

Optické vlastnosti horninotvorných minerálů II

Pro studenty přednášek Mineralogie I a Mikroskopie minerálů a hornin

sestavil Václav Vávra

Obsah prezentace

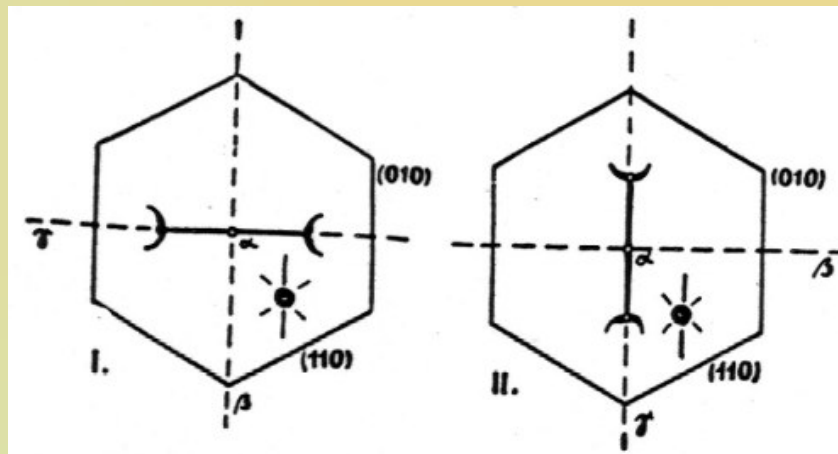
➤ slídy – biotit	3
➤ slídy – muskovit	18
➤ skupina olivínu	27
➤ rombické pyroxeny	37
➤ monoklinické pyroxeny	40
➤ alkalické pyroxeny	51

Minerály skupiny slíd

Minerály ve skupině slíd se dělí podle obsazování pozic ve struktuře na:

- *dioktaedrické* slídy (světlé - muskovit, fengit, paragonit)
- *trioktaedrické* slídy (tmavé - řada biotitu)

Rozdíly se projevují i v optických vlastnostech, kde označujeme jednotlivé skupiny podle polohy roviny optických os jako slídy I. a II. řádu.



Biotit - makroskopické vlastnosti

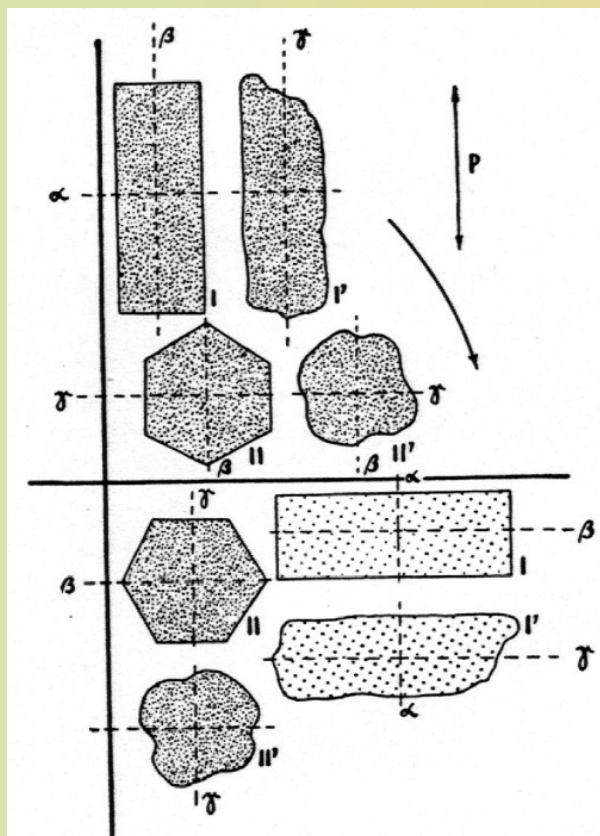
- průměrné složení biotitu $K(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_3 [(\text{OH})_2 | \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
- krátce sloupcovité krystaly s hexagonálním průřezem
- častěji však lupenité agregáty tmavě hnědé nebo červenohnědé barvy
- lesk je perleťový

Biotit - optické charakteristiky

Indexy lomu (závisí na složení):

- $n_{\alpha} = 1,571 - 1,616$
- $n_{\beta} = 1,609 - 1,696$
- $n_{\gamma} = 1,610 - 1,697$
- $D = 0,039 - 0,081$
- biotit je slída II. řádu, $R_o = (010)$, $y = \beta$, $z = \alpha$; $Chm-$, $Chz+$
- $2V_{\alpha} = 0^{\circ} - 27^{\circ}$ v závislosti na obsahu Fe, často je však velmi malý, takže konoskopický obrázek má vzhled jednoosých minerálů
- štěpnost: dokonalá (001)
- dvojčatění: v ploše (001) podle dvojčatné osy [310]

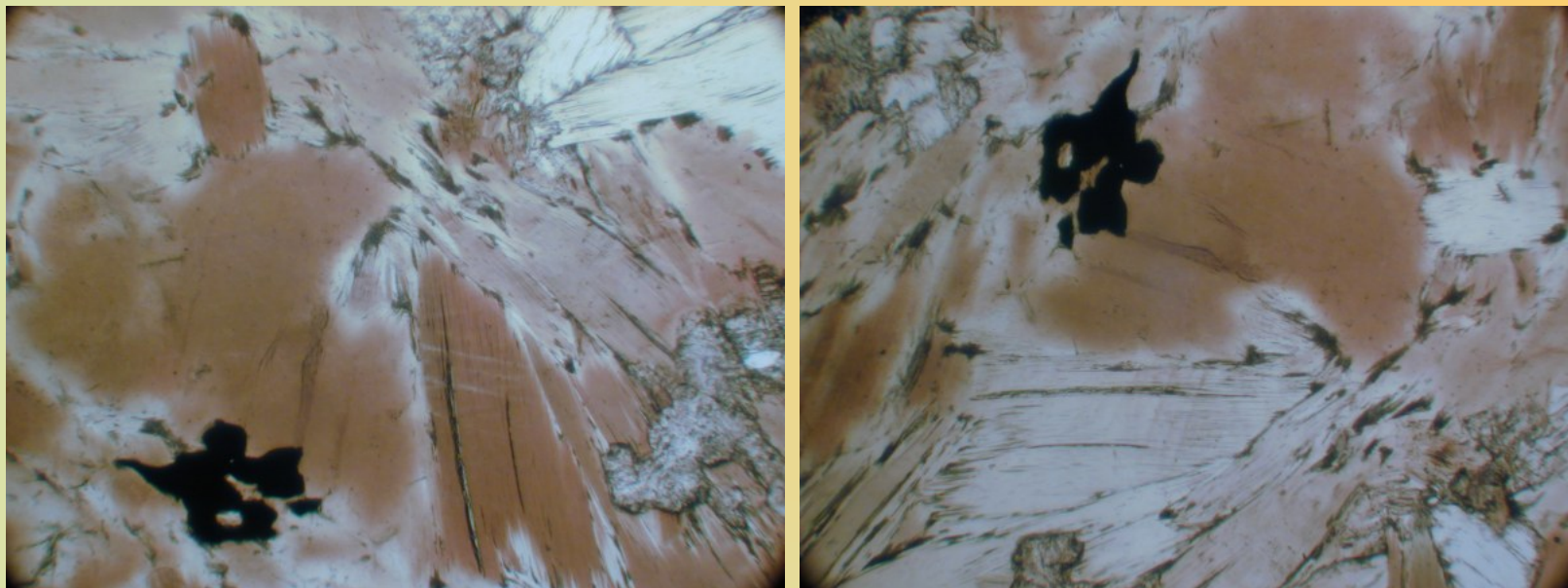
Biotit - mikroskopický popis



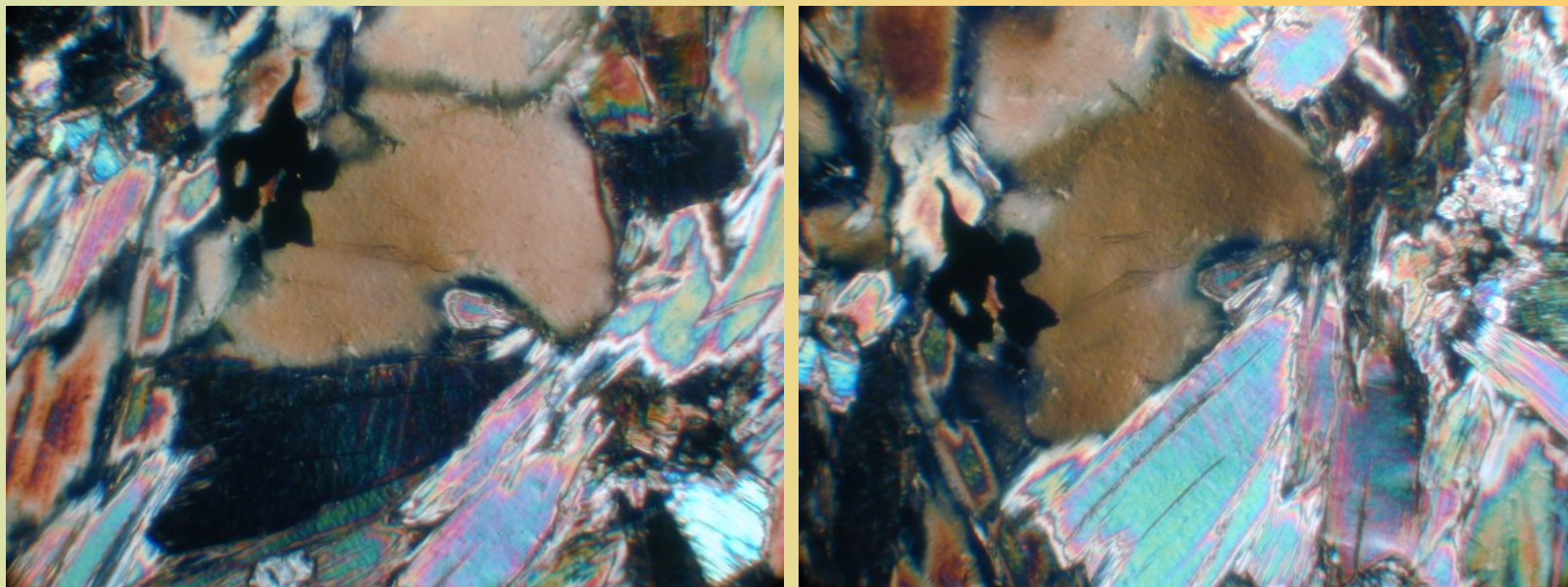
- biotit má střední indexy lomu a střední dvojlom, velmi často uzavírá apatit a zirkon, kolem kterých bývají pleochroické dvůrky. Charakteristické jsou i jehlicovité inkluze rutilu, které svírají úhel 60° .
- příčné průřezy lištovitěho tvaru, řezy podle báze lupínkovité, někdy s typickým pseudohehexagonálním průřezem
- barva může být hnědá, žlutohnědá, červenohnědá, červená nebo olivově zelená
- typický je silný pleochroismus, kdy kolmo ke štěpnosti je index α - okrová, světle žlutá nebo světle zelená, paralelně se štěpností jsou β nebo γ - tmavě červenohnědá, červené, tmavě zelená

Biotit - mikroskopický popis

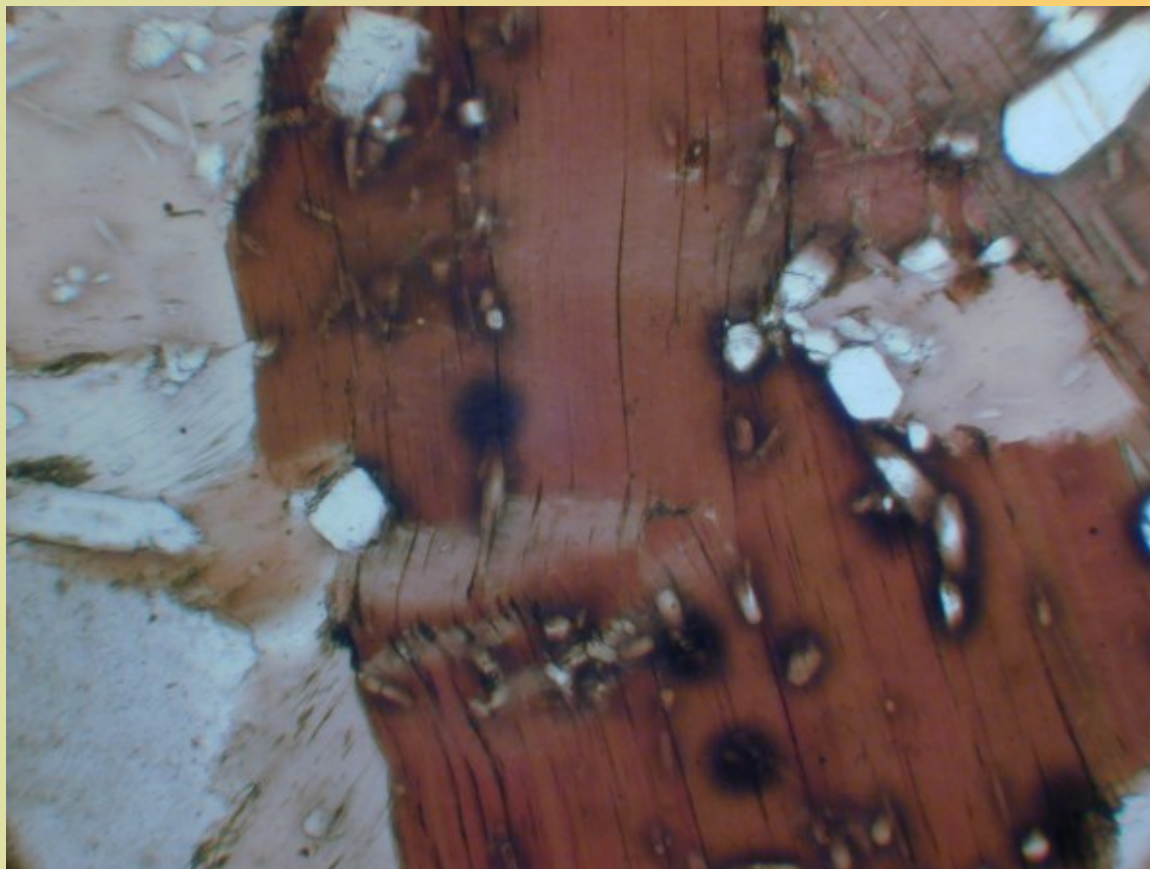
- ve vulkanických horninách je častá oxidace (oxybiotit) a ztráta vody
- dalším stupněm přeměny může být tzv. opacitizace, která začíná vytvořením lemu z jemně zrnitého agregátu magnetitu, hematitu, spinelu a pyroxenu
- běžná je diaftoritická alterace biotitu na chlorit, začínající nejdříve podél štěpnosti a následně je postiženo celé zrno
- častou přeměnou je tzv. baueritizace, kdy dochází k uvolnění železa a biotit se velmi podobá muskovitu (zůstává však malý úhel 2V)
- prostým zvětráváním vzniká agregát karbonátu, limonitu a křemene
- je běžným tmavým minerálem plutonických a vulkanických hornin (granodiority, diority, pegmatity). V regionálně metamorfovaných horninách je běžný od facie zelených břidlic až po amfibolitovou facii (svory, ruly) a je častý v kontaktních rohovcích. V sedimentech je zachován pouze za podmínek rychlé erose a slabého chemického zvětrávání.
- minerální parageneze: plagioklas, křemen, amfibol; křemen, albit, epidot, chlorit



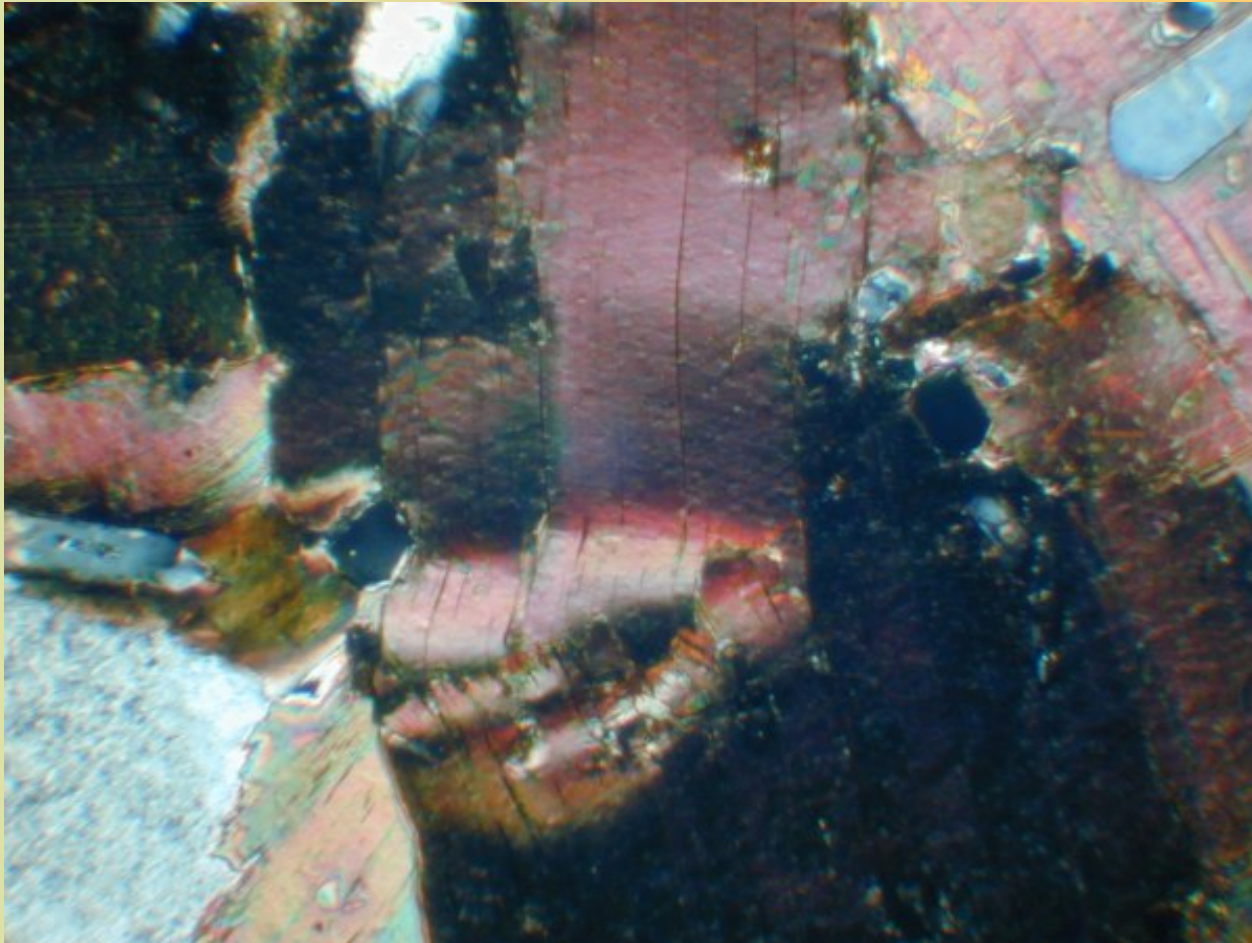
bazální a nebazální řezy biotitu a jejich pleochroismus; amfibolová rula, PPL



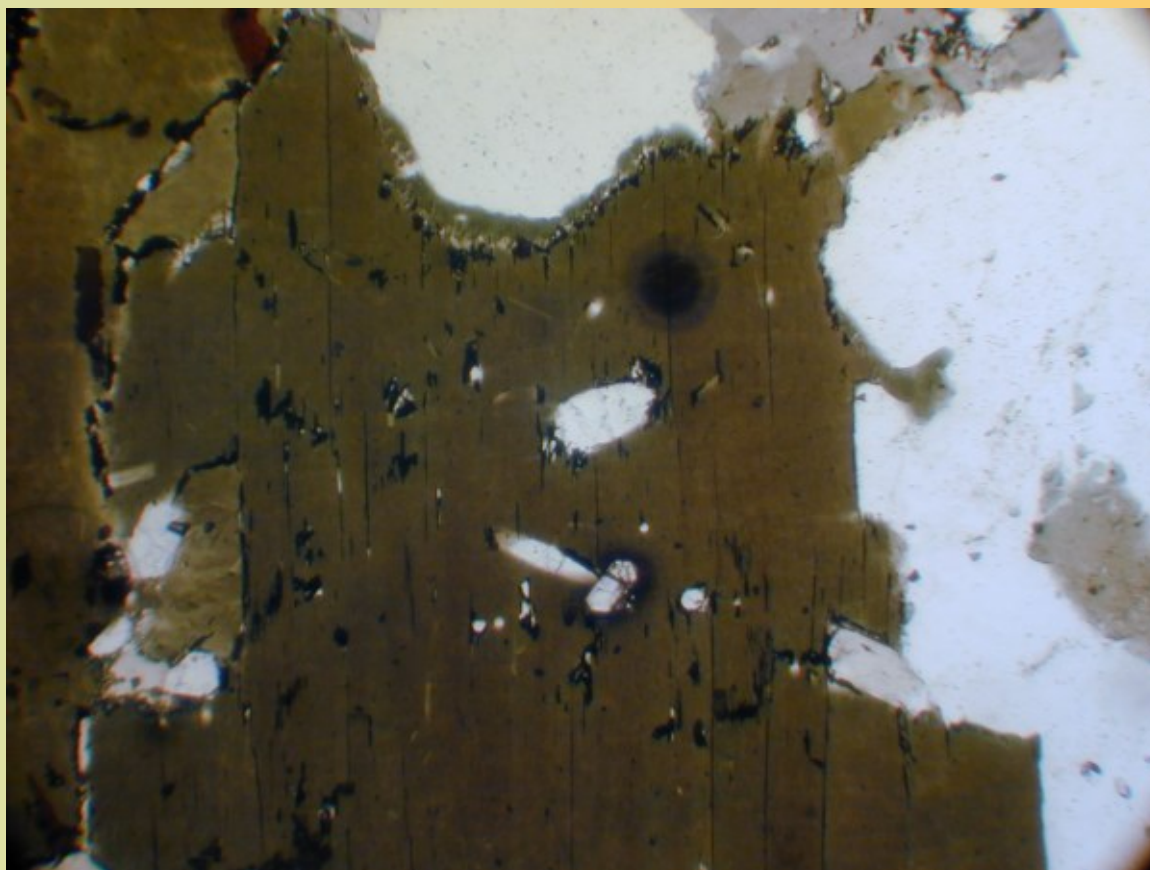
bazální a nebazální řezy biotitu a jejich interferenční barvy; amfibolová rula, XPL



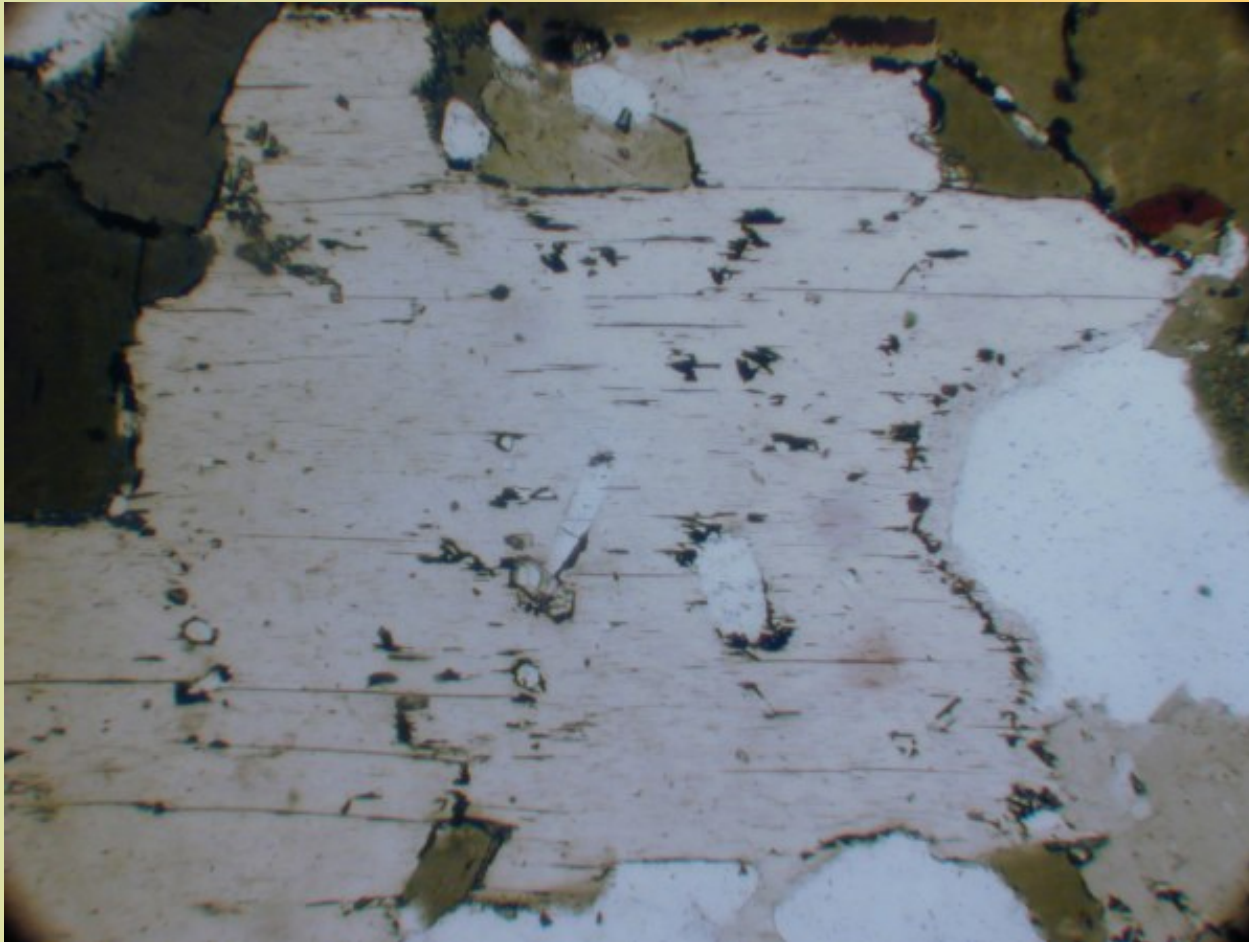
biotit s pleochroickými dvůrky kolem akcesorických minerálů,
pleochroické barvy ve směru β nebo γ , bazální štěpné trhliny
mírně zprohýbané; syenit, PPL



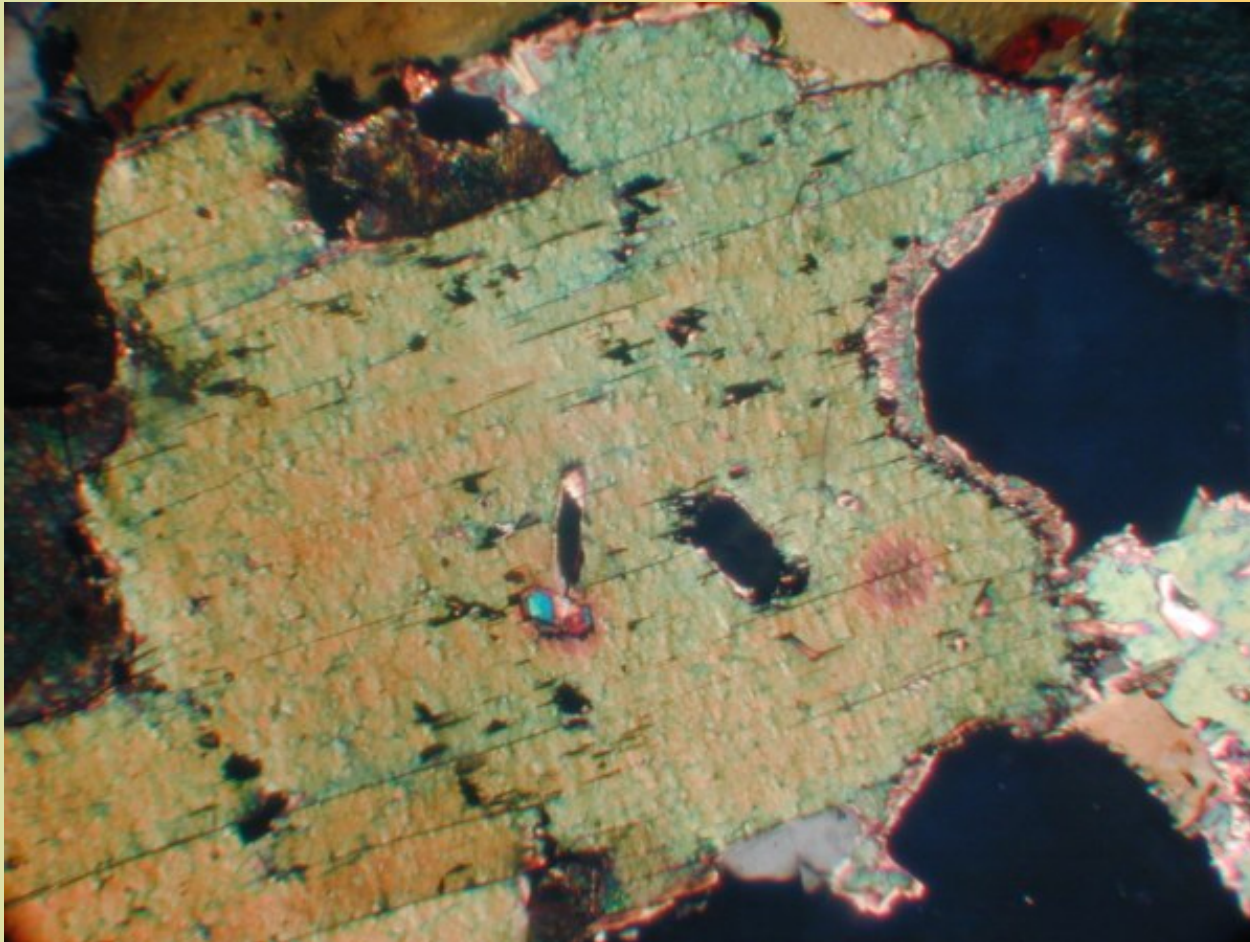
dvojlom biotitu, drsný povrch těsně před polohou vyhasnutí; syenit,
XPL



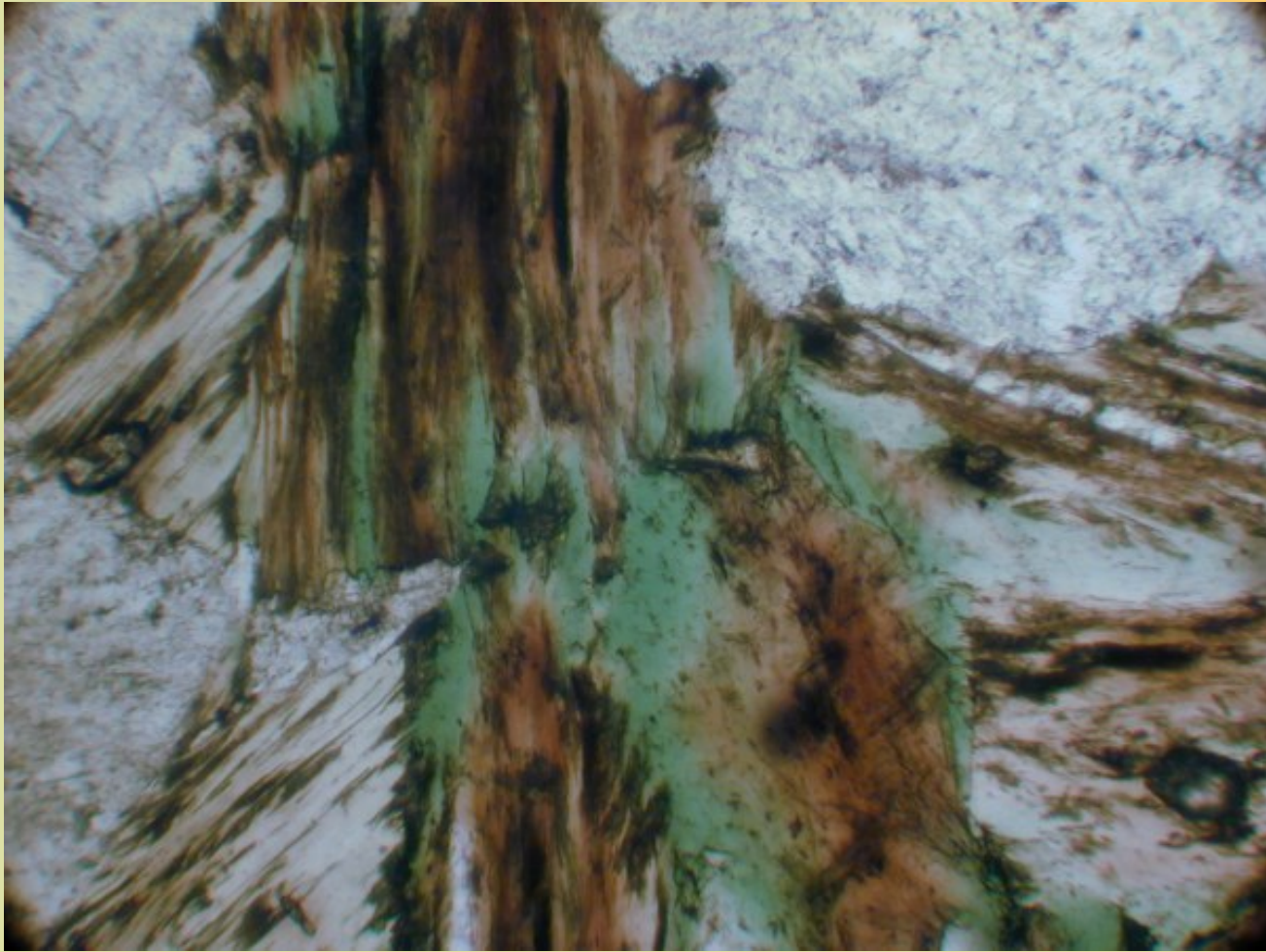
biotit s bazální štěpností, hnědozelené interferenční barvy ve směru β nebo γ s inkluzemi zirkonu a apatitu; granit, PPL



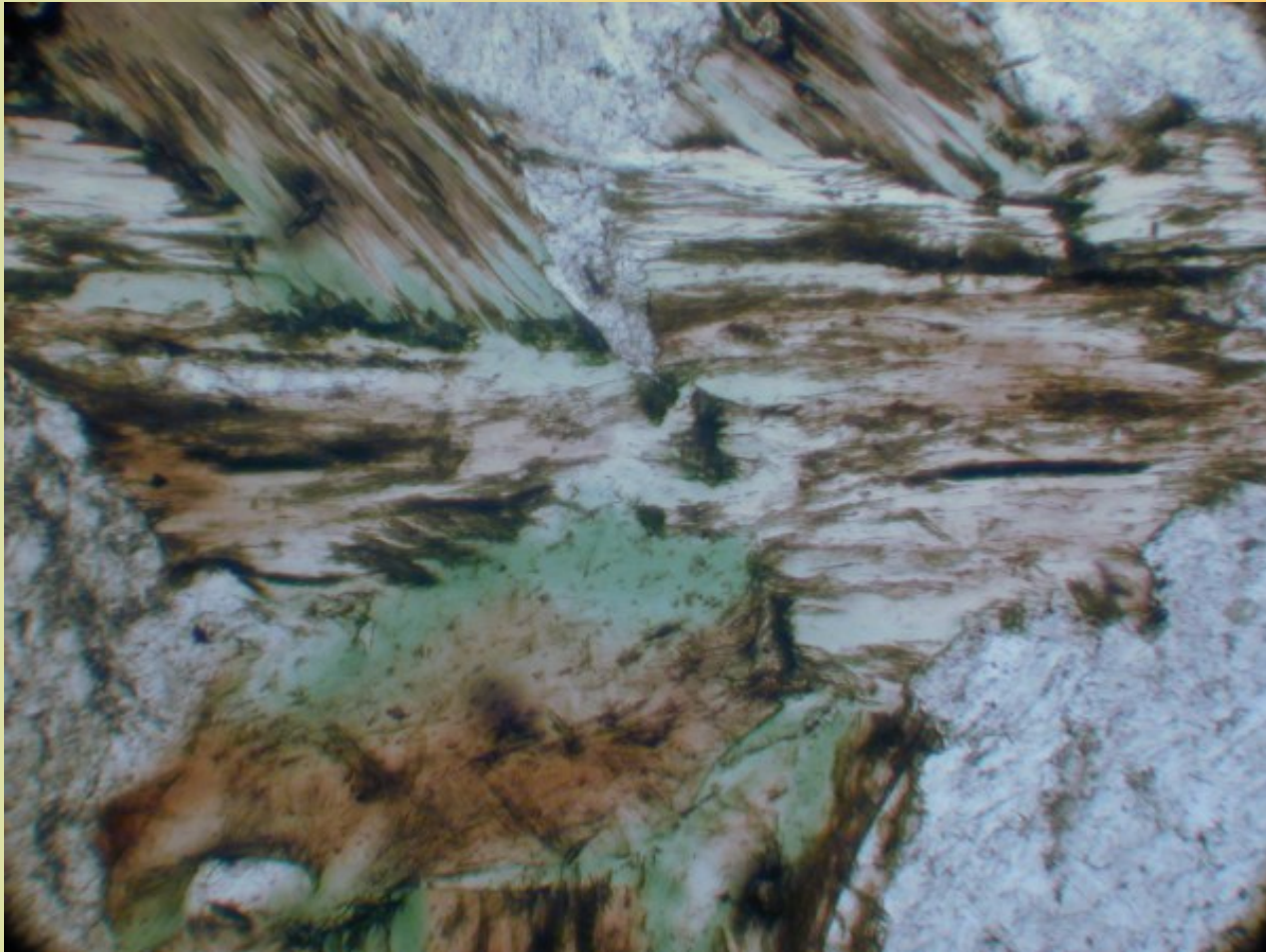
interferenční barvy biotitu ve směru kolmo k štěpnosti (směr α)
s inkluzemi zirkonu a apatitu; granit, PPL



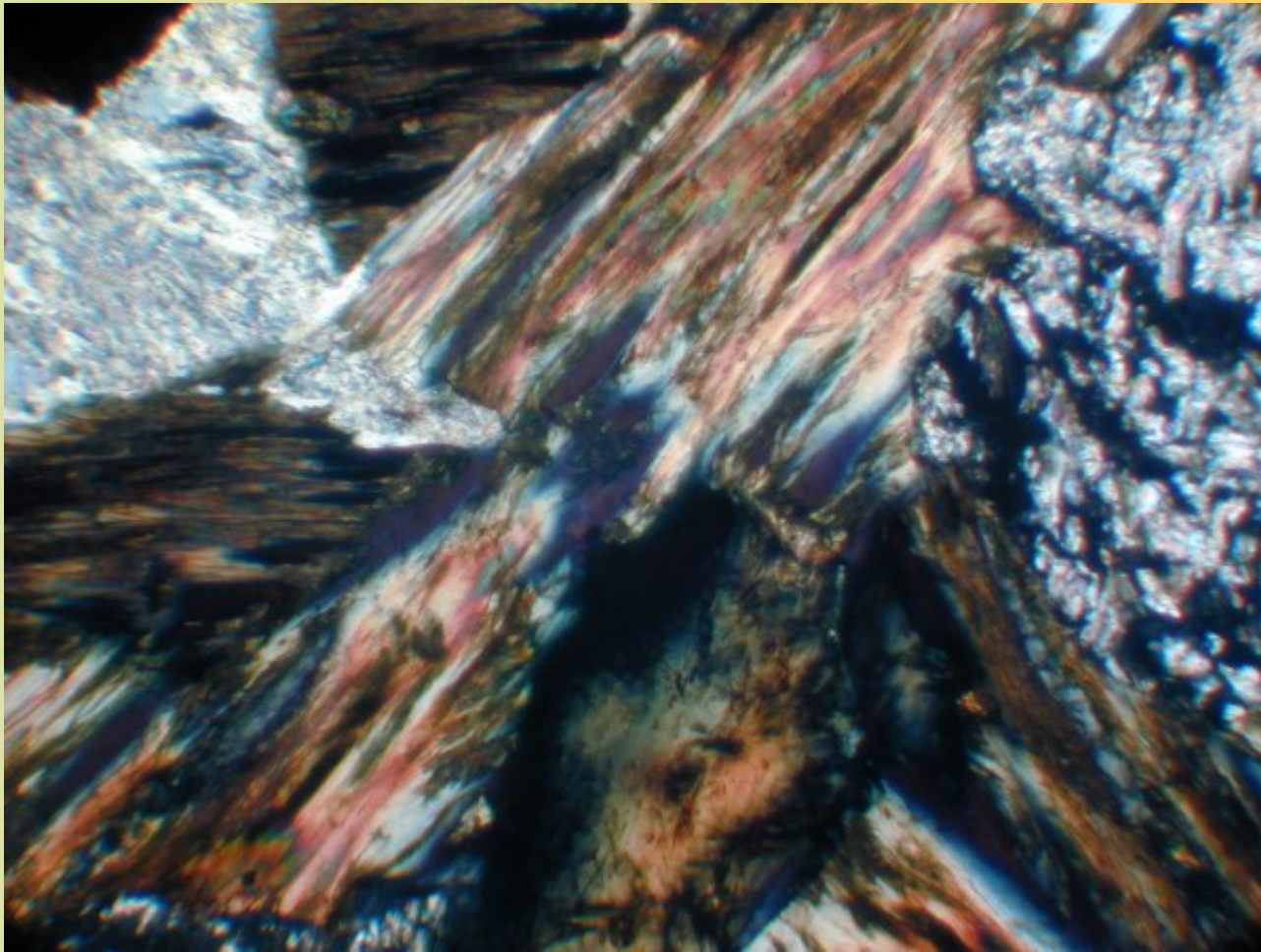
interferenční barvy biotitu, zřetelný drsný povrch, inkluze apatitu a zirkonu; granit, XPL



chloritizace biotitu, směr pleochroismu β nebo γ , rula; PPL



chloritizace biotitu, pleochroický směr α , rula; PPL



chloritizovaný biotit, rozdíl v interferenčních barvách je zřejmý - chlorit má anomální modrofialové interferenční barvy, rula; XPL

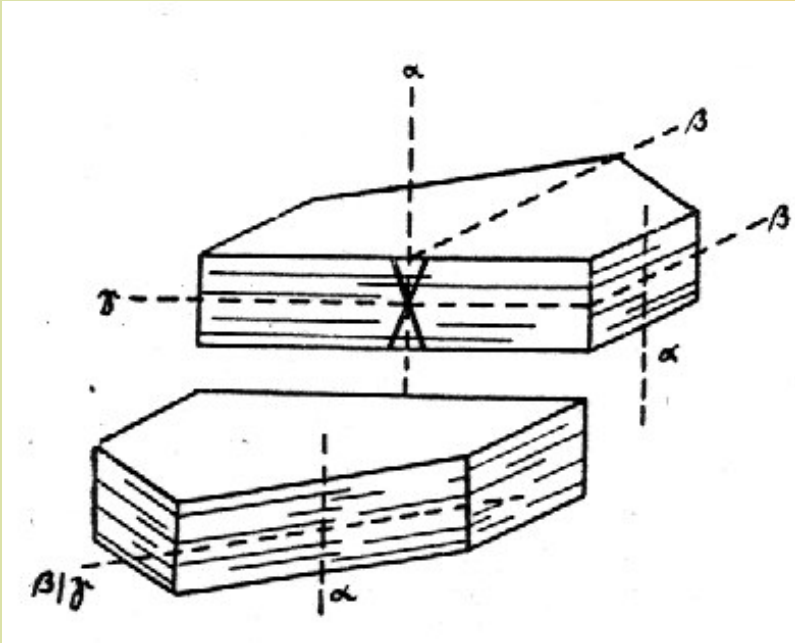
Muskovit - makroskopické vlastnosti

- $\text{K Al}_2 [(\text{OH},\text{F})_2 | \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
- tabulkovité nebo šupinkovité krystaly a agregáty
- bezbarvý, světle šedý nebo slabě nazelenalý
- lesk perleťový
- štěpnost dokonalá podle báze (001)

Muskovit - optické charakteristiky

- $n_{\alpha} = 1,552 - 1,570$
- $n_{\beta} = 1,582 - 1,619$
- $n_{\gamma} = 1,588 - 1,624$
- $D = 0,036 - 0,054$
- střední hodnoty indexů lomu a dvojlomu, řezy v rovině štěpnosti (kolmo k z) mají nízký dvojlom ($n_{\gamma} - n_{\beta}$ maximálně 0,005)
- úhel zhášení $\alpha/z = 0^{\circ} - 5^{\circ}$, $\beta/z = 1^{\circ} - 3^{\circ}$.
- Ro přibližně odpovídá (100), $y = \gamma$, Chm-, Chz+
- Úhel $2V_{\alpha} = 28^{\circ} - 47^{\circ}$
- dvojčatění podle (001)

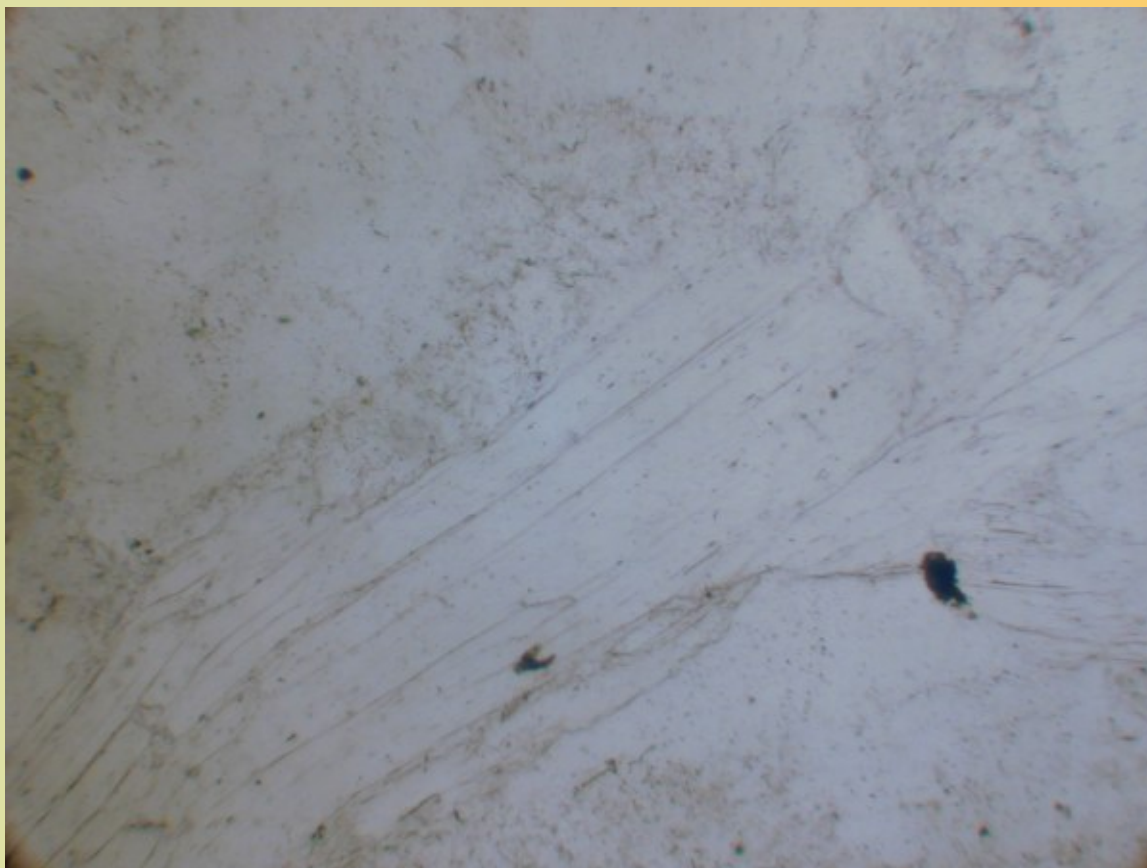
Muskovit - mikroskopický popis



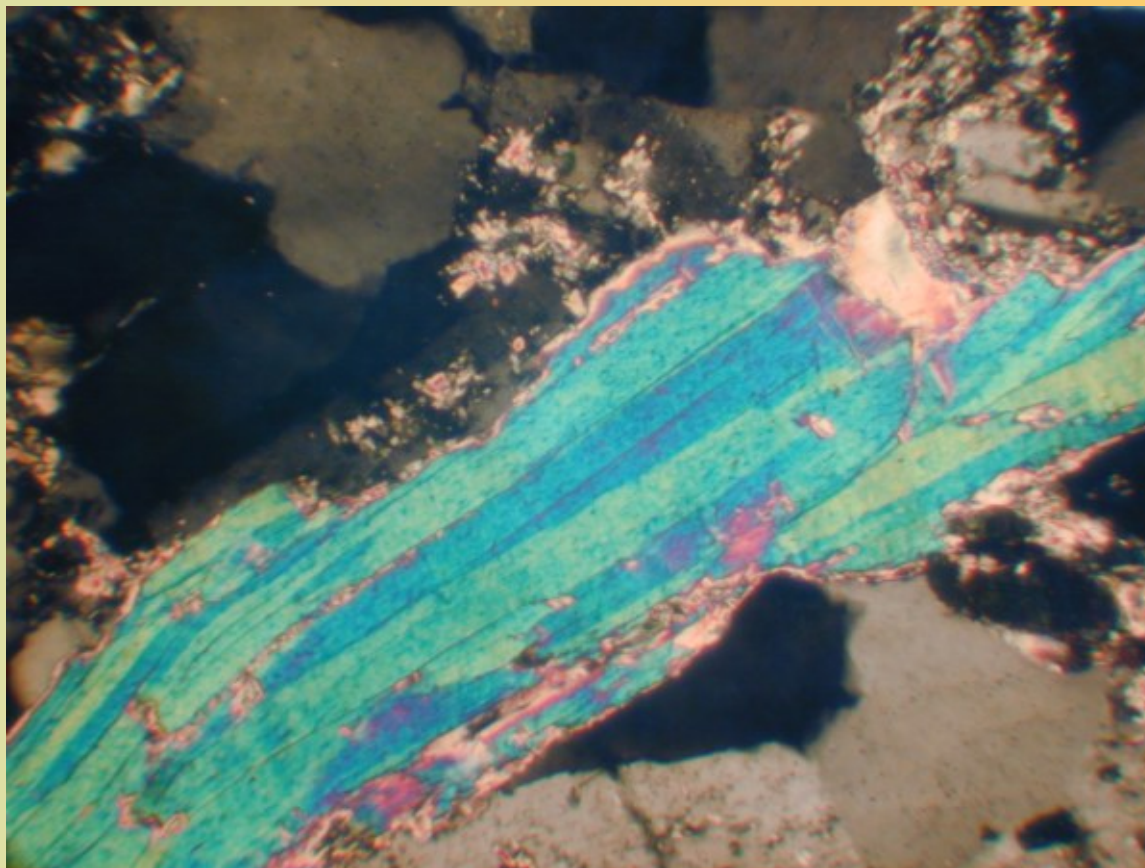
- tabulkovité nebo lištovité průřezy; jemně zrnité agregáty sericitu vznikají při slabé metamorfóze
- je bezbarvý nebo jen velmi slabě nažloutlý či nazelenalý, Cr obsahující muskovity (fuchsit) vykazují slabý pleochroismus
- někdy obsahuje inkluze zirkonu s pleochroickými dvůrkami
- velmi jemné agregáty mohou být alterovány na hydromuskovit nebo illit, při vysokém stupni metamorfózy dochází k přeměně na asociaci s alkalickým živcem. Jinak velmi stabilní minerál. Ztrátou draslíku může přecházet na některé jílové minerály.

➤ velmi běžný minerál pegmatitů a aplitů nebo pneumatolyticky formovaných hornin. Běžný je i v plutonických horninách, často jako produkt rozpadu živců. Zcela běžný je v klastických sedimentech (slepence, arkózy). V metamorfovaných horninách je běžný v širokém teplotně-tlakovém rozpětí (fylit → svor → rula).

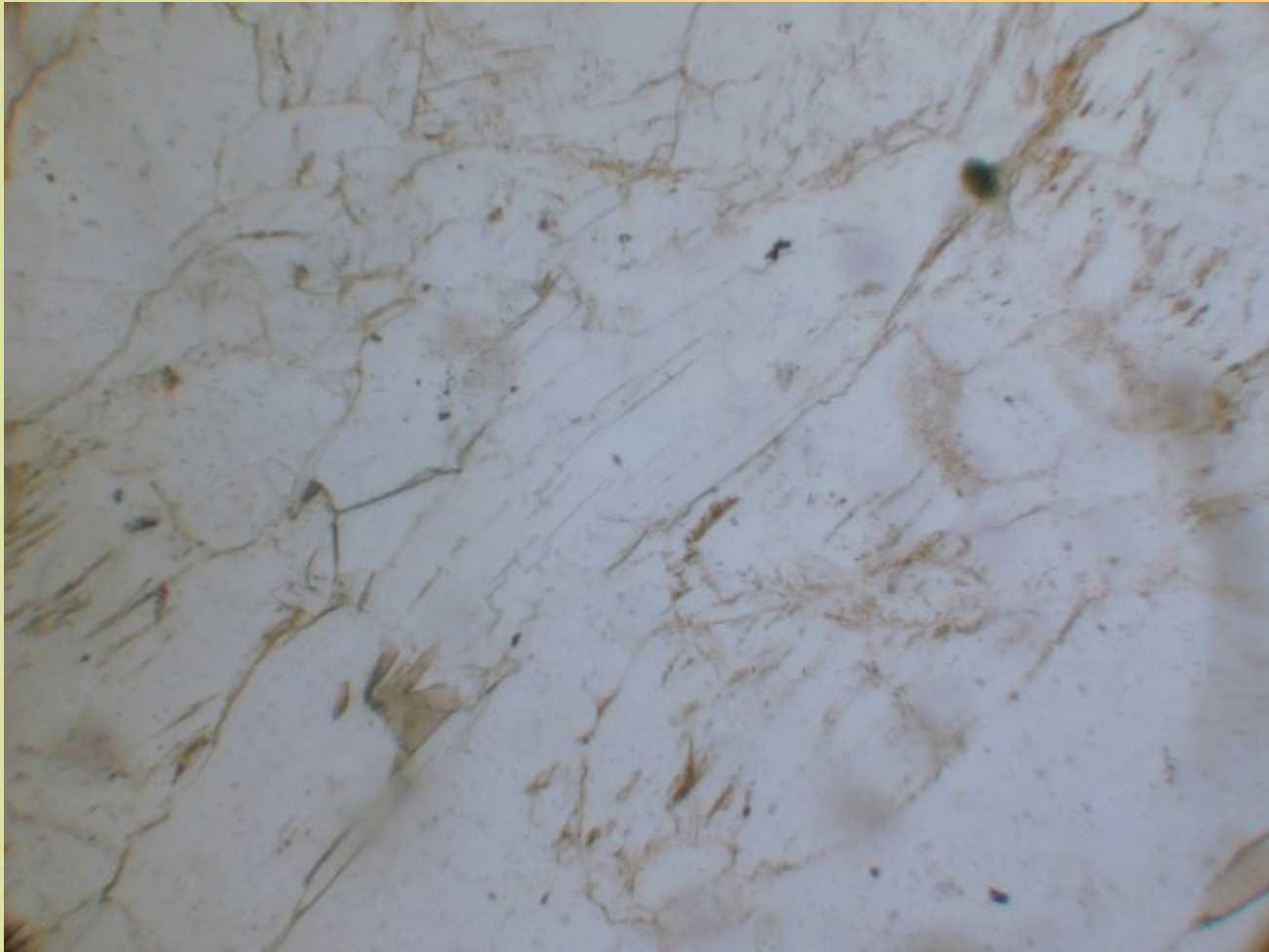
➤ minerální paragenese: křemen, K-živce, plagioklas, biotit



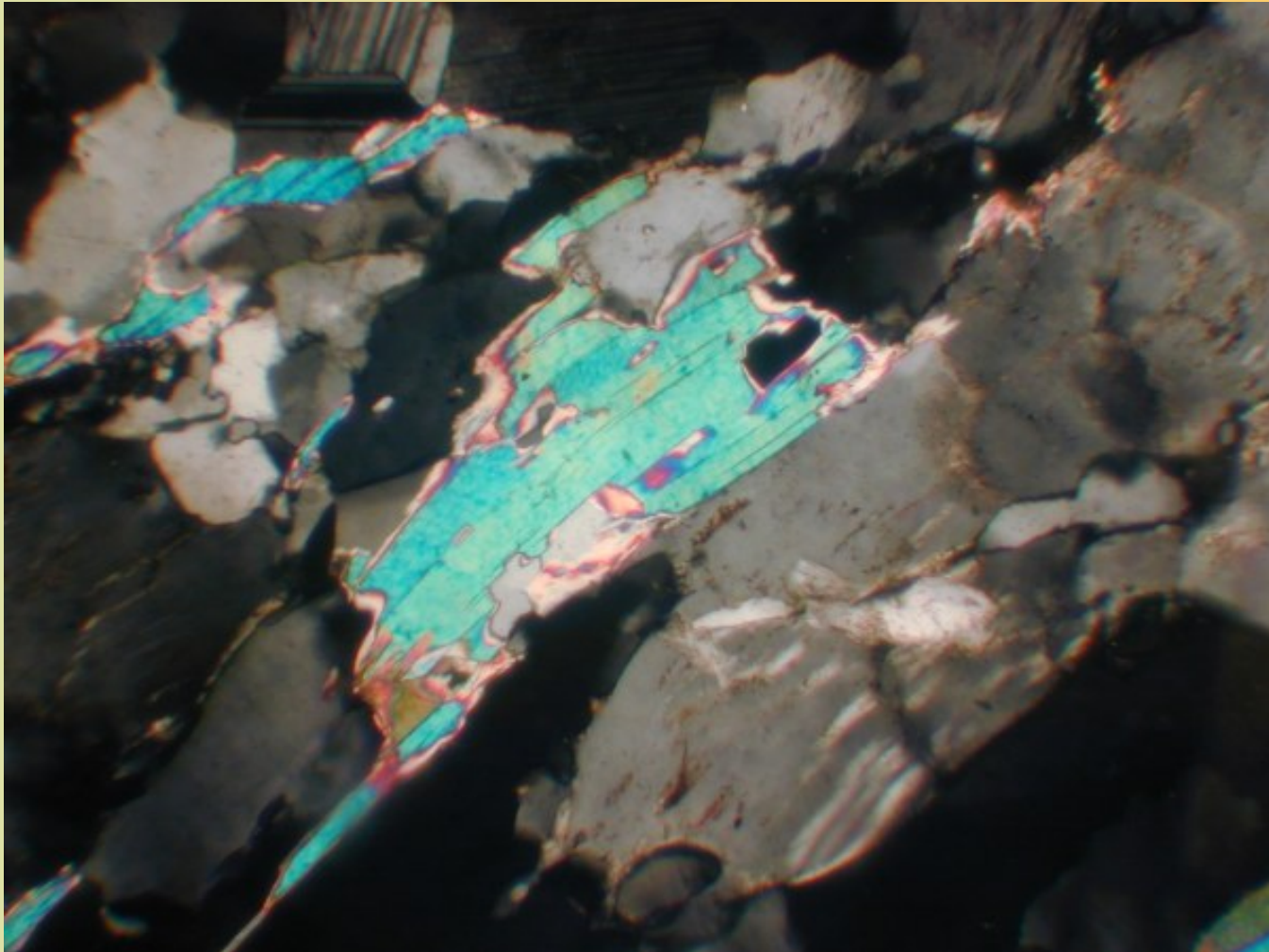
lišťovité zrno muskovitu s dokonalou bazální štěpností, zrna křemene; PPL



štěpný agregát muskovitu s typickým dvojlomem, zrna křemene;
XPL



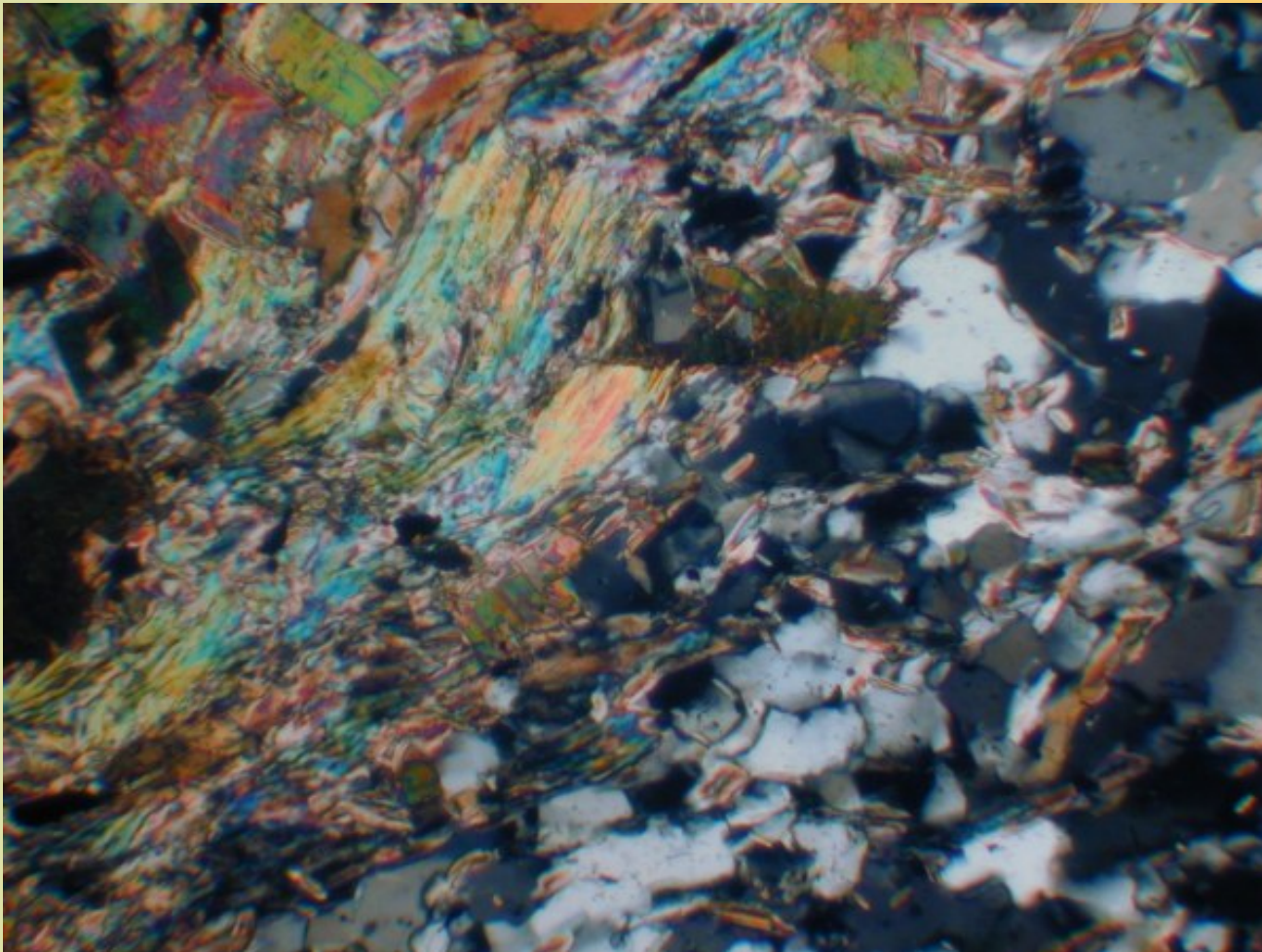
štěpné agregáty muskovitu, plagioklas; rula, PPL



interferenční barvy muskovitu, plagioklas; rula, XPL



agregát křemen, muskovit a biotit, lepidogranoblastická struktura; rula,
PPL



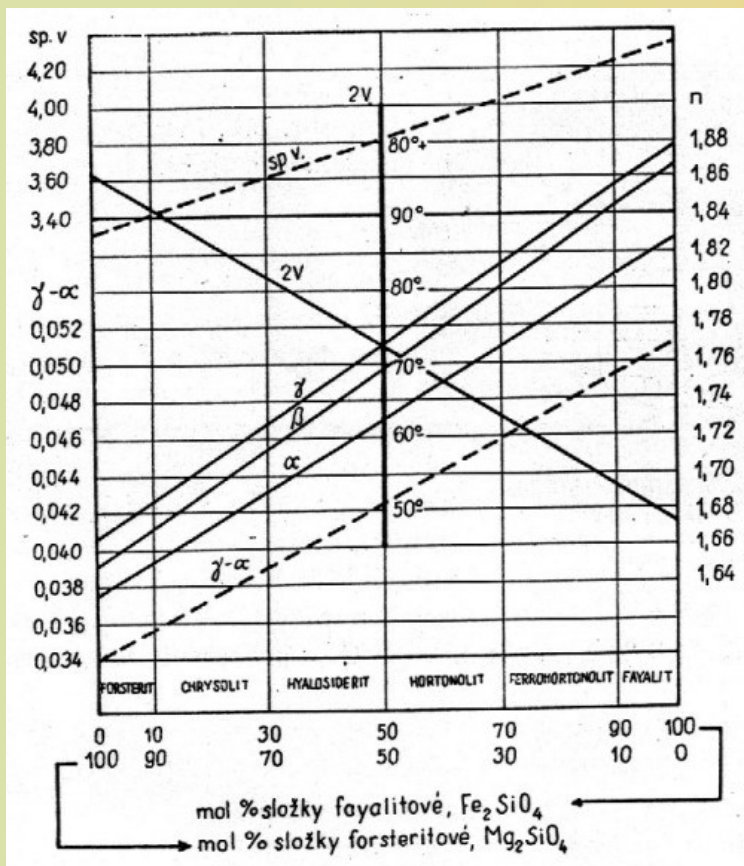
agregát křemen, muskovit a biotit, granolepidoblastická struktura; rula,
XPL

Skupina olivínu - makroskopické vlastnosti

Řadu olivínu tvoří dva krajní členy:

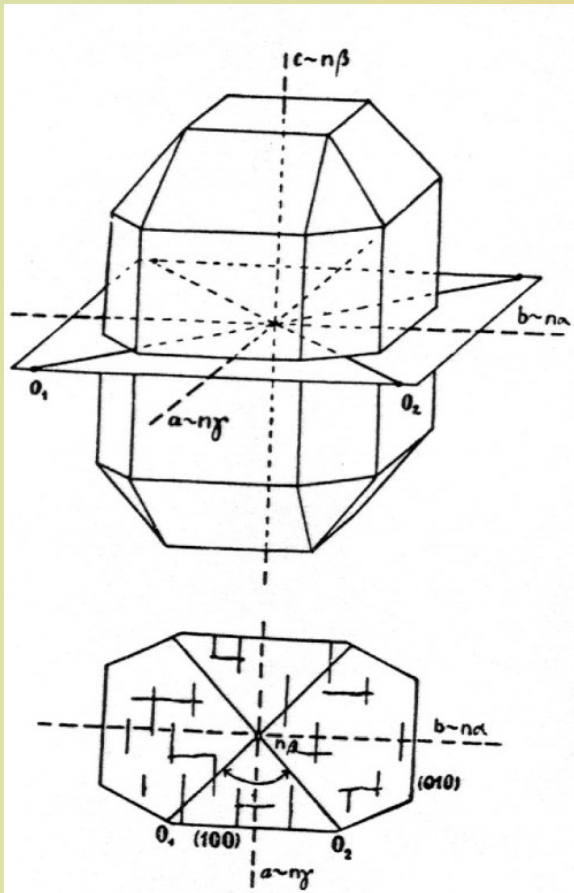
- forsterit Mg_2SiO_4 a fayalit Fe_2SiO_4
- přírodní olivíny jsou směsí těchto dvou krajních členů, zpravidla s převahou hořečnaté složky
- tvoří zrnité agregáty zelené nebo zelenohnědé barvy, vzácné krystaly jsou krátce prizmatické
- běžně tvoří shluky nebo nodule v bazických horninách
- skelný lesk

Olivín - optické charakteristiky



- indexy lomu jsou silně závislé na složení - nižší indexy odpovídají forsteritu, vyšší indexy jsou platné pro fayalit:
 - $n_\alpha = 1,635 - 1,827$
 - $n_\beta = 1,651 - 1,869$
 - $n_\gamma = 1,670 - 1,879$
 - $D = 0,035 - 0,052$
- často tvoří automorfní krystaly s jevy magmatické koroze, má kostrovitý vývin nebo tvoří nepravidelné zrnité agregáty
- zpravidla bezbarvý, u odrůd s podstatným množstvím Fe slabě nažloutlý nebo nazelenalý, s drsným reliéfem
- někdy vykazuje jev podobný undulózniému zhášení křemene, může být i zonální
- zháší přímo, někdy obsahuje inkluze např. spinelidy, magnetit, ilmenit

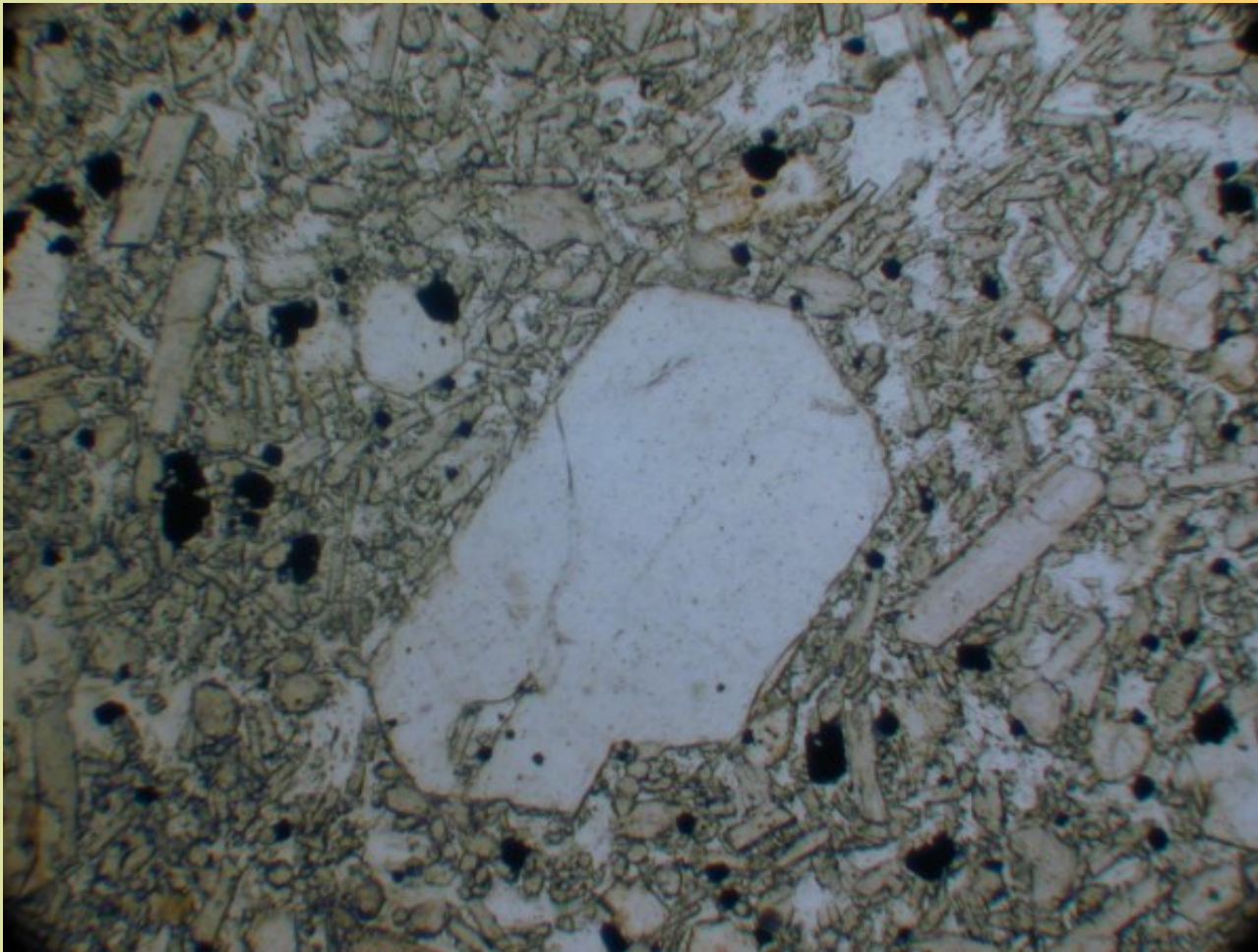
Olivín - mikroskopické vlastnosti



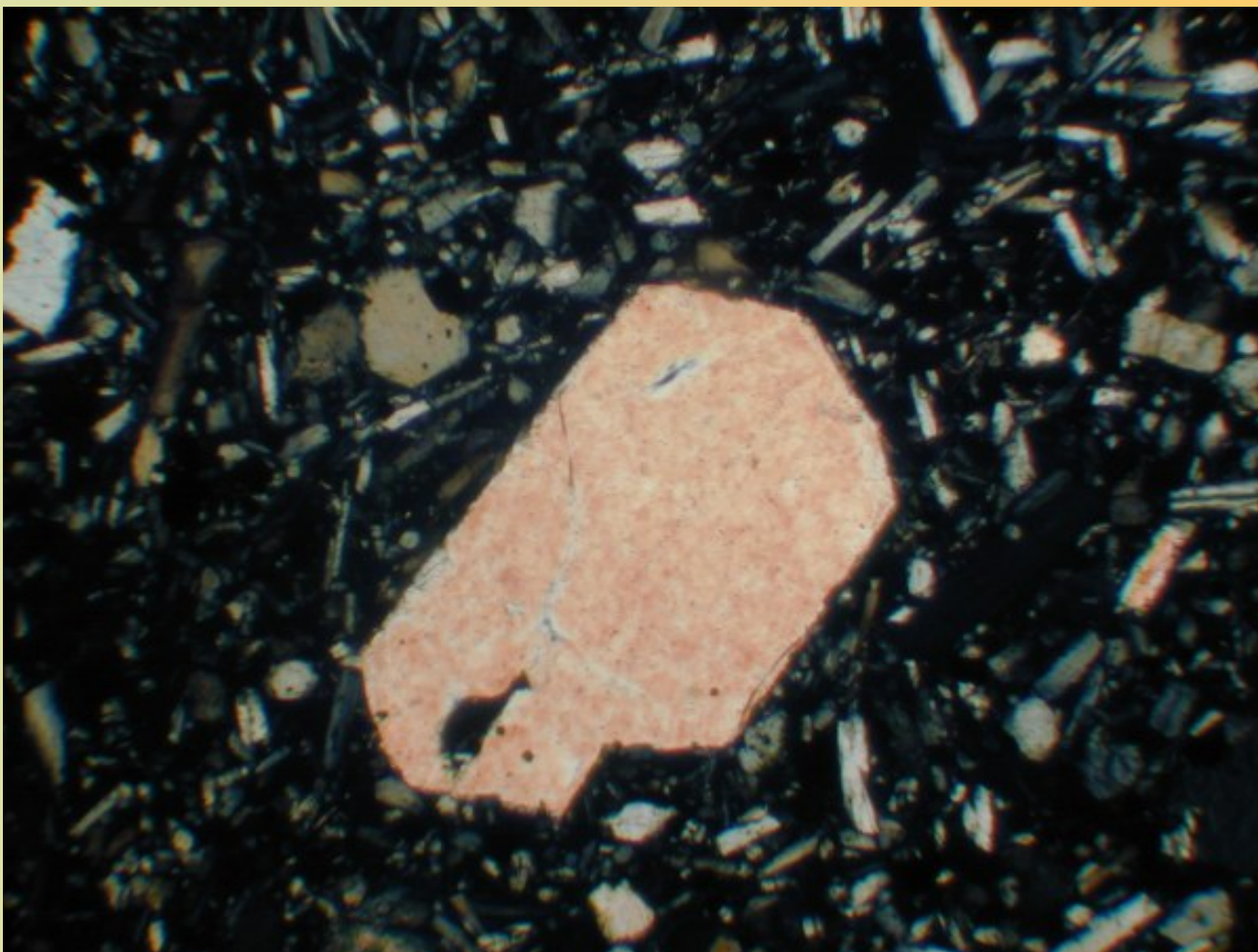
- Ro je rovnoběžná s (001), index β souhlasí s osou z.
- do 13% podílu fayalitové složky je olivín opticky pozitivní s $2V(\gamma) = 84 - 90^\circ$
- nad 13% fayalitové složky jsou olivíny opticky negativní $2V(\alpha) = 90 - 50^\circ$
- štěpnost dobrá podle (010), nedokonalá podle (001) a (100)
- dvojčatí podle různých prizmatických ploch

Olivín - mikroskopické vlastnosti

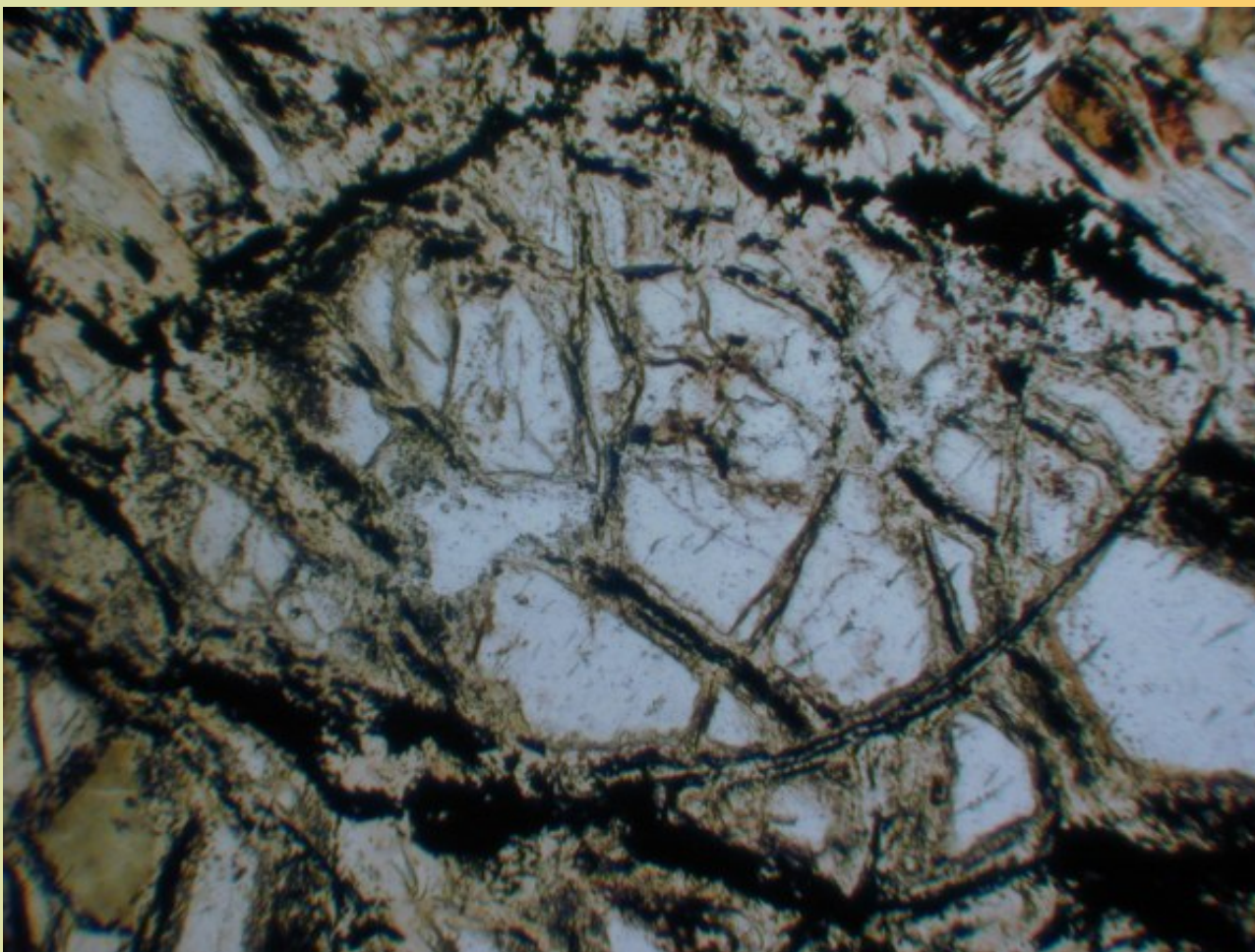
- při nízkých teplotách a nízkém stupni metamorfózy dochází k hydrotermální alteraci (vzrůstá objem olivínu a obsah vody), kdy vznikají minerály serpentínové skupiny (serpentinizace)
- při vysokých teplotách dochází k oxidaci Fe a do struktury vstupuje voda - vzniká pseudomorfóza iddingsitu po olivínu (jako iddingsit se označuje směs goethitu, hematitu, chloritu a jílových minerálů). Tato přeměna je typická pro výlevné horniny.
- v gabroidních horninách vznikají často „kelfitické“ obruby kolem olivínu, složené z amfibolů, pyroxenů, spinelidů a granátů, reakcí olivínu s křemíkem bohatou taveninou vzniká ortopyroxenový reakční lem
- olivín je typický minerál ultramafických a bazických magmatických hornin (peridotity, gabra, bazalty), často ve dvou generacích (vyrostlice a zrna v základní hmotě)
- olivín se může vyskytovat s křemenem pouze v případě, že zůstává v hornině jako obrněný relikv
- minerální parageneze: chromit, pyroxeny, plagioklasy



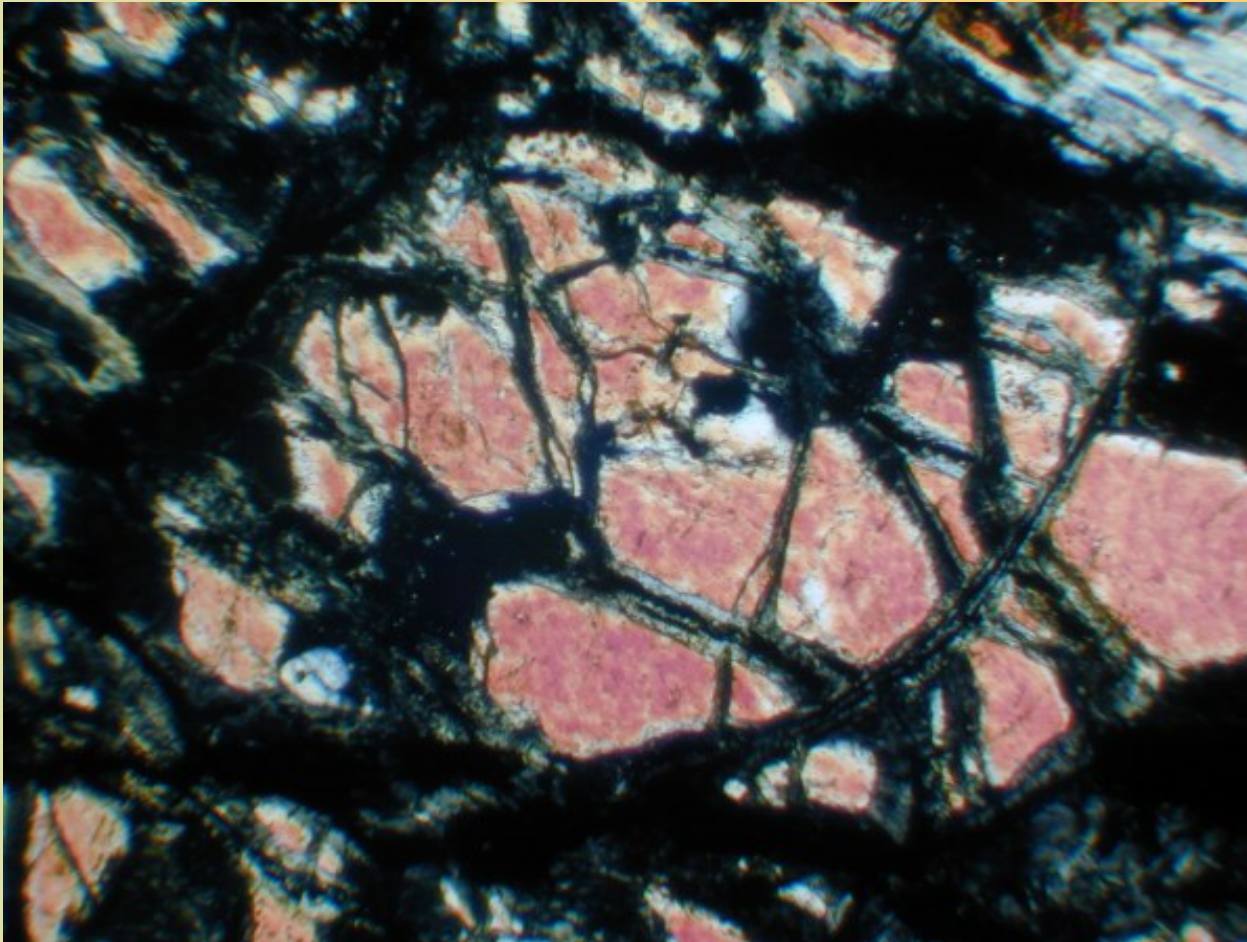
automorfni vyrostlice olivinu v bazaltu, svetle hnede krystaly jsou augit,
PPL



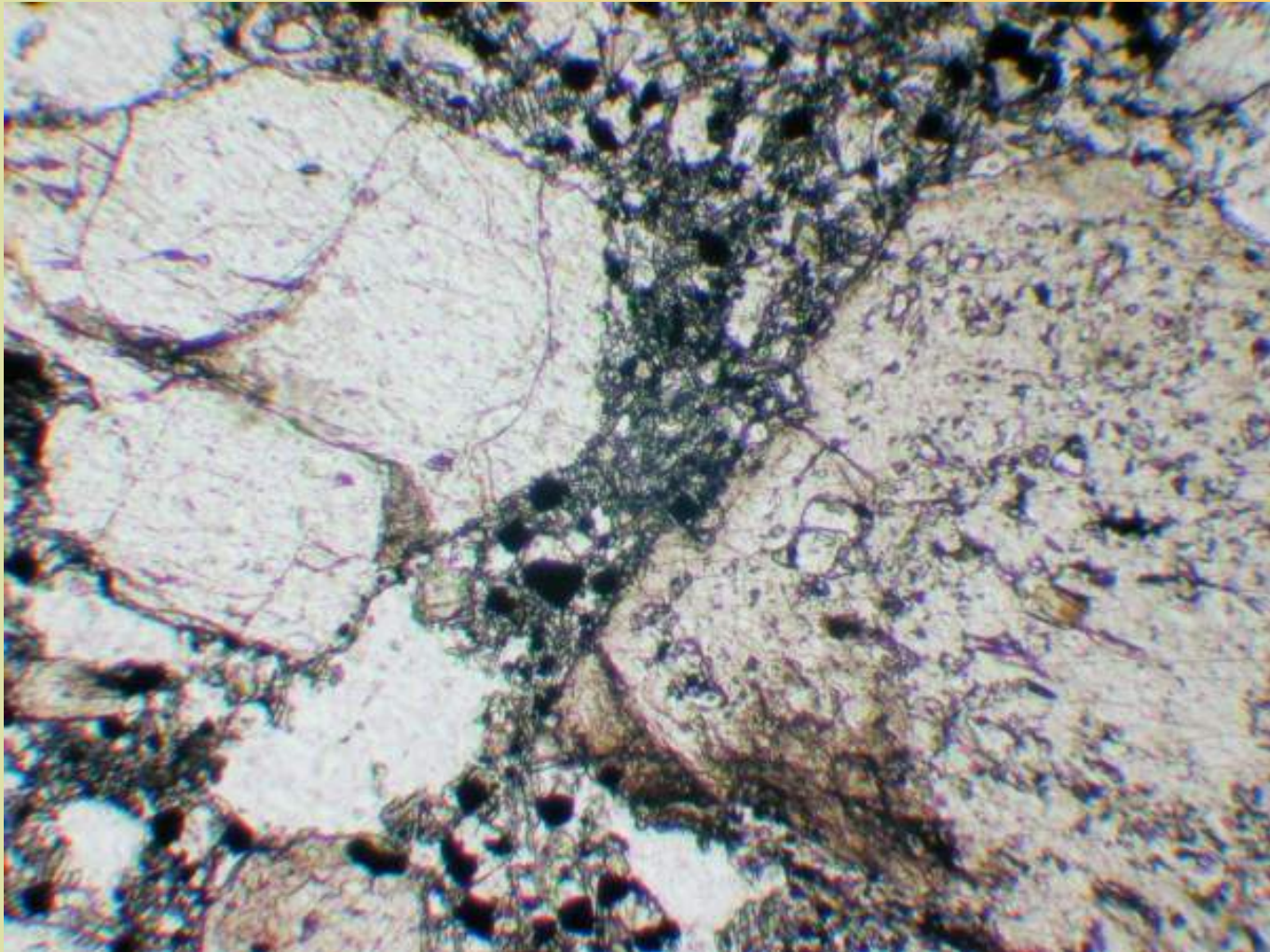
dvojlom olivínu je střední; bazalt, XPL



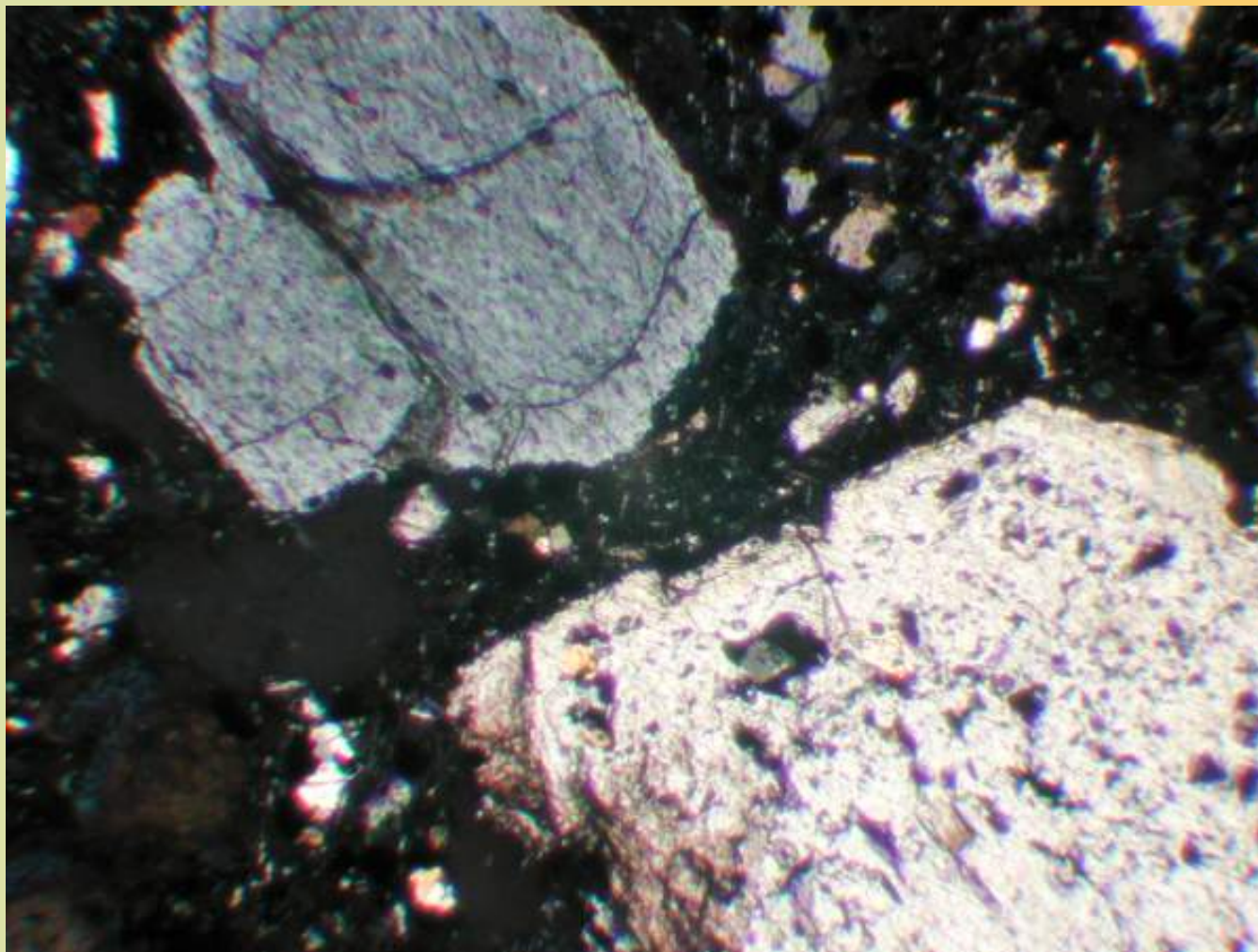
přeměna olivínu po puklinách na minerály serpentínové skupiny; gabro,
PPL



zbytky olivínu (střední dvojlom) v minerálech serpentínové skupiny (nízký dvojlom); gabro, XPL



automorfně omezený bezbarvý olivín, automorfní pyroxen, basanit, Mezina, PPL

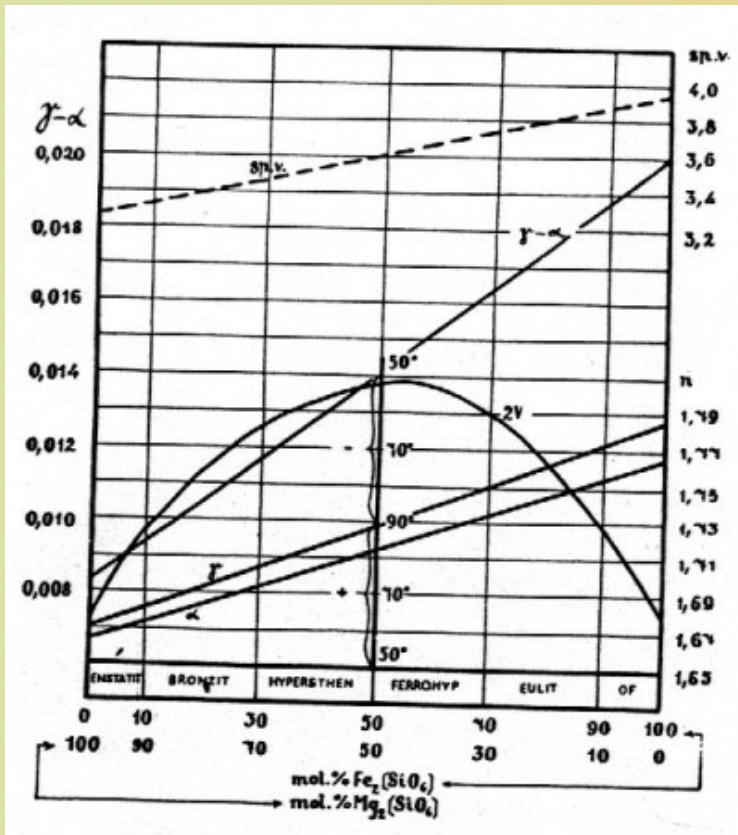


automorfne omezeny olivin, automorfni pyroxen, basanit, Mezina,
XPL

Skupina rombických pyroxenů - makroskopický popis

- rombické pyroxeny tvoří nepřetržitě izomorfní řadu enstatit $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - ferrosilit $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$
- enstatit tvoří zpravidla šedé, u odrůd bohatších na Fe zelené nebo hnědé agregáty, někdy radiálně paprsčité, krystaly krátce sloupcovité
- ve vulkanických horninách bývají automorfně omezené sloupcovité krystaly, v plutonických a metamorfovaných horninách převážně nepravidelná zrna

Rombické pyroxeny - optické charakteristiky



- enstatit je bezbarvý, se vzrůstajícím podílem Fe slabě zelený, ferrosilit zelený nebo hnědý se slabým pleochroismem (α červenožlutá, β červenohnědá, γ šedo zelený)
- indexy lomu (střední) a dvojlom (nízký až střední), závisí na chemickém složení
- rovina optických os je rovnoběžná s (100), $\alpha = y$, $\gamma = z$. Je-li v ploše (001) výchoz ostré středné je Chm^+ (pyroxeny se složením koncových členů), je-li v ploše spodové výchoz tupé středné je Chm^- (pyroxeny s 12 - 88% enstatitové složky). Chz je vždy negativní. Úhel $2V$ kolísá se složením.

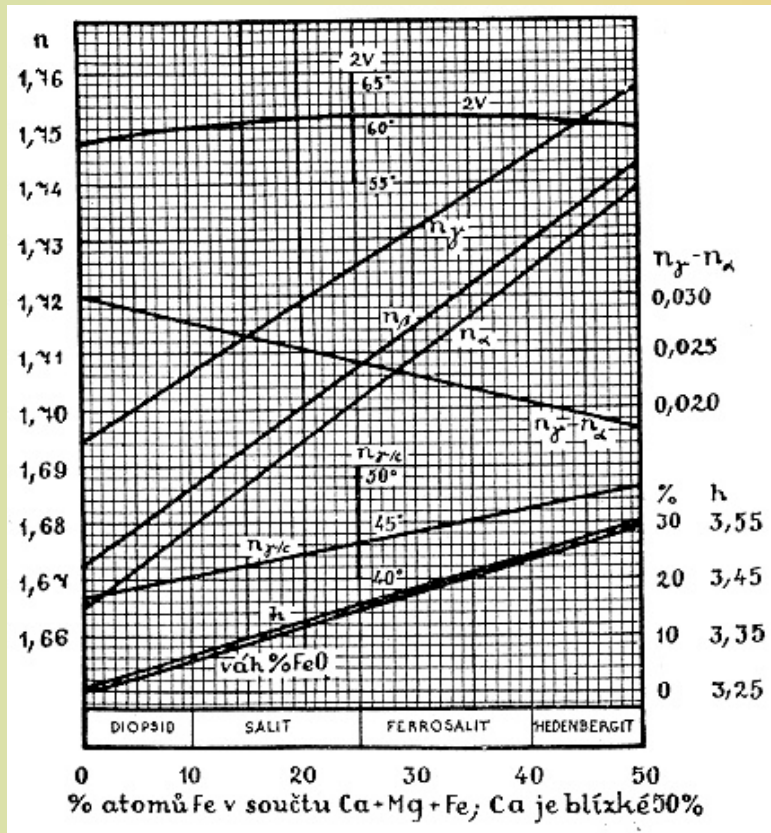
Rombické pyroxeny - optické charakteristiky

- rovnoběžné zhášení je zřetelné nejen podle omezení, ale i podle štěpných trhlin. Štěpné trhliny podle prizmatu (110) svírají v příčných řezech úhel 87° . Častá je i zonální stavba s Mg bohatším jádrem.
- častou přeměnou v ultramafických a vulkanických horninách je bastitizace, kdy se ortopyroxeny mění na minerály serpentínové skupiny, zvláště podél štěpných trhlin. Při metamorfóze se mění na amfiboly (uralitizace).
- rombické pyroxeny jsou běžné v bazických a ultrabazických magmatických horninách (gabro, pyroxenity, peridotit, diorit, andezit, dacit). V metamorfovaných horninách jsou běžné v granulitové facii.
- minerální asociace: olivín, klinopyroxeny, spinel, plagioklasy

Skupina monoklinických pyroxenů - makroskopický popis

- hlavní izomorfní řada je tvořena diopsidem $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ a hedenbergitem $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
- tvoří zpravidla dobře vyvinuté krátce i dlouze sloupcovité krystaly, stébelnaté agregáty i nepravidelná zrna, barva diopsidu bývá zpravidla zelenošedá, hedenbergit je tmavě zelený až zelenavě černý
- velmi dobrá je štěpnost podle (110), kdy v příčném řezu svírají štěpné trhliny úhel 87°
- zpravidla dvojčatí podle (100), kdy dvojčatné lamely jsou orientovány kose ke štěpnosti

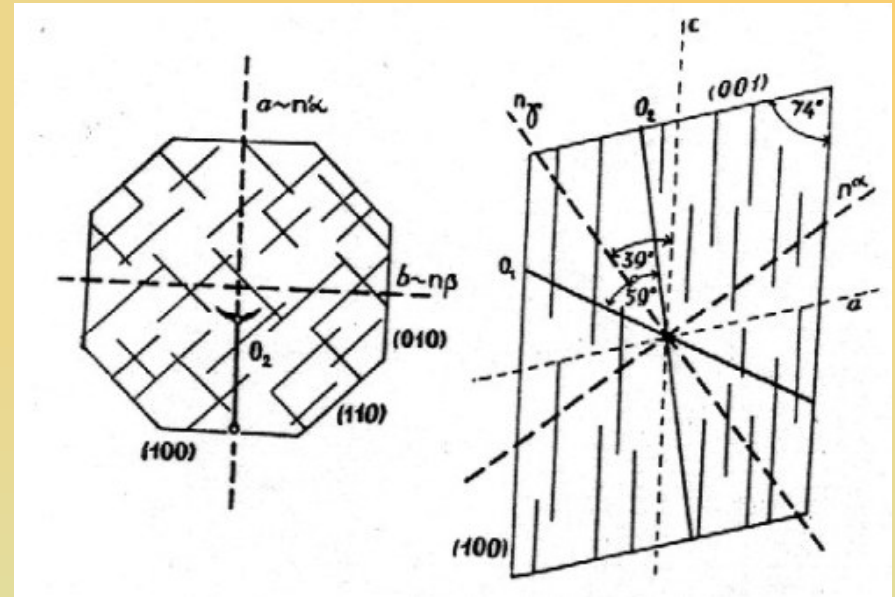
Monoklinické pyroxeny - optické charakteristiky



- indexy lomu s obsahem Fe stoupají, dvojlom mírně klesá (první hodnota platí pro diopsid, druhá pro hedenbergit):
- $n_\alpha = 1,664 - 1,730$
- $n_\beta = 1,672 - 1,735$
- $n_\gamma = 1,694 - 1,755$
- $D = 0,030 - 0,018$
- R_o je (010), $\beta = y$, $Chm+$, úhel $2V(\gamma)$ roste s obsahem Fe od 50° (diopsid) na 62° (hedenbergit)

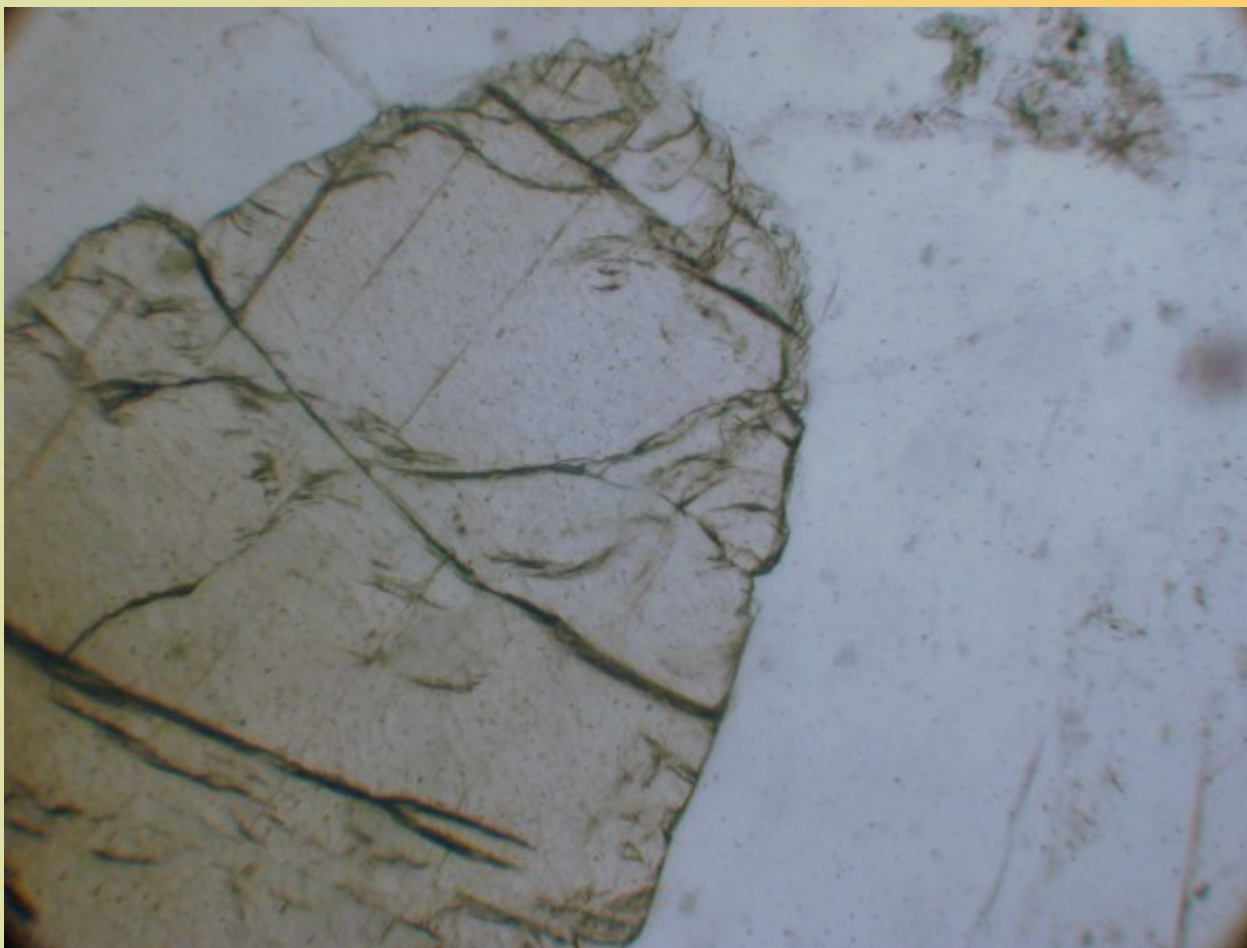
Monoklinické pyroxeny - mikroskopický popis

- úhel zhášení γ/z je $38^\circ - 48^\circ$
- diopsid je zpravidla bezbarvý nebo jen slabě nazelenalý, se zvyšujícím se obsahem Fe k hedenbergitu je barva zelená se zřetelným pleochroismem
- reliéf je výrazný, charakteristická je i štěpnost podle (110).
- často obsahuje odmíšeniny ortopyroxenů a známy jsou i deformované krystaly

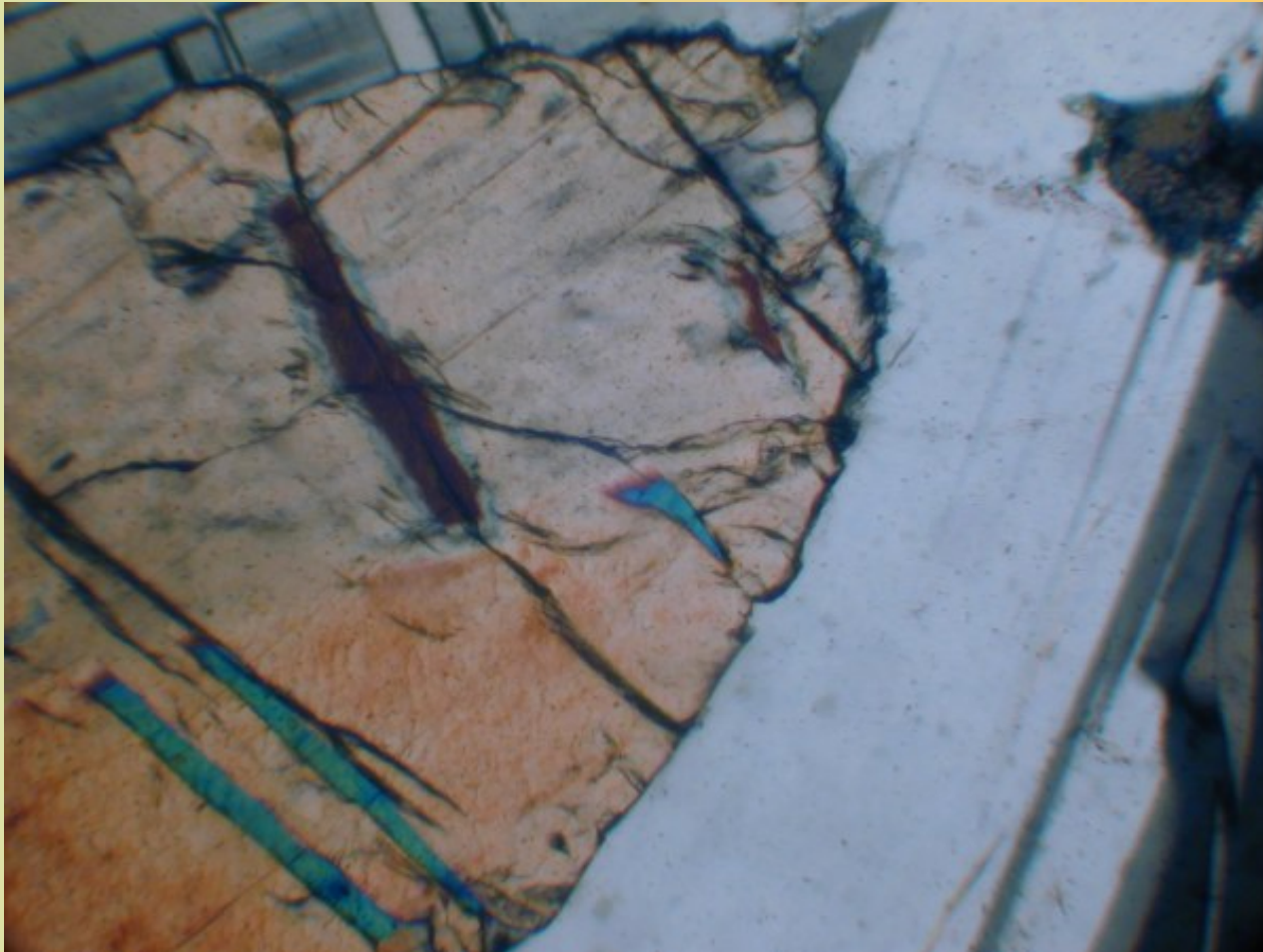


Monoklinické pyroxeny - mikroskopický popis

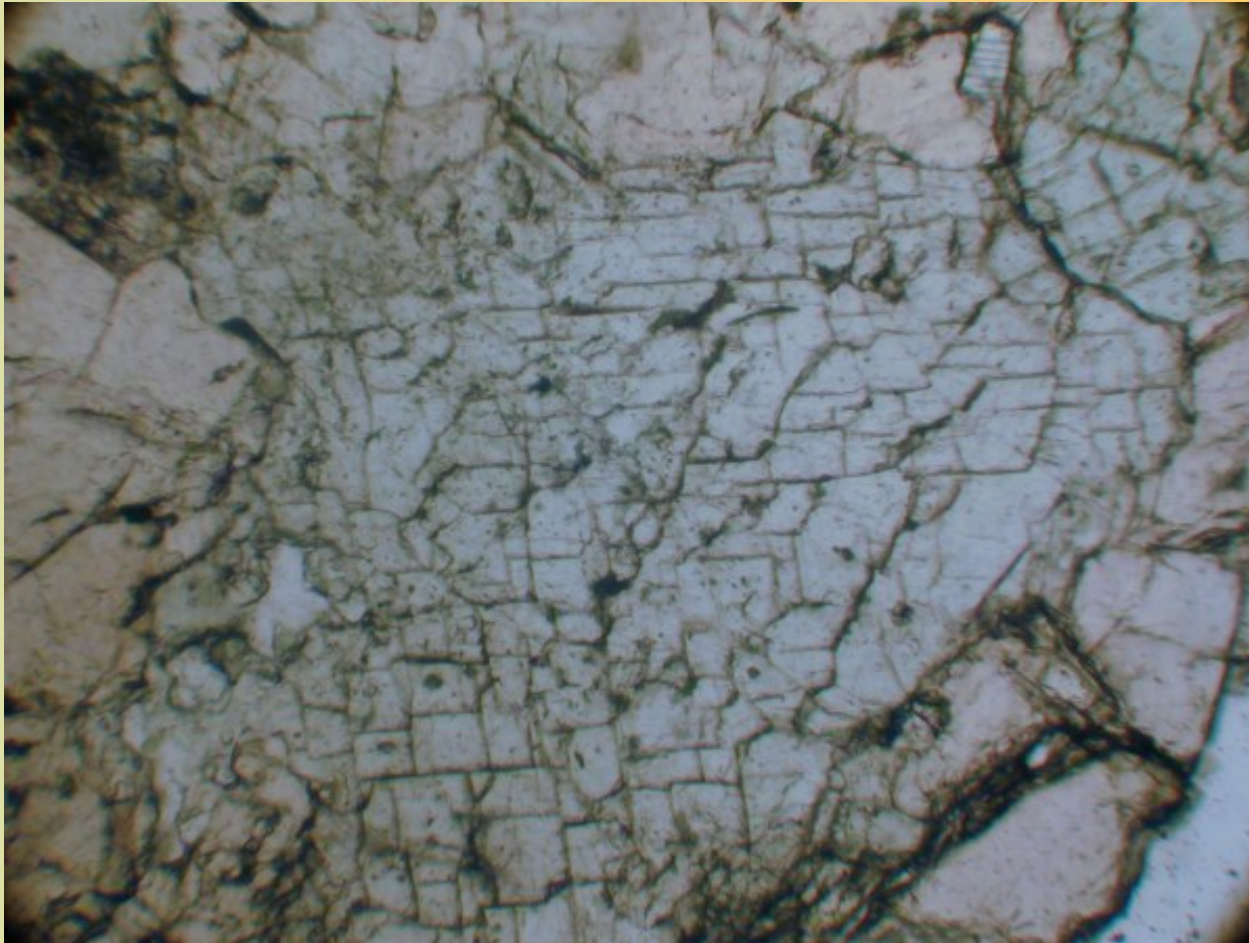
- hydrotermální alterací se mění na vláknitý agregát amfibolů (aktinolit, tremolit). Při nízkých teplotách dochází k serpentinizaci, produkty jeho zvětrávání jsou karbonáty, hematit a křemen.
- běžný v bazických magmatických horninách (gabro, bazalt), v žilných horninách (lamprofyry). V kontaktně metamorfovaných horninách je běžný ve skarnech.
- minerální parageneze: plagioklas, olivín; vesuvián, wollastonit



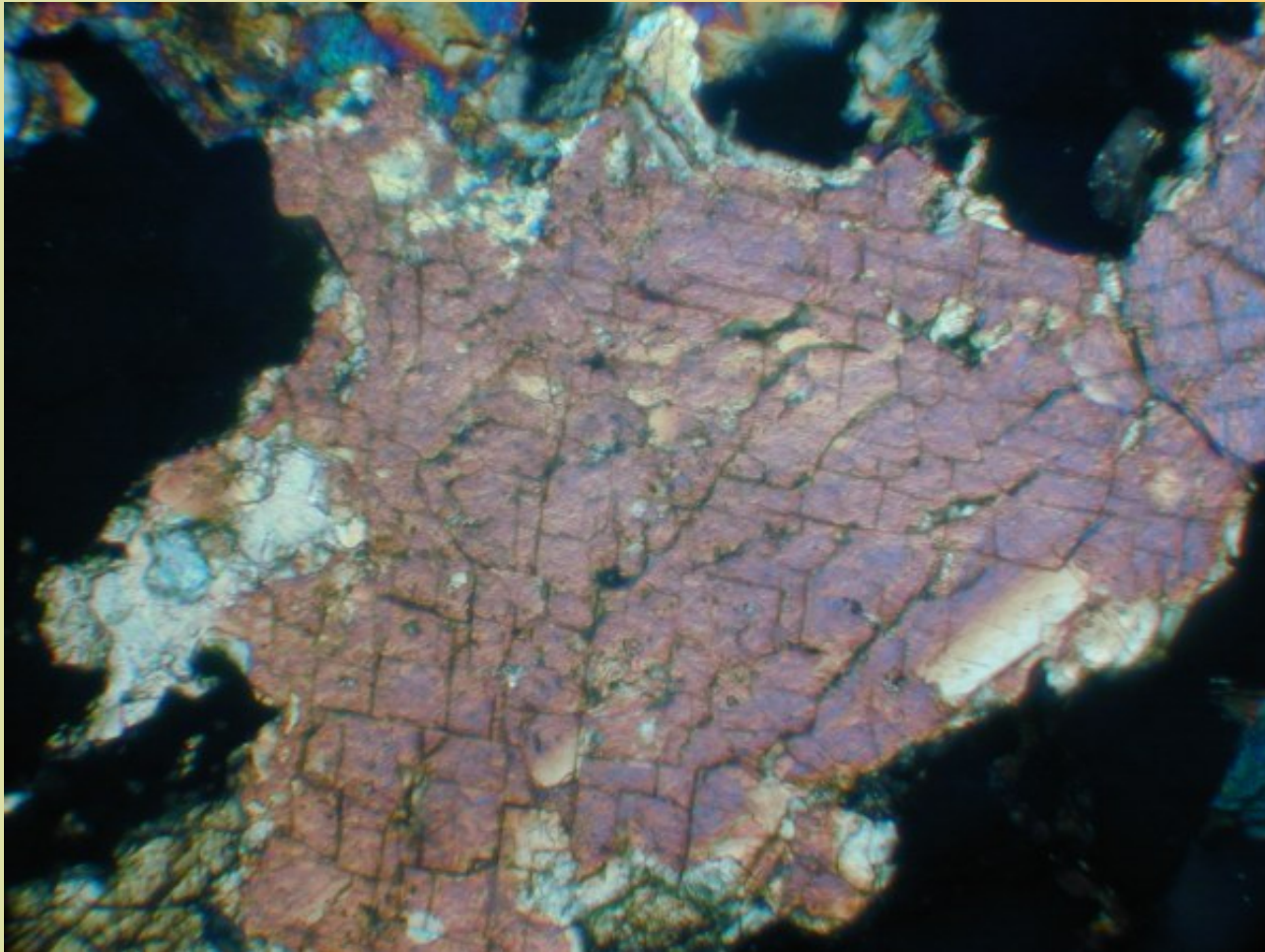
zrno ortopyroxenu v plagioklasu, nápadný je vystupující reliéf, gabro;
PPL



zrno ortopyroxenu s exsolučními lamelami klinopyroxenu, v okolí plagioklas, gabro; XPL



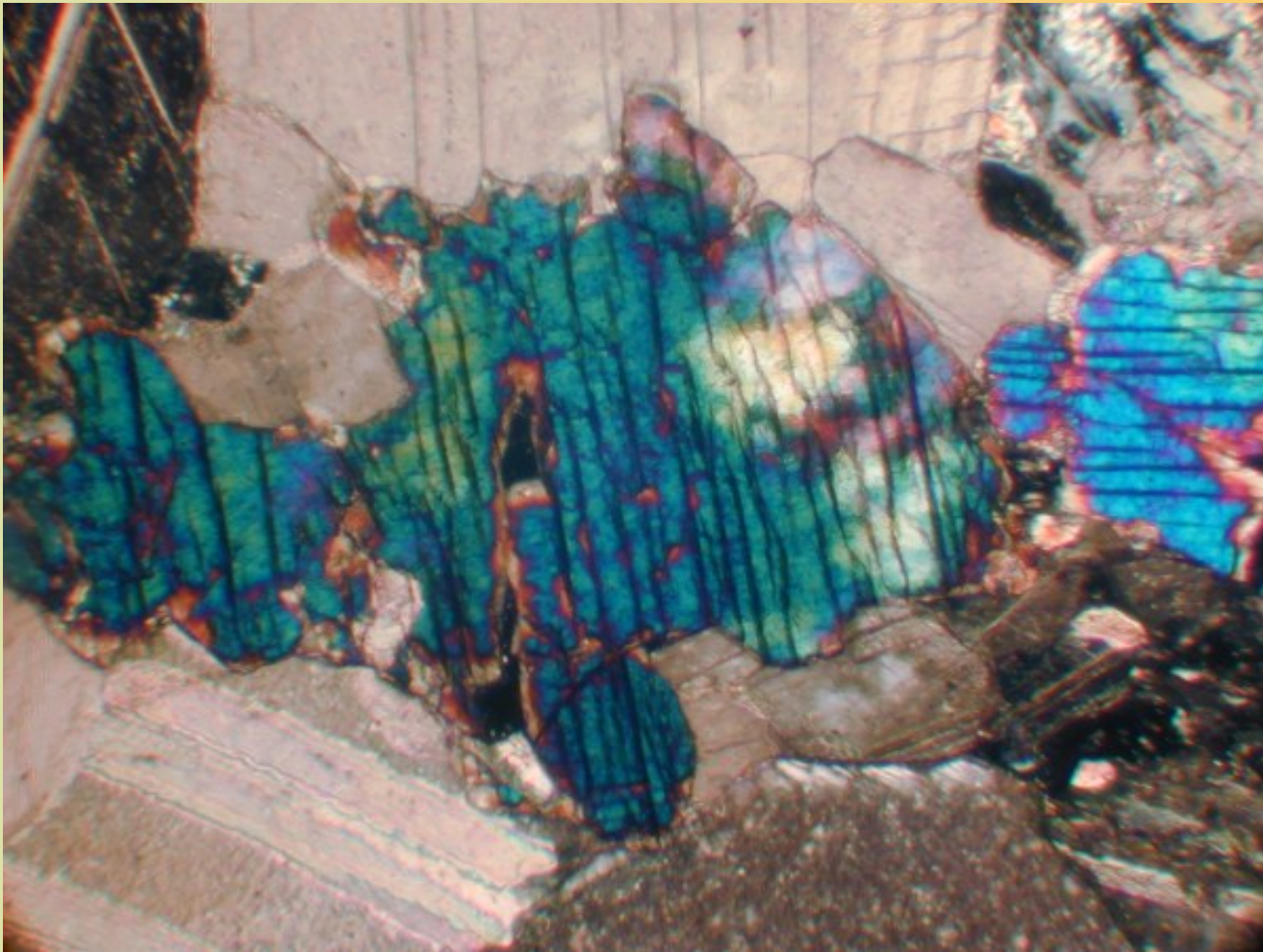
monoklinický pyroxenu s dobře patrnou štěpností podle (110), vidět je i negativní reliéf vzhledem k okolnímu granátu, skarn; PPL



dvojlom pyroxenu, dobře viditelná štěpnost, okolní granát izotropní, skarn; XPL



monoklinický pyroxen s viditelným jedním systémem štěpnosti,
obklopen karbonátem; PPL



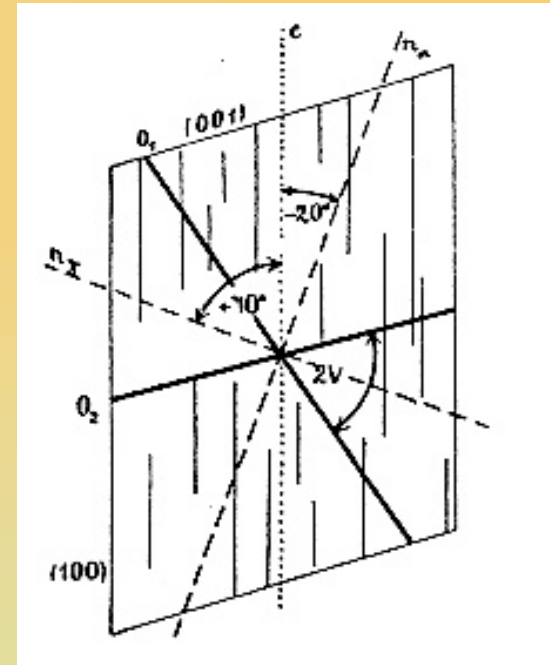
interferenční barvy pyroxenu, viditelná štěpnost, v okolí karbonáty; XPL

Alkalické pyroxeny - základní charakteristiky

- rozlišuje se řada variet s různým chemismem (např. augit, titanový augit)
- zpravidla dobře vyvinuté prizmatické krystaly, nezářídka zdvojitě, barva tmavě hnědá nebo černá, lesk skelný
- automorfní průřezy jsou často osmiúhelníkové s typickou pyroxenovou štěpností, v metamorfovaných horninách xenomorfní omezení
- ve výbruse světla šedozelený nebo jasně šedozelený, méně hnědý, velmi často zonálně vyvinuté krystaly s Fe bohatším okrajem. Titanový augit bývá hnědopurpurový nebo červenopurpurový, zpravidla v závislosti na obsahu Ti. Aegirinický augit bývá v odstínech zelené, výrazně pleochroický.
- mají střední hodnoty indexů lomu a dvojlomu, častá je zonálnost nebo „přesýpátková“ struktura. Při šikmém zhášení je úhel $\gamma/z = 35^\circ - 48^\circ$. Titanový augit vykazuje zpravidla výrazný pleochroismus, podle α světla hnědožlutý, β hnědo - červenopurpurový, γ hnědožlutý až fialovohnědý. Úhel zhášení $\gamma/z = 32^\circ - 55^\circ$. Typické jsou i anomální interferenční barvy ze začátku III. řádu.

Alkalické pyroxeny - optické charakteristiky

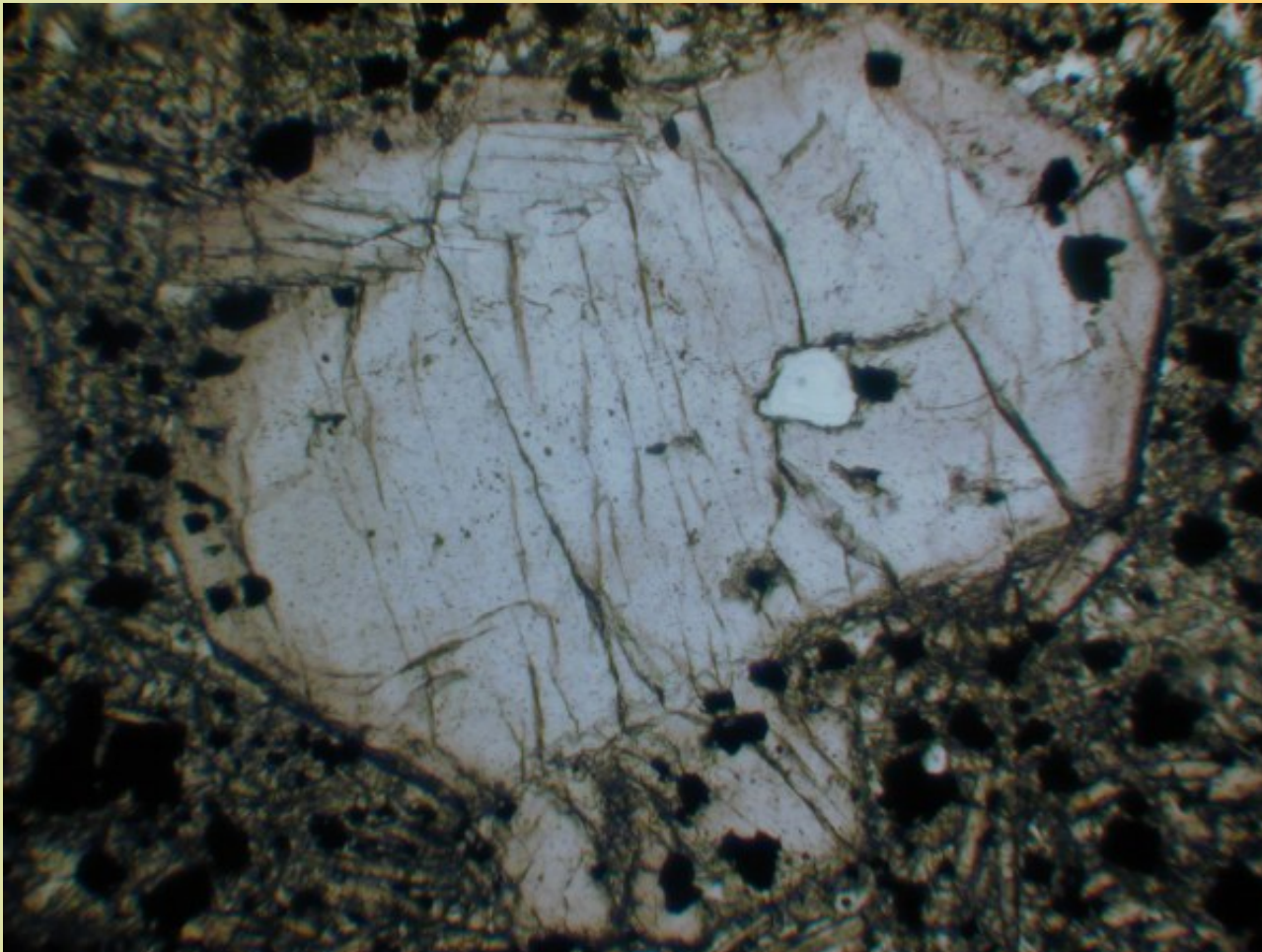
- s rostoucím obsahem Fe vzrůstají i hodnoty indexů lomu a dvojlomu (augit, titanový augit):
- $n_{\alpha} = 1,671 - 1,735; 1,695 - 1,741;$
- $n_{\beta} = 1,672 - 1,741; 1,700 - 1,746;$
- $n_{\gamma} = 1,703 - 1,774; 1,728 - 1,762;$
- $D = 0,018 - 0,033; 0,033 - 0,021;$
- R_o je v rovině (010), $\beta = y$. Chm +
- úhel $2V(\gamma) = 25^{\circ} - 61^{\circ}$ (augit), $42^{\circ} - 65^{\circ}$ (titanový augit)
- štěpnost dobrá podle prizmatu (110)
- častá jsou dvojčata, prorostlice a polysyntetické dvojčatění podle (100), (001) a (101)



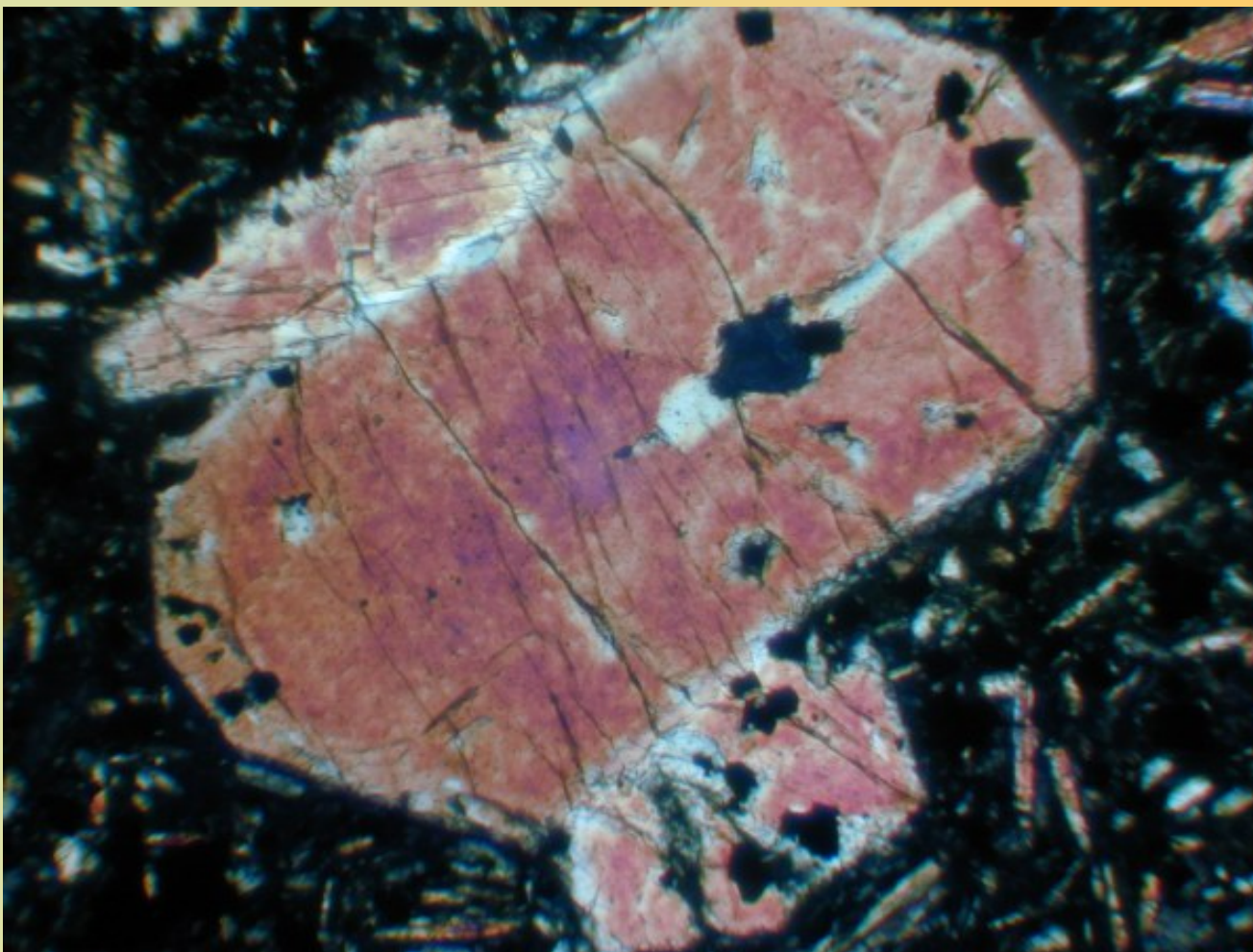
Řez aegirinickým augitem (010)

Alkalické pyroxeny

- často ještě během magmatické krystalizace dochází k přeměně alkalických pyroxenů na aktinolit (uralitizace). Podobný proces probíhá při nízkých stupních metamorfózy a kontaktní metamorfóze. V magmatických horninách dochází i k chloritizaci augitu. Při nízkých stupních metamorfózy je typická chloritizace spolu se vznikem mastku a epidotu. Mohou přecházet na směs karbonátů, hematitu a křemene.
- jsou zastoupeny v alkalicko - vápenatých a tholeitických bazických magmatitech (gabra, basalty), ve vysoce metamorfovaných horninách je augit častější než diopsid
- minerální parageneze: plagioklas, amfibol, diopsid; olivín, plagioklas, nefelín



automorfni zonální zrno augitu; bazalt, PPL



automorfní zrno augitu s charakteristickým dvojlomem; bazalt, XPL