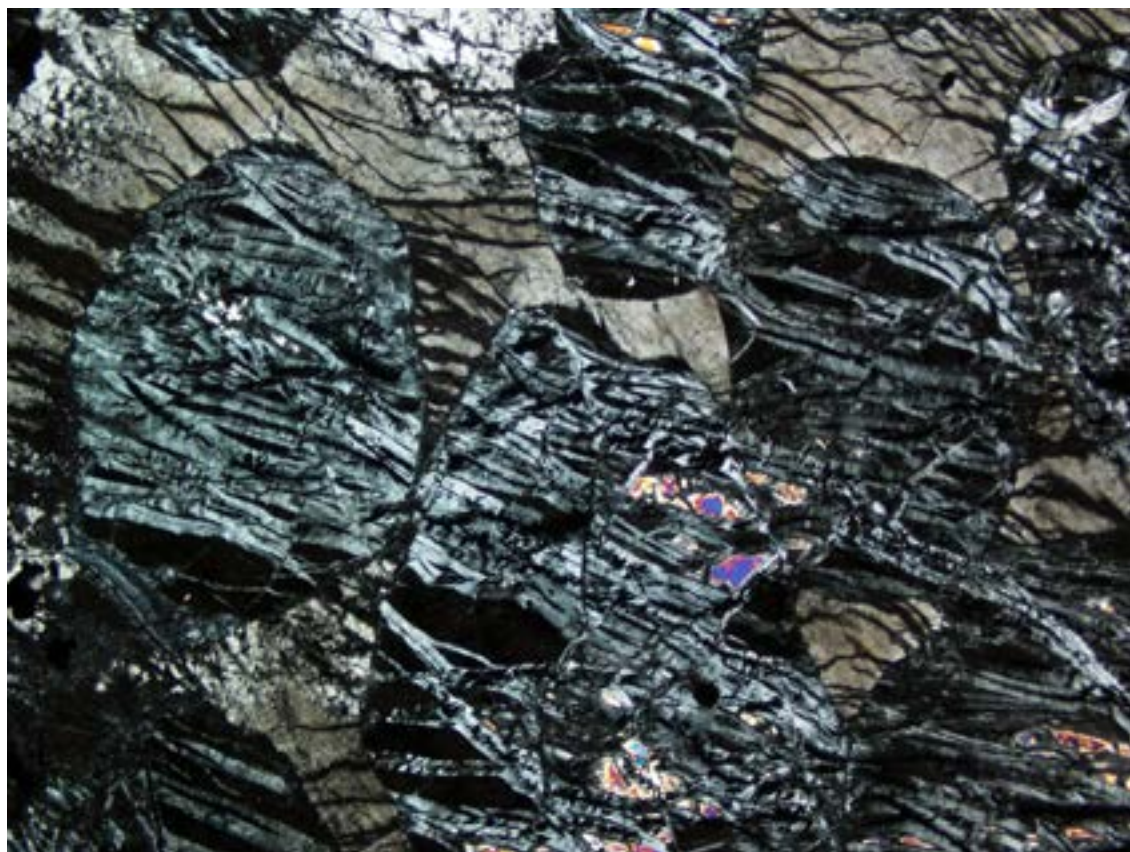
500 μm

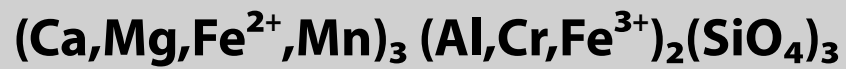
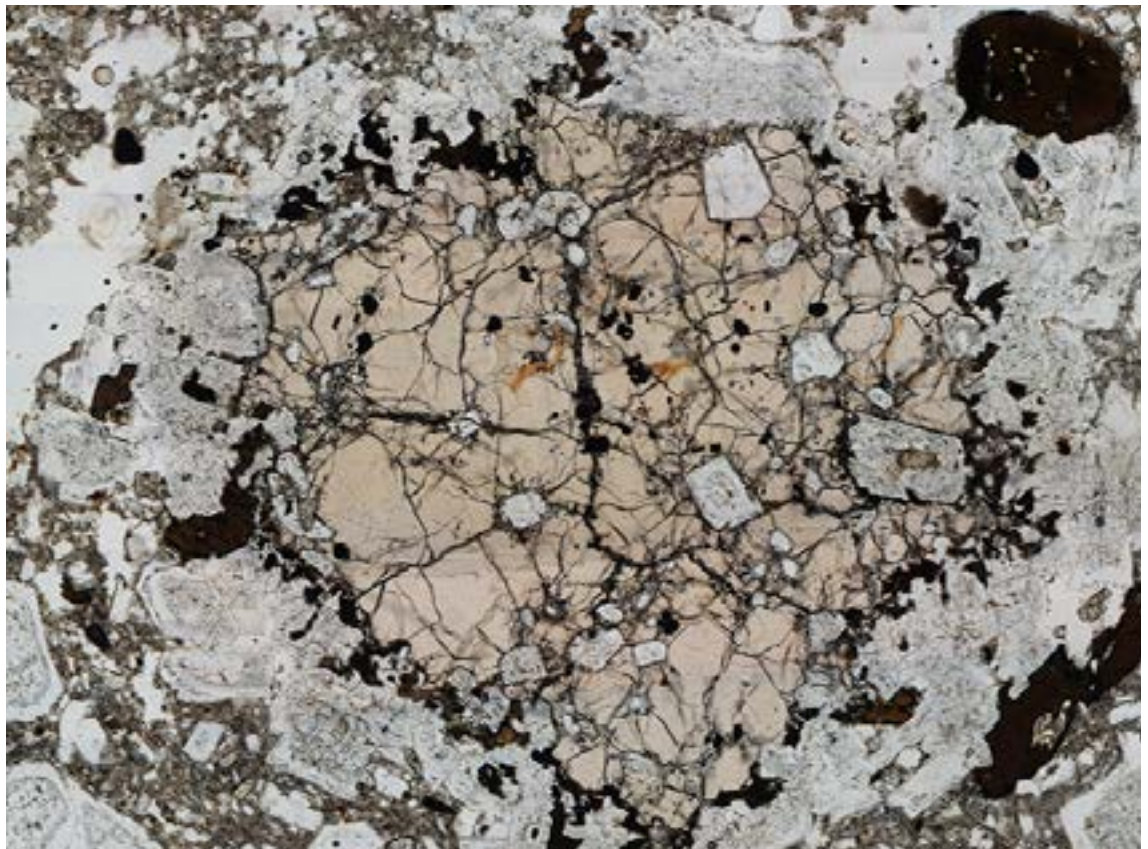


Olivin utáni szerpentin pszeudomorfózák serpentinisedett harzburgitban. Az magas interferencia színű szemcsék olivin reliktumok. Az izometrukos pszeudomorfózákat bezáró, elsőrendű fehéresszürke ásvány ortopiroxén.

+N

500 μm



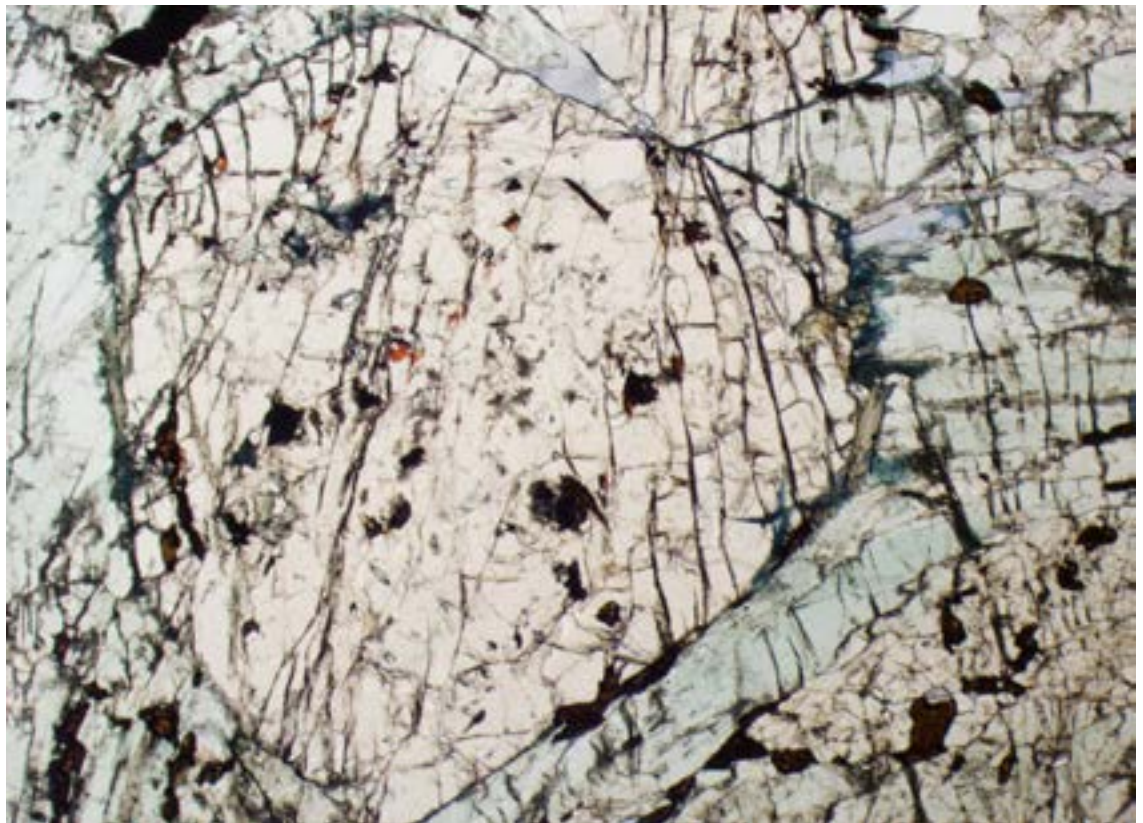
Gránát**Grt****1N**1000 μm 

Halványbarna színű, pleokroizmussal nem rendelkező, nagy reliefű poikilites szövetű, jellegzetesen izometrikus alakú, anhedrális gránátszemcse andezitben. A szemcse erősen repedezett. A szemcse körül oxihornblendéből és plagioklász földpátból álló szegély látható.

1N1000 μm 

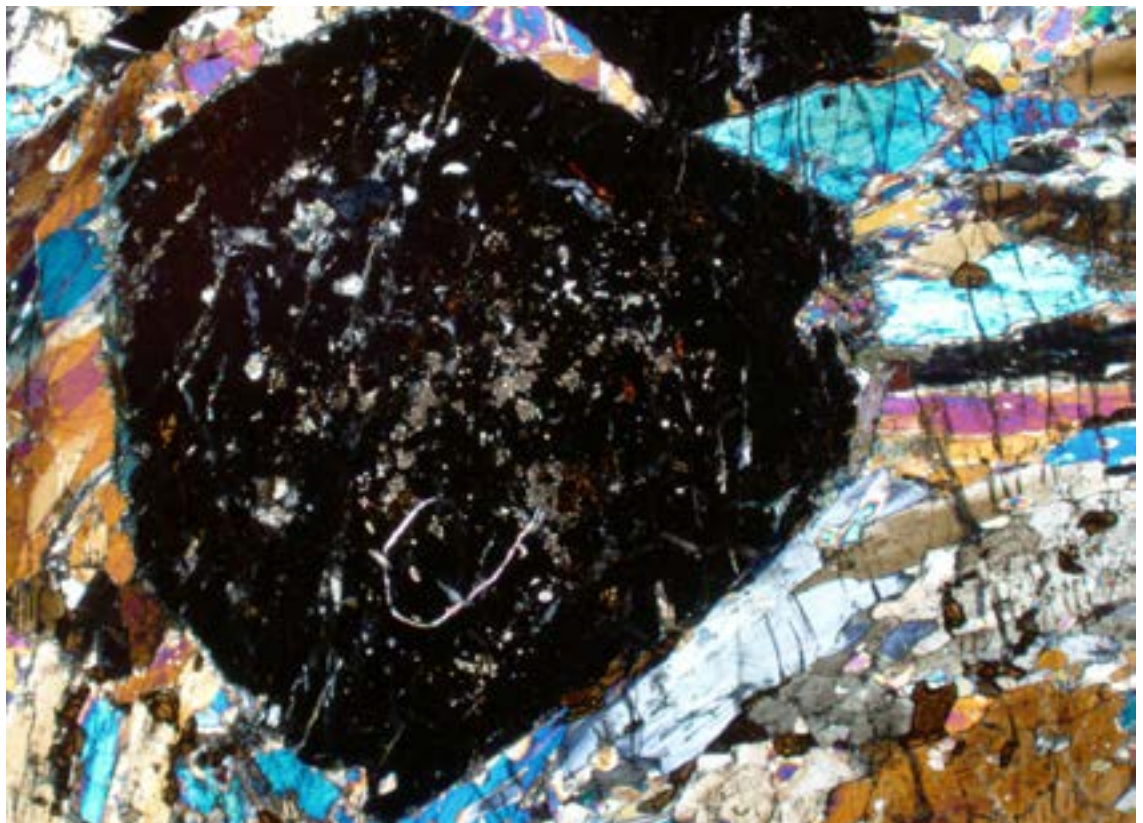
Halvány szürkésbarna színű, izometrikus, anhedrális gránát poikiloblaszt gránát-biotit tartalmú amfibolitban. A mátrixot alkotó kékeszöld-zöld saját színű, erősen pleokroos ásvány hornblende, míg a világosbarna–sötétbarna pleokroos színekkel rendelkező ásvány biotit. A színtelen szemcséket plagioklász és kvarc képviseli.

1N

500 μm 

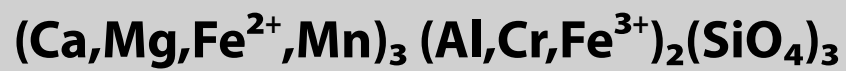
Halványbarna színű, nagy reliefű, környezetéből kiemelkedő poikioblasztos szövetű, euhedrális gránát szemcse eklogitban. A szemcse erősen repedezett. A gránát körül található, megnyúlt, léces, szintén nagy reliefű halványzöld szemcséket alkotó ásvány omfacit, míg a halványkék színű glaukofán. A mintában észrevehető anhedrális, sötétbarna rutil szemcsék.

+N

500 μm 

A keresztezett polarizátorokkal készült képen jól megfigyelhető a gránát optikai izotrópiája, valamint a környező klinopiroxén (omfacit) szemcsék magas interferencia színe.

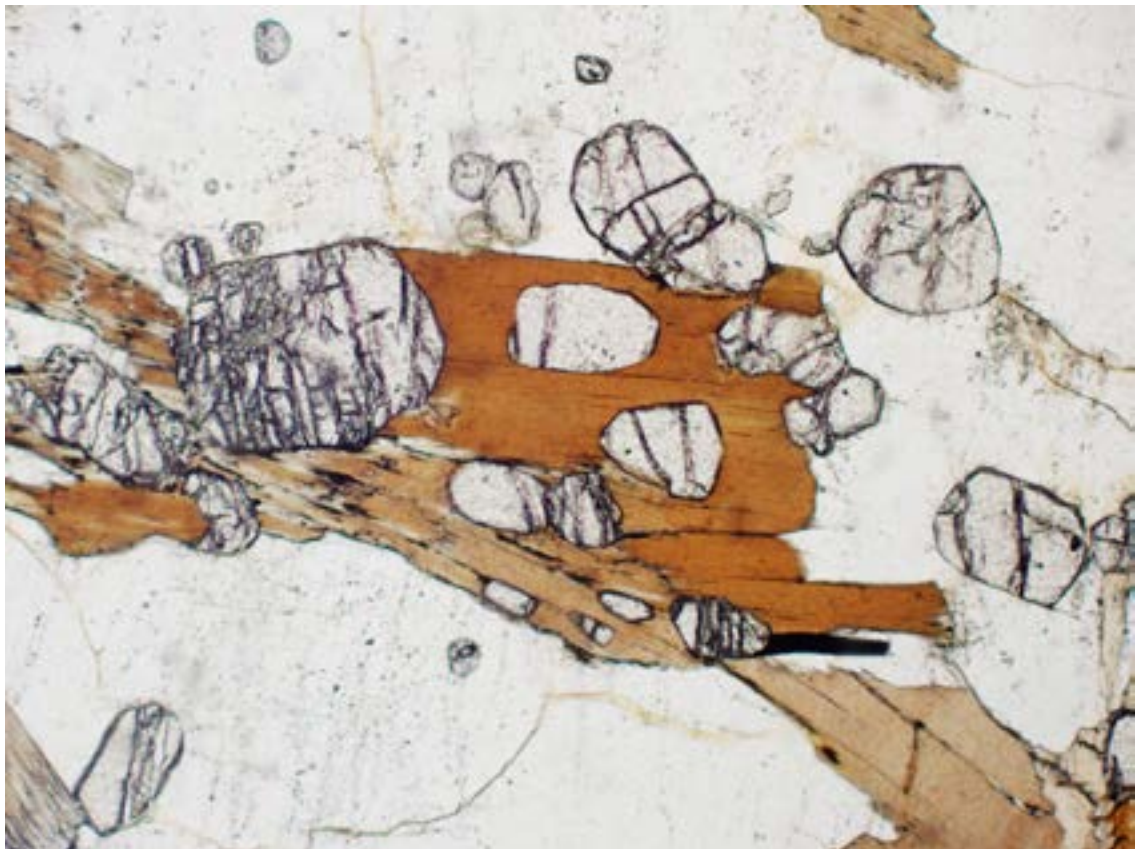
Gránát



Grt

1N

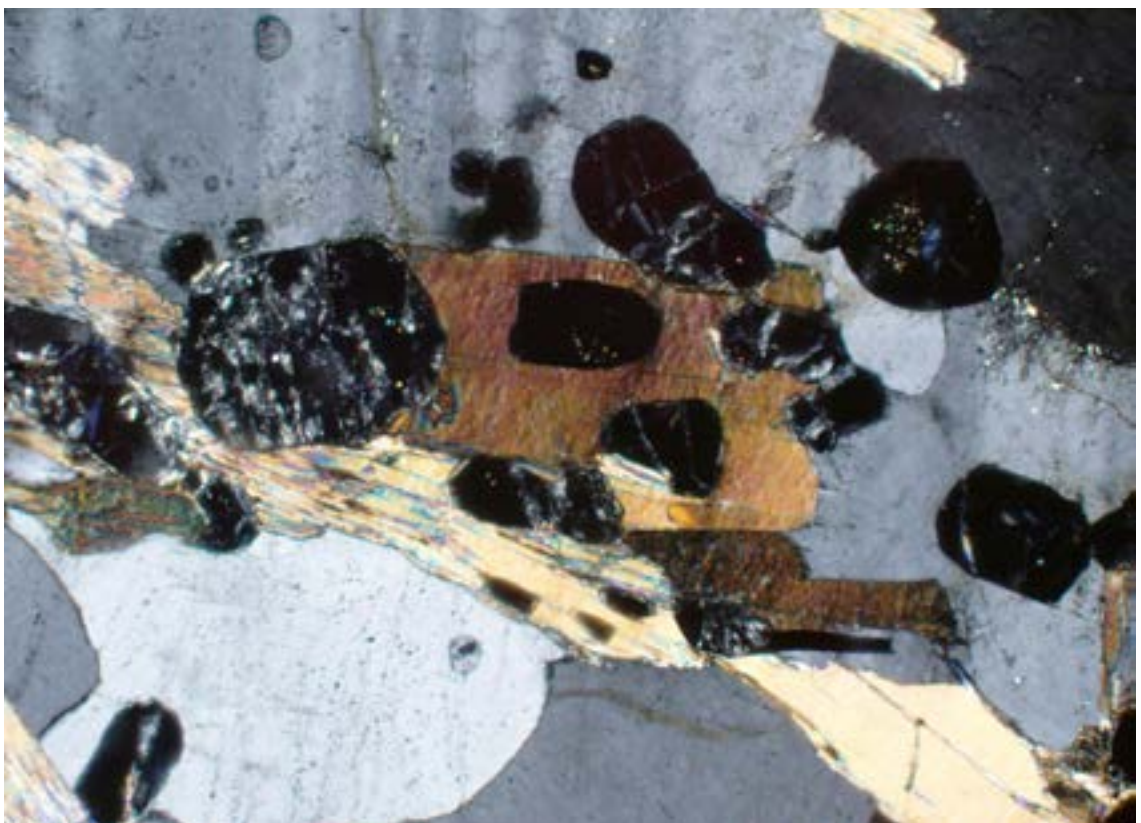
200 μm



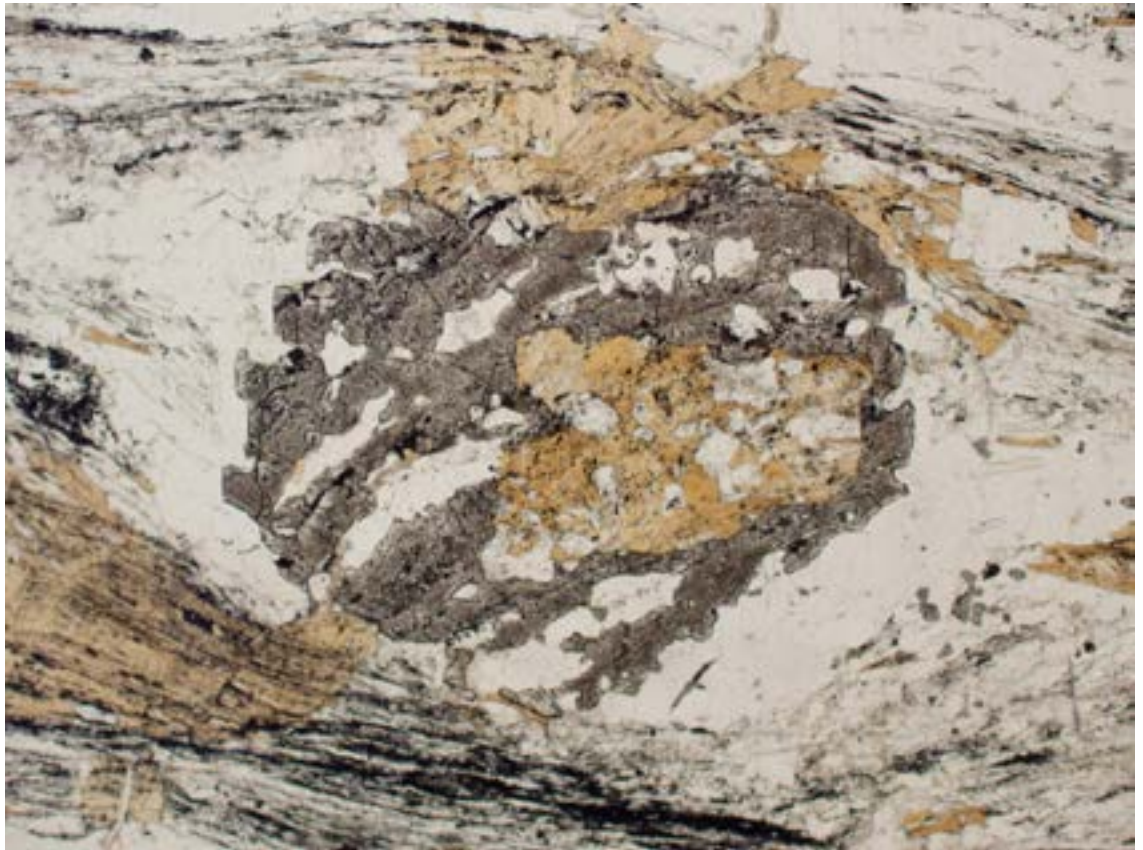
Szintelen, nagy relieffel rendelkező anhedrális gránát szemcsék két-csillámú gneiszben. Jól megfigyelhető a szemcsék sokkal magasabb reaktív törésmutatója a környező ásványokhoz képest.

+N

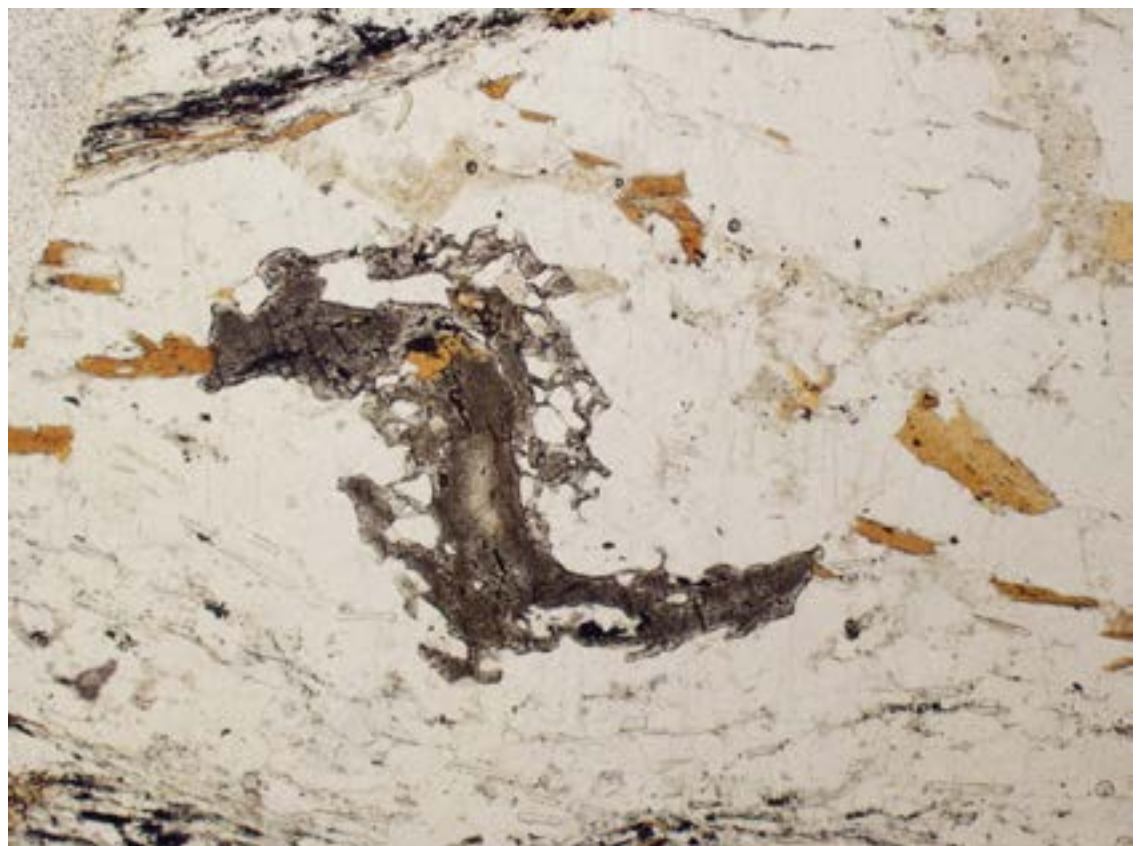
200 μm



Megfigyelhető a gránát szem-csék optikai izotrópiája, valamint a bennük található apró anizotróp szilárdzárványok. Az erős vörösbarna saját színűvel rendelkező, jó hasadási biotit szemcsék interferencia színén jól látható, hogy a saját színük nagymértékben átfed.

1N500 μm 

Szürkésbarna, zavaros felszínű, nagy relieffel rendelkező anhedrális gránát poikioblaszt biotitos muszkovitpalában. Zárványként szintelen kvarc és vörösbarna biotit és opak grafit szemcséket tartalmaz.

1N500 μm 

Szinkinematikus, anhedrális, szürkésbarna színű gránát szemcse biotitos muszkovitpalában.

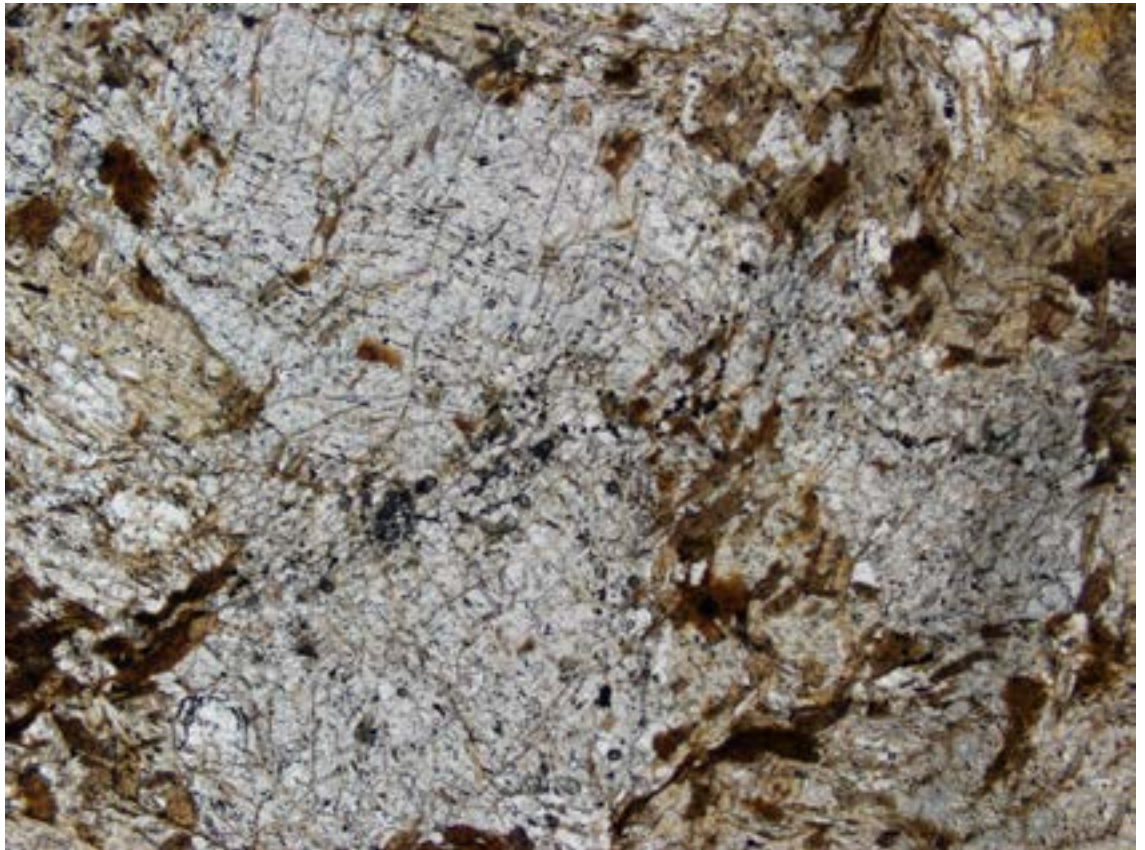
Andaluzit



And

1N

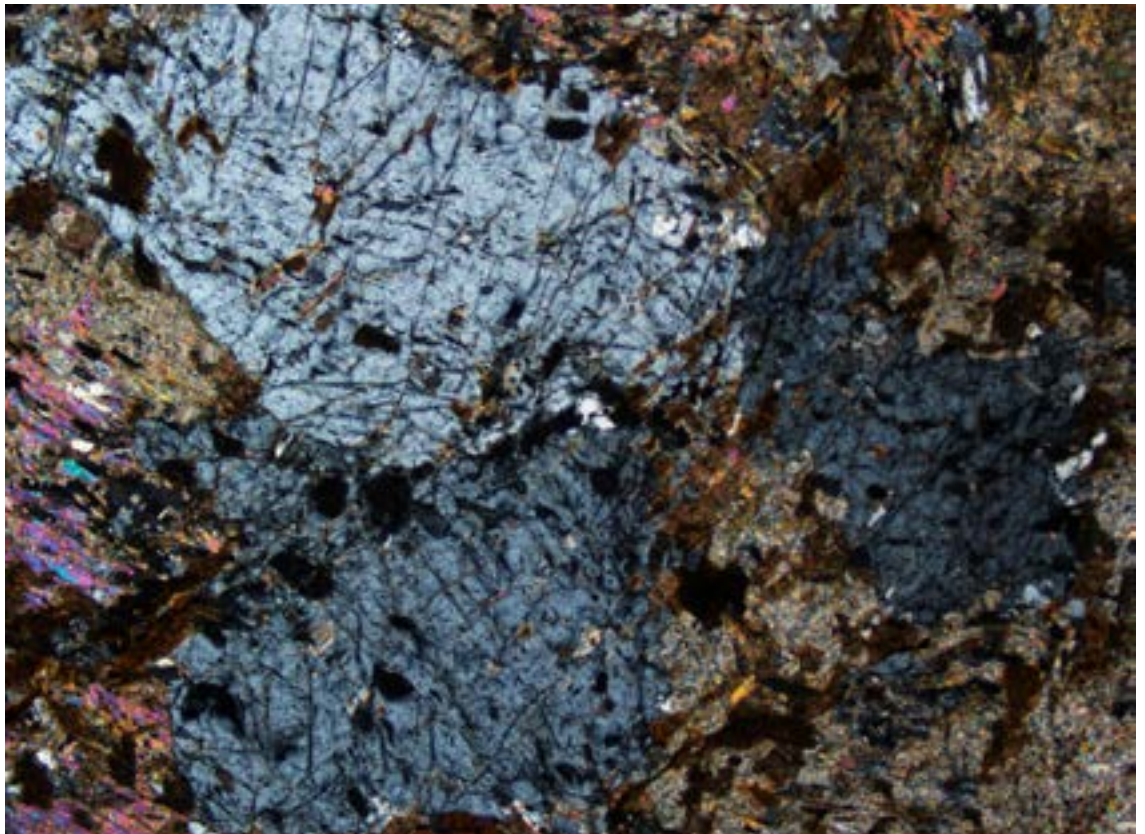
500 μm



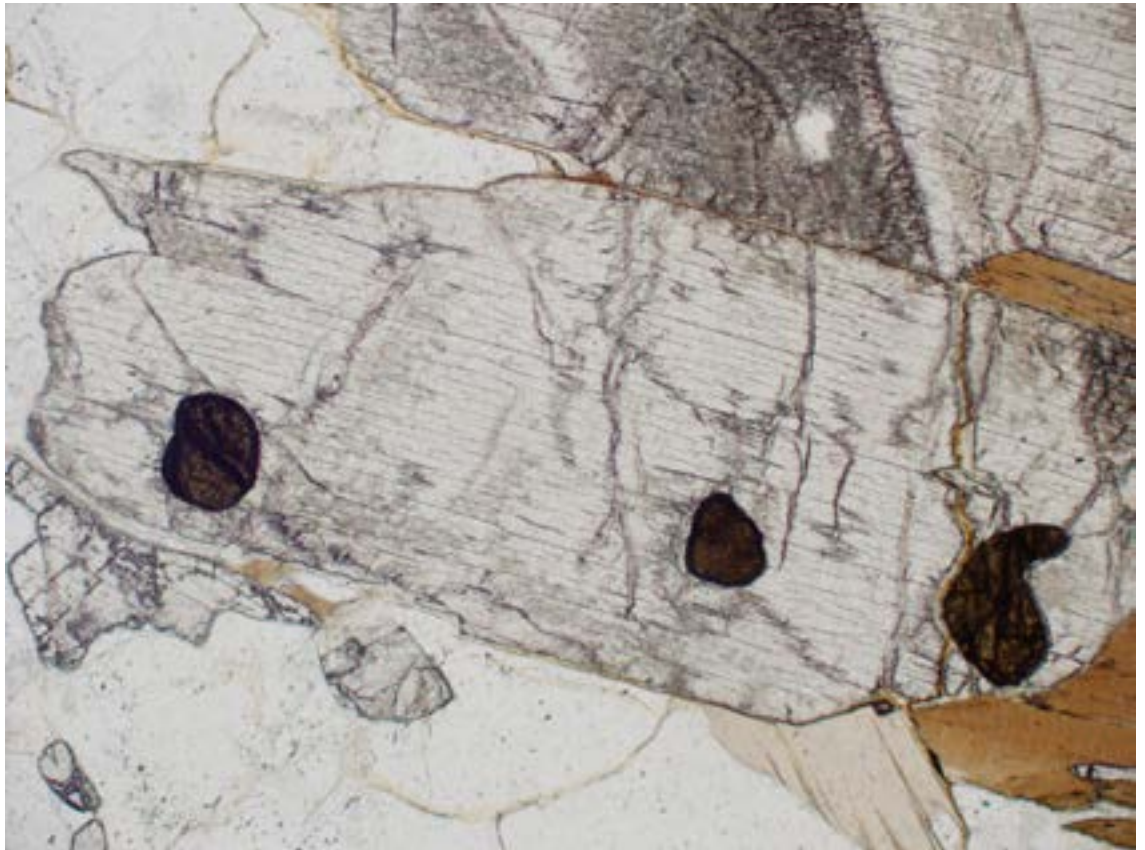
Színtelen, kis relieffel rendelkező, anhedrális andaluzit poikioblasztok csillámpalában. Jól megfigyelhető a szemcsék közepes relatív törésmutatója, mely a környező biotit szemcsékkel azonos nagyságrendű. Közepesen fejlett hasadási nyomvonalai jól kivehetők

+N

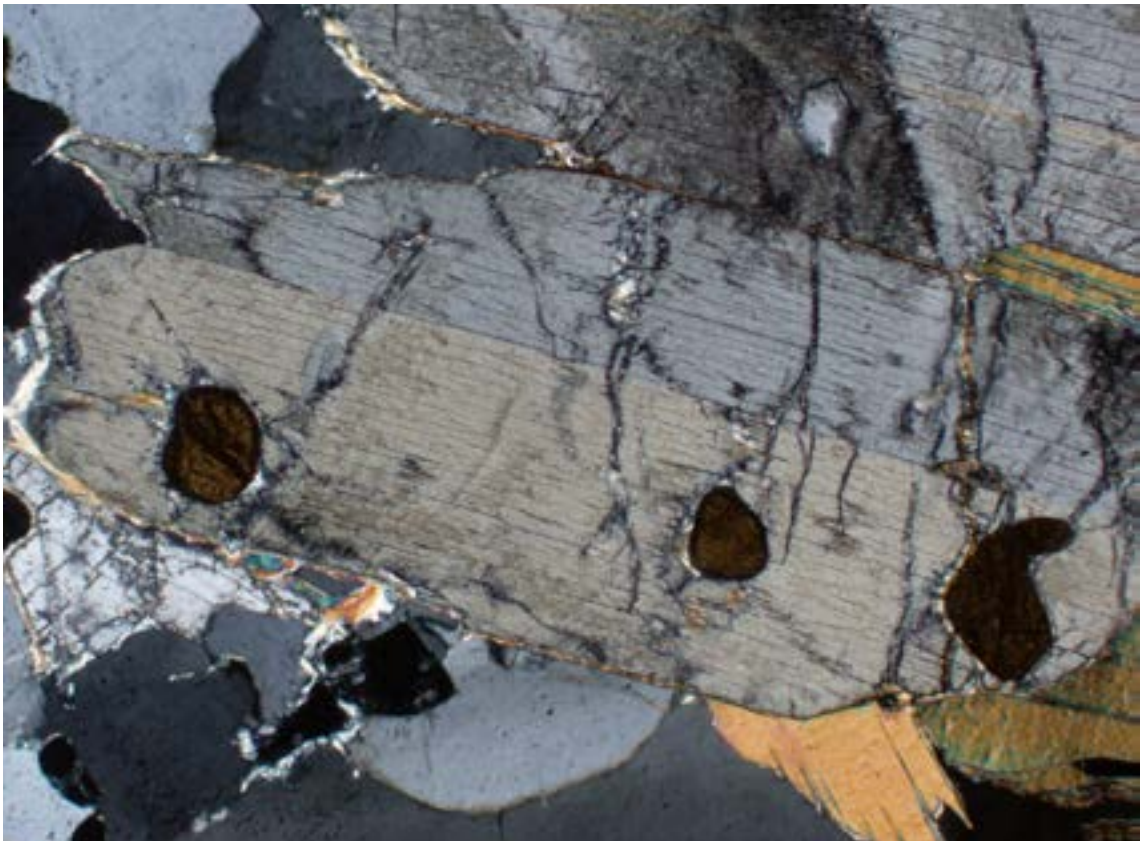
500 μm



Keresztezett polarizátorokkal vizsgálva interferencia színe elsőrendű szürke.

Kianit **Al_2SiO_5** **Ky****1N**200 μm 

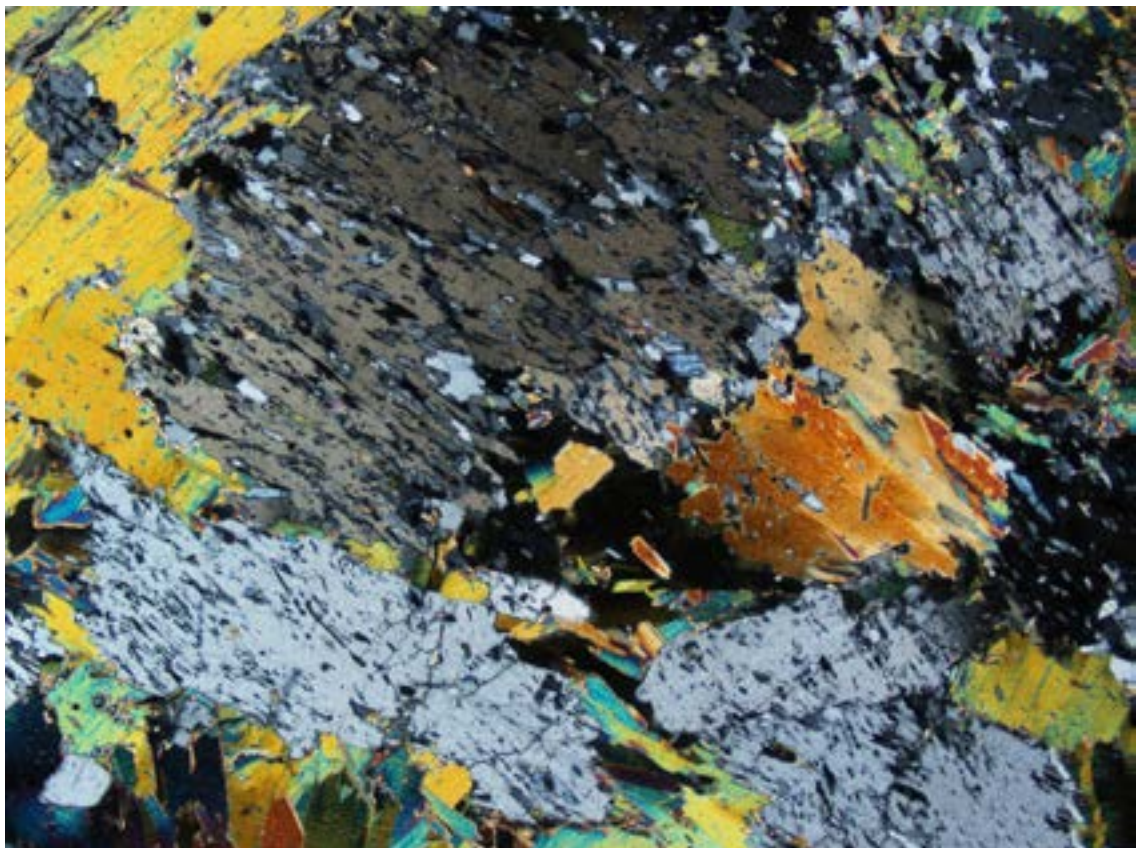
Színtelen, enyhén szürkés színű, nagy relieffel rendelkező, rendkívül sűrű hasadási nyomvonalakkal rendelkező szubhedrális kianit szemcse bronzbarna rutil zárványokkal kétcstillámú gneiszben.

+N200 μm 

Keresztezett polarizátorokkal szépen megfigyelhető a kianitra nagyon gyakran jellemző ikresedés, továbbá elsőrendű szürke interferencia színe.

Kianit **Al_2SiO_5** **Ky****1N****200 μm** 

Szitaszövetű, halvány szürkésbarna saját színű, nagy reliefű, anhedrális kianit porfiroblasztok. A szemcsék körül zöldesbarna biotit, illetve halványsárga színű staurolit szemcsék azonosíthatók.

+N**200 μm** 

Keresztezett polarizátorokkal jól azonosíthatók a kianitba bezárt elsőrendű szürke interferencia színű apró kvarc szemcsék.

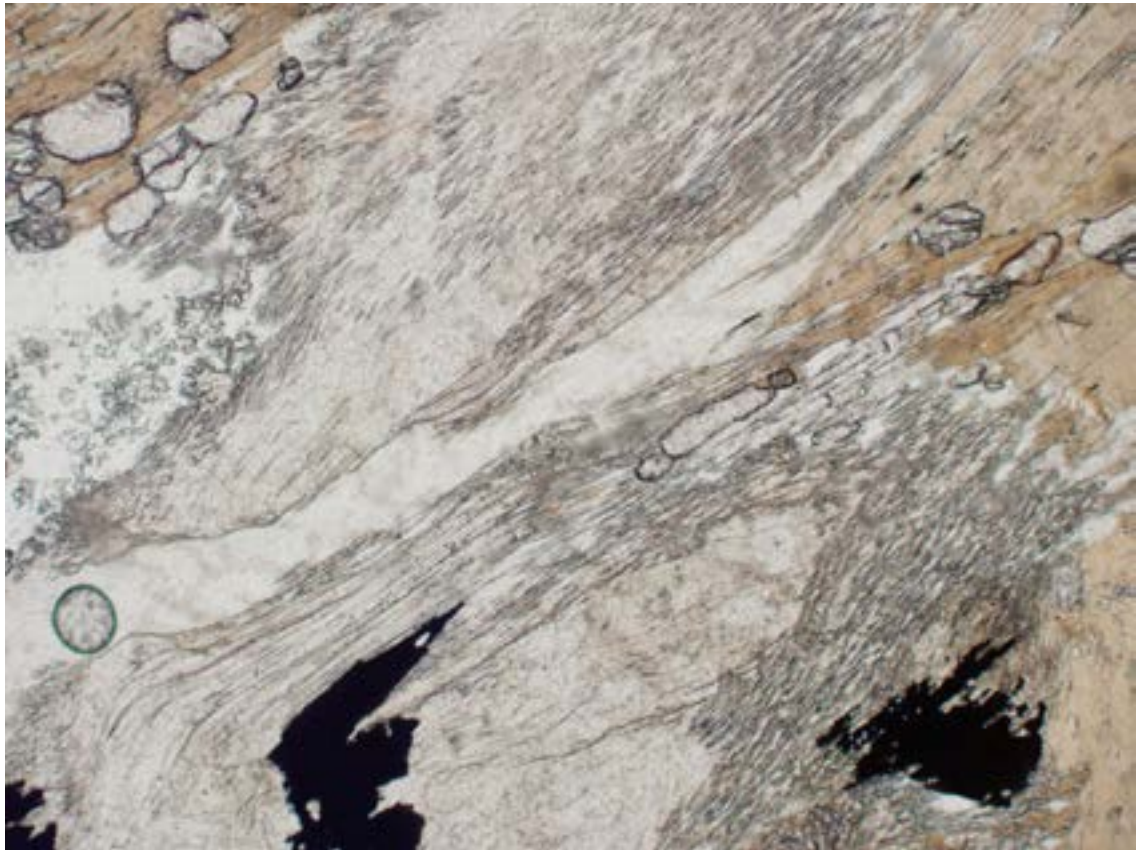
Szillimanit



Sil

1N

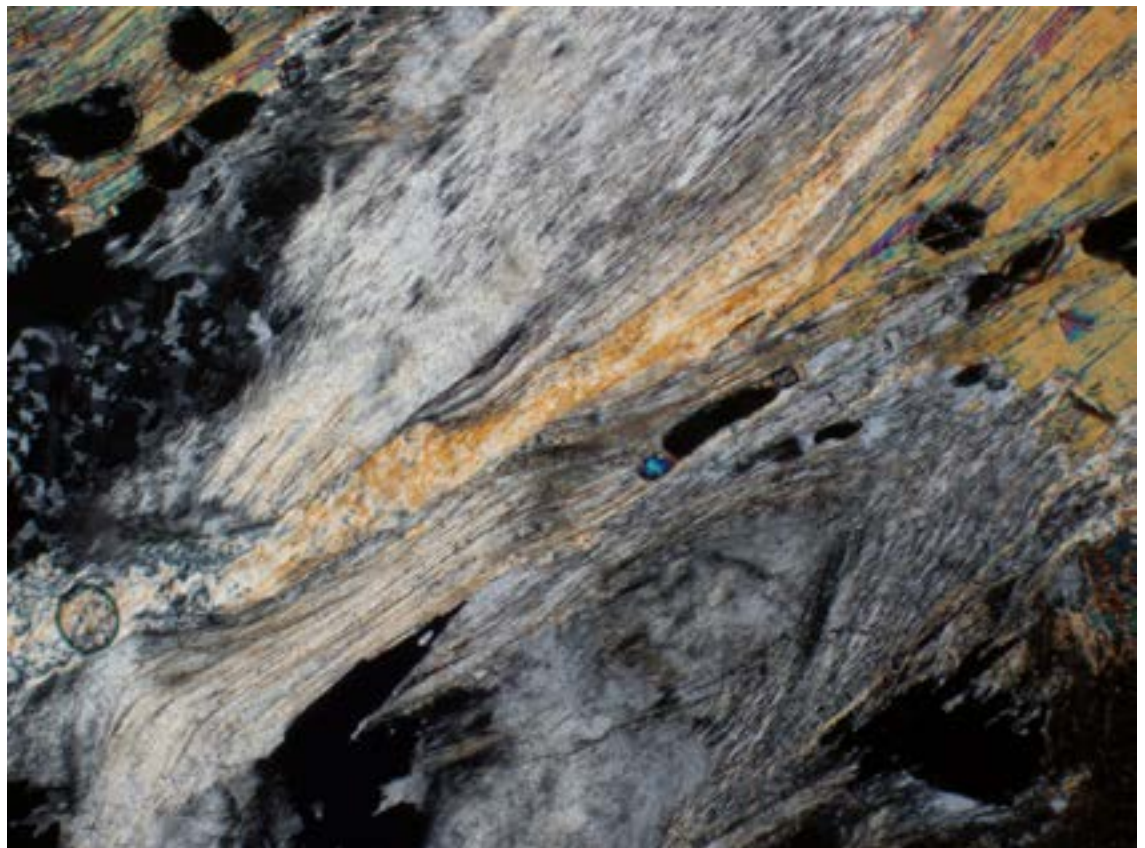
200 μm



Szálas–rostos, színtelen szillimanit fibrolit biotit szegélyén csillámpalában. Még ilyen kis szemcseméret mellett is jól azonosítható a szillimanitra jellemző nagy törésmutató és relief.

+N

200 μm



A kis szemcseméret miatt fibrolitos változatain jellegzetes érzékeny ibolya–másodrendű kék interferencia színe helyett elsőrendű szürke–sárga színt tapasztalunk.

Staurolit



St

1N

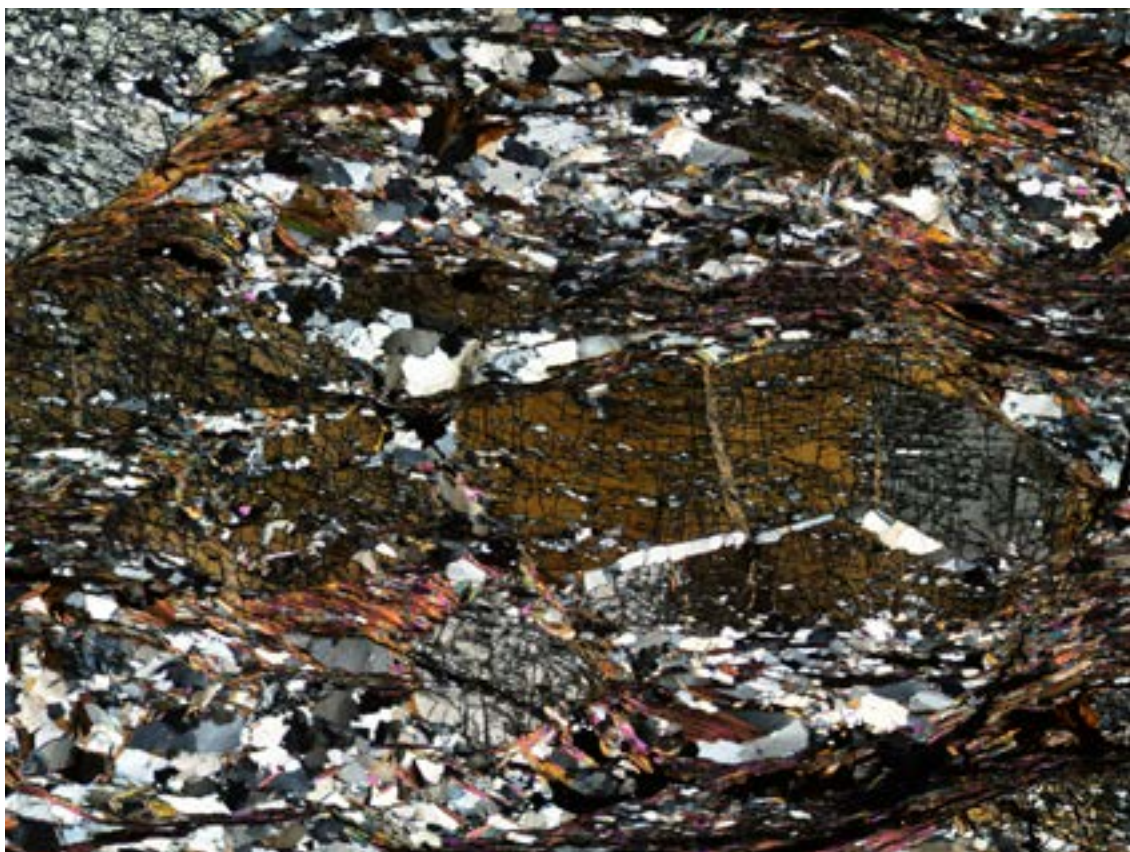
1000 μm



Szitaszövetű, nagy reliefű, sárga saját színű, erős pleokroizmussal rendelkező, szubhedrális staurolit szemcsék csillámpalában. A staurolit gyenge hasadása jól megfigyelhető a szemcséken a szabálytalan lefutású nyomvonalak formájában.

+N

1000 μm



A staurolit jellemző interferencia színe elsőrendű szürke–sárga saját színe kismértékben jellemzően átfed.

Staurolit



St

1N

500 μm



Sárga sajátzínű, anhedrális staurolit porfiroblaszt. A szemcsén jól megfigyelhető a nagy relief, a környező biotit és kvarc szemcsékhez viszonyítva. A rossz hasadás harántrepedések formájában azonosítható.

1N

500 μm



Világossárga, nagy reliefű, poikiloblasztos, anhedrális staurolit szemcse kianit és bitotit mellett.

1N

100 μm



Jellegzetes, színtelen, megnyúlt, szubhedrális cirkon szemcse erősen szericitesedett földpátban. Látható a cirkonra jellemző rendkívül nagy relief, valamint a cirkon és klorit szemcse határán a jellegzetes pleokroos udvar.

1N

100 μm



Keresztezett nikolokkal a cirkon interferencia színe harmadrendű sárga–haramadrendű ibolya között változik és zónás. Megfigyelhető továbbá a klorit szemcse rendellenes barna és levendulakék interferencia színe is.

Cirkon

ZrSiO₄

Zrn

1N

200 μm



Jellegzetes, pleokroos udvar cirkon szemcsék körül, melyek biotitban zárványként találhatók a mintában.

1N

100 μm



Titanit



Ttn

1N

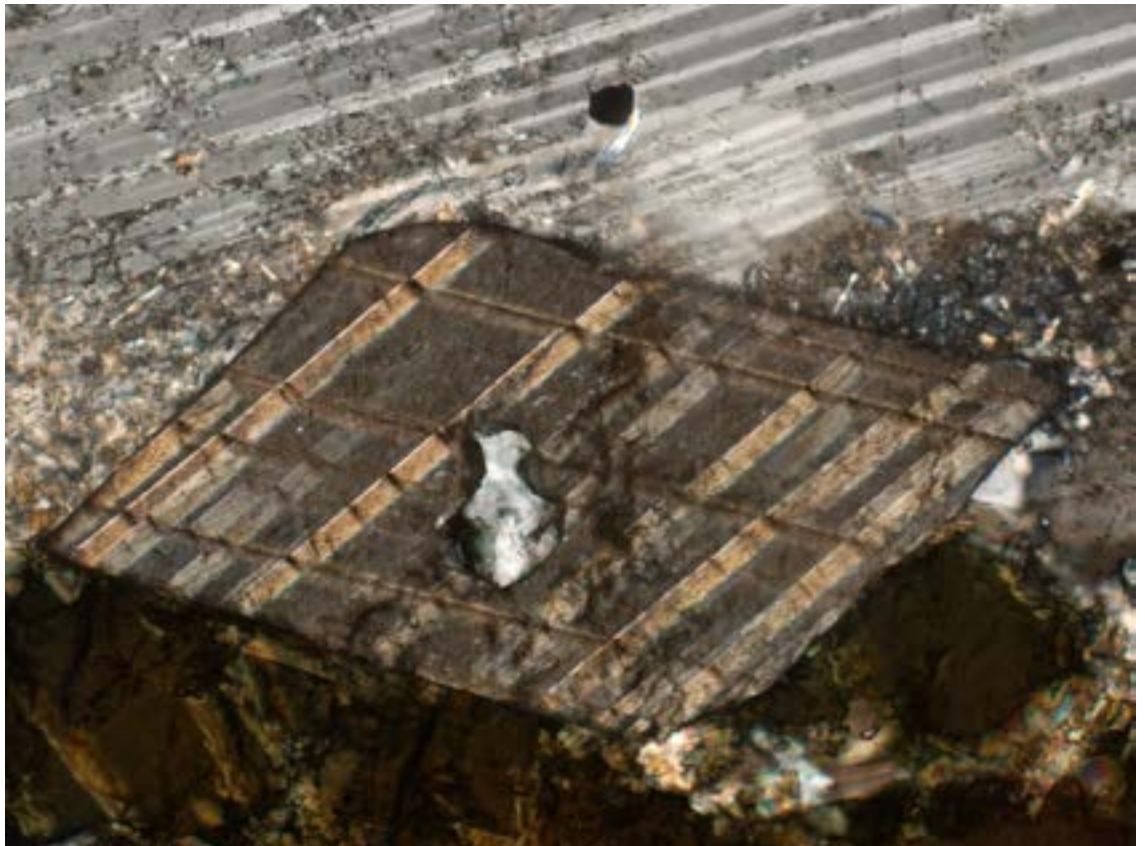
100 μm



Jellegzetes rombusz metszetű, euhedrális, enyhén színezett, sárgásbarna titanit szemcse dioritban. A szemcsén kiválóan látszik a jellegzetes kétirányú hasadás. A nagy relief utal az ásvány nagy fénytörésére a környező szemcsékhez viszonyítva.

+N

100 μm



Rendkívül nagy kettőstörése következtében a szemcse negyedrendű interferencia színt mutat, mely nagyon hasonlít saját színéhez. A szemcsén látható jellegzetes, a titanit nagyon gyakori ikerlemezősége.

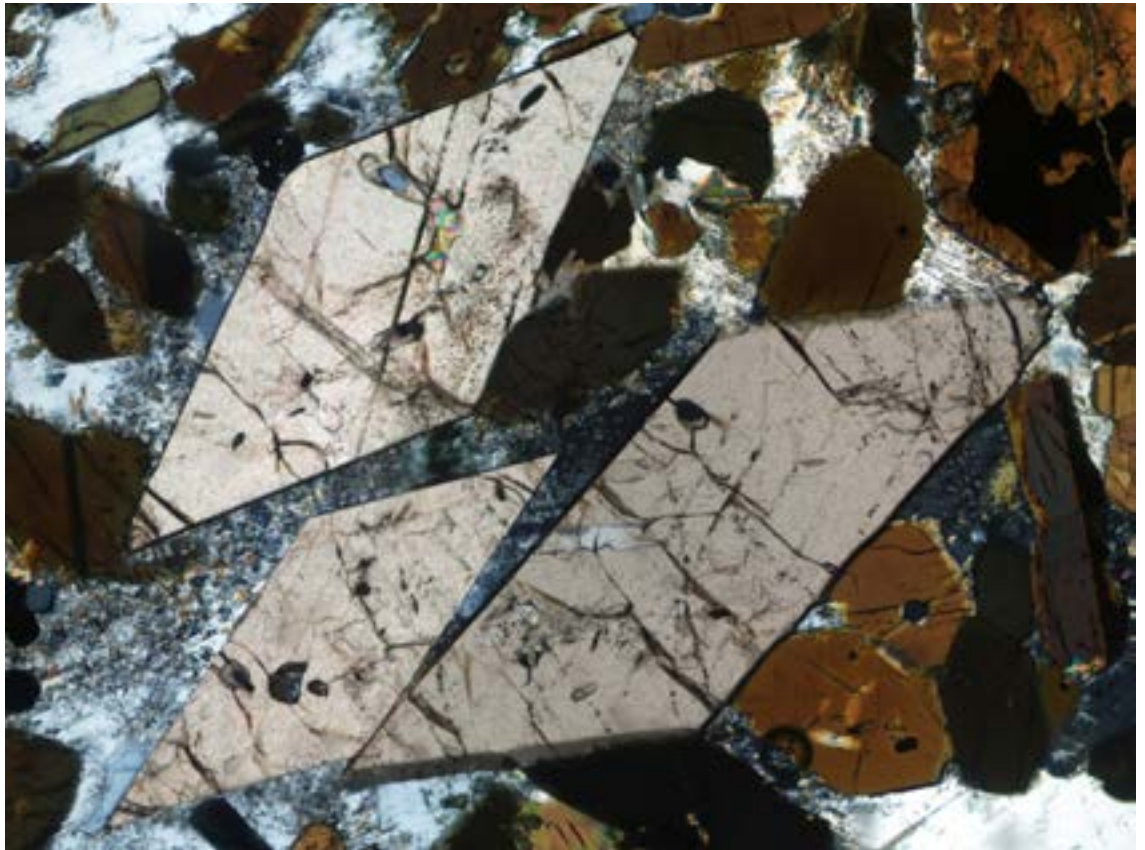
Titanit

CaTiSiO₄O

Ttn

+N

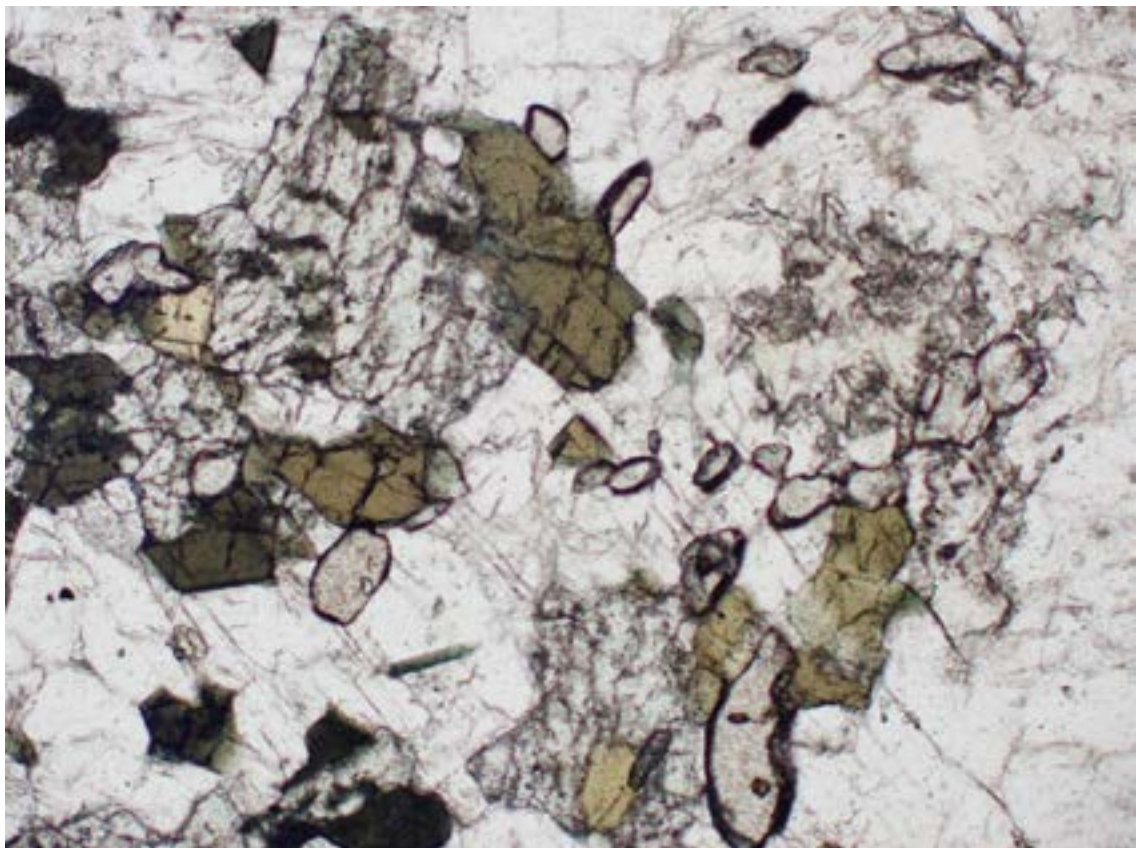
100 μ m



Rombusz metszetű, euhedrális, negyedrendű sárga interferencia színű titanit szemcsék hornblenditben.

1N

100 μ m



Anhedrális, halvány sárgásbarna titanit szemcsék amfibolitban. A nagy relief mutatja a szemcsék nagy fénytörését a mátrixhoz (plagioklász és hornblende) viszonyítva.

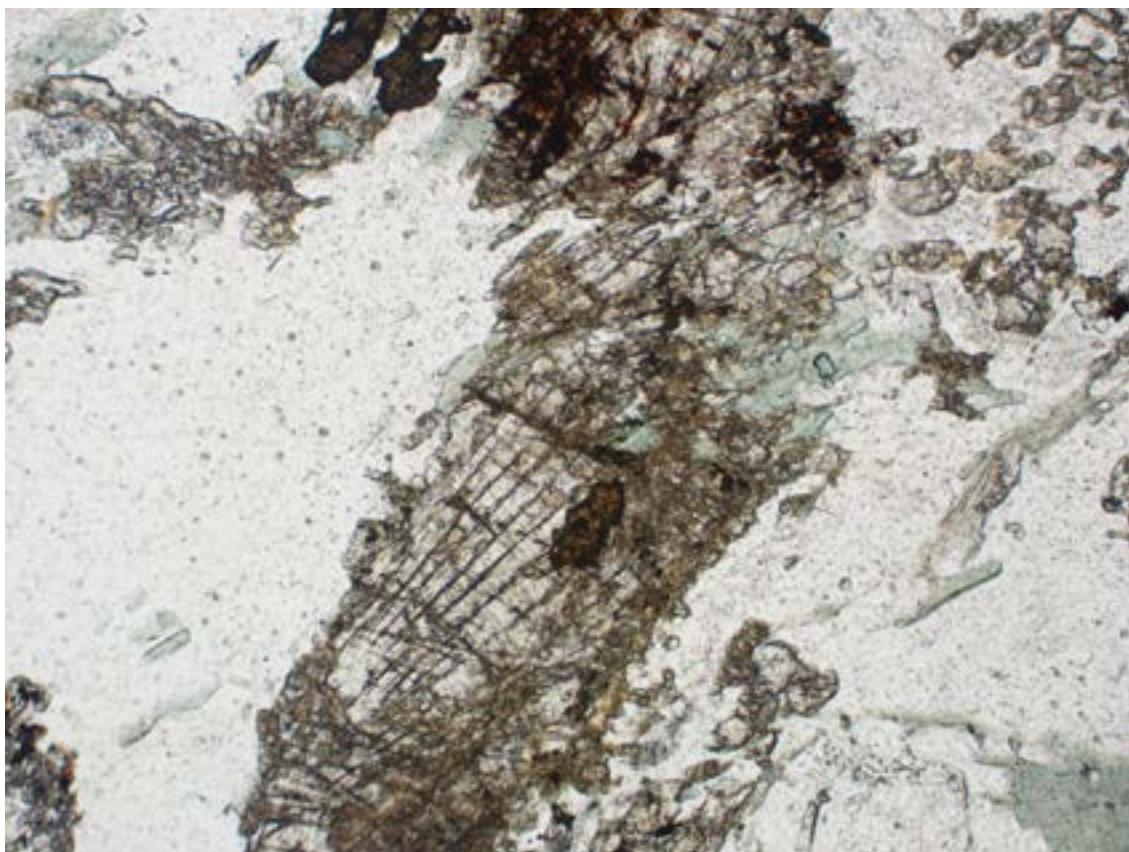
Epidot

$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Si}_2\text{O}_7\text{SiO}_4\text{O}(\text{OH})$

Ep

1N

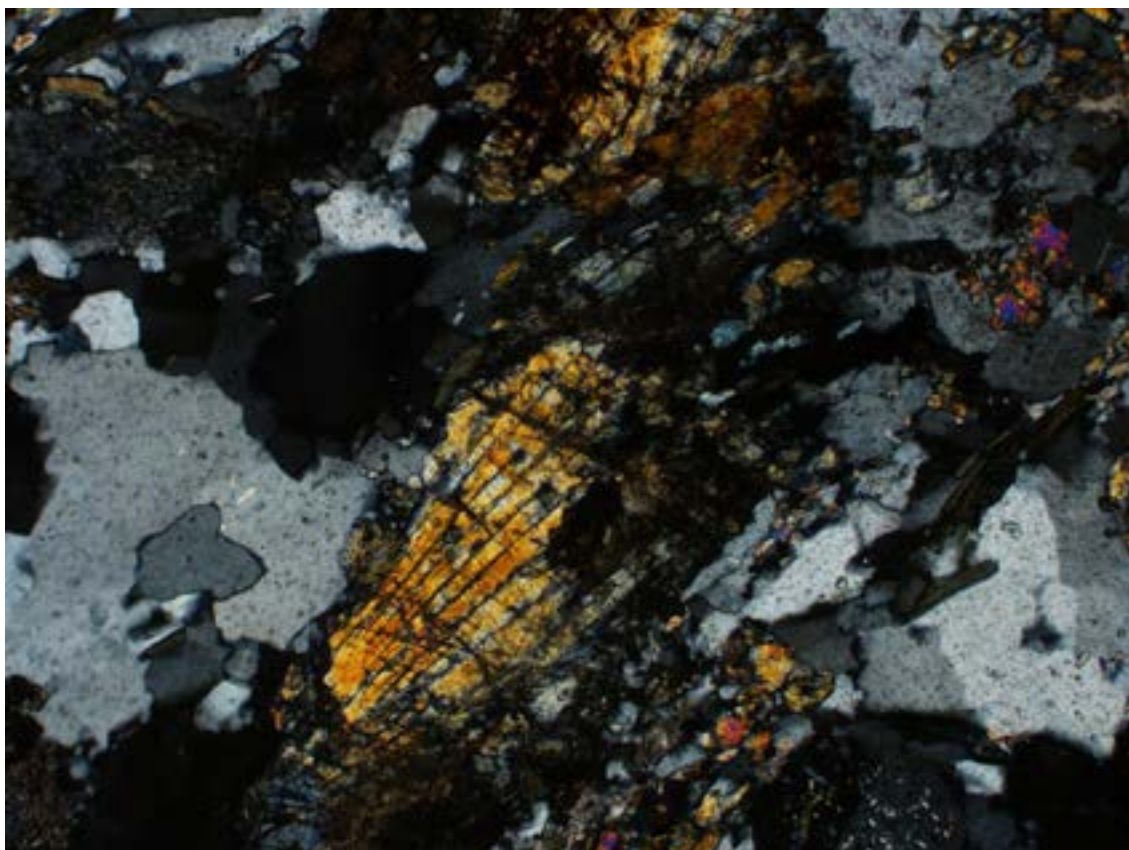
200 μm



Enyhén sárgásbarna színű, nagy relieffel rendelkező, anhedrális epidot szemcse jól fejlett hasadási nyomvonalakkal epidot-kloritpalában.

+N

200 μm



Kerszetezett nikol állásnál a szemcse interferencia színe elsőrendű sárga–másodrendű kék.

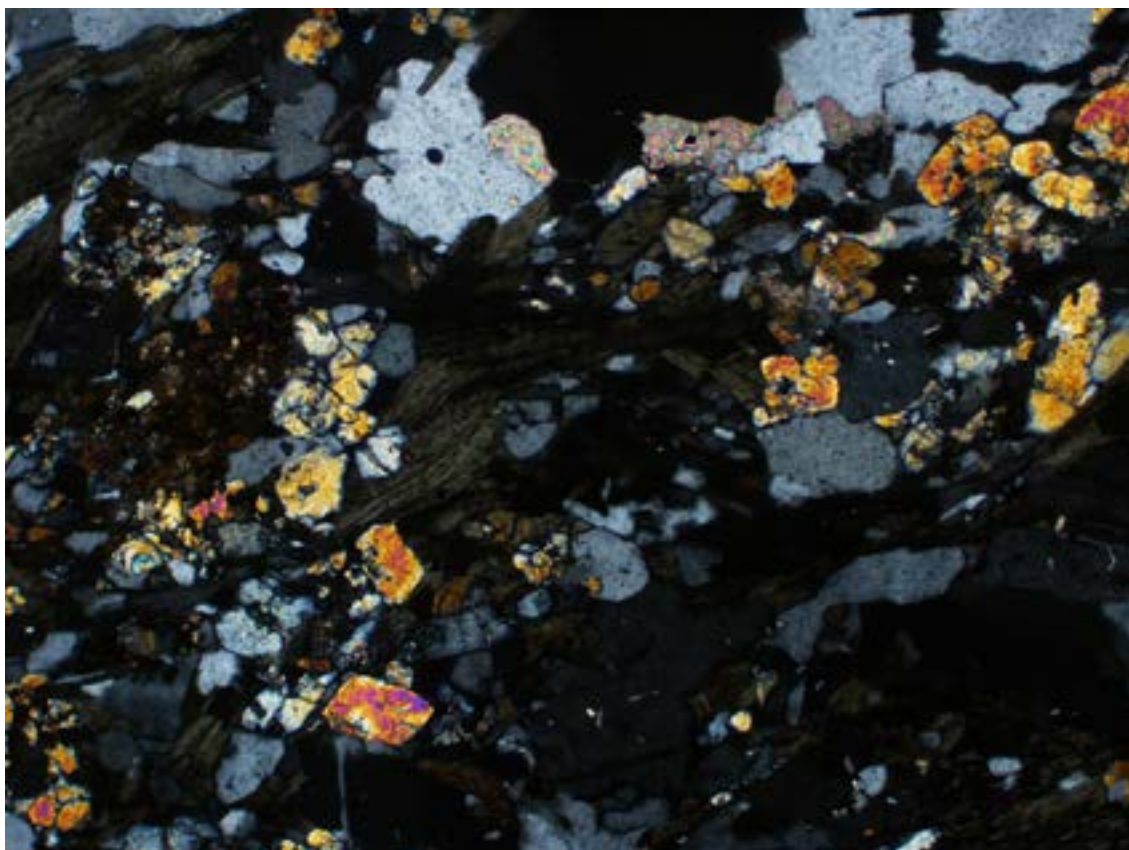
Epidot

$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})\text{Si}_2\text{O}_7\text{SiO}_4\text{O}(\text{OH})$

Ep

+N

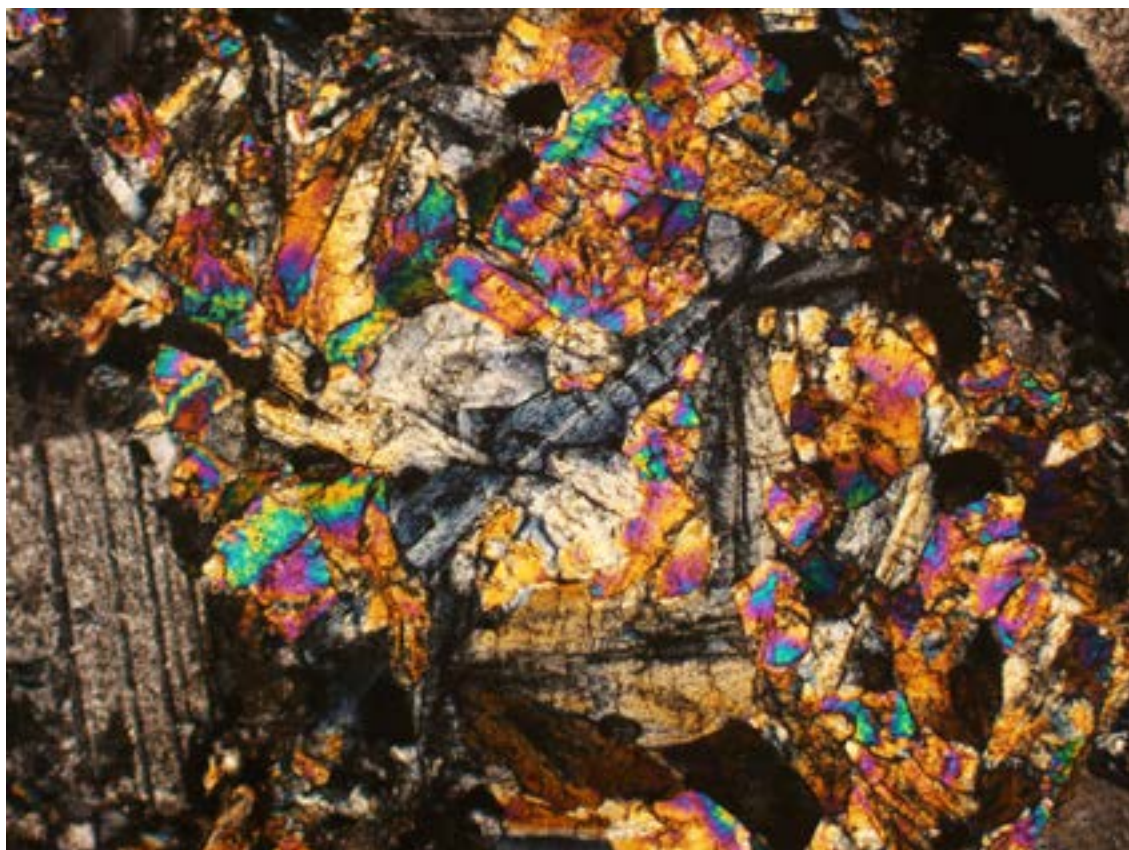
100 μm



Elsőrendű sárga–érzékeny ibolya interferencia színű epidot rendellenes barna klorit és elsőrendű szürke kvarc társaságában.

+N

100 μm



Léces habitusú, elsőrendű sárga–másodrendű zöld epidot lécek granodiorit üregkitöltéseként.

Turmalin

$(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Mn})_3(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{3+}, \text{V})_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH})_3(\text{F}, \text{O}, \text{OH})$

Tur

1N

500 μm



Megnyúlt, léces és ditrigonális metszetű, euhedrális, kékeszöld, zónás turmalin szemcsék gneiszben.

+N

500 μm



A c-tengellyel közel párhuzamos metszeteken jól megfigyelhető a turmalinra jellemző elsőrendű sárga interferencia szín, míg a ditrigonális metszetek közel izotrópan viselkednek.

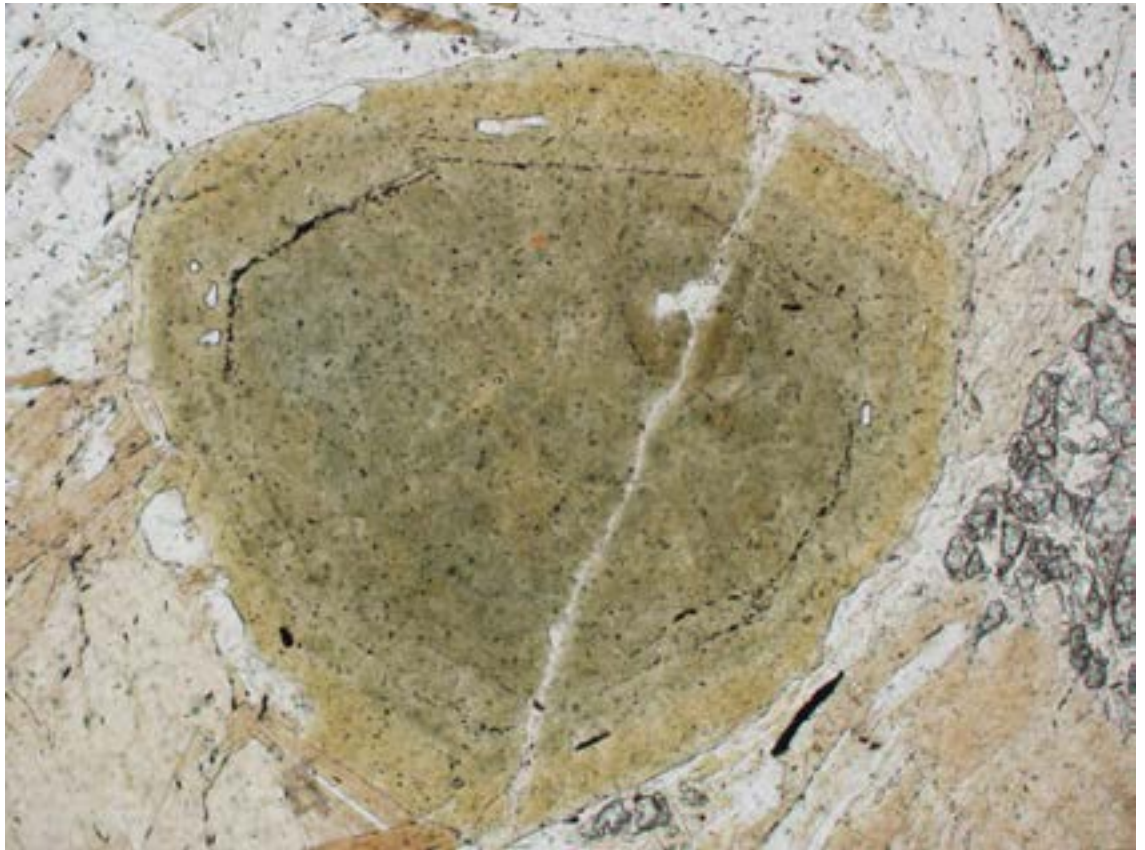
Turmalin

$(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Mn})_3(\text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}^{3+}, \text{V})_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{O}, \text{OH})_3(\text{F}, \text{O}, \text{OH})$

Tur

1N

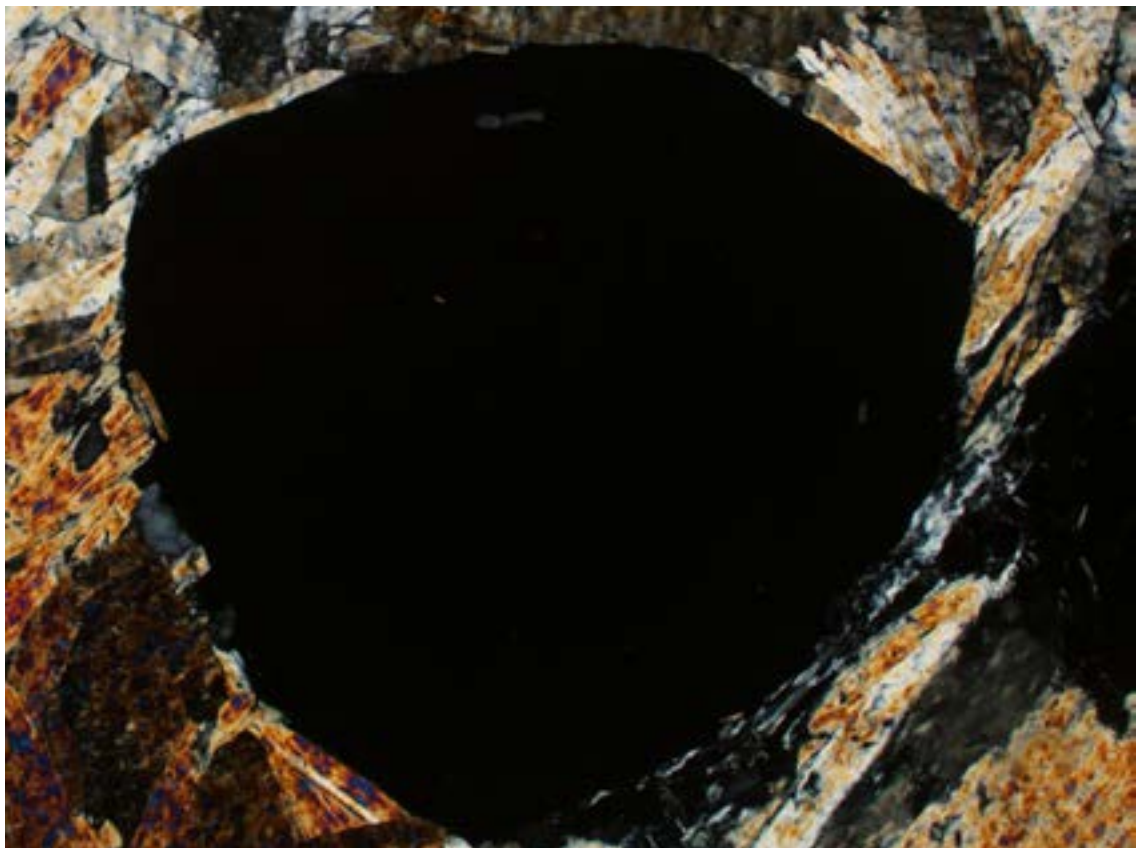
100 μm



Euhedrális, zónás turmalin kristály c-tengelyre merőleges ditrigonális metszete.

+N

100 μm



Tökéletesen megfigyelhető az optikailag egytengelyű ásványokra jellemző főtengelyre merőleges metszeten tapasztalható izotrópia.

Apatit**Ap****1N**200 μm 

Színtelen, léces habitusú, szubhedrális apatit szemcse amfibolitban. A szemcse rendkívül nagy relieffel és éles, kiemelkedő körvonallal, valamint jellegzetes haránt irányú hasadással rendelkezik.

+N200 μm 

A szemcse interferencia színe jellegzetes elsőrendű szürke.

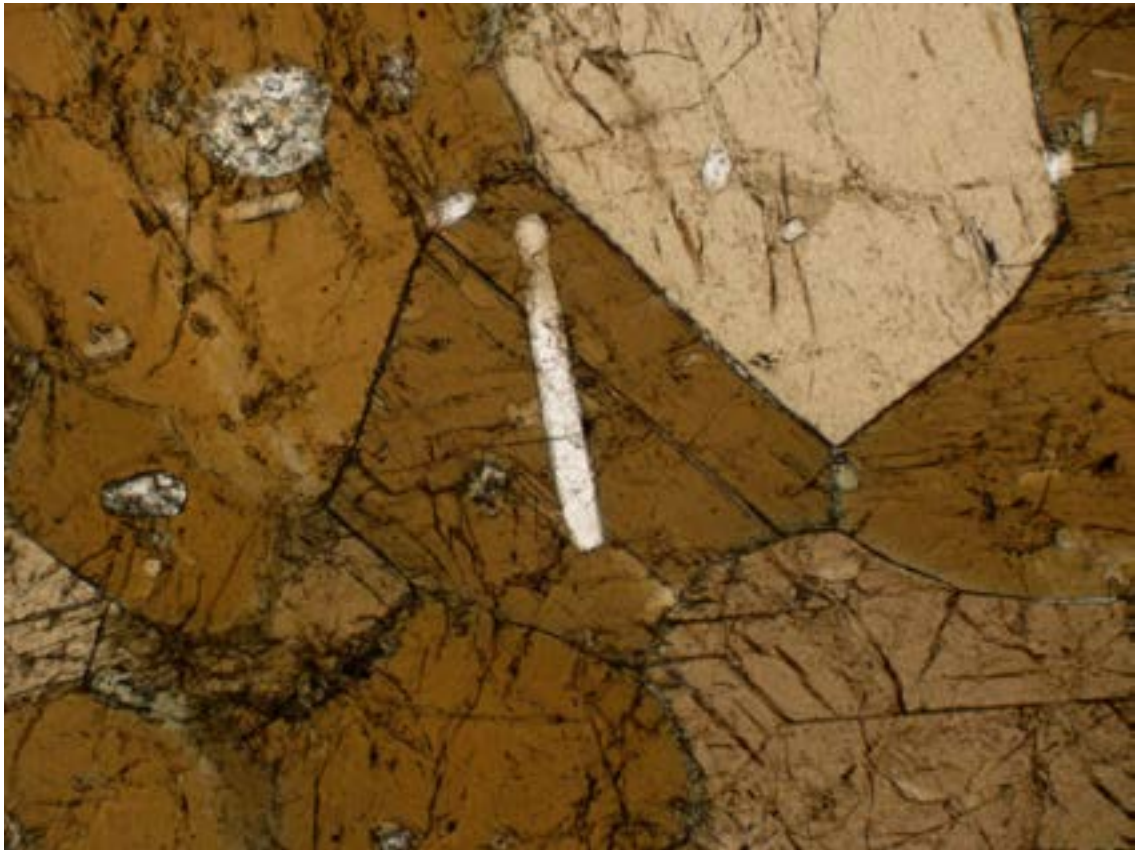
Apatit

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Ap

1N

200 μm



Szubhedrális apatit tű hornblende szemcsében zárványként. Megfigyelhető a nagy fénytörés az éles körvonal alapján.

+N

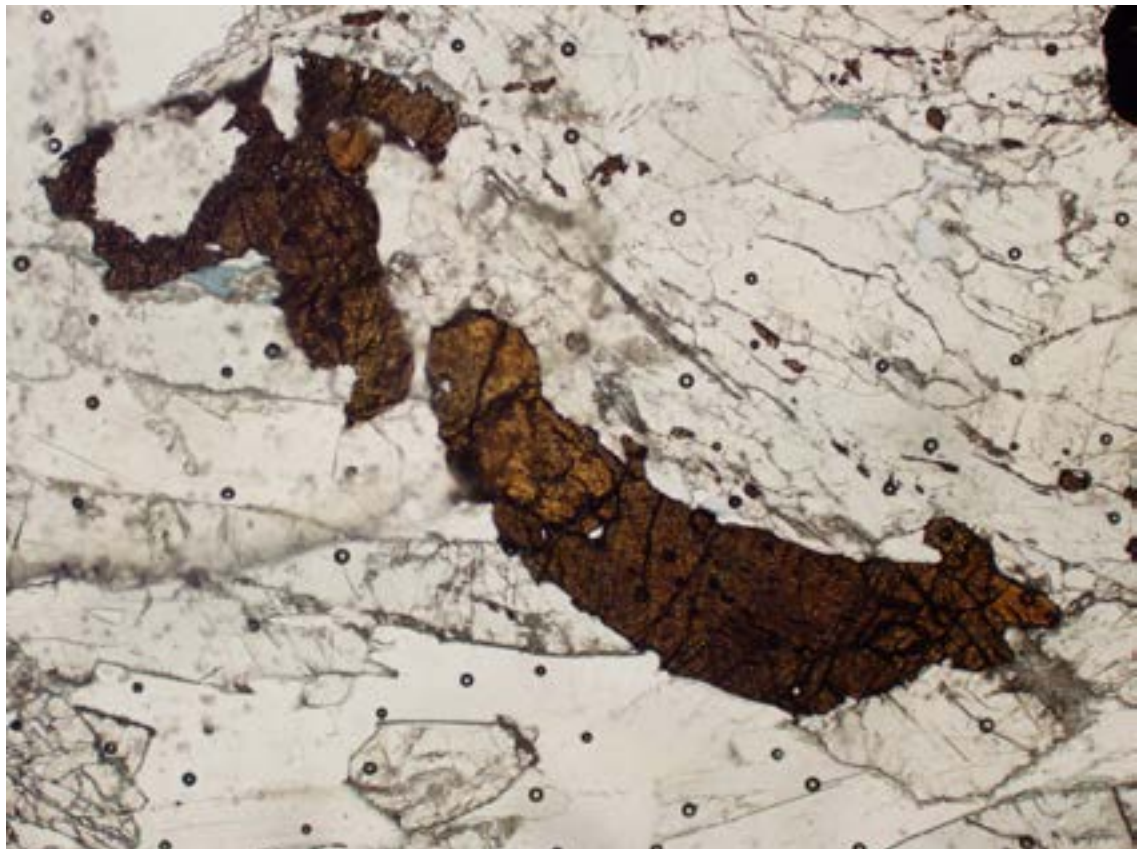
200 μm



A szemcse interferencia színe elsőrendű szürke.

Rutil**TiO₂****Rt****1N**

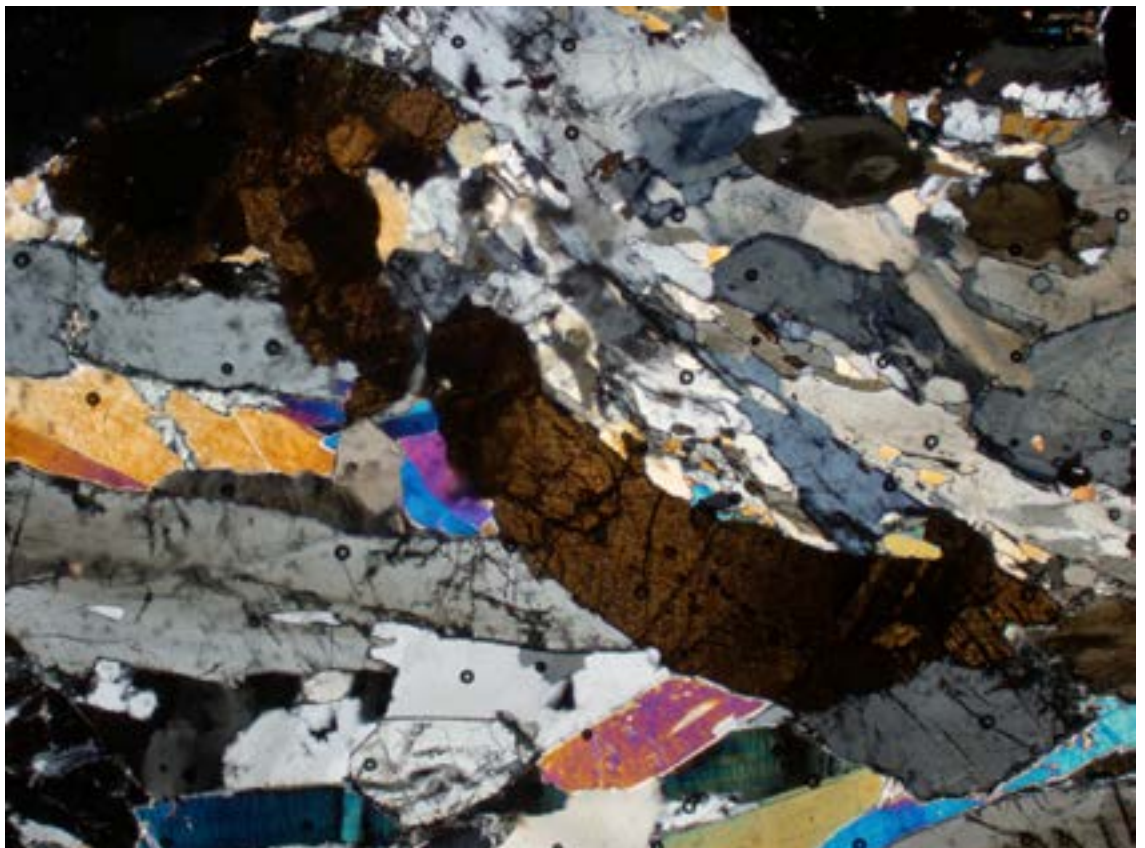
200 μm



Erősen színezett, bronzbarna, környezetéből kiemelkedő, anhedrális rutil szemcse gyengén fejlett hasadási nyomvonalakkal eklogitban. A halványsárga színű ásvány erősen pleokroos glaukofán.

+N

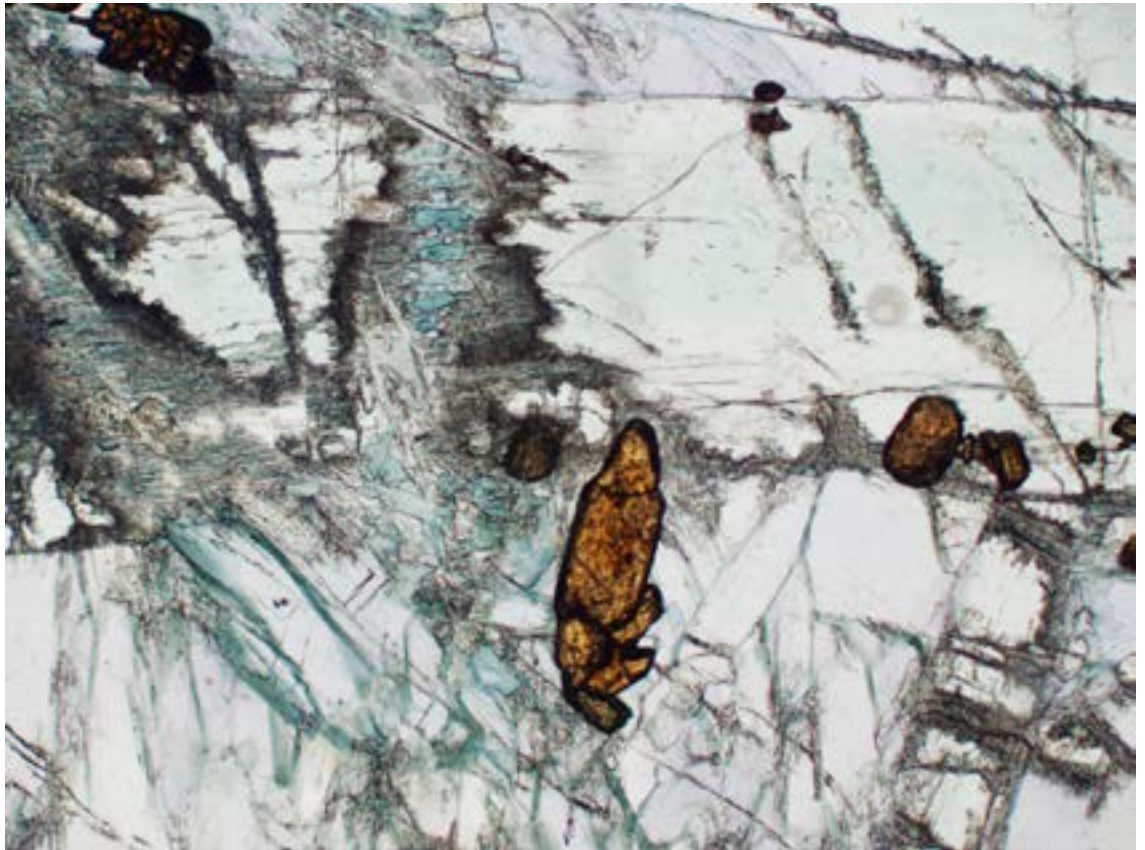
200 μm



Interferencia színe negyedrendű, de saját színe olyan erősen átfed, hogy keresztezett nikolos képe csaknem megegyezik az egy nikolos felvétellel.

Rutil**TiO₂****Rt****1N**

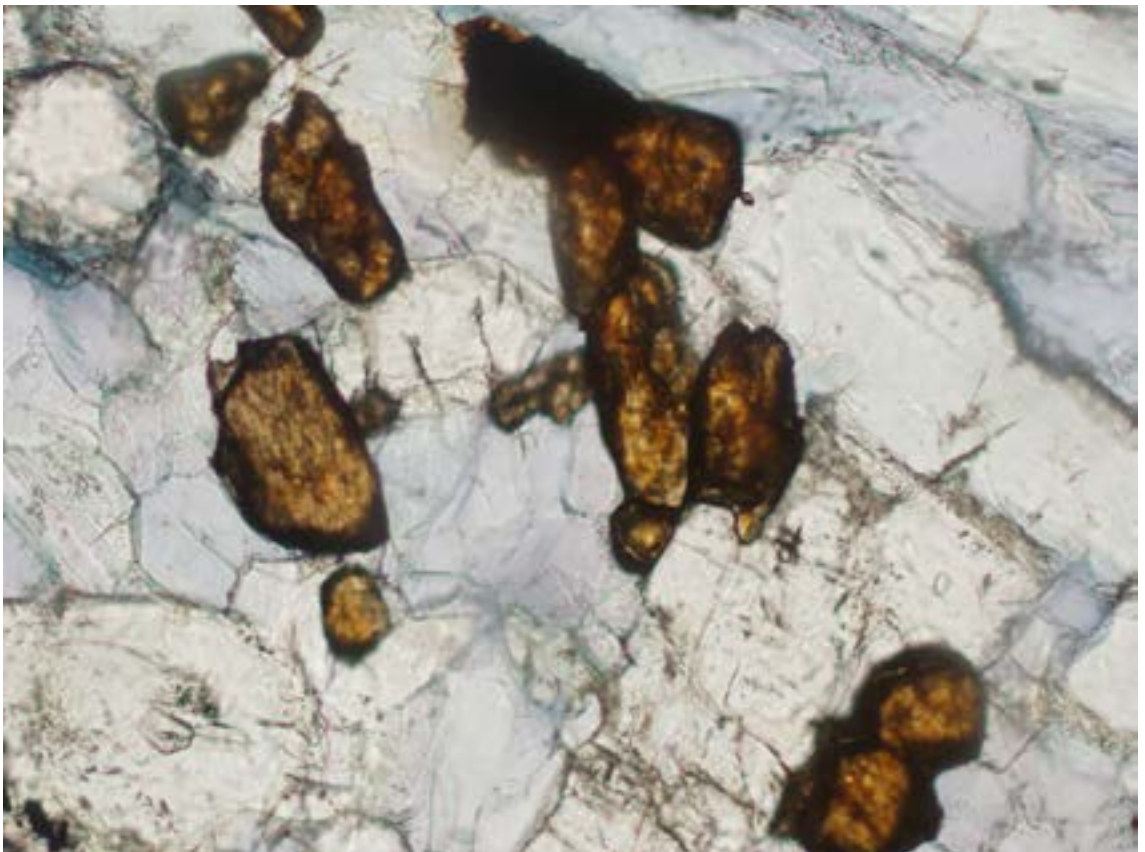
100 µm



Erősen színezett, bronzbarna, nagyon éles körvonallal rendelkező rutil szemcsék.

1N

50 µm



Interferencia színe negyedrendű, de saját színe olyan erősen átfed, hogy kereszttezett nikolos képe csaknem meg-
egyezik az egy nikolos felvétellel.

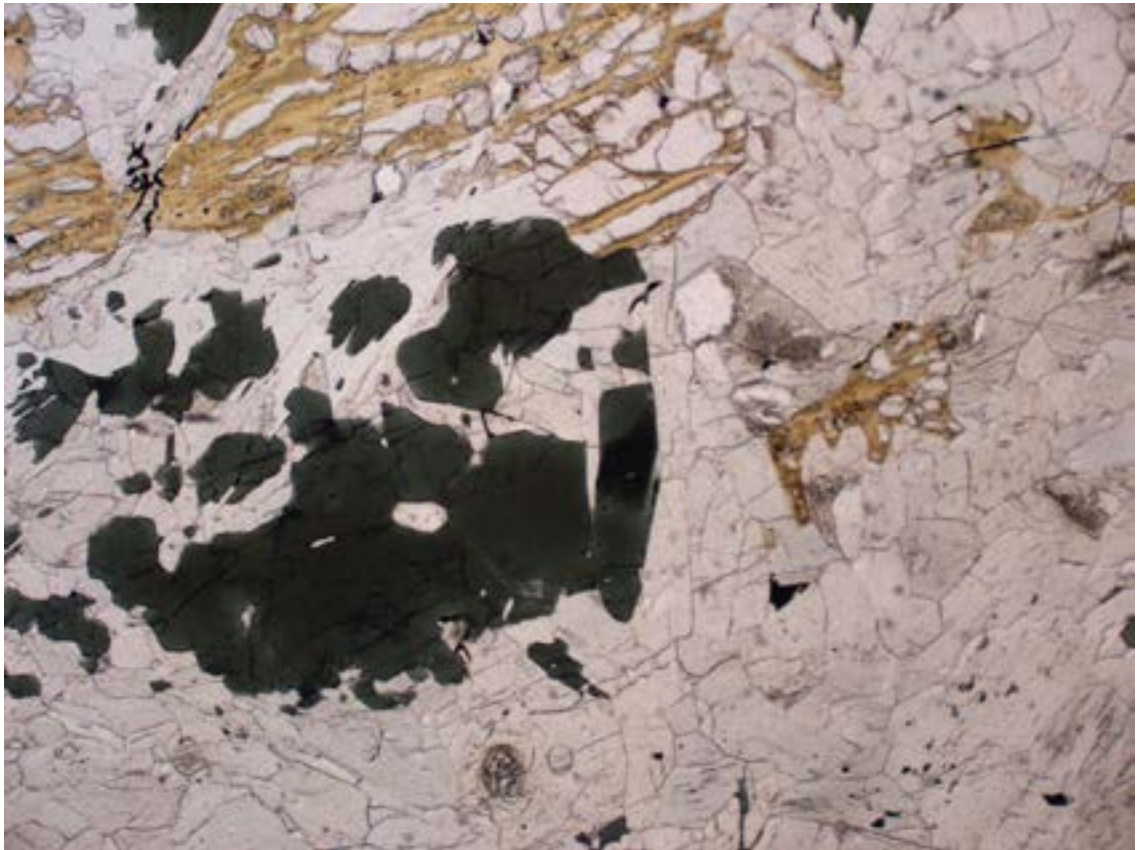
Spinel

MgAl₂O₄

Spl

1N

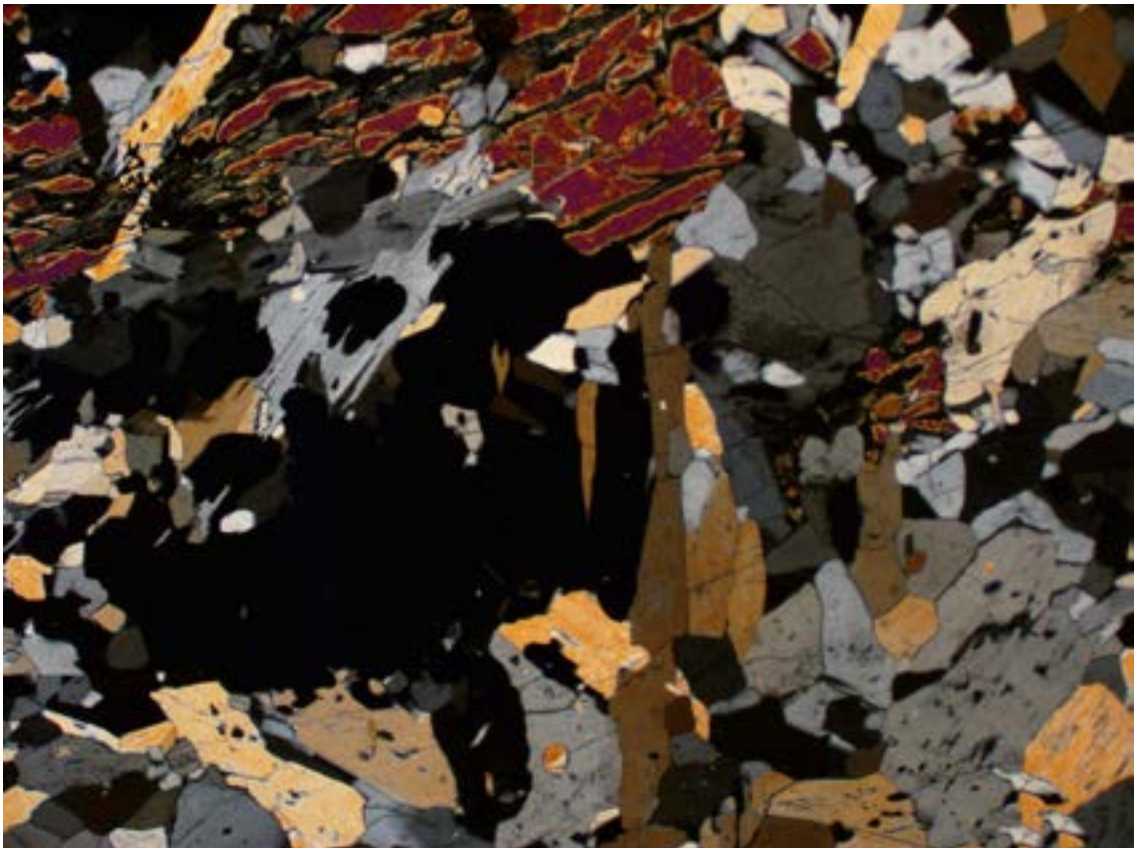
500 μm



Erősen színezett, sötétzöld színű, nem pleokroos, éles körvonallal, de kis relieffel rendelkező hercinit (spinel) szemcse.

+N

500 μm



Kerszetezett nikolok mellett szabályos kirstályrendszerének megfelelően izotróp.

Kalcit**CaCO₃****Cal****1N**

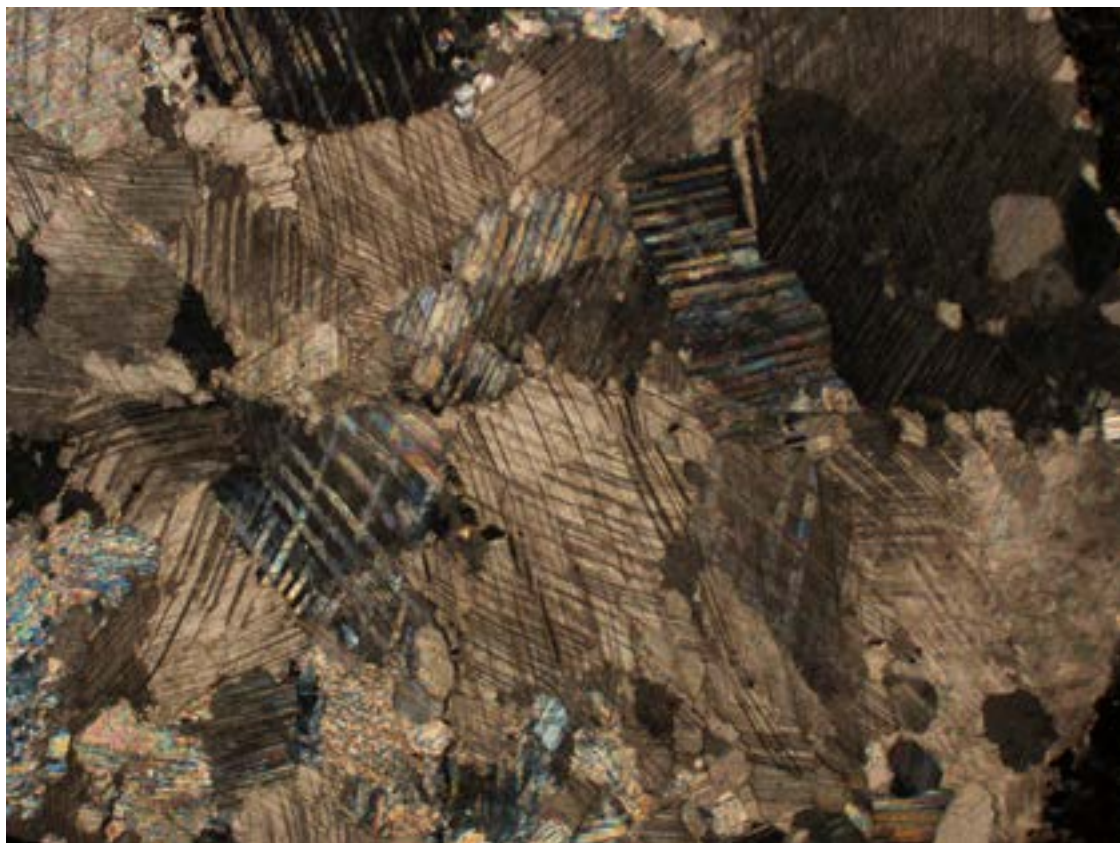
500 μm



Kiváló kétirányú hasadást mutató, színtelen–enyhén színezett, nagy fénytörésű üregkitöltő karbonát szemcsék. A szemcsék erős pszeudoabszorpciója megfigyelhető a szemcsehatárokon (néhányik nagyon erős körvonalú, míg másik szemcse belesímul környezetébe)

+N

500 μm



Negyedrendű interferencia színe nagyon hasonló a titanitéhoz. Megfigyelhető a szemcsékben található jellegzetes ikerlemezeség.

Kalcit

CaCO₃

Cal

1N

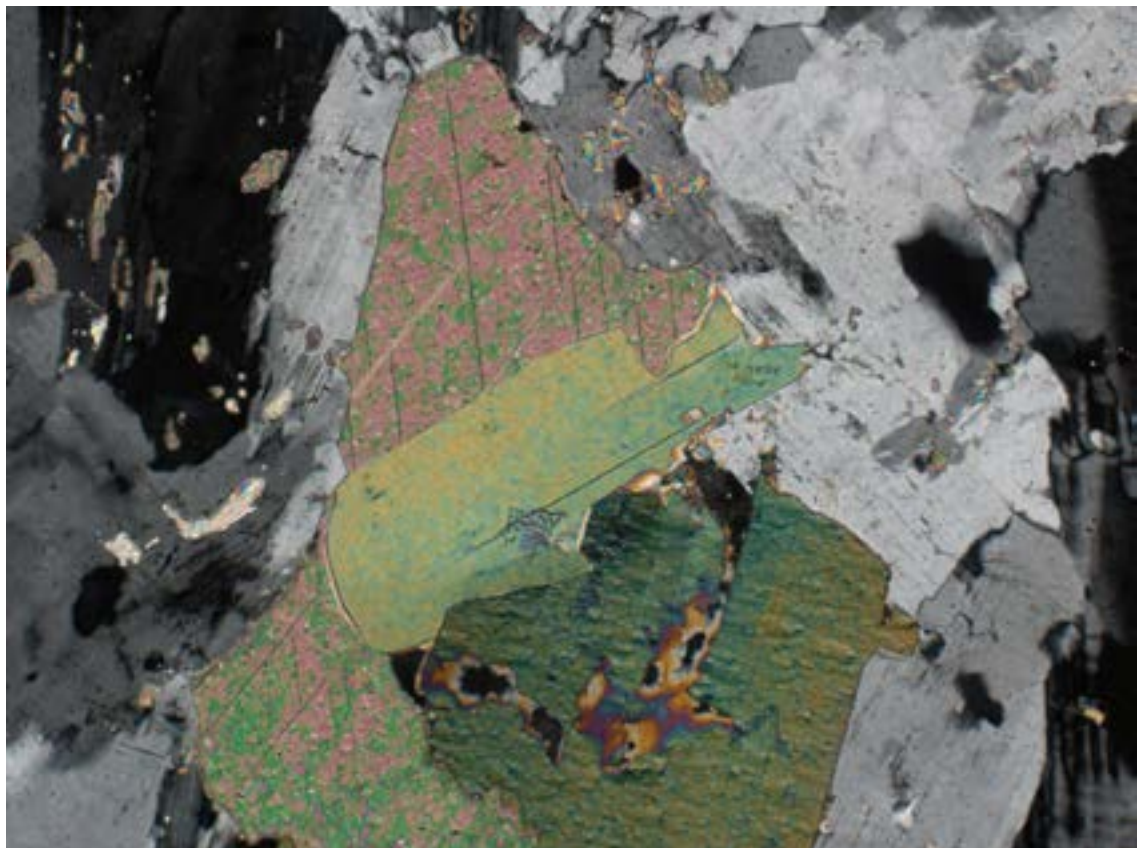
100 μm



Színtelen, kiváló kétirányú hasadással és éles körvonallal rendelkező karbonát szemcse gránitban.

+N

100 μm



Interferencia színe negyedrendű ibolya–negyedrendű zöld és jellegzetesen foltos.

Kalcit

CaCO₃

Cal

+N

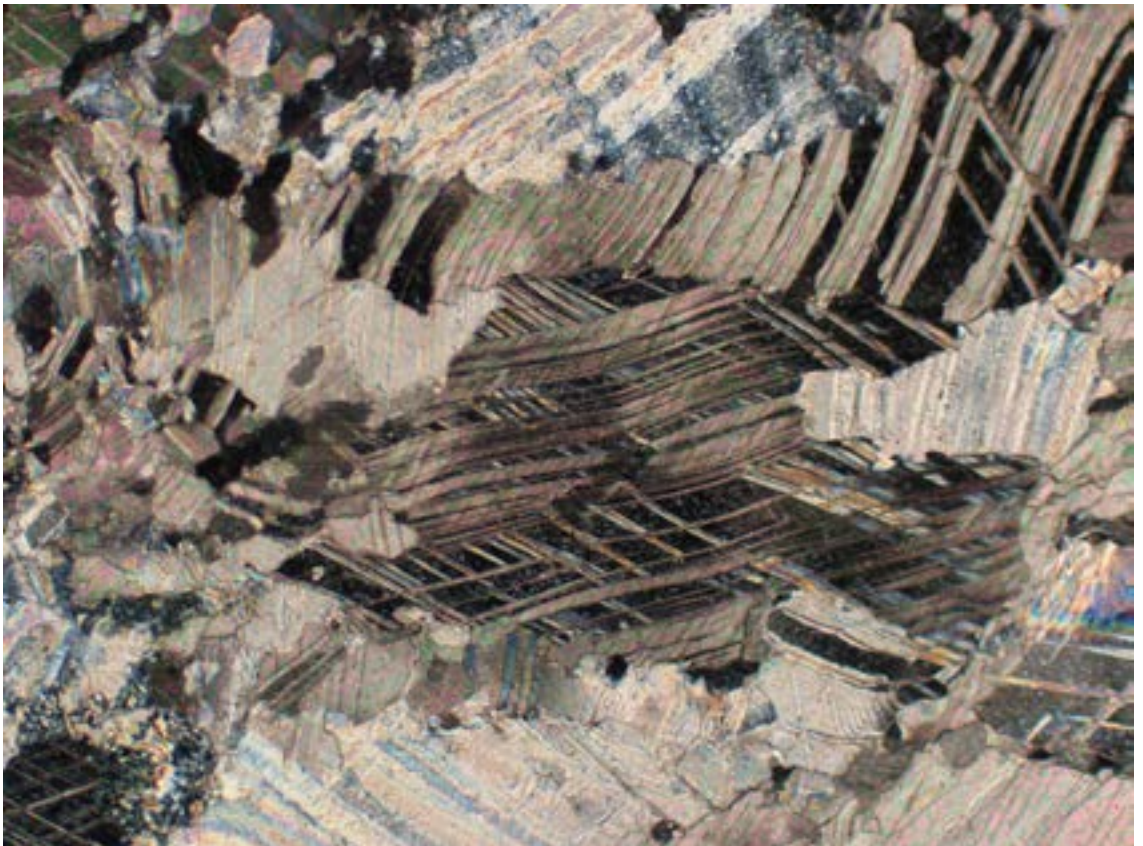
500 µm



Poligonális szövetű, karbonát metakonglomerátum átkristályosodott cementanyagában.

+N

100 µm



Többirányú, hajlott deformációs ikerlemezekkel rendelkező karbonátszemcsék.

Anhidrit

CaSO₄

Anh

+N

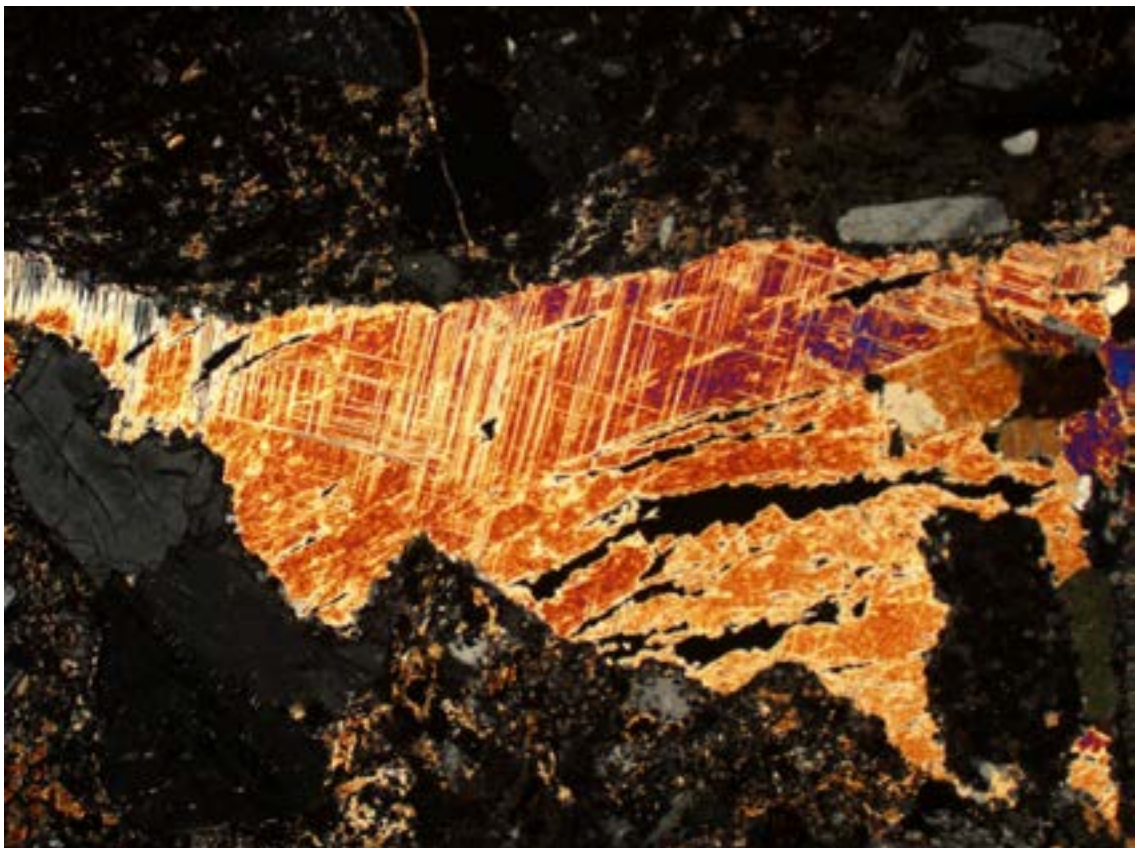
500 μm



Színtelen, kis relieffel rendelkező, éles körvonalú, jó hasadású anhidrit cement homokkőben.

+N

500 μm



Elsőrendű sárga–másodrendű kék interferencia színű szemcse.

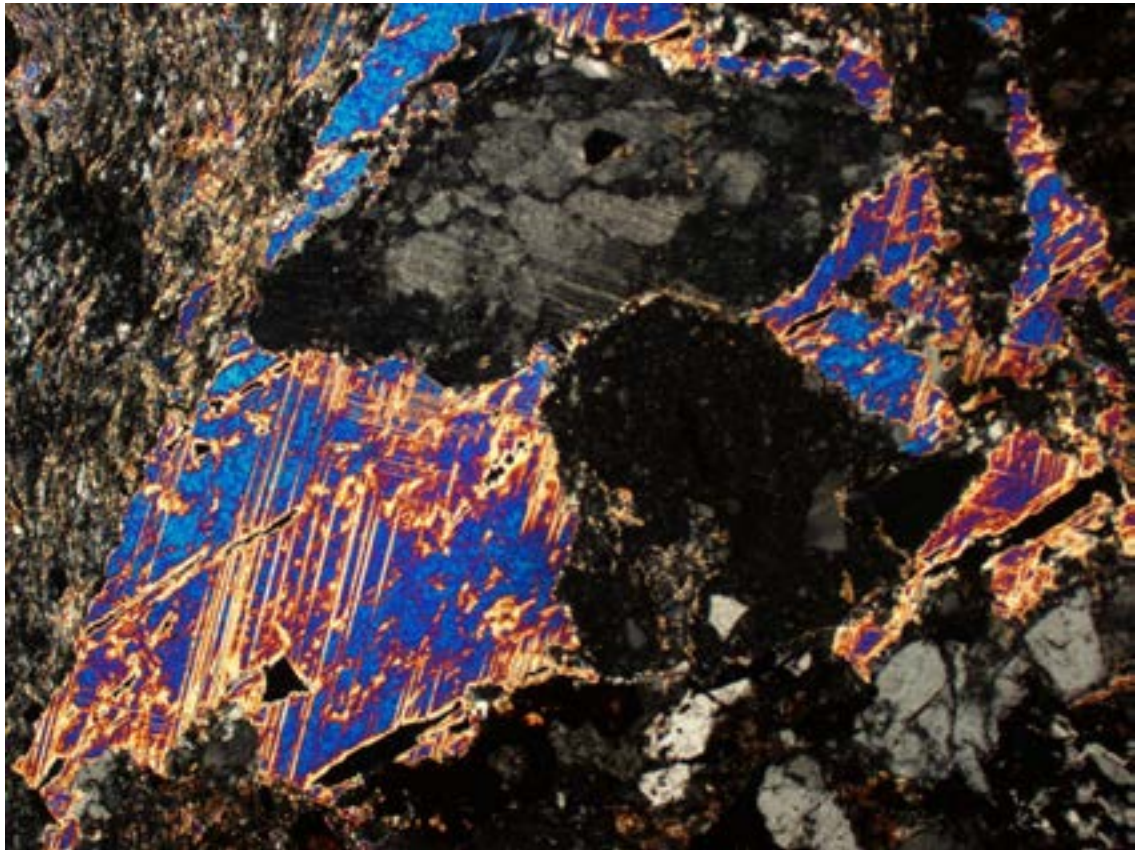
Anhidrit

CaSO₄

Anh

+N

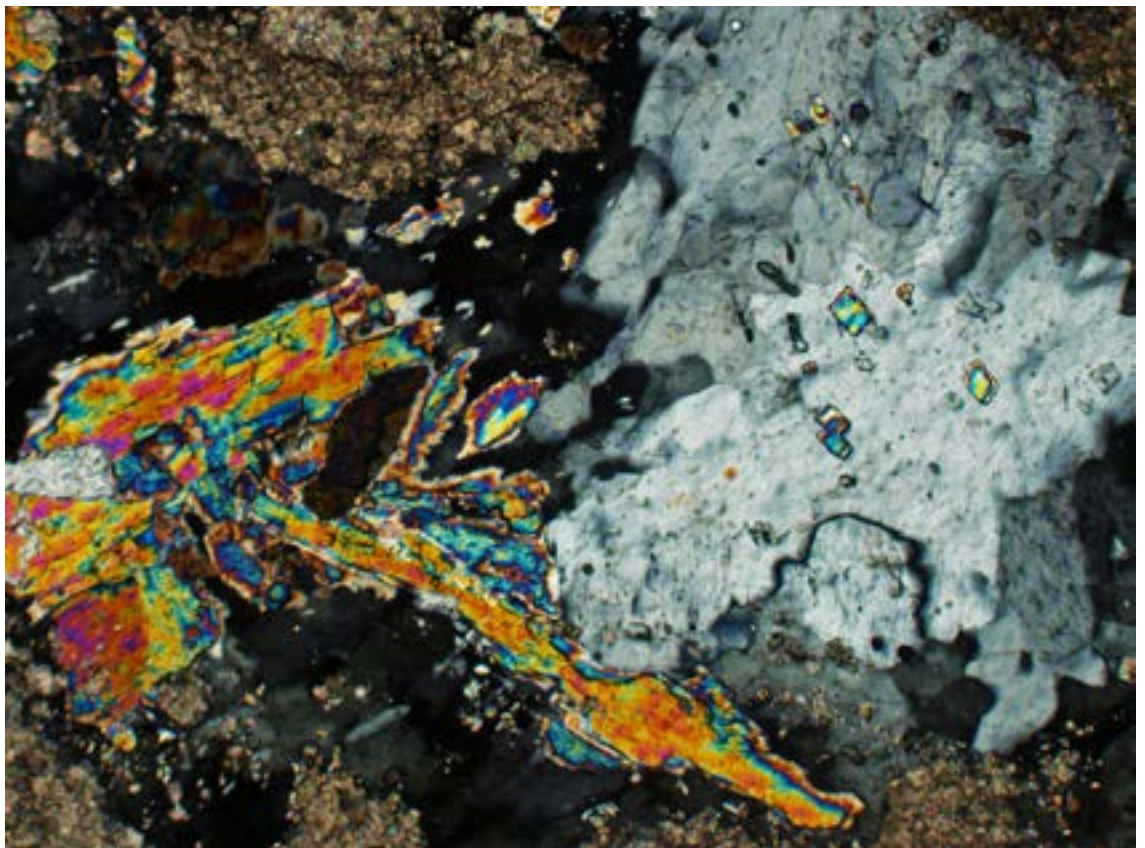
500 μm



Érzékeny ibolya–másodrendű kék anhidrit cement homokkőben.

+N

200 μm



Elsőrendű sárga–másodrendű kék anhidrit és elsőrendű szürke gipsz dolomitban.

1N200 μm 

Nagy relieffel és éles körvonallal rendelkező, színtelen gipsz kristályok érkitülésben.

+N200 μm 

A kis kettőtörésnek megfelelően a szemcsék interferencia színe elsőrendű szürke. Nagyon gyakori a szemcsék kéttagú ikresedése.

1N200 μm 

Elsőrendű szürke érkitöltő gipsz kristályok.

+N200 μm 

Szálas gipszgumó magas ineterferencia színű anhidrit zárványokkal.

Barit**BaSO₄****Brt****1N**

200 μm



Euhedrális, léces habitusú, szintelen kis reliefű barit kristályok dolomitban.

+N

200 μm



A szemcsék interferencia színe elsőrendű szürke–elsőrendű sárga a kis kettőtörésnek megfelelően. gipszgumó magas ineterferencia színű anhidrit zárványokkal.