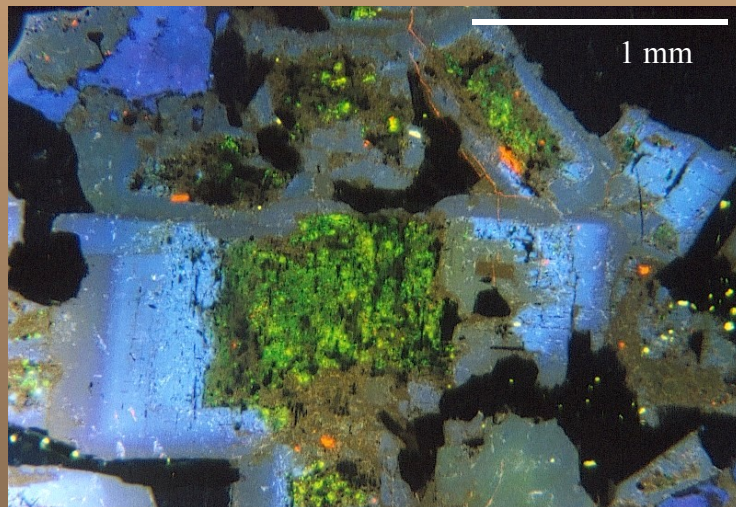


Aplikace katodové luminescence v geologii

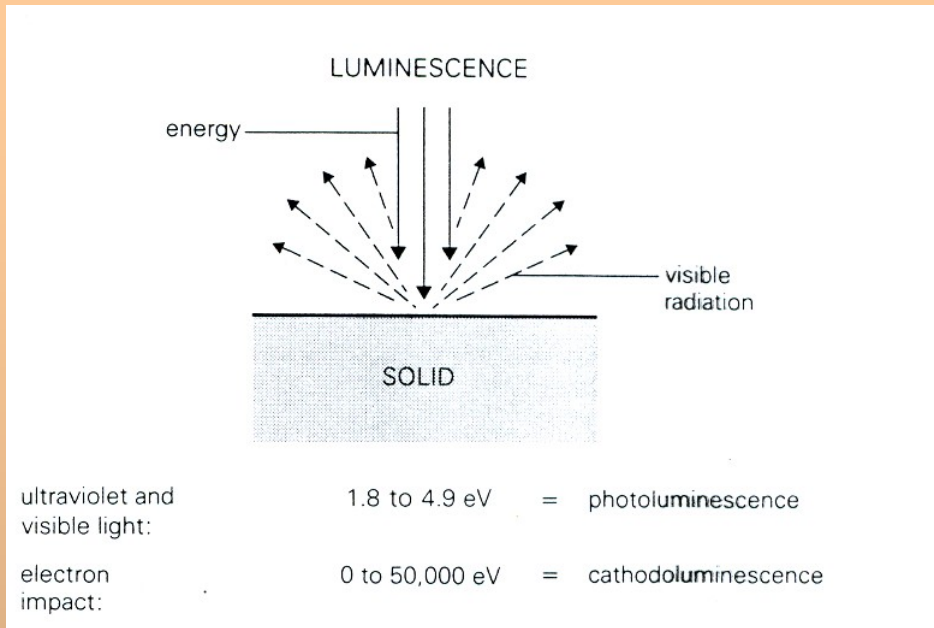
Jaromír Leichmann

- 1) Jev luminescence
- 2) Použití CL v magmatické petrologii při identifikaci základních procesů jako frakční krystalizace, míchaní magmatu aj.
- 3) Možnosti CL při studiu hydrotermálních procesů a nízkoteplotních alterací živců
- 4) Mramory a jejich reakční struktury
- 5) Depoziční procesy, diagenese, provenience
- 6) Archeologické a paleontologické aplikace
- 7) Spektroskopie
- 8) Kombinace CL-EMS-studium karbonatizace achátových nodulí



Kontinuálně zonální, silně aterovaný plagioklas ze Žulovského plutonu

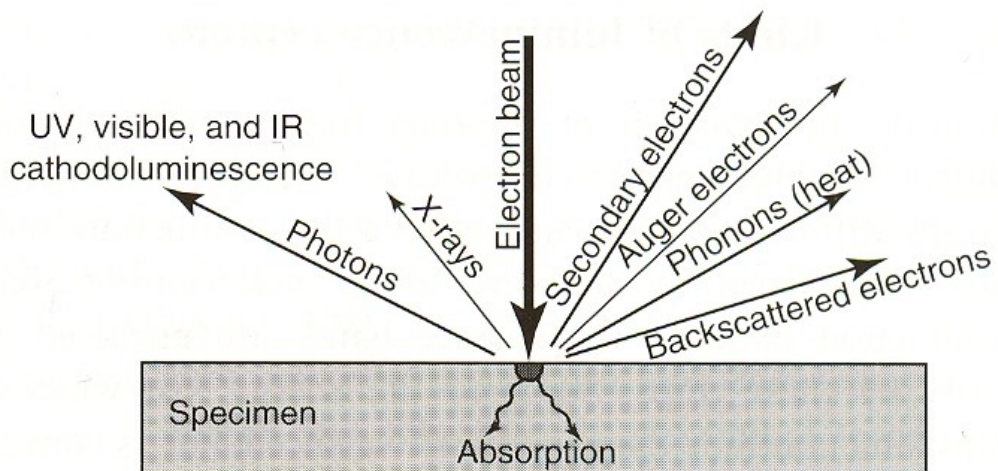
Vznik luminiscence



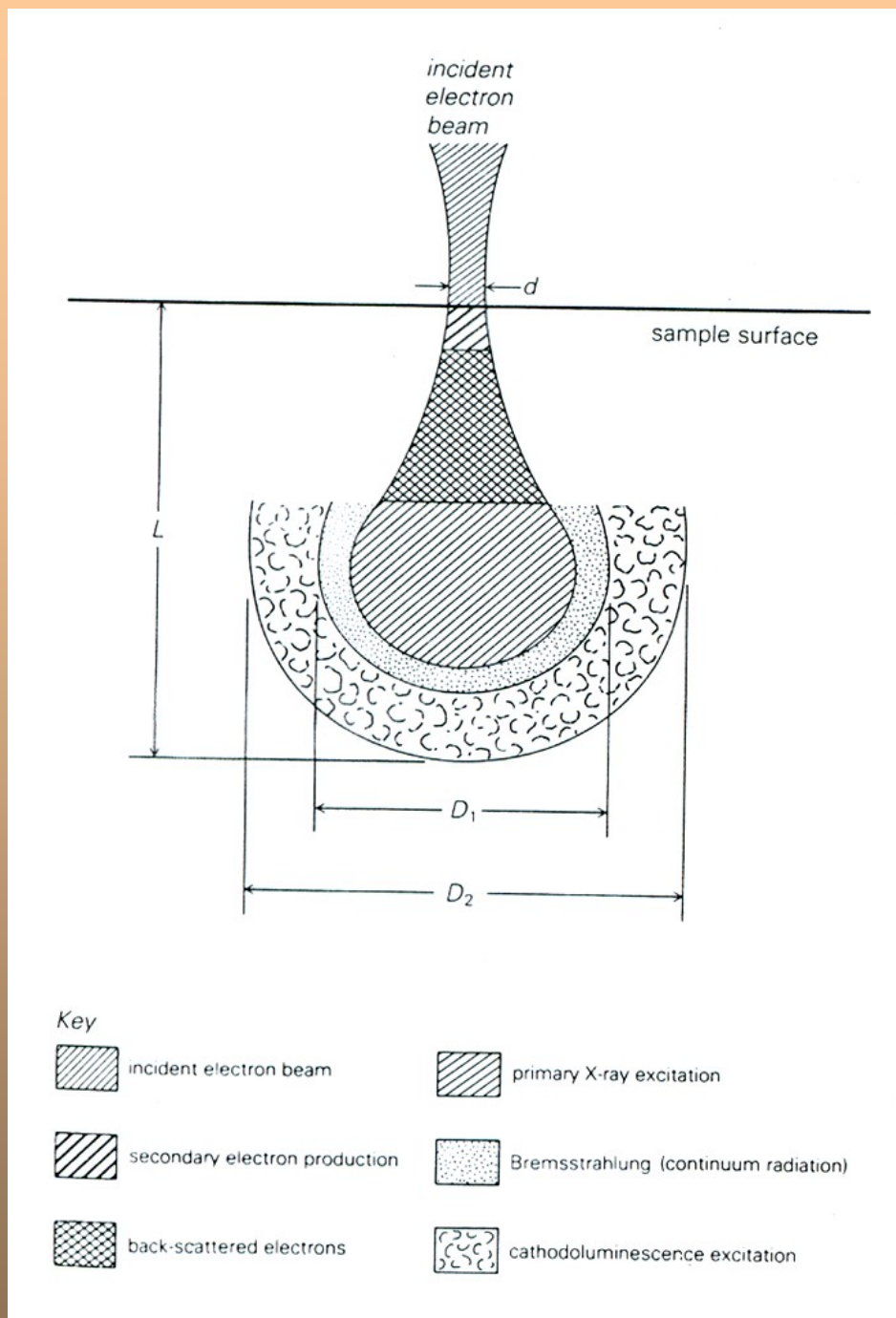
Luminiscence vzniká v důsledku interakce vnější energie a pevné látky
Podle druhu dopadající energie lze luminiscenci klasifikovat jako

- 1) fotoluminescenci,
- 2) termoluminescenci,
- 3) radioluminescenci
- 4) chemoluminescenci,
- 5) bioluminescenci,
- 6) triboluminescenci
- 7) katodoluminescenci

Fundamental causes of cathodoluminescence



Vznik luminiscence



Jevy vznikající při interakci dopadajícího zaostřeného svazku elektronů a pevné látky

Vznik luminiscence

Typy katodoluminiscenčních přístrojů

- 1) CL s tzv. chladnou katodou
- 2) CL s horkou katodou
- 3) rastrovací CL



CL mikroskop s horkou katodou

Vznik luminiscence

Typy katodoluminiscenčních přístrojů

- 1) CL s tzv. chladnou katodou
- 2) CL s horkou katodou
- 3) rastrovací CL

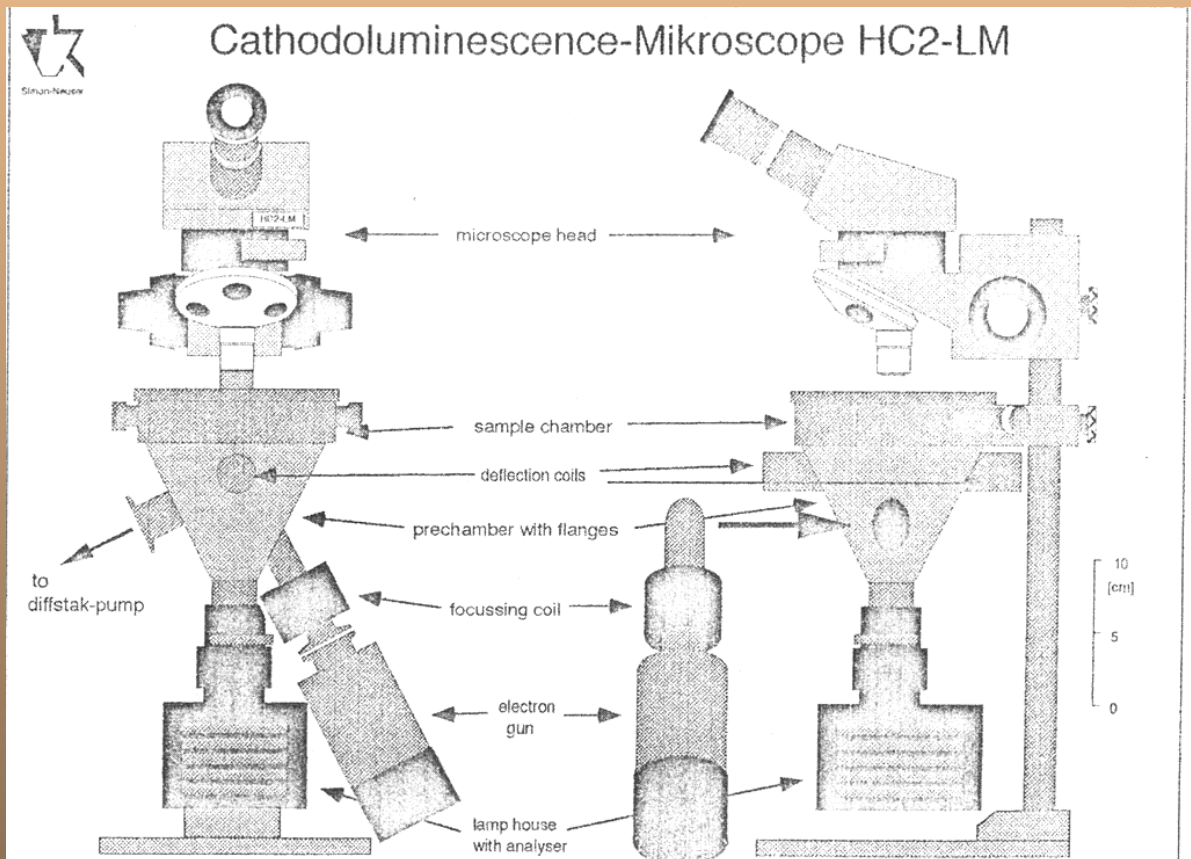


Schéma CL mikroskopu s horkou katodou

Vznik luminiscence

Aktivátory a quenchers

ACTIVATORS	SENSITIZERS	QUENCHERS
> 10-20 ppm	> 10 ppm	> 30-35 ppm
Mn ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺
Sm ³⁺	Ce ³⁺	Fe ³⁺
Tb ³⁺	etc..?	Ni ²⁺
Dy ³⁺		Co ²⁺
Eu ²⁺		etc..?
Eu ³⁺		
etc..?		

Fig. 2. Possible activators, sensitizers and quenchers of luminescence, and their effective minimum concentrations, in calcite and dolomite

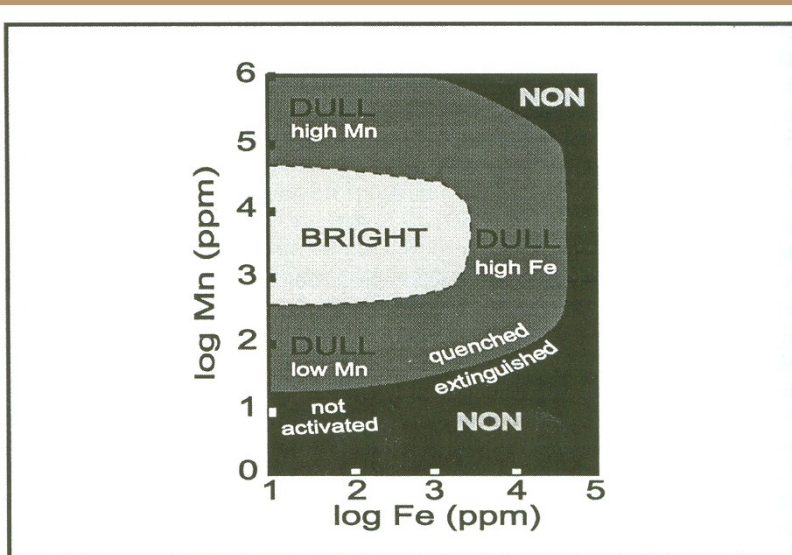
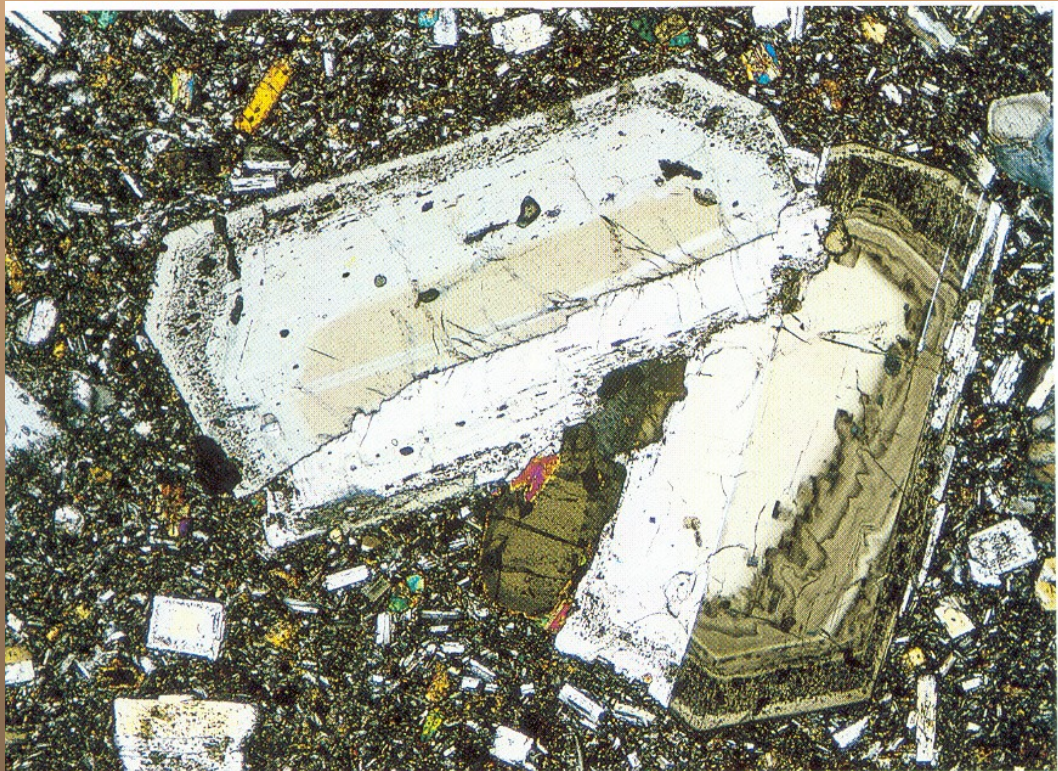
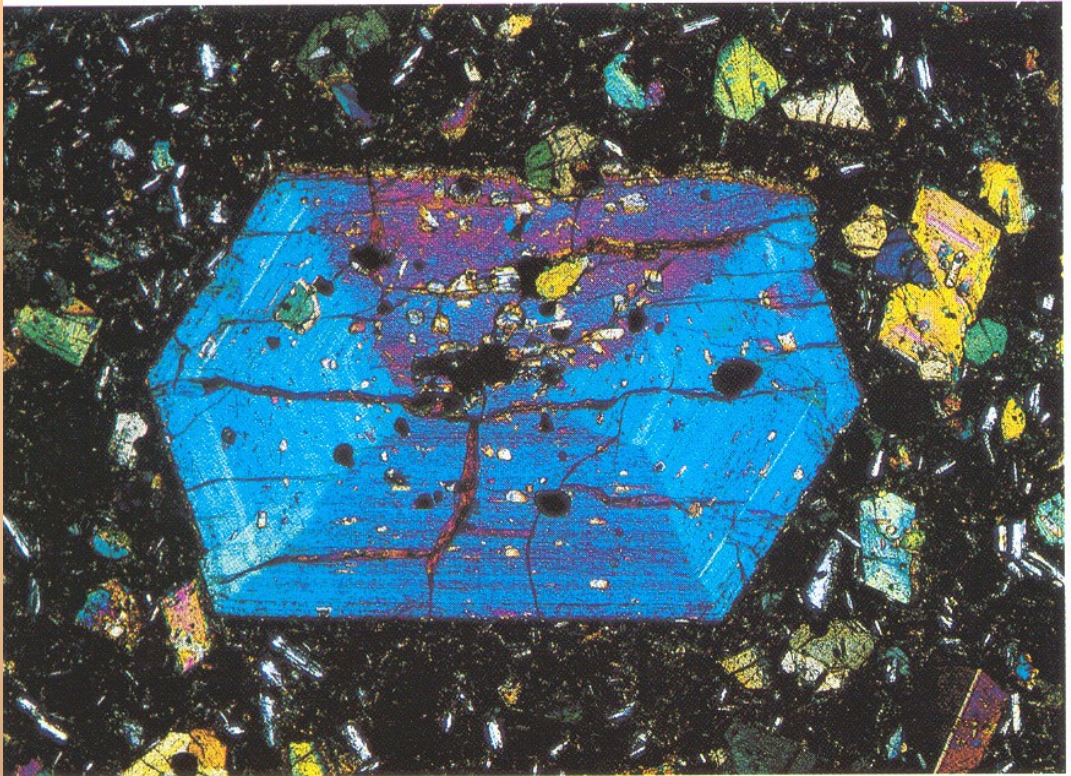
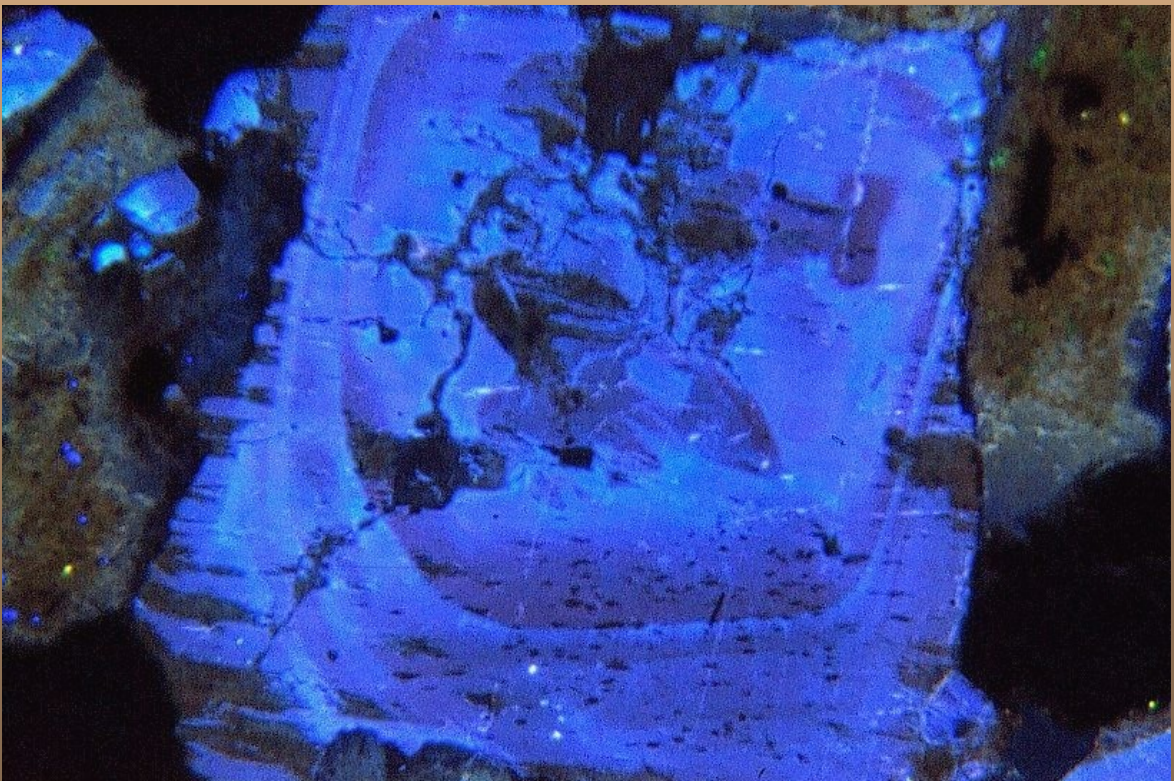


Fig. 3. Fields for CL in calcite and dolomite. (After Machel et al. (1991)). Non-luminescence is due to low Mn (activator) concentrations (*lower left*), and extinction is due to Fe-quenching (*lower right*) as well as self-quenching by Mn (*right and upper right*)

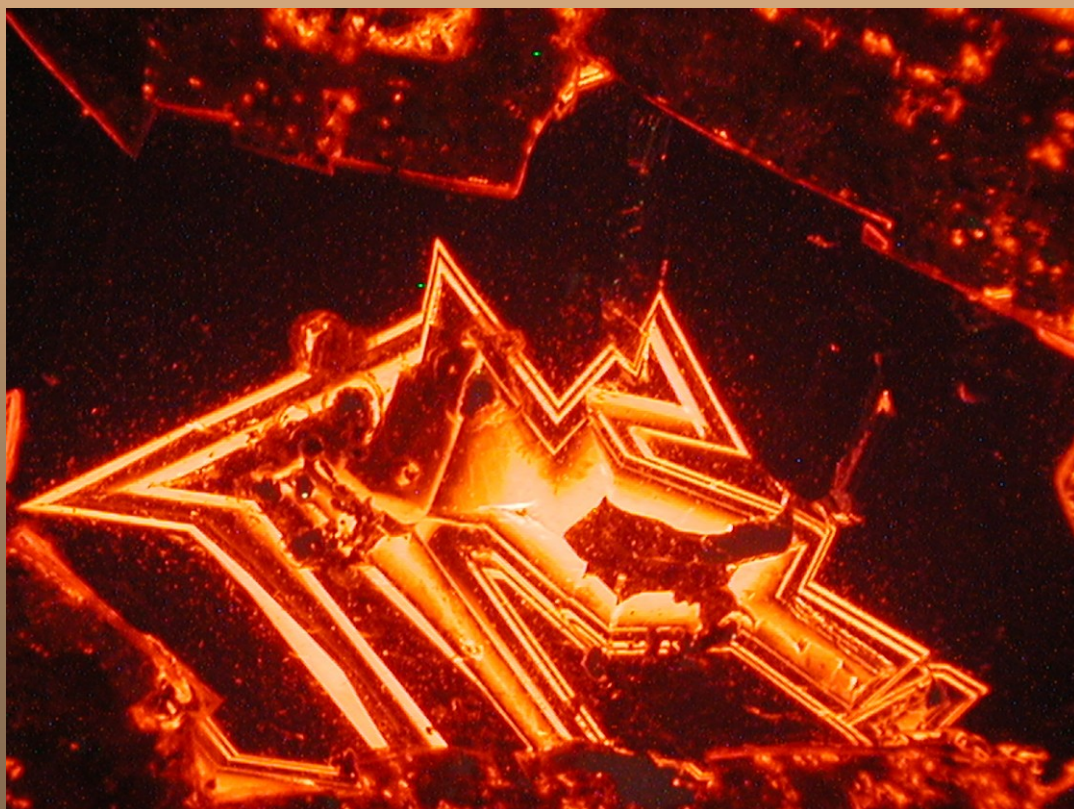
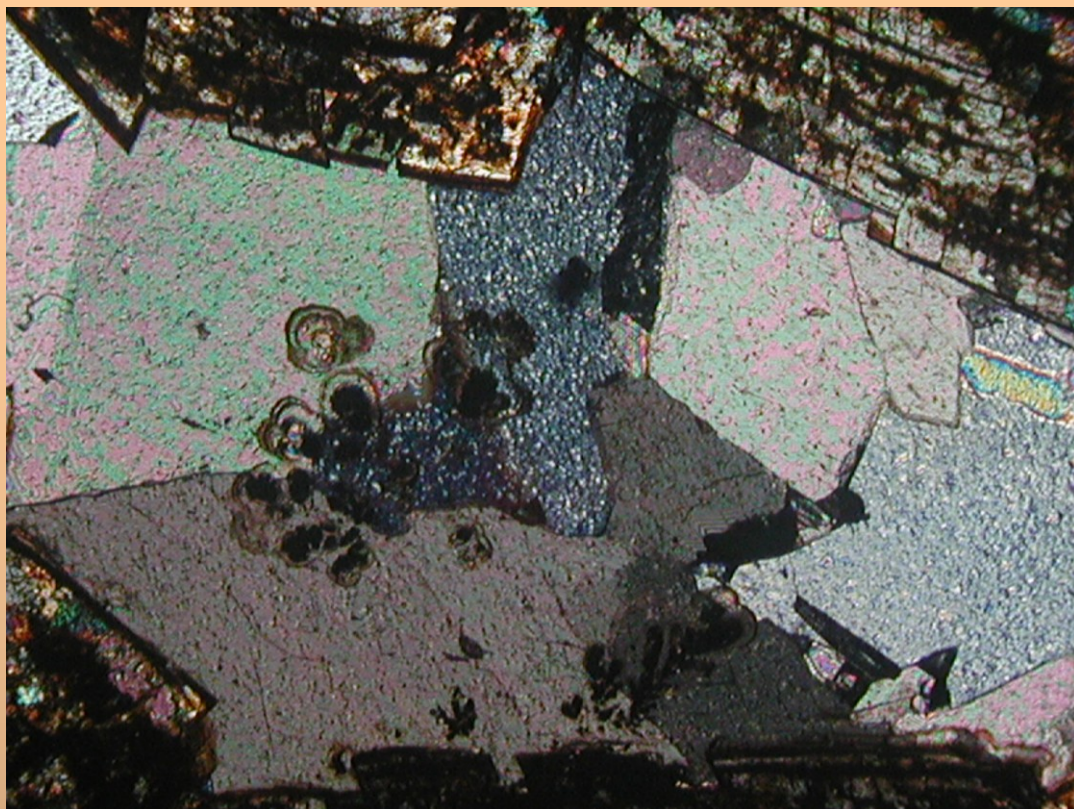


Vnitřní stavby cpx a Pl, optická mikroskopie

Vizualizace "neviditelných" vnitřních staveb minerálů



K-živec z granitů žulovského batolitu, XPL a CL



Karbonát XPL a CL

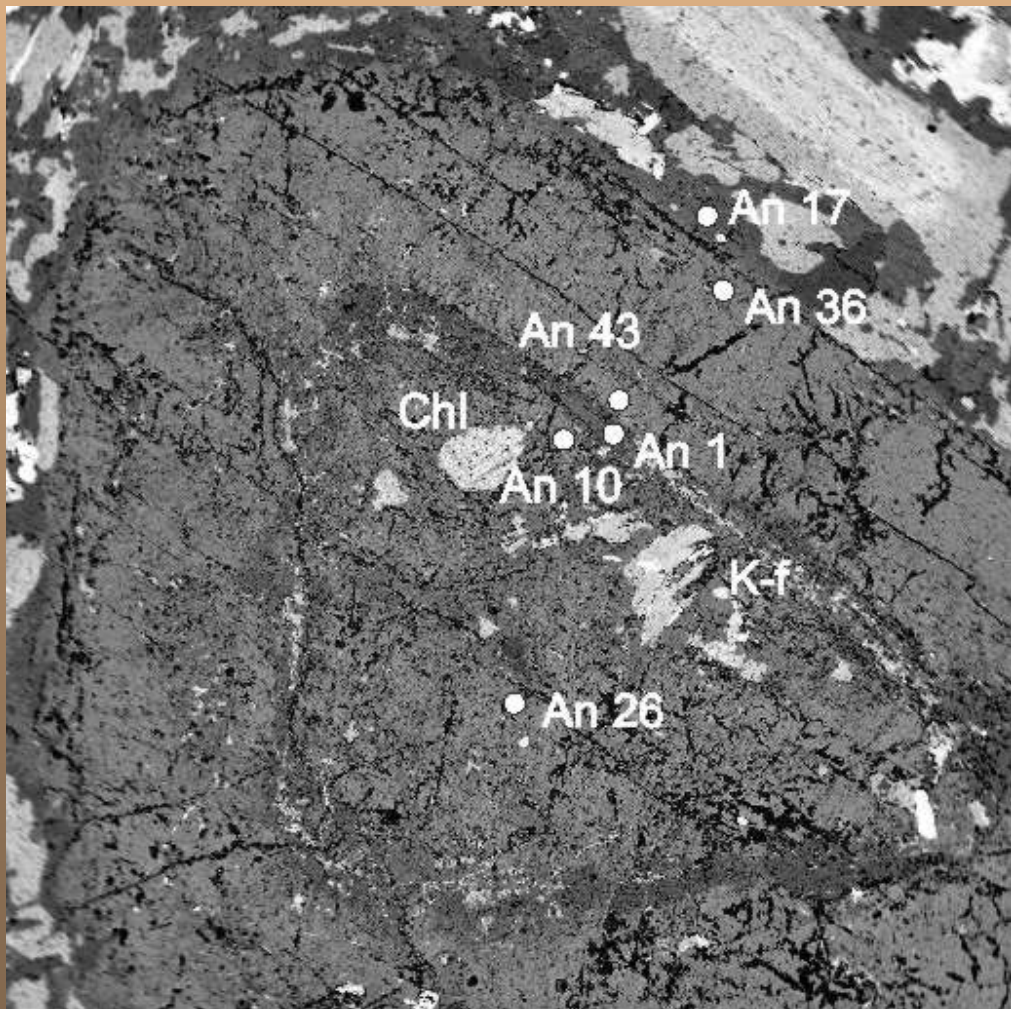
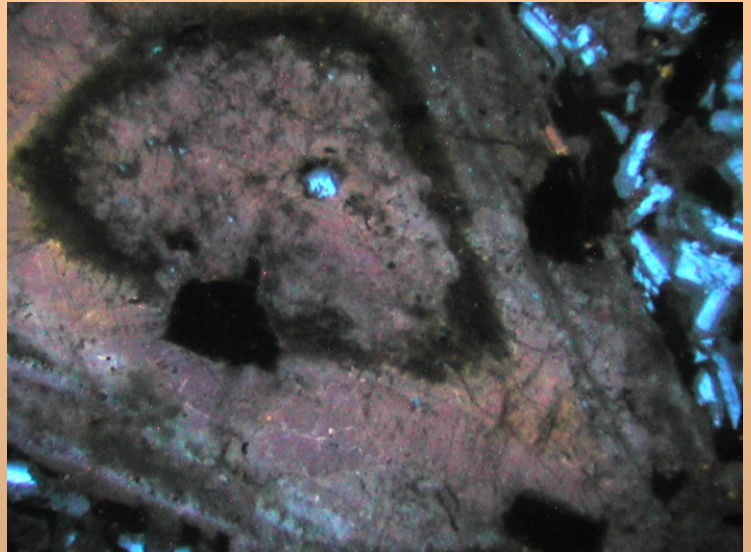
Magmatické procesy

Míchání magmatu - valouny trachytů z lulečských slepenců



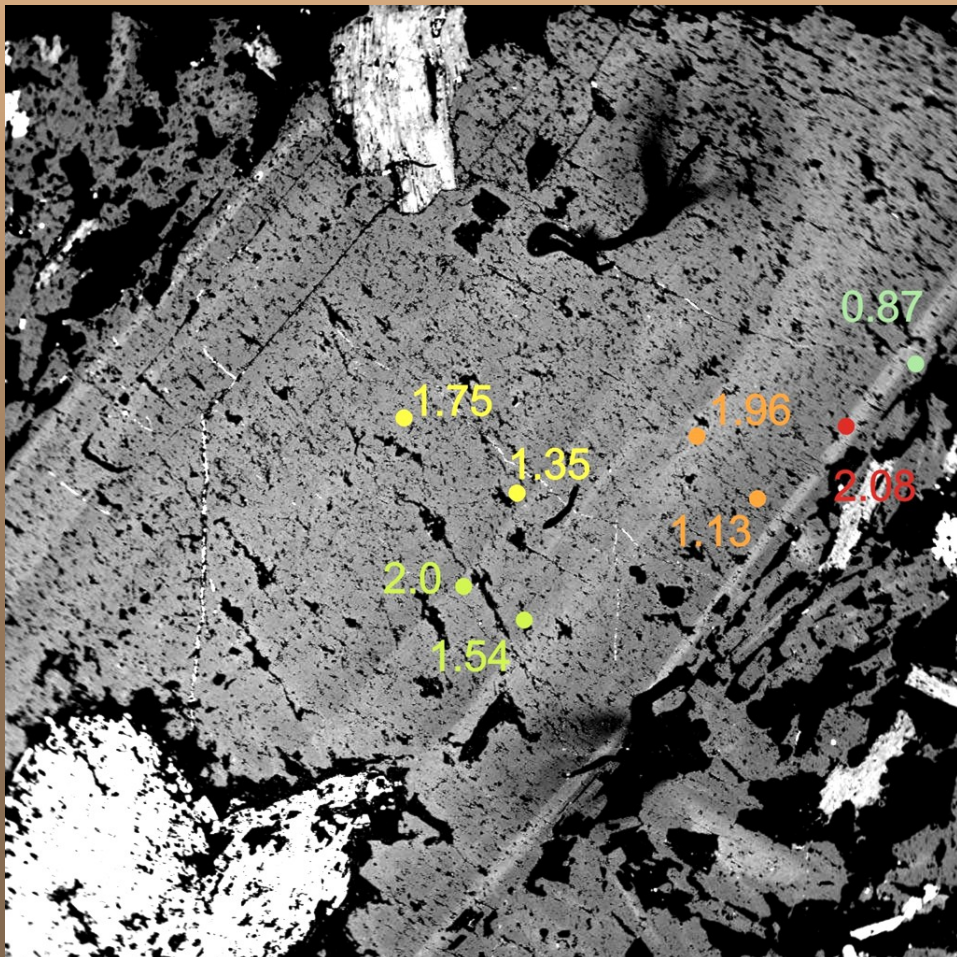
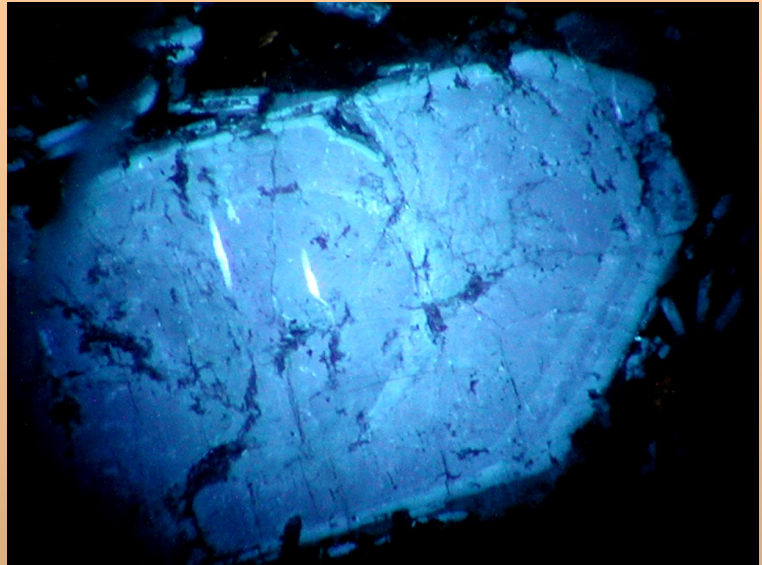
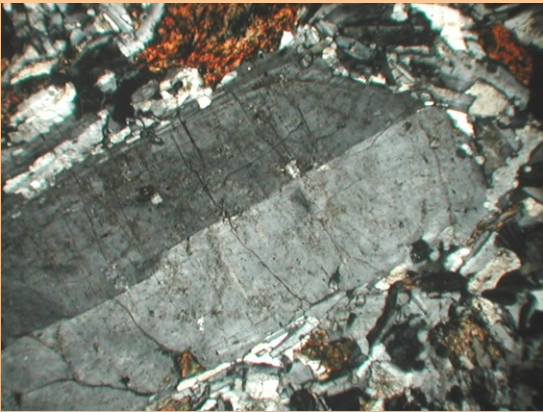
Magmatické procesy

Míchání magmatu - valouny trachytů z lulečských slepenců



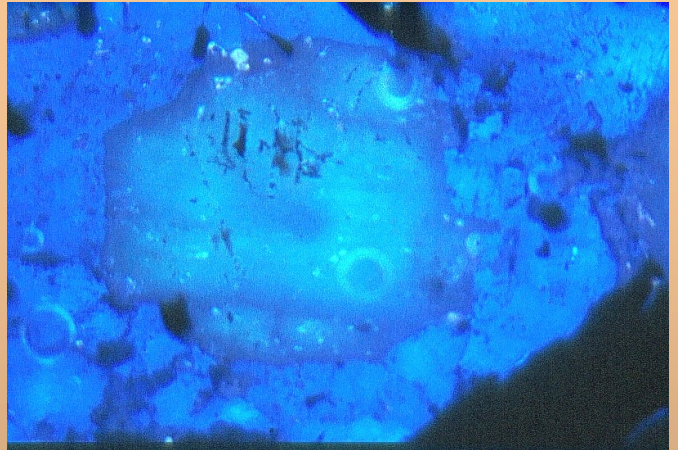
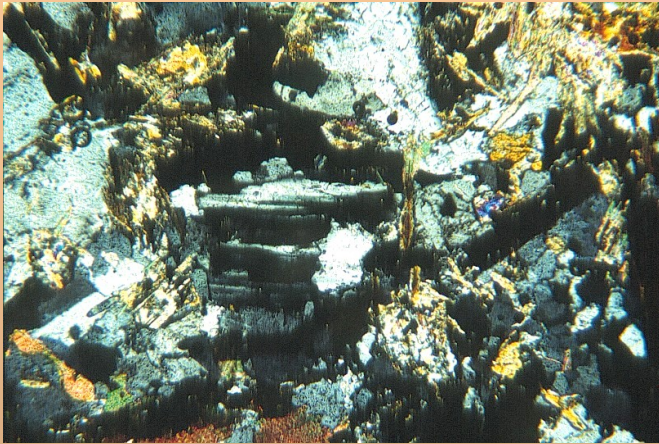
Magmatické procesy

Míchání magmatu - valouny trachytů z lulečských slepenců

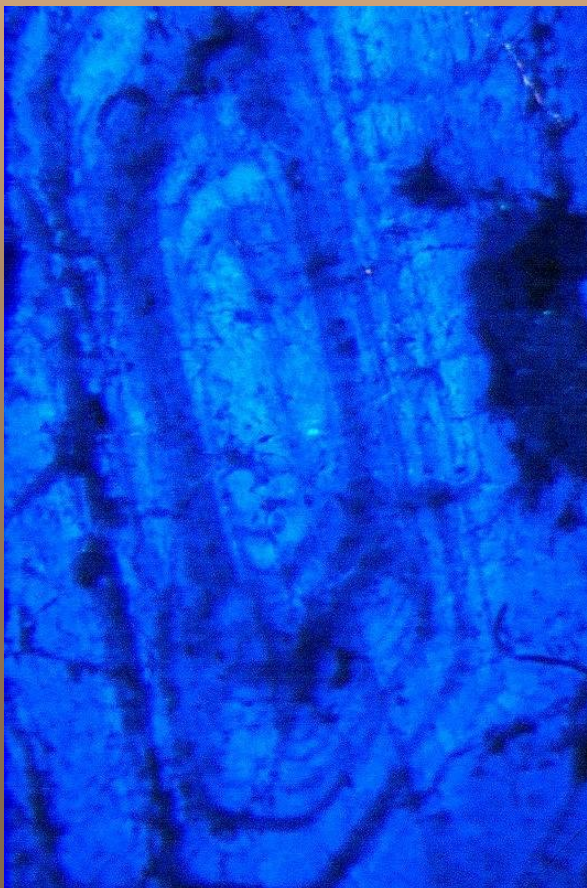
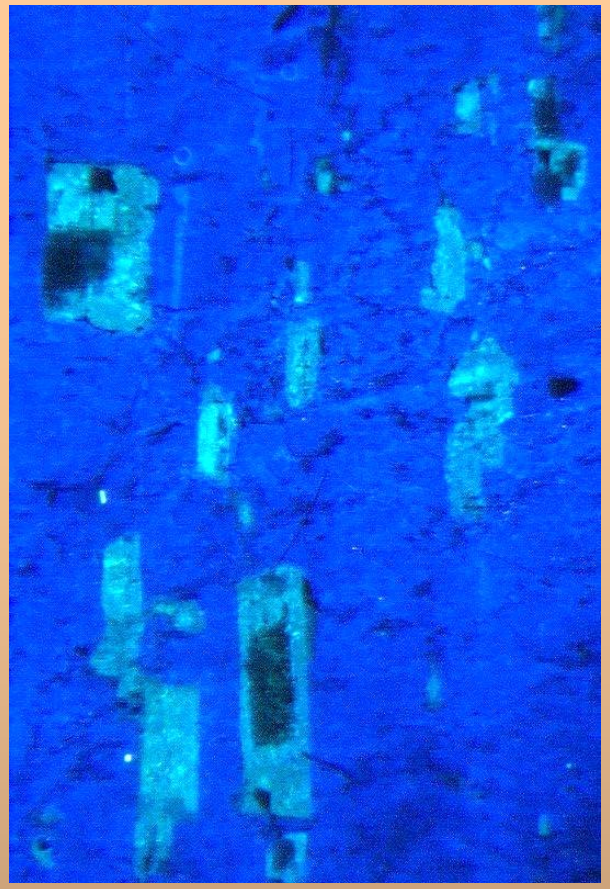


Magmatické procesy

Míchání magmatu -durbachity rastenberského plutonu, pl, apatit a zirkon

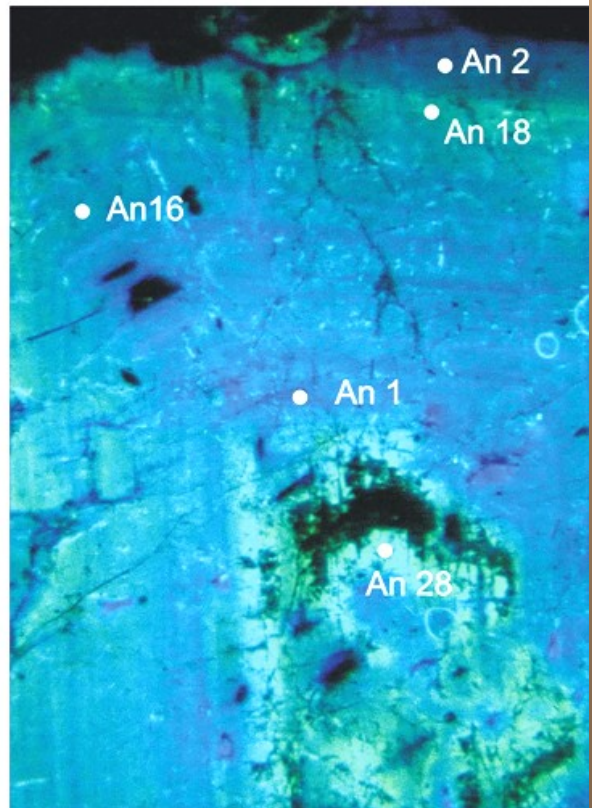
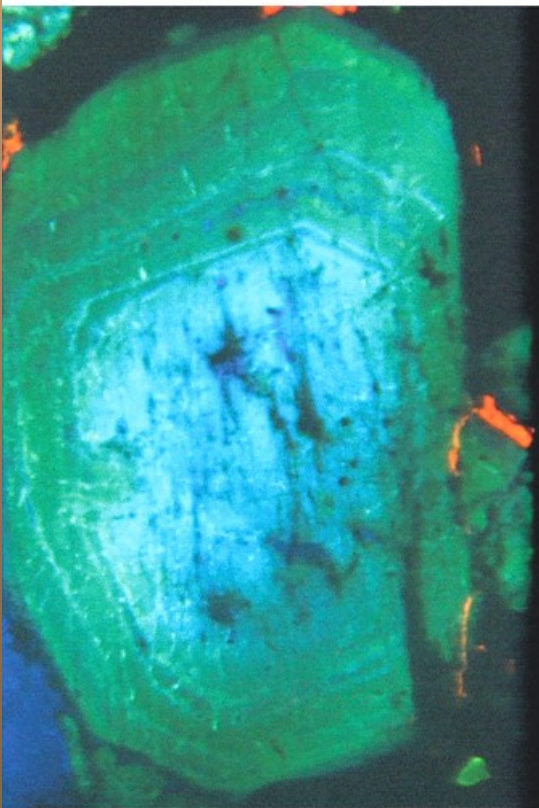
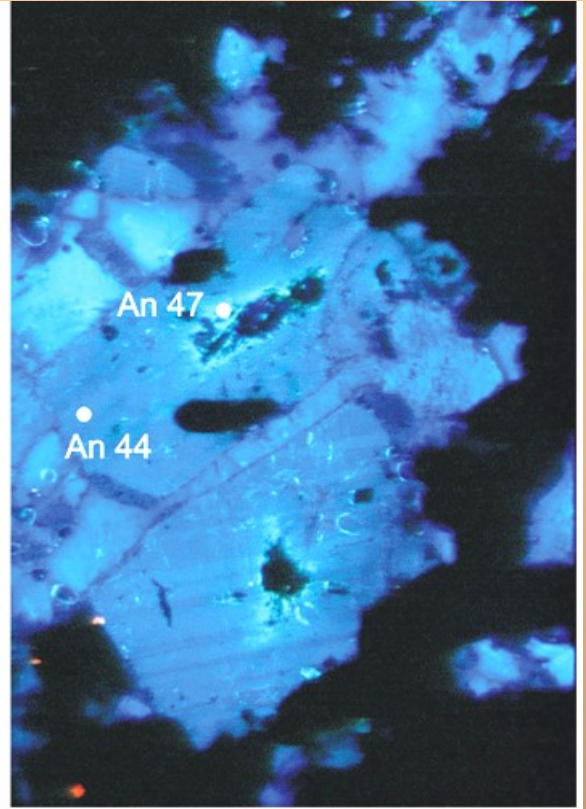


Durbachity - komplexní stavby



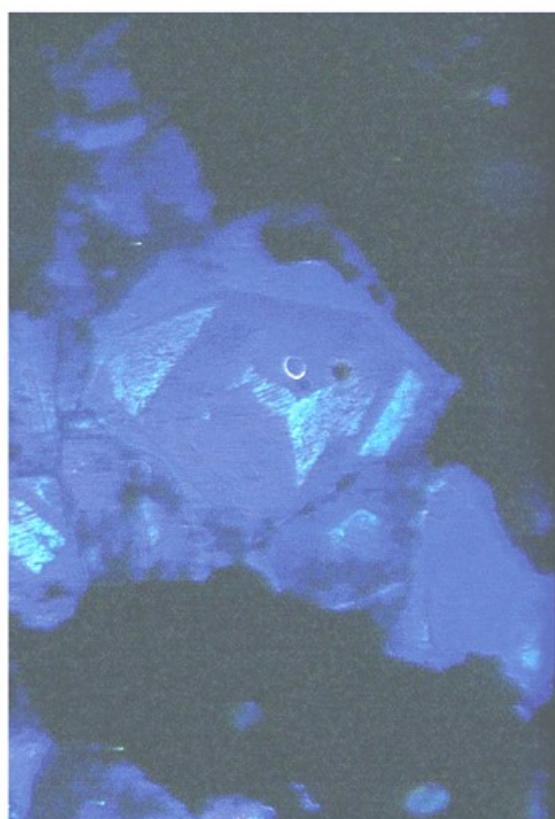
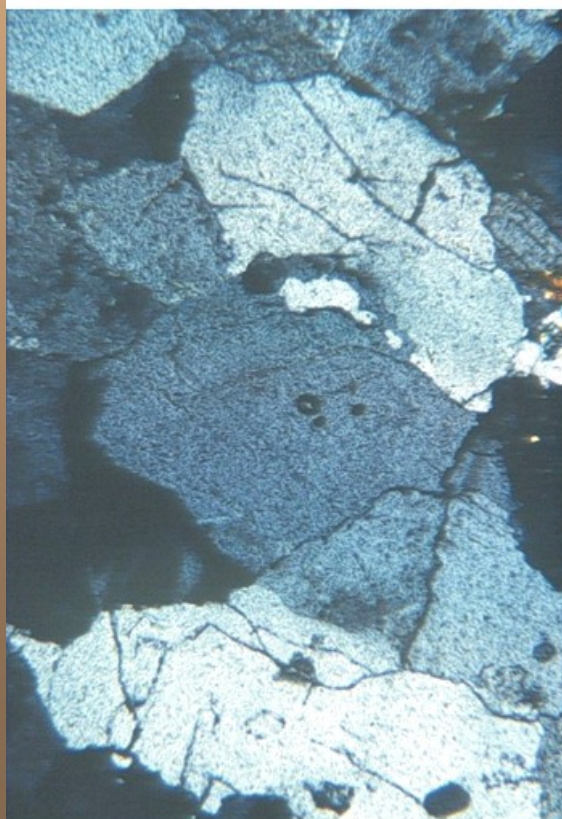
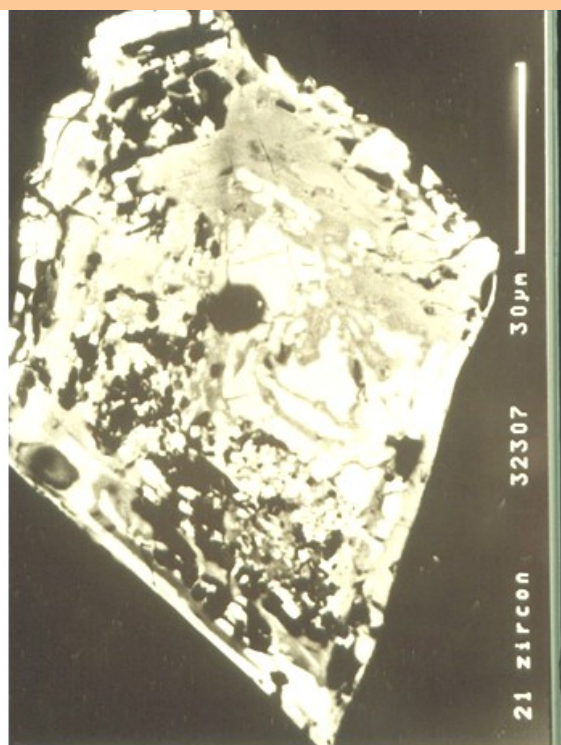
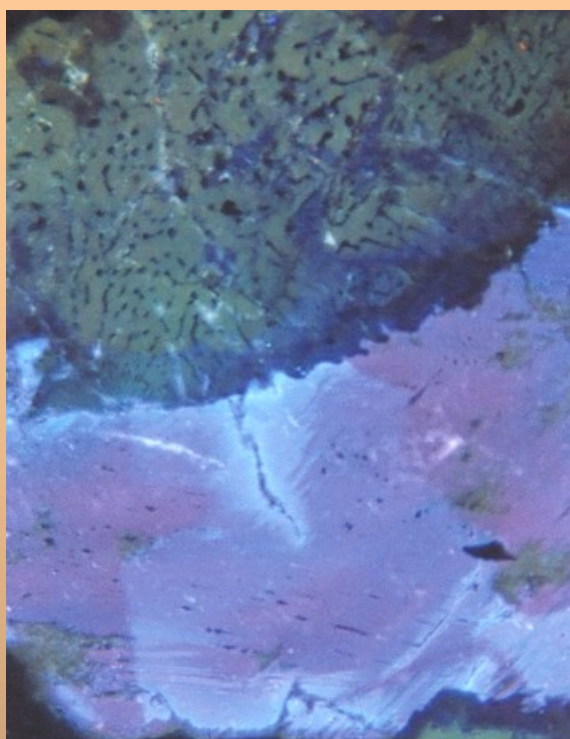
Magmatické procesy

Durbachity - komplexní stavby



Magmatické procesy

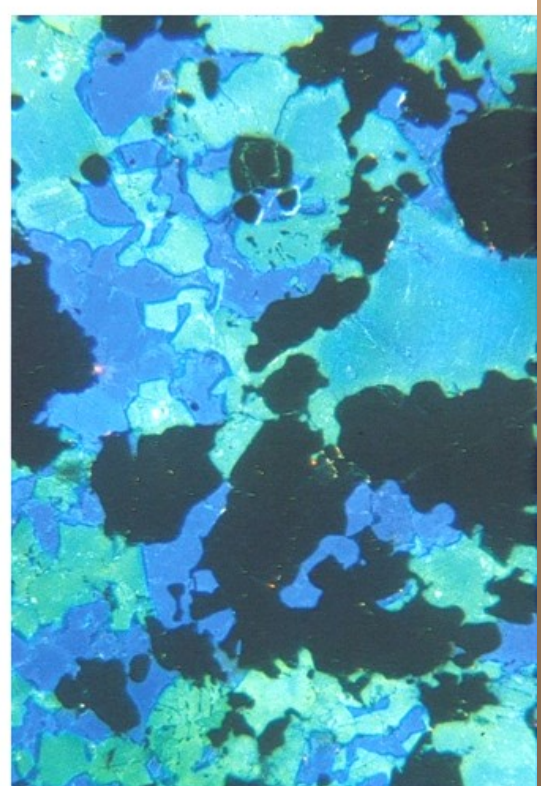
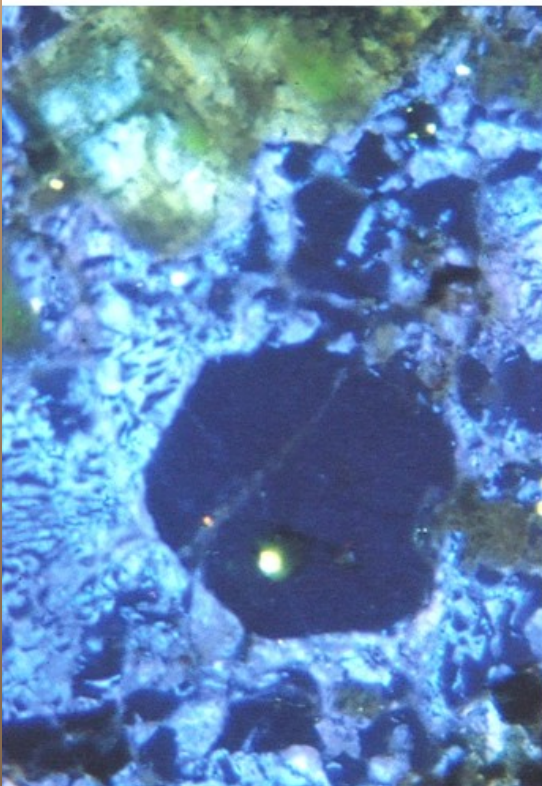
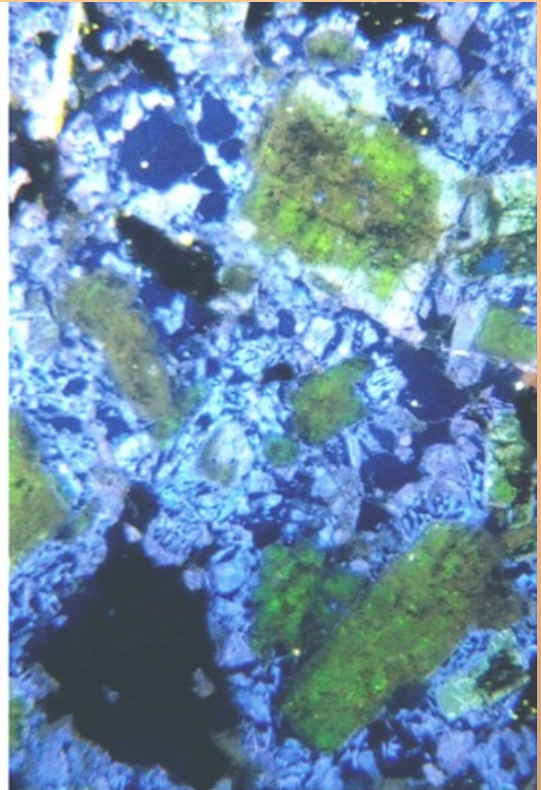
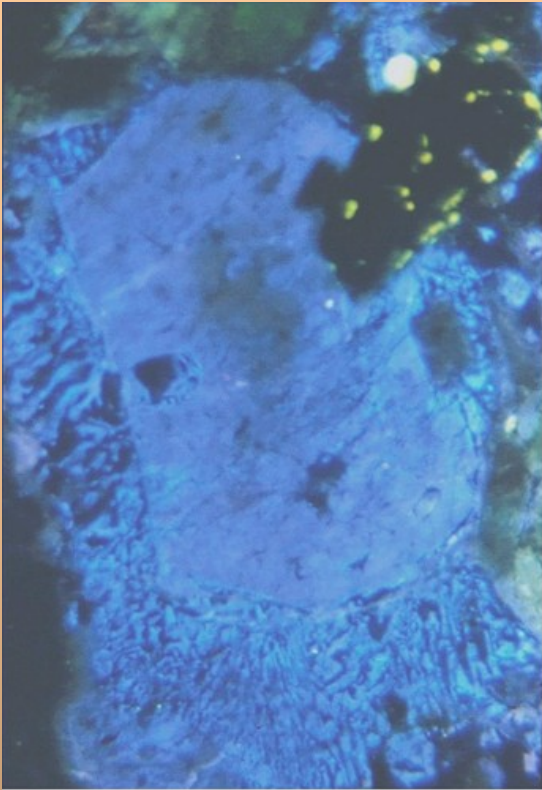
Intruze a slabé podchlazení - granátické granity BB

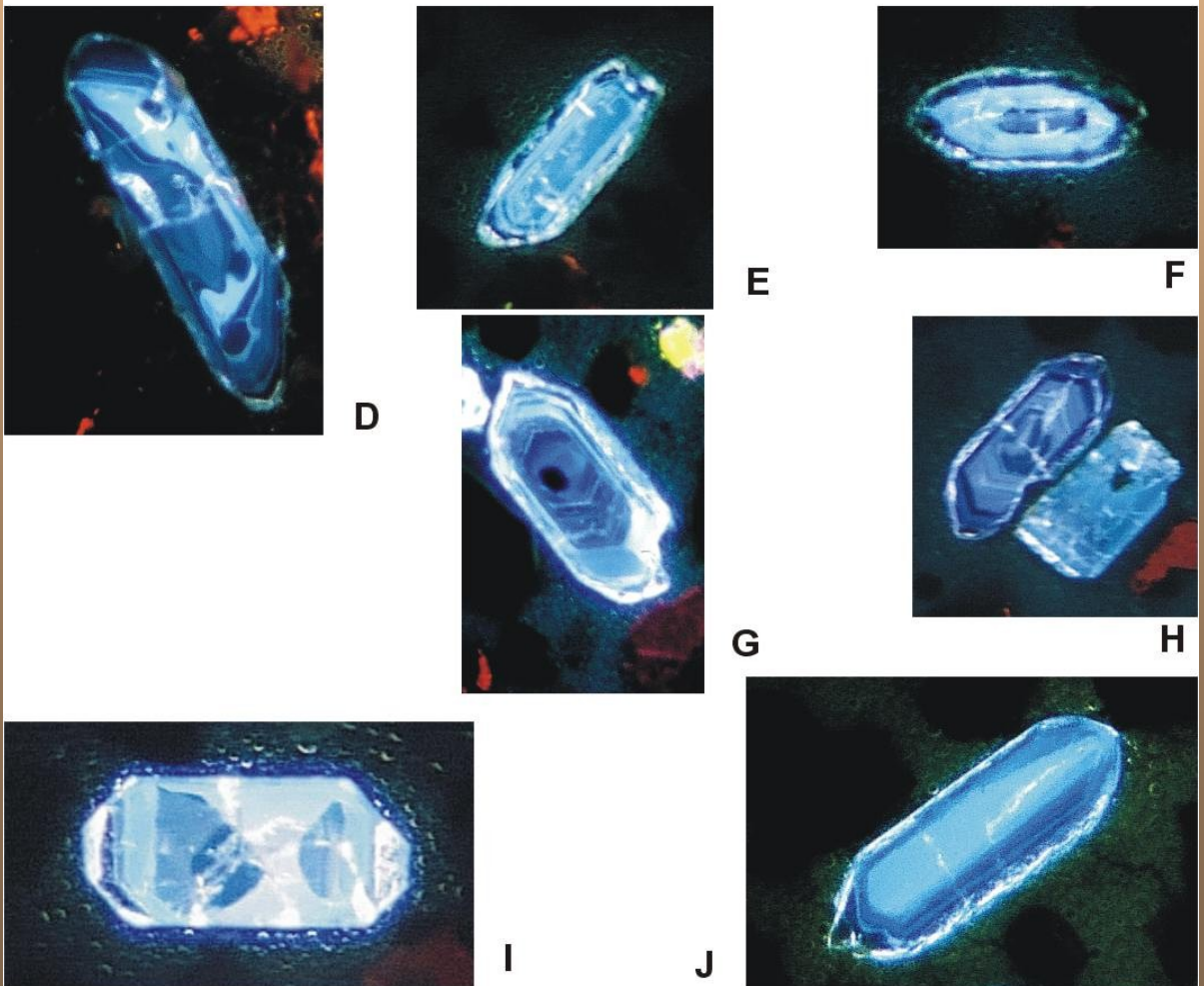
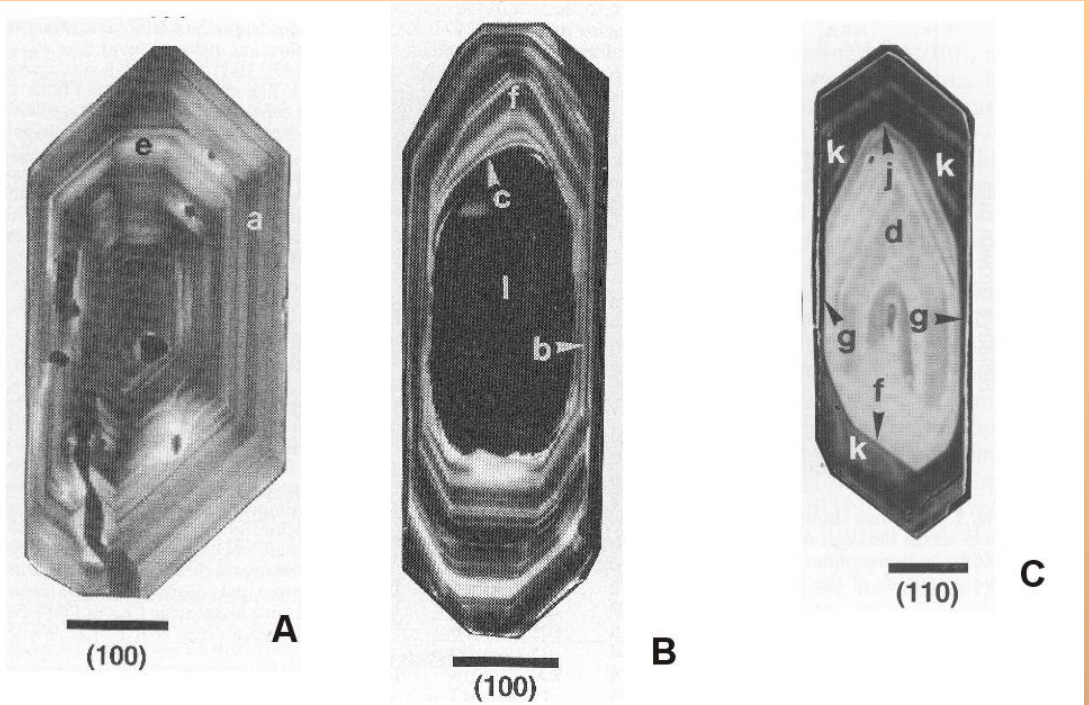


Obr. 12

Magmatické procesy

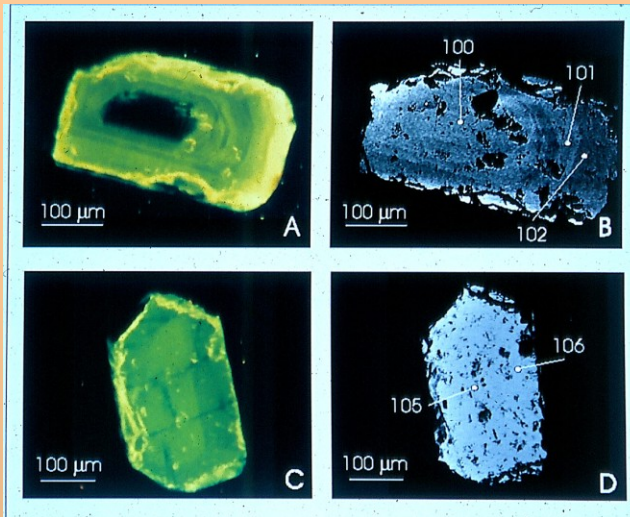
Granofyry - rychlé podchlazení



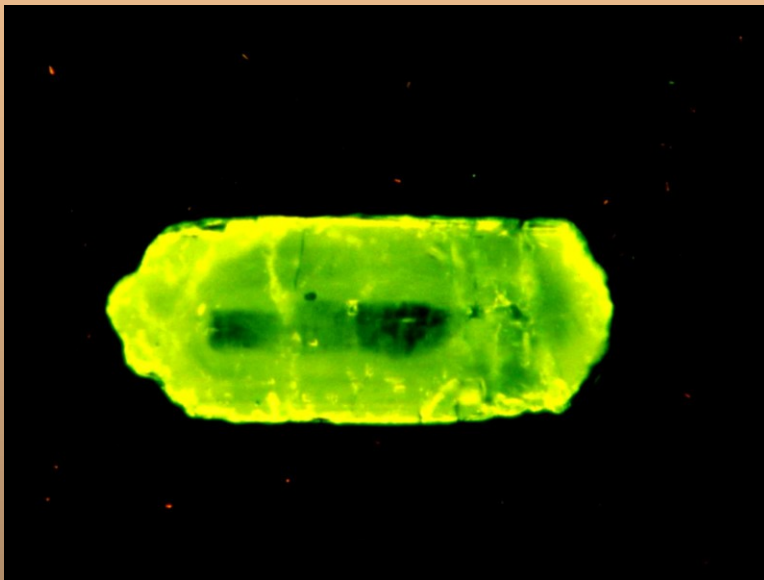


Magmatické procesy

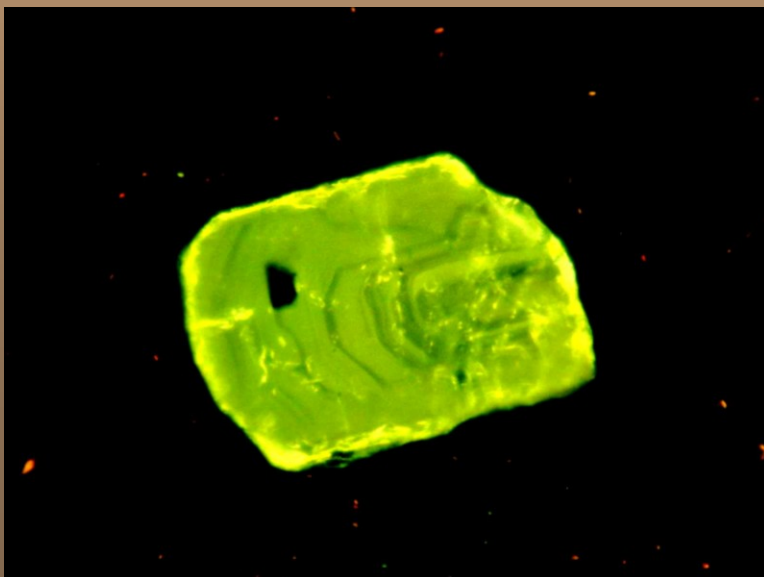
Apatit CL



Apatit BSE



S - typ



I - typ

Hydrotermální procesy

Alterace živců

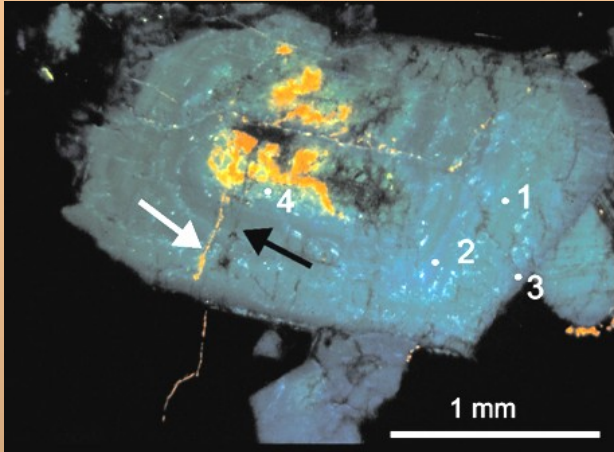


Fig. 1

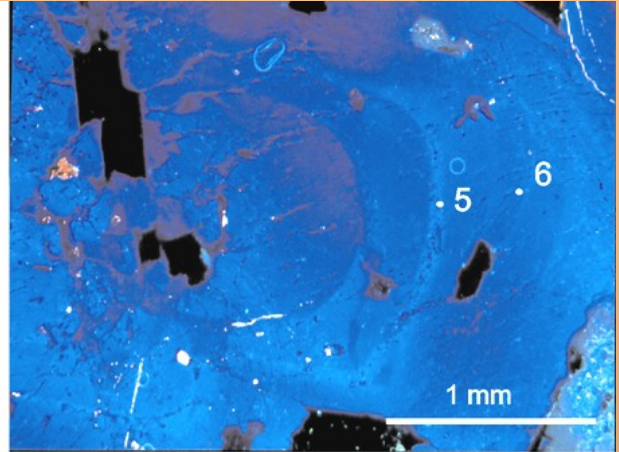


Fig. 2

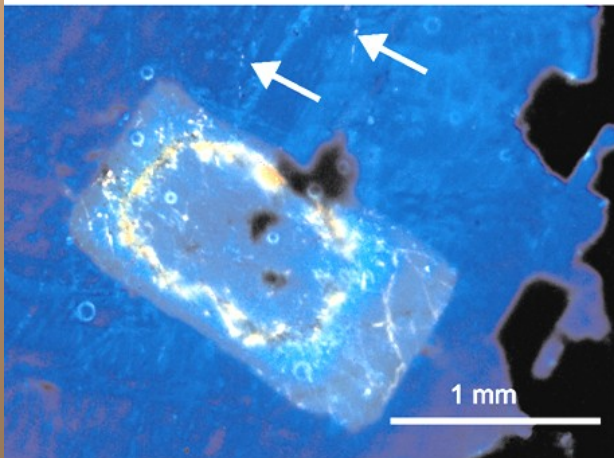


Fig. 3

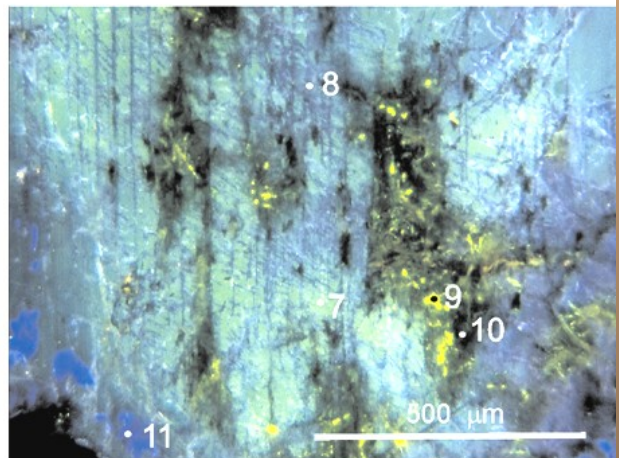
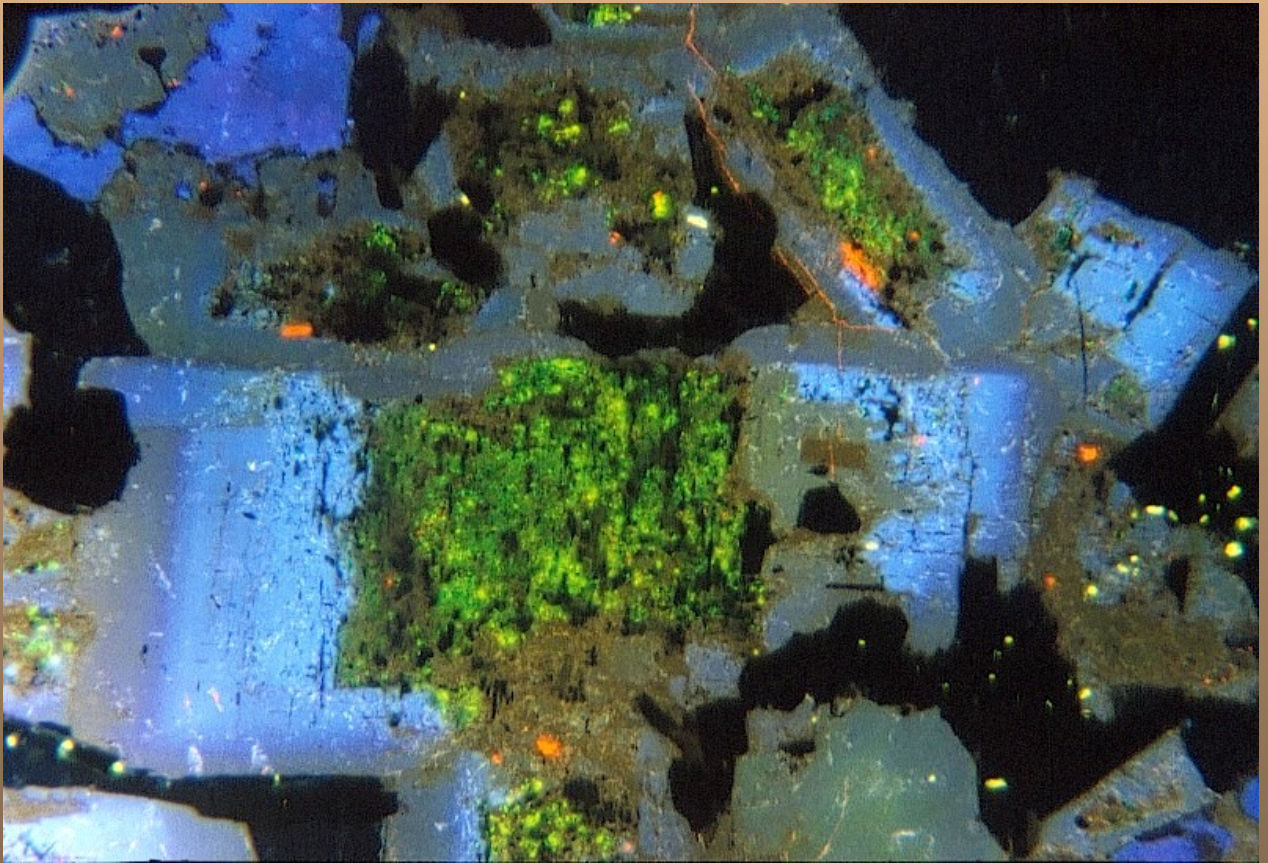
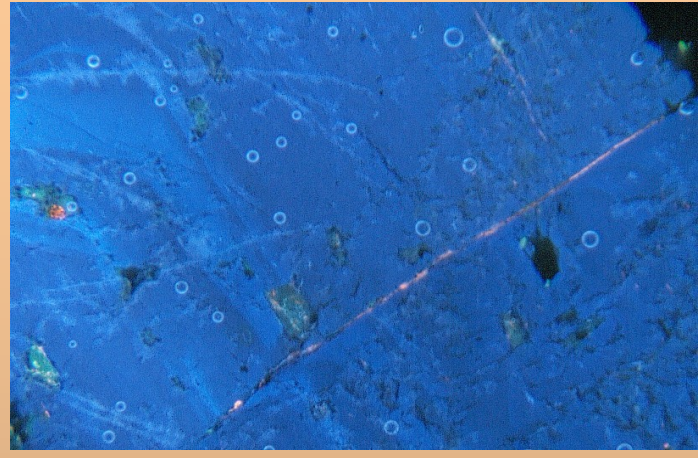
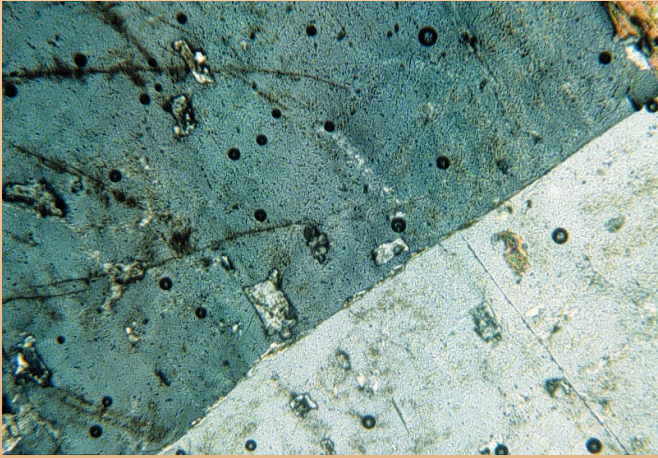
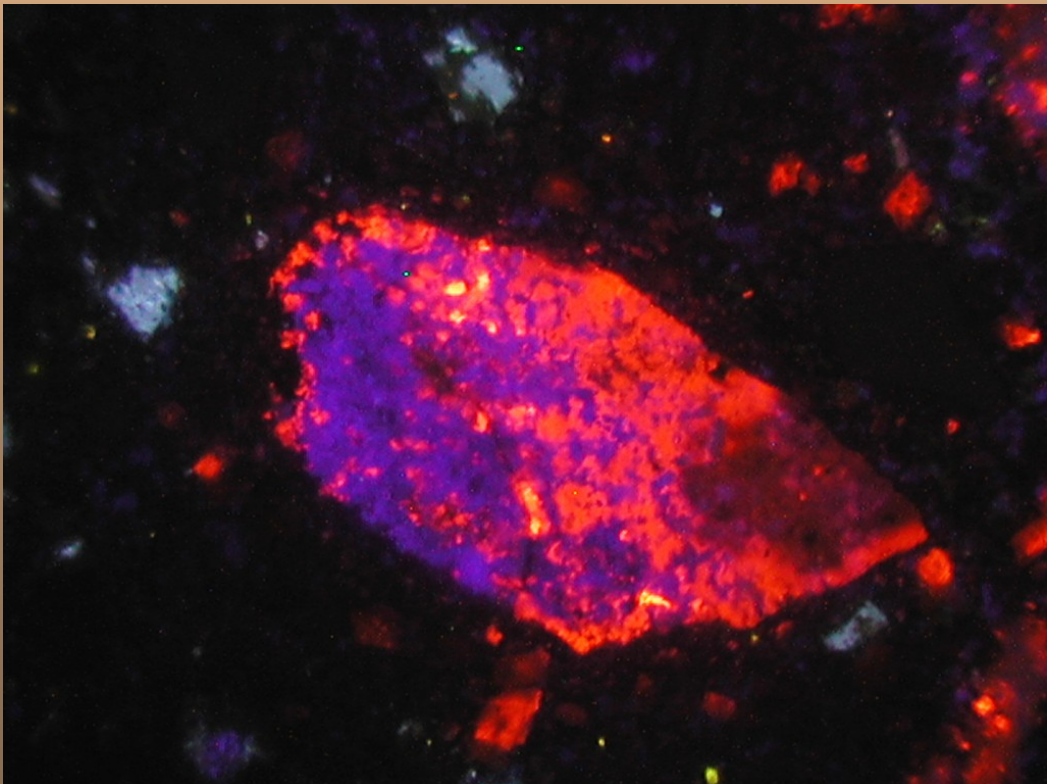
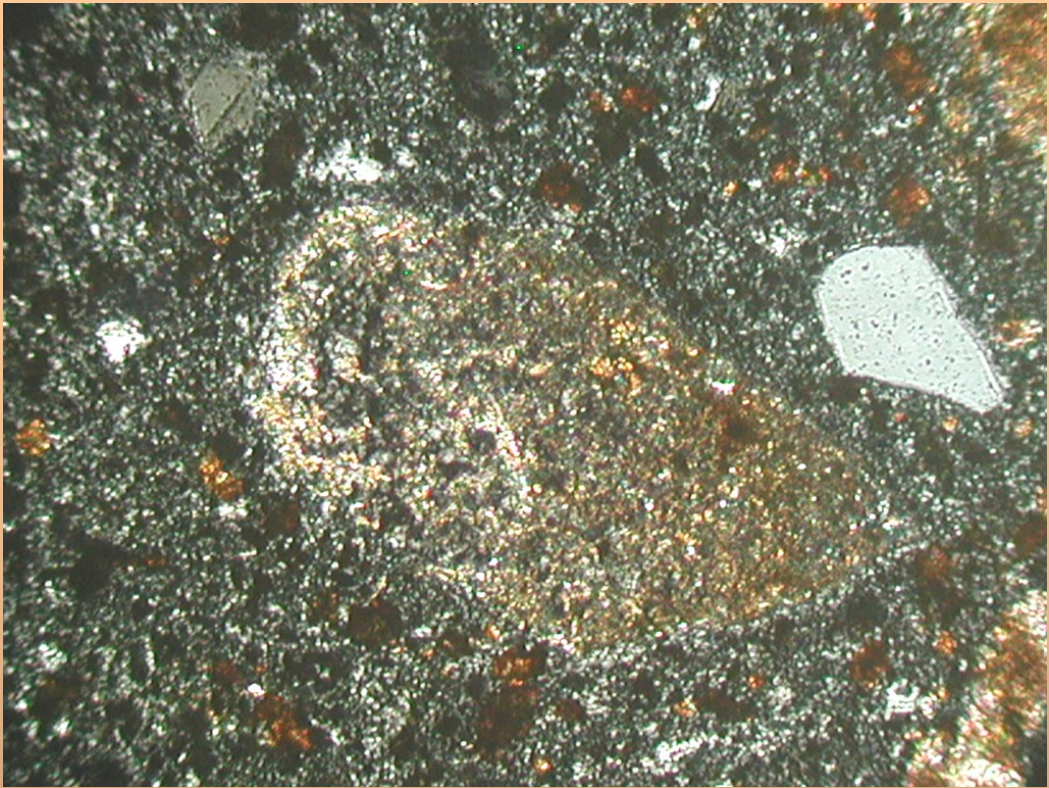


Fig. 4

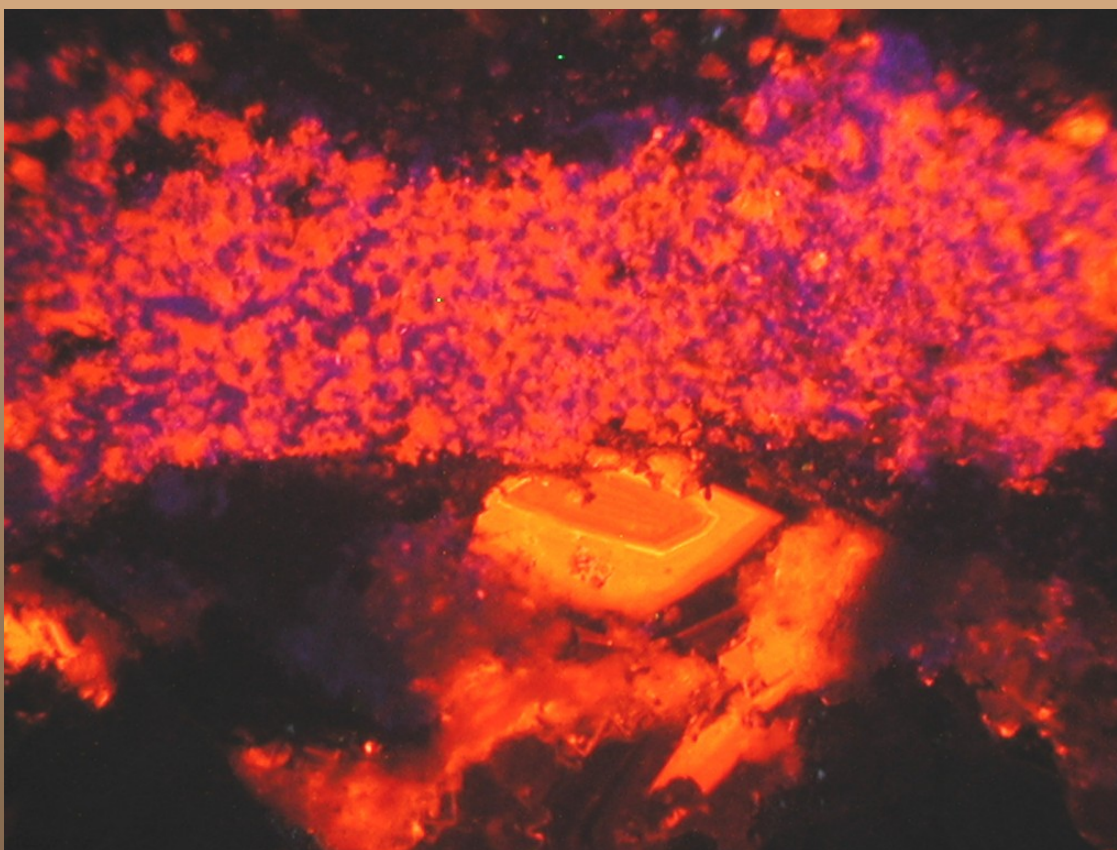
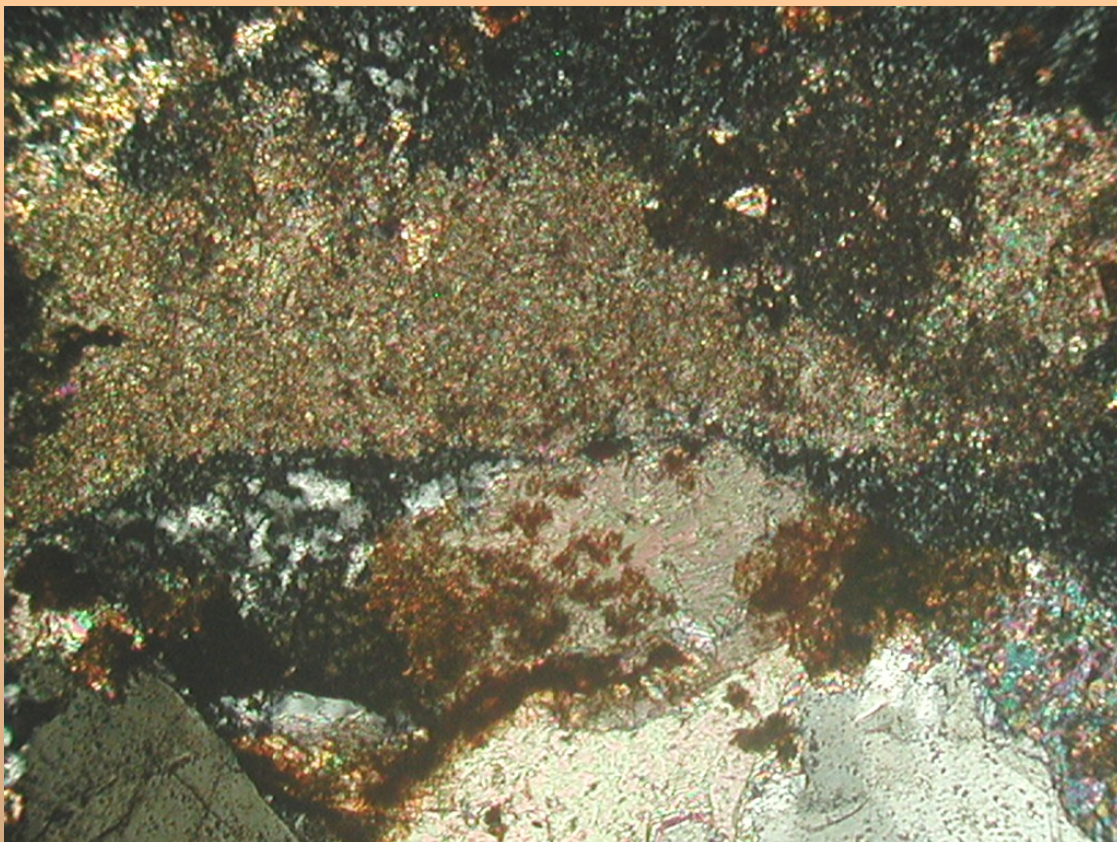
Hydrotermální procesy

Alterace živců, migrační cesty fluid, produkty alterace (prehnit)





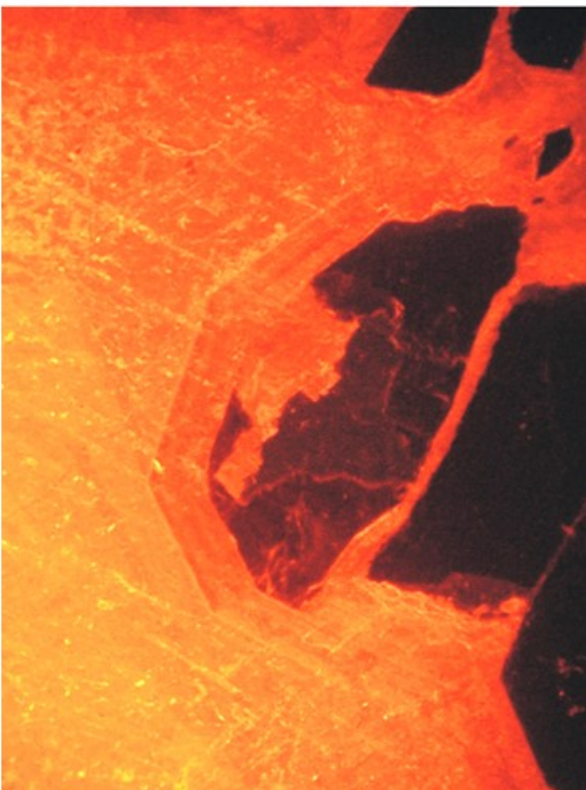
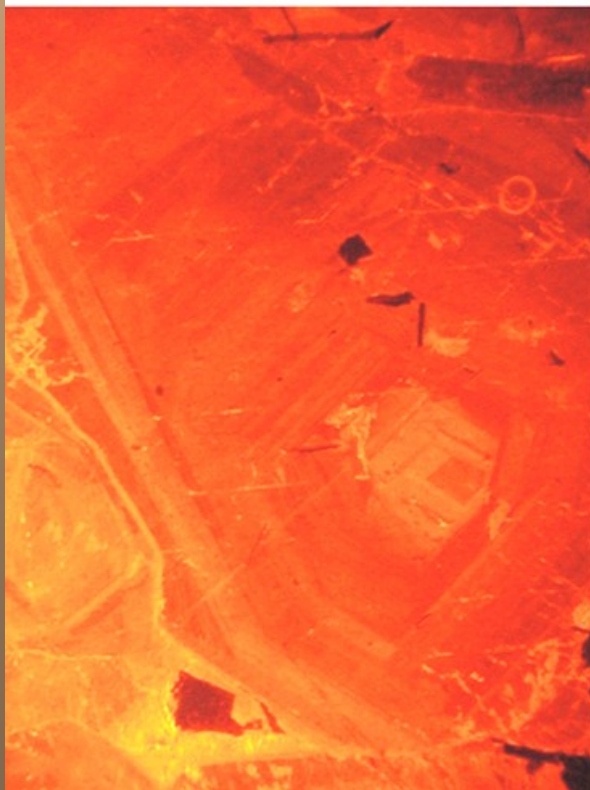
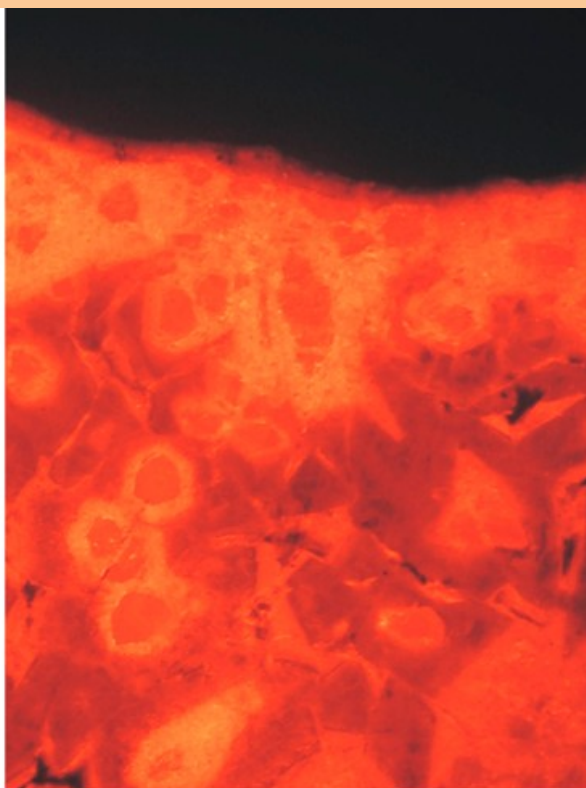
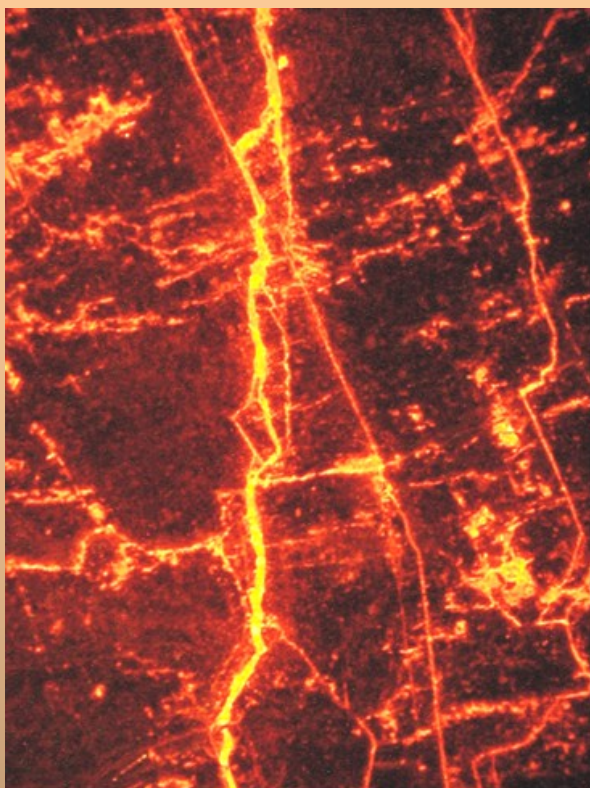
Alterovaný ryolit, kaolinizace, dolomitizace



Alterovaný ryolit, pokročilá dolomitizace

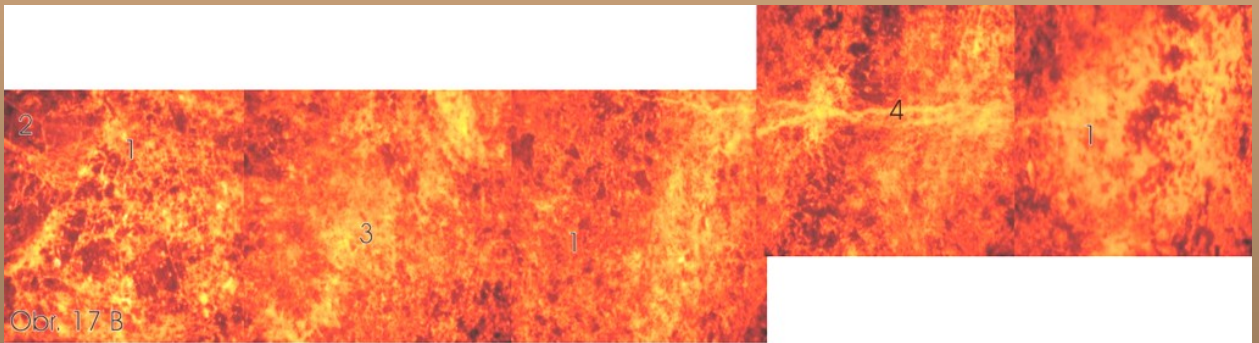
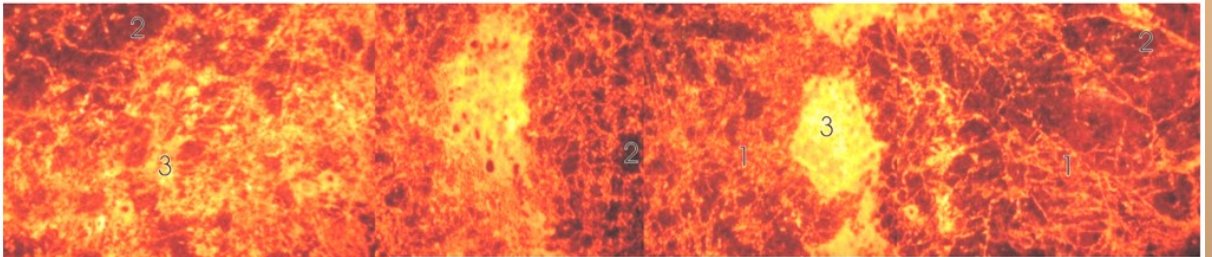
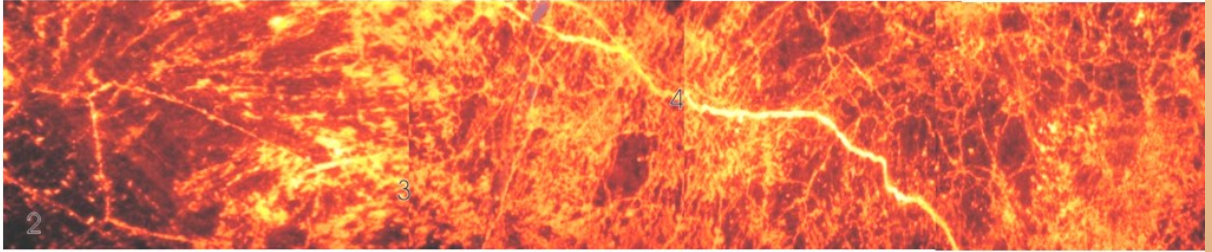
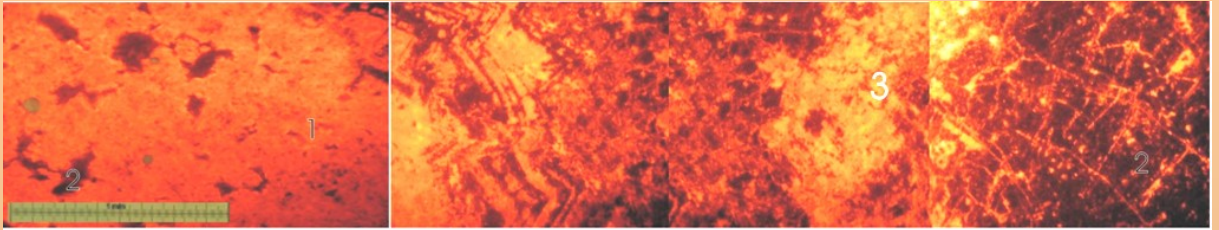
Hydrotermální procesy

Žilné karbonáty na ložisku Rožná



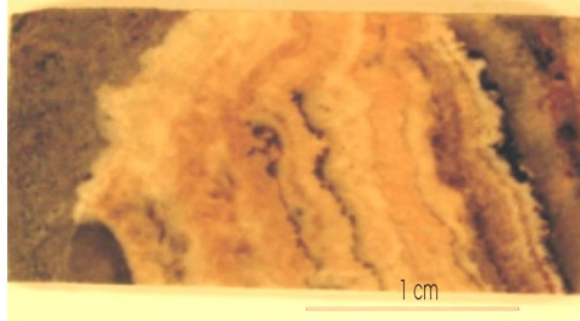
Hydrotermální procesy

Žilné karbonáty na ložisku Rožná

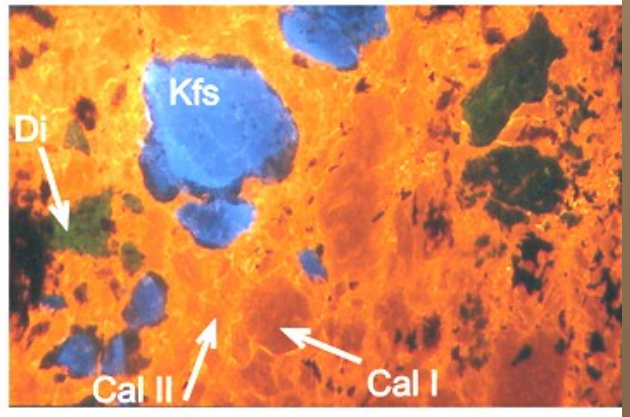
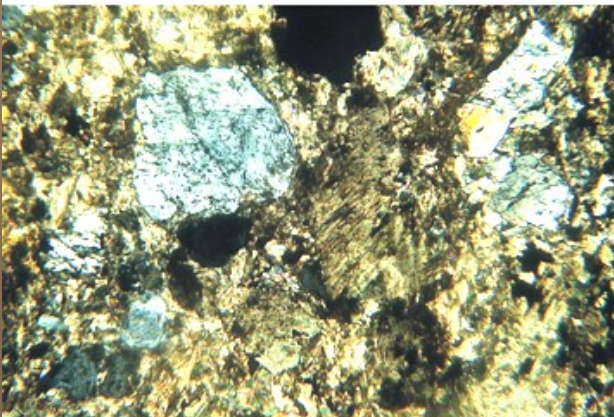
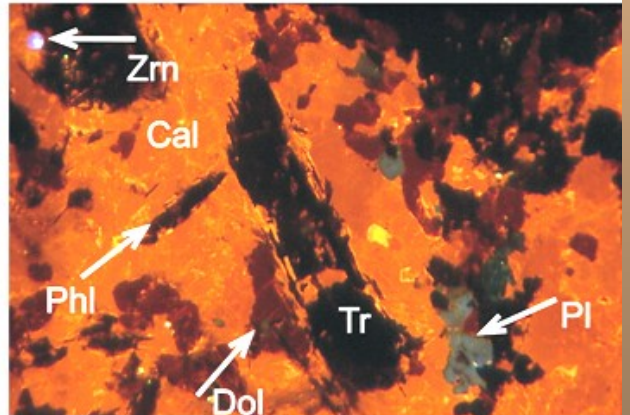
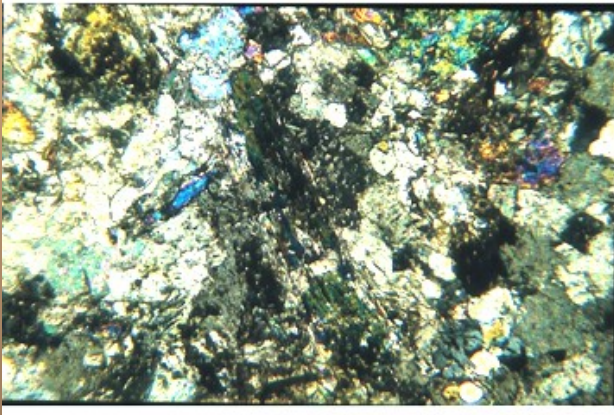
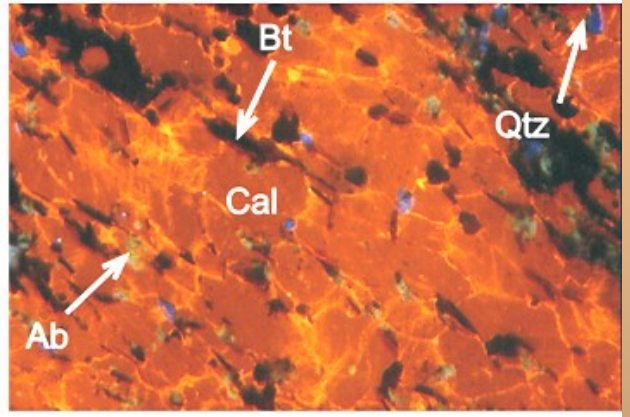
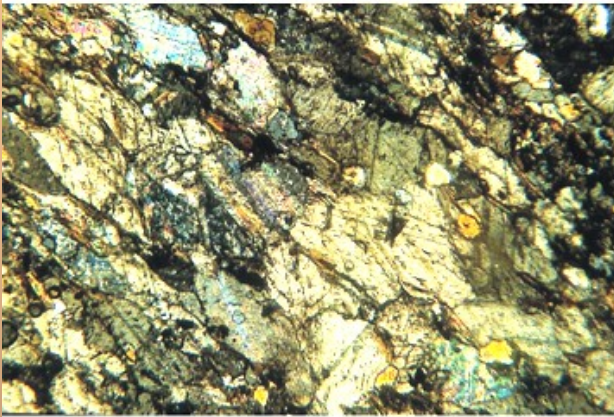
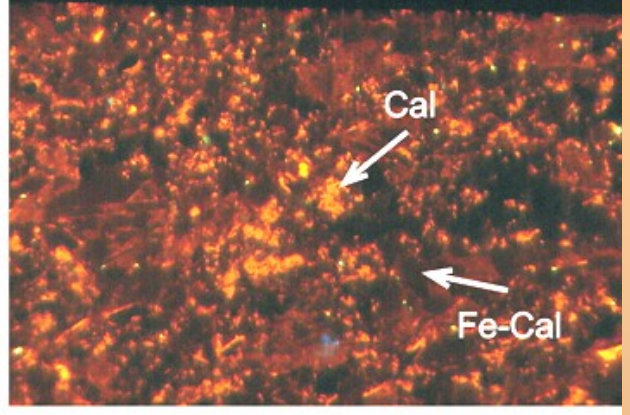
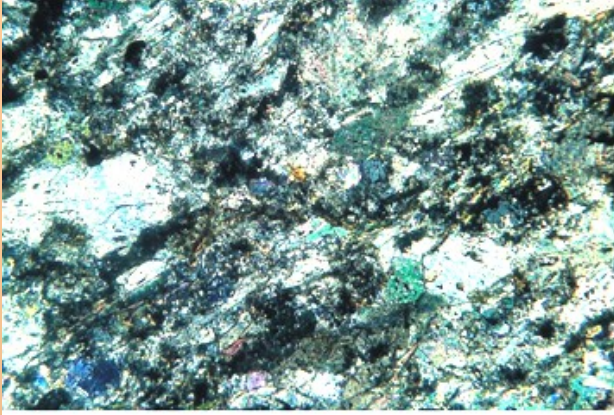


Obr. 17 B

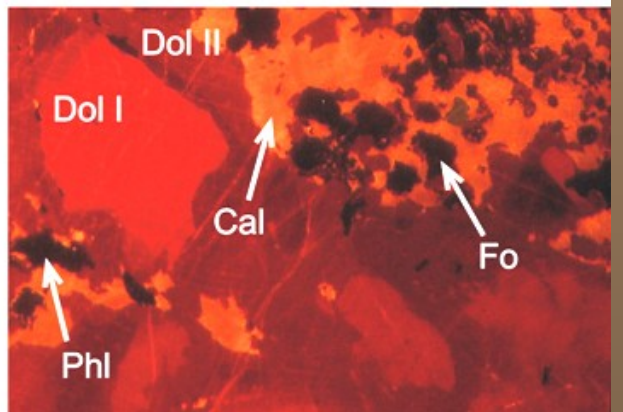
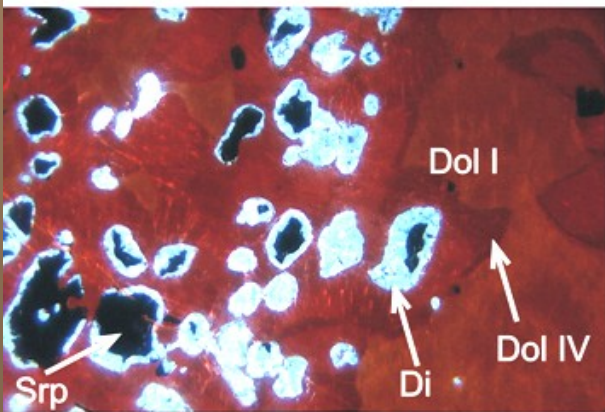
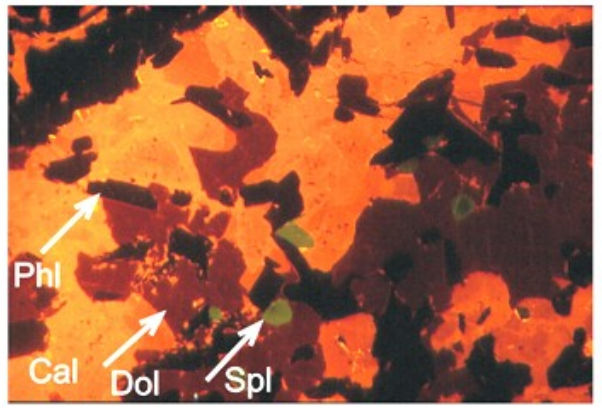
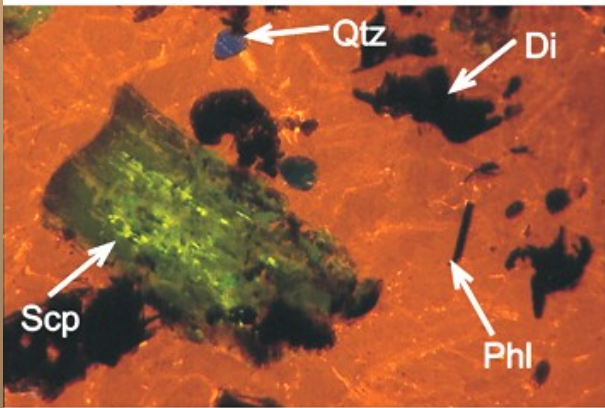
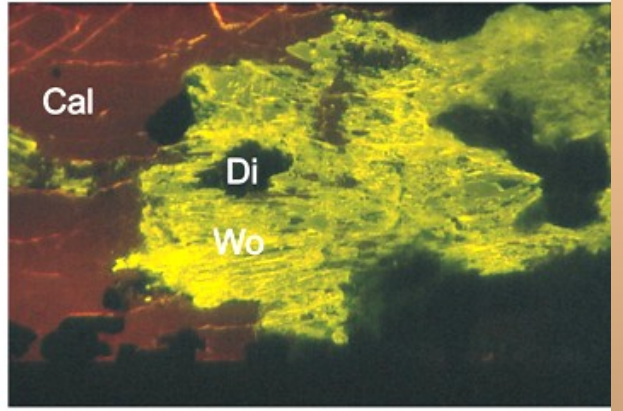
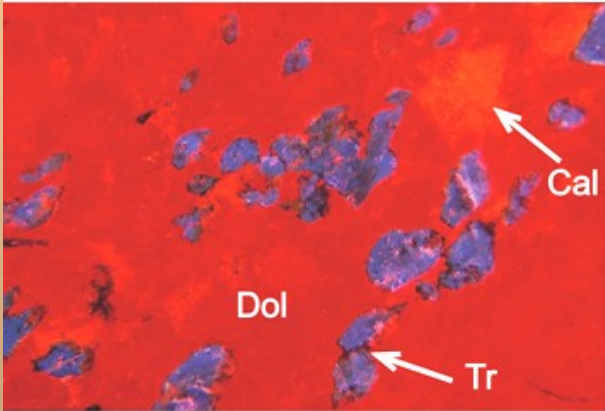
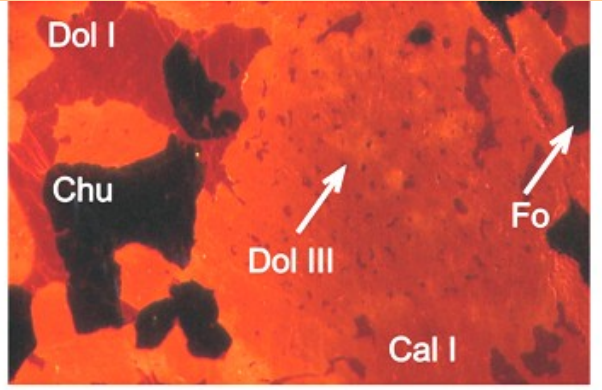
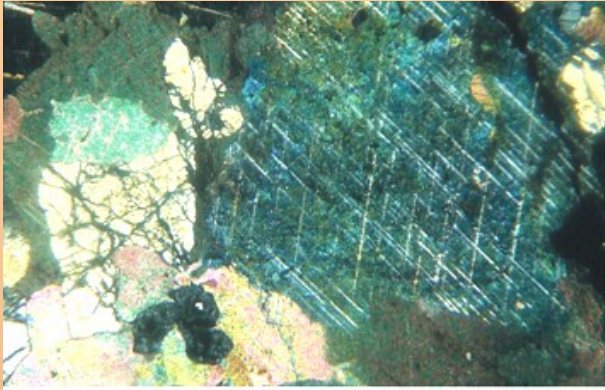
Obr. 18



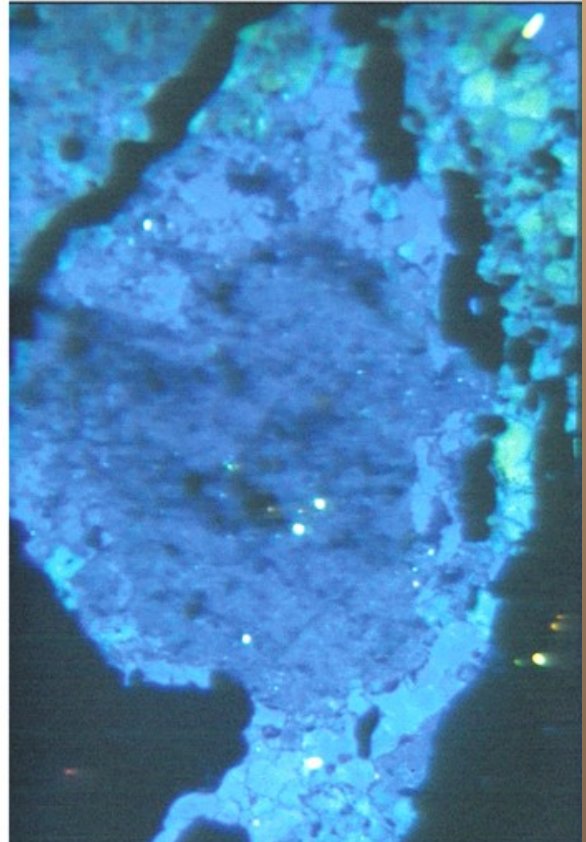
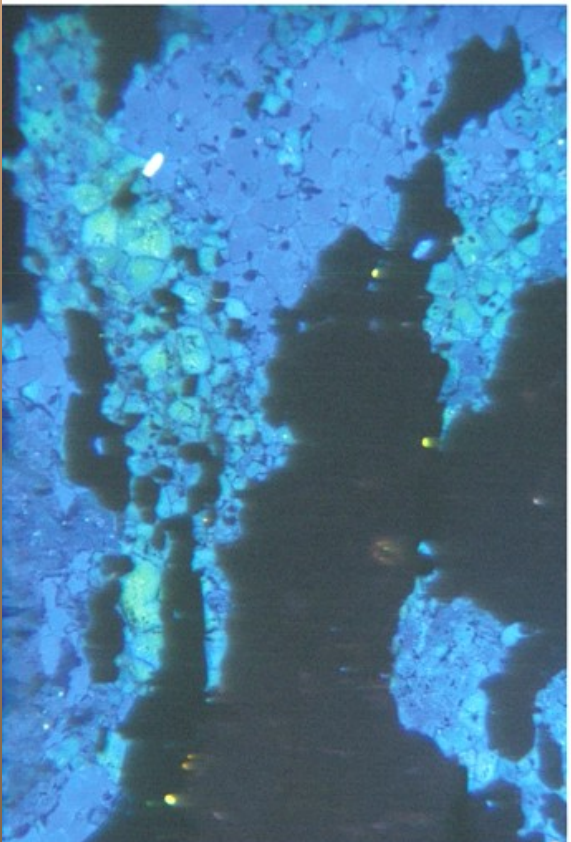
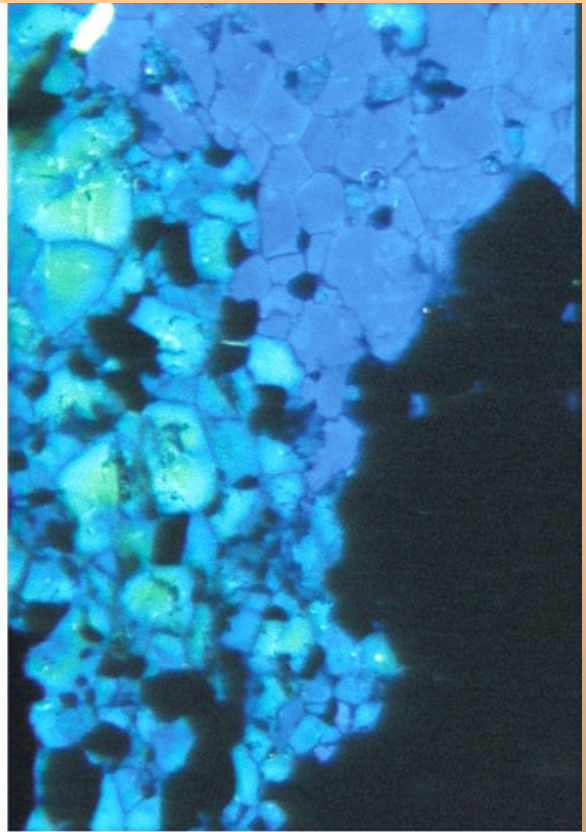
Mramory



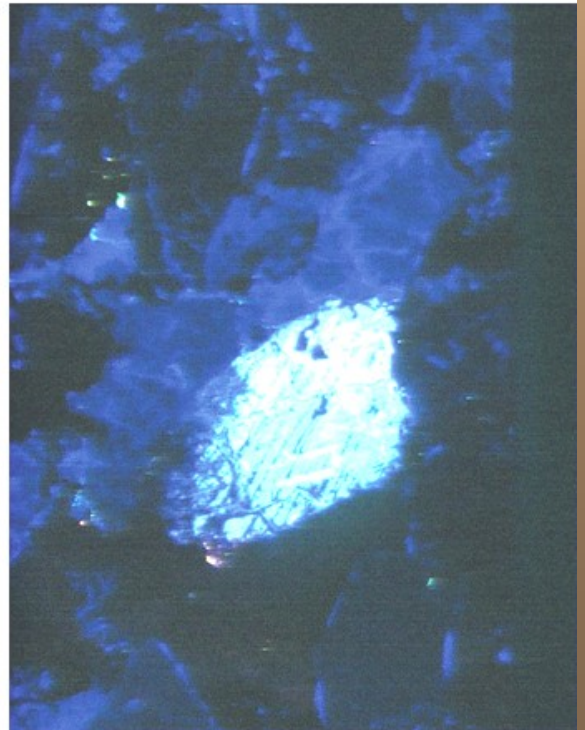
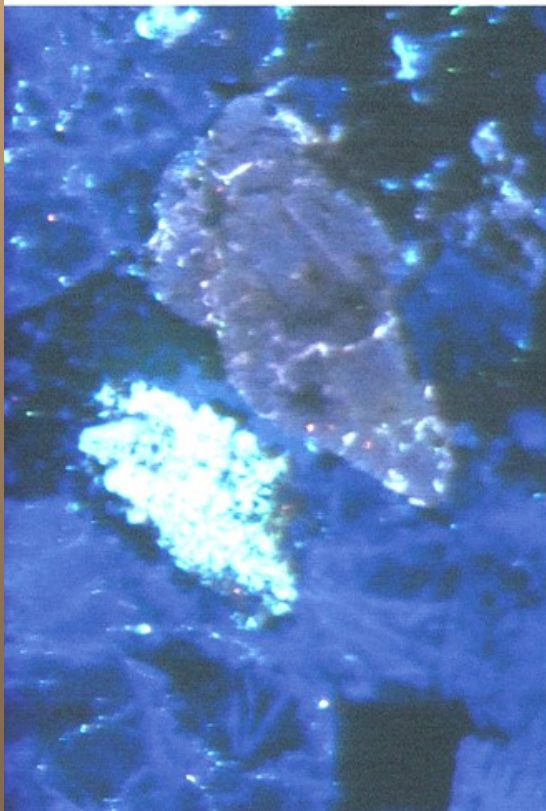
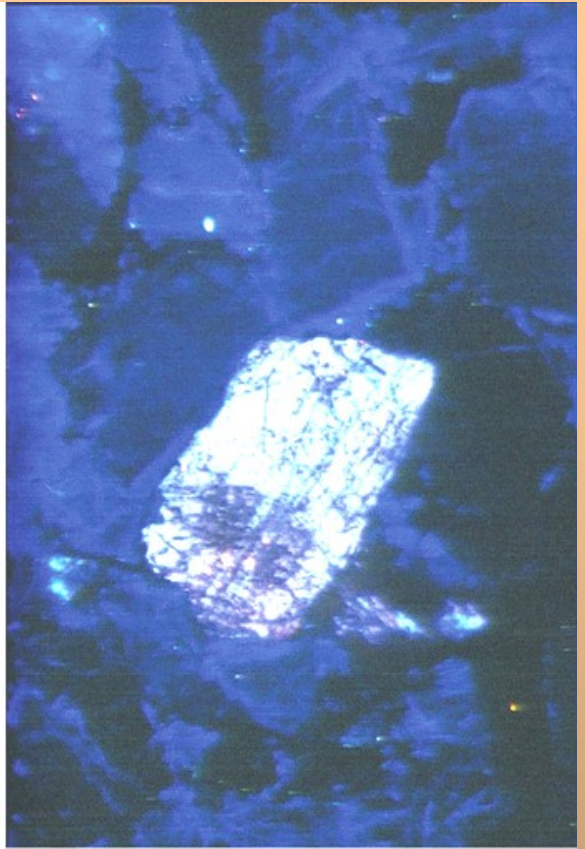
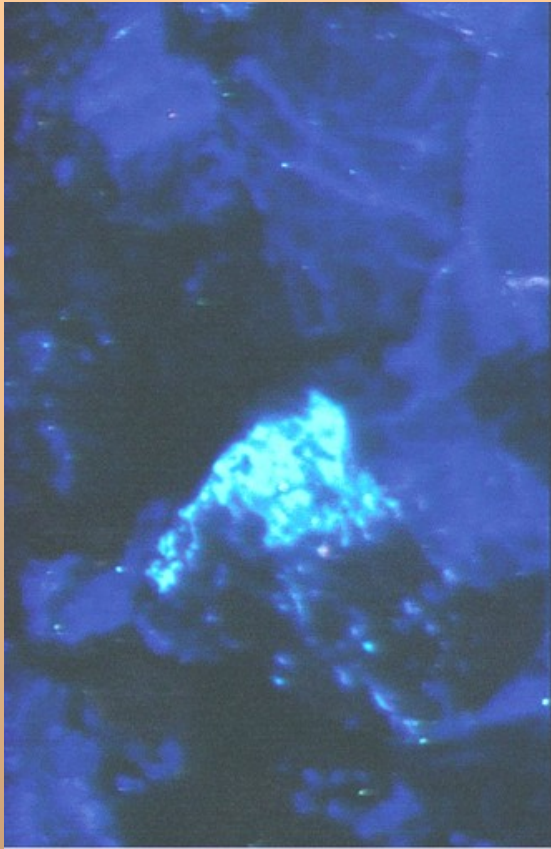
Mramory



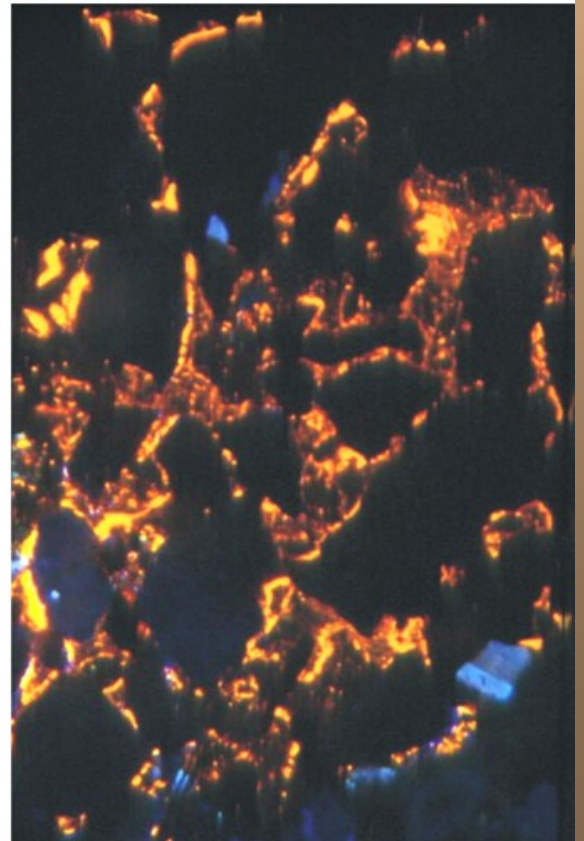
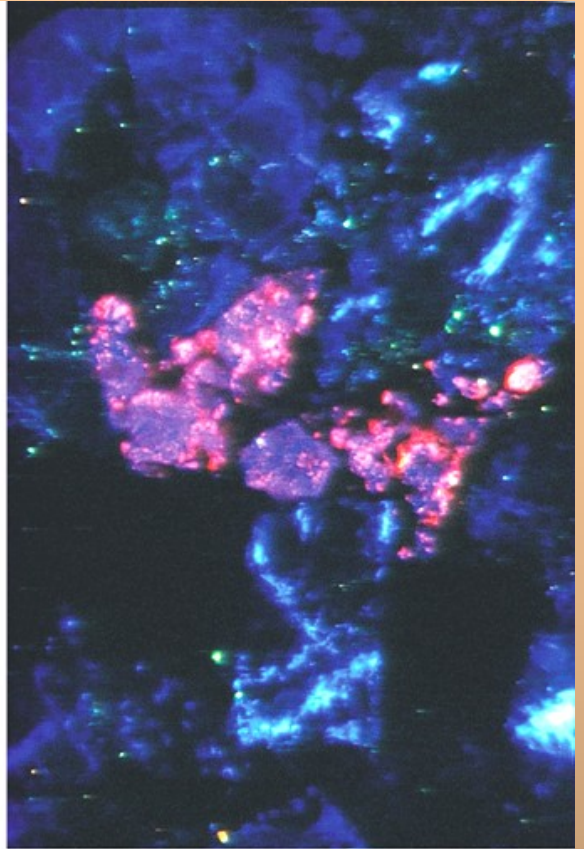
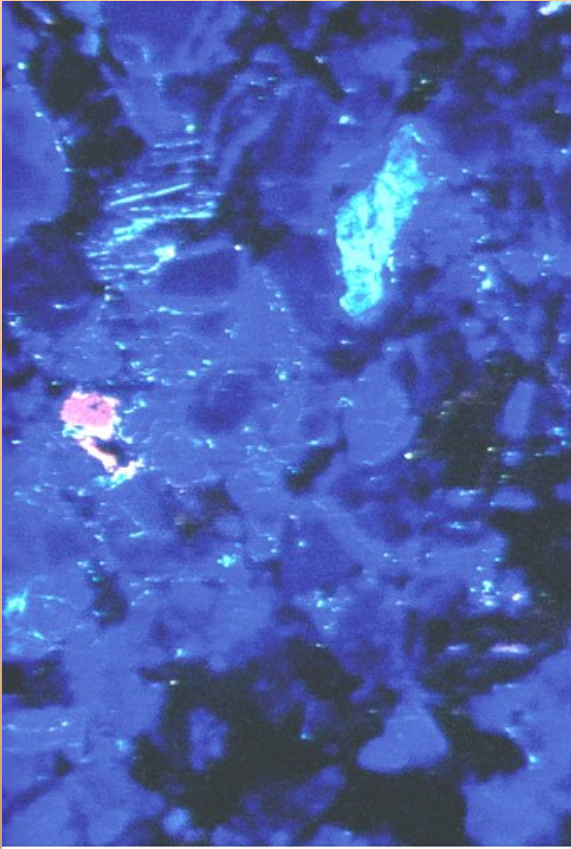
Metamorfity



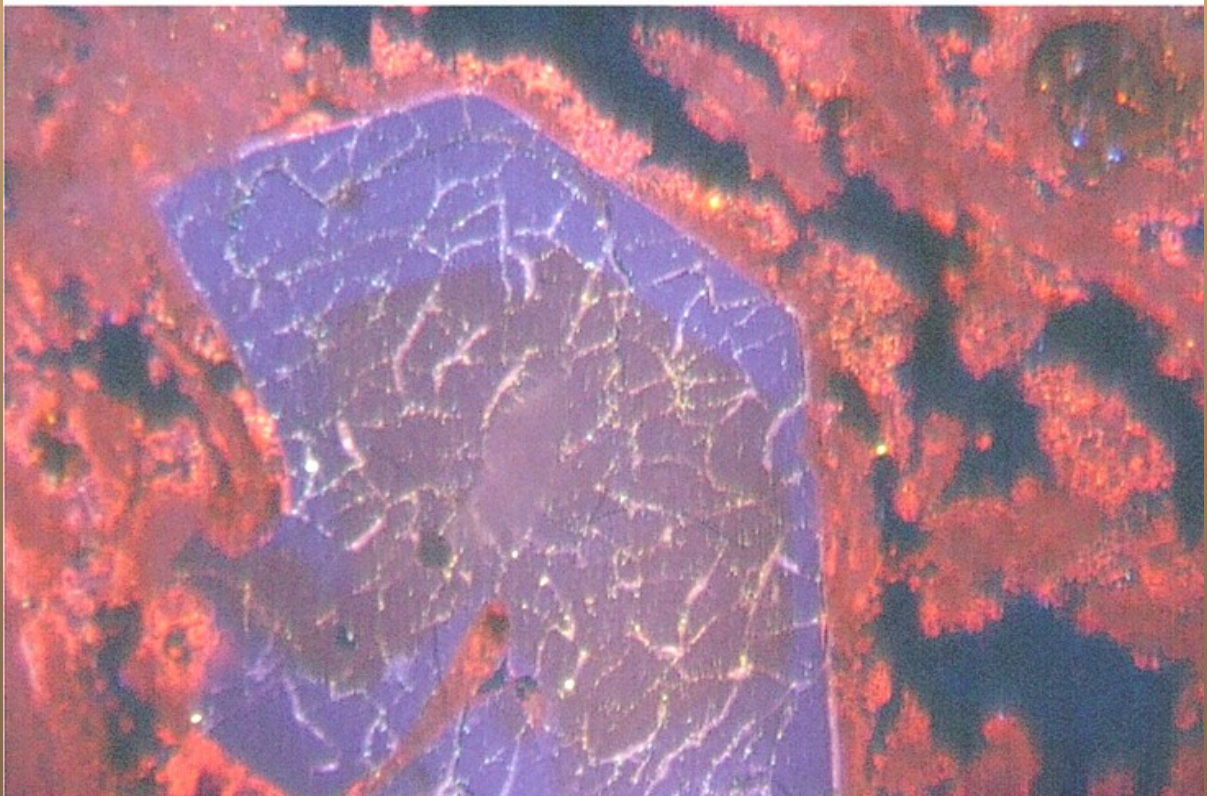
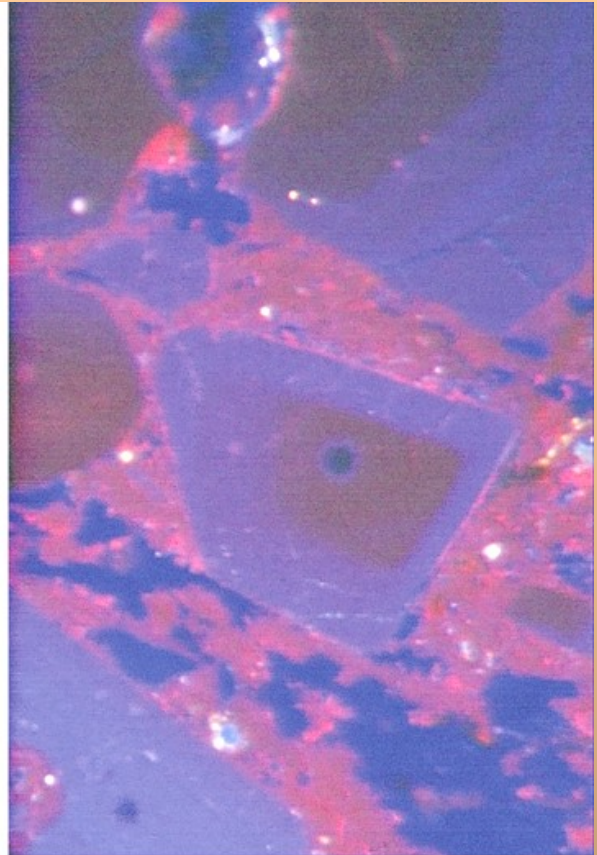
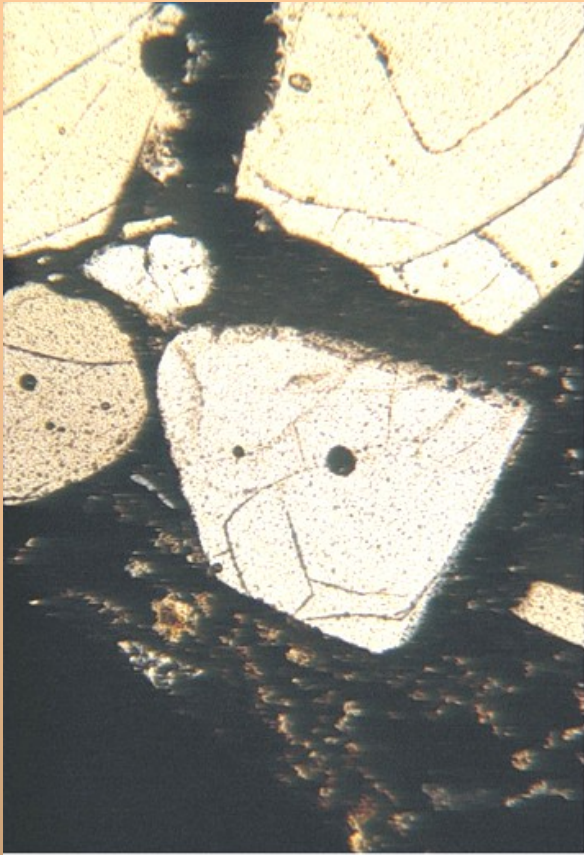
Provenience



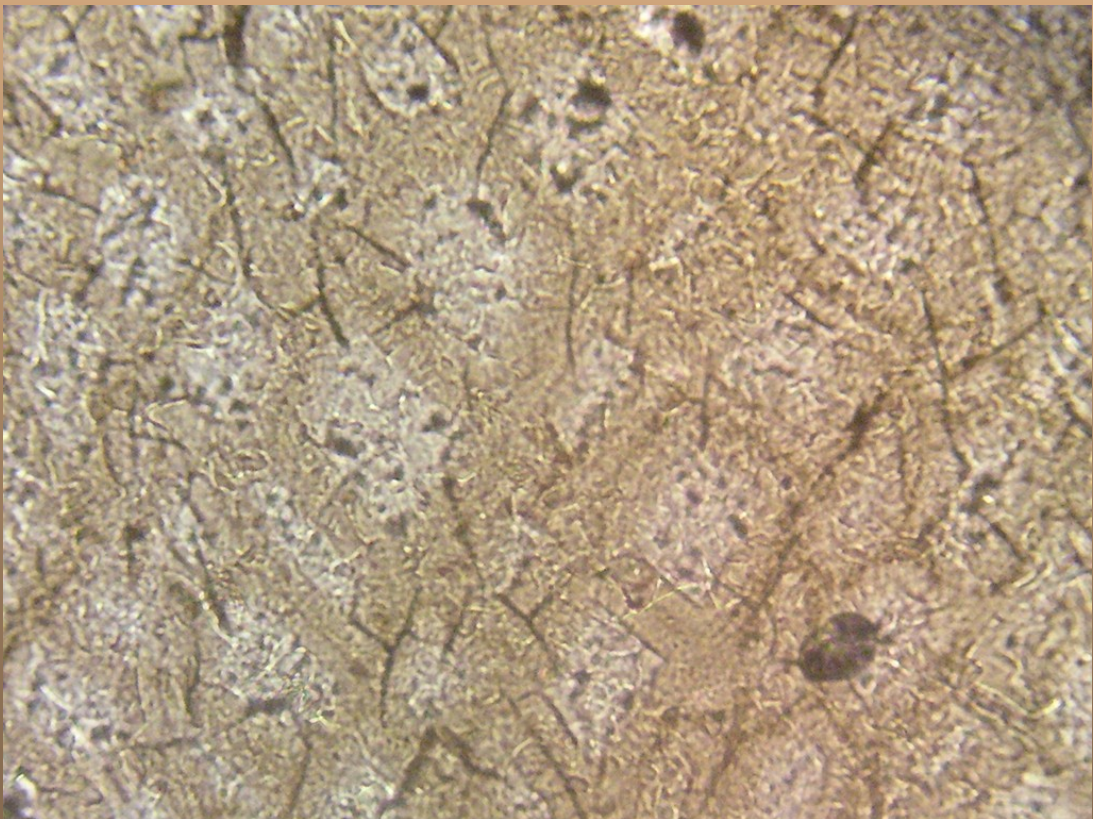
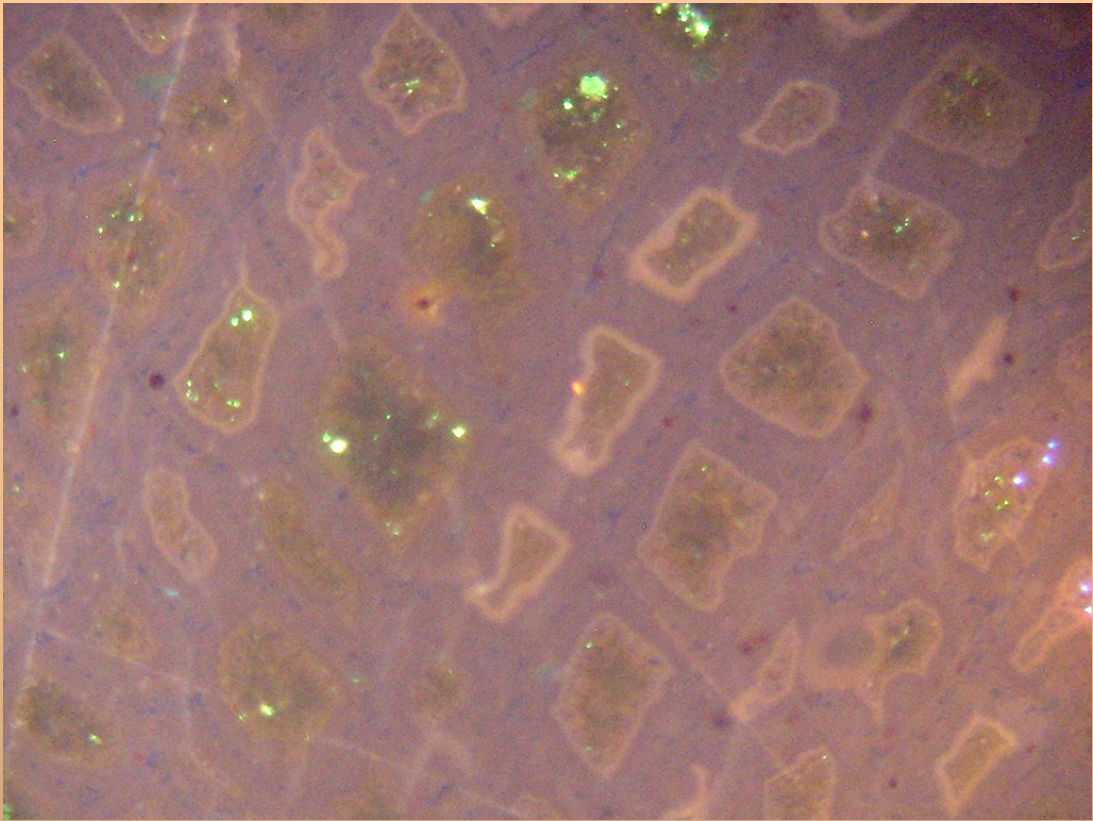
Provenience



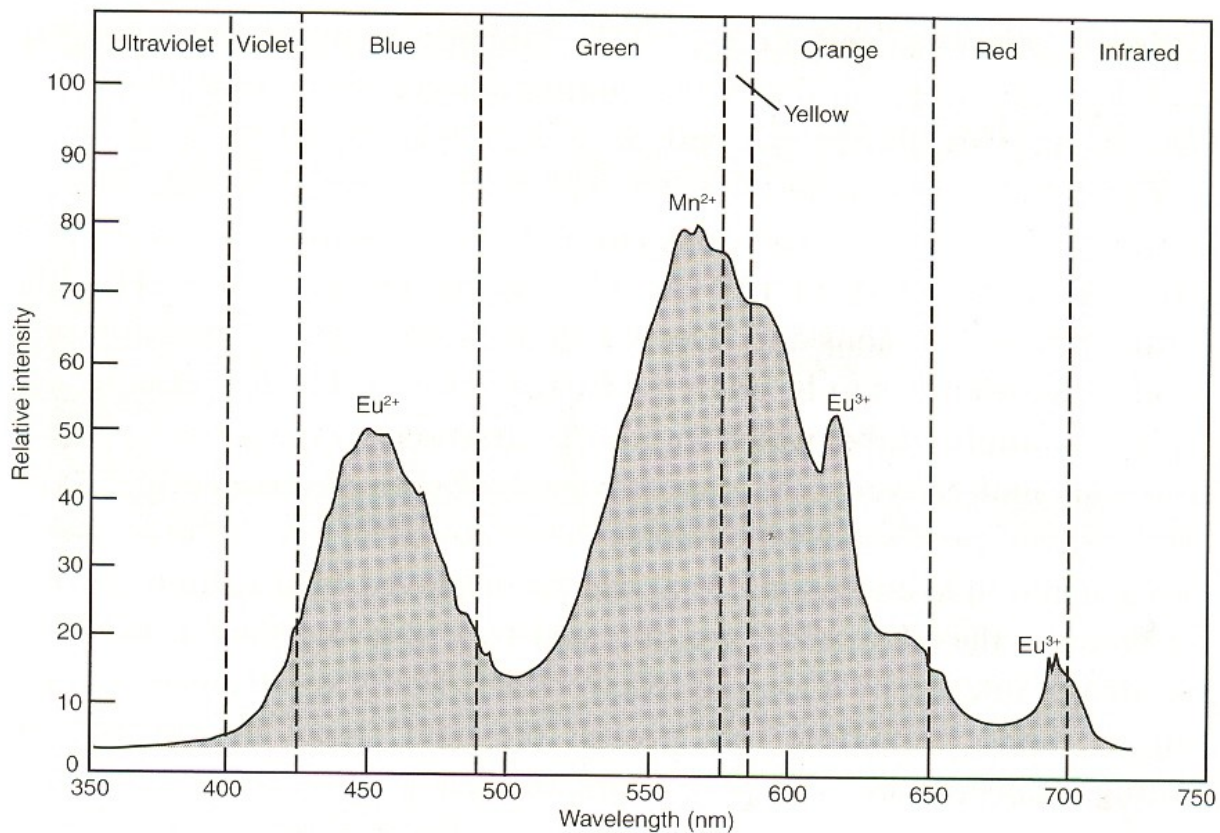
Archeologické aplikace



Teplický křemenný porfyr-keltské mlýnské kameny



Fosilní dřeva, viditelné primární struktury, CL a XPL



Spektrální analýza, zrno apatitu

Spektrální analýza CL spektra

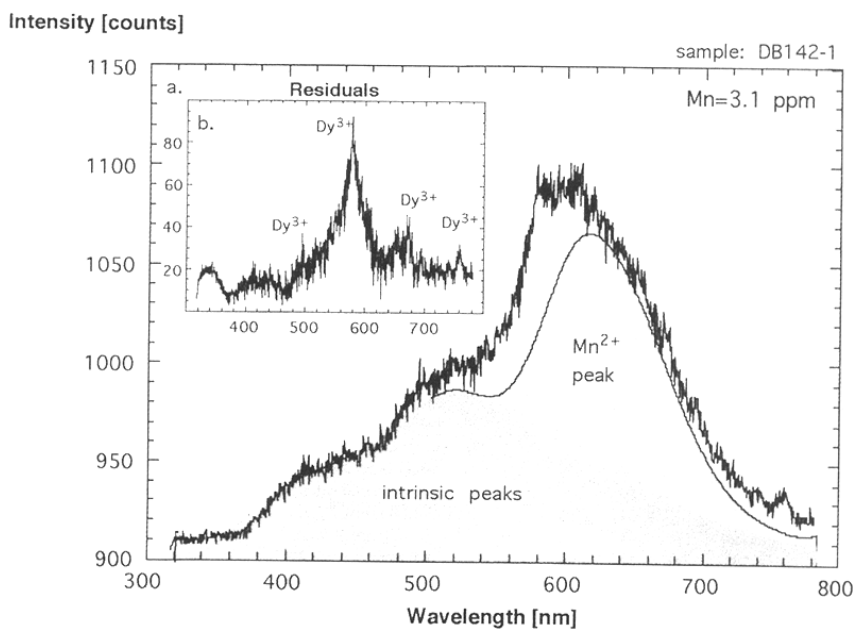
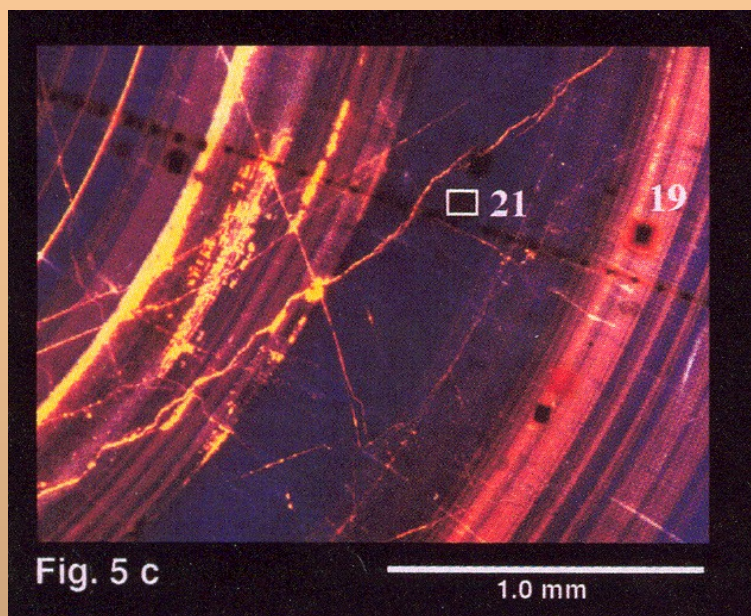


Fig. 3. (a) The Mn concentration of ~ 3 ppm and ~ 10 ppm Dy show intensive peaks. To analyze the CL intensity of Mn and Dy separately, the overlapping of Mn^{2+} -, Dy^{3+} - and intrinsic peaks demanded an exact filtering of the CL spectrum (gray shaded: model spectrum of the Mn^{2+} -peak and the intrinsic peaks). (b) Residuals: the Dy^{3+} -peaks (~ 480 nm, 575 nm and 761 nm) are of low intensity and therefore not effecting a distinct increase in the CL intensity. (Trace element analysis: QHRS-CL; analysis conditions: exposure time 60 s, spot size $30 \mu\text{m}$ diam.)

Vznik luminiscence

Kvantitativní vysoce rozlišující spektrální analýza CL spektra Limit detekce 700 ppb Mn

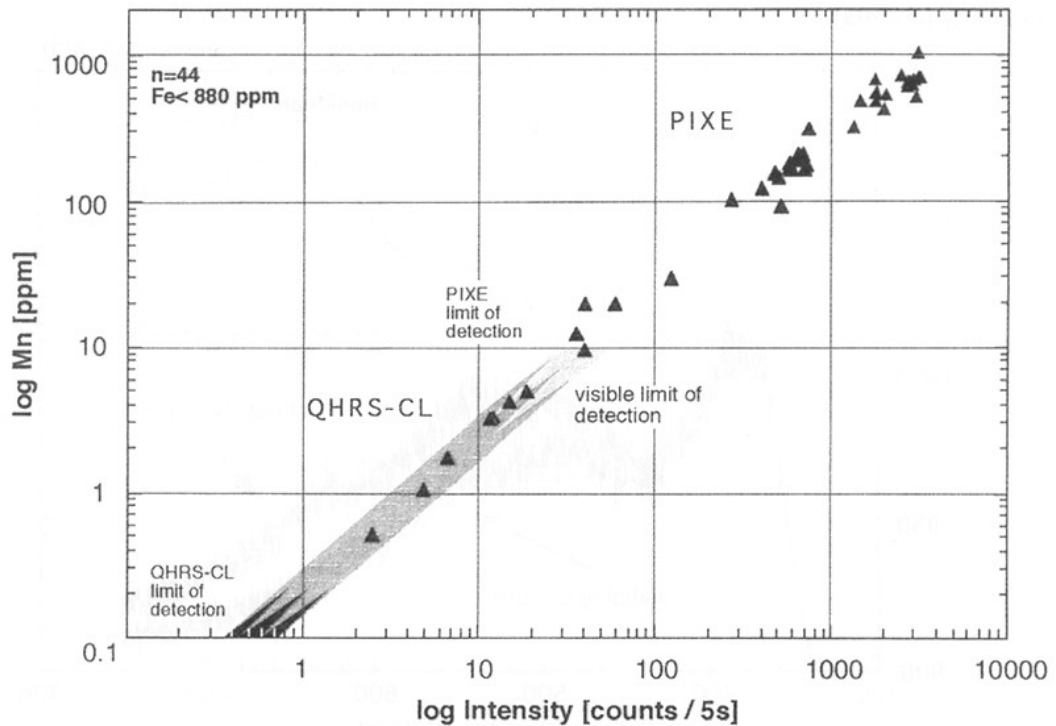
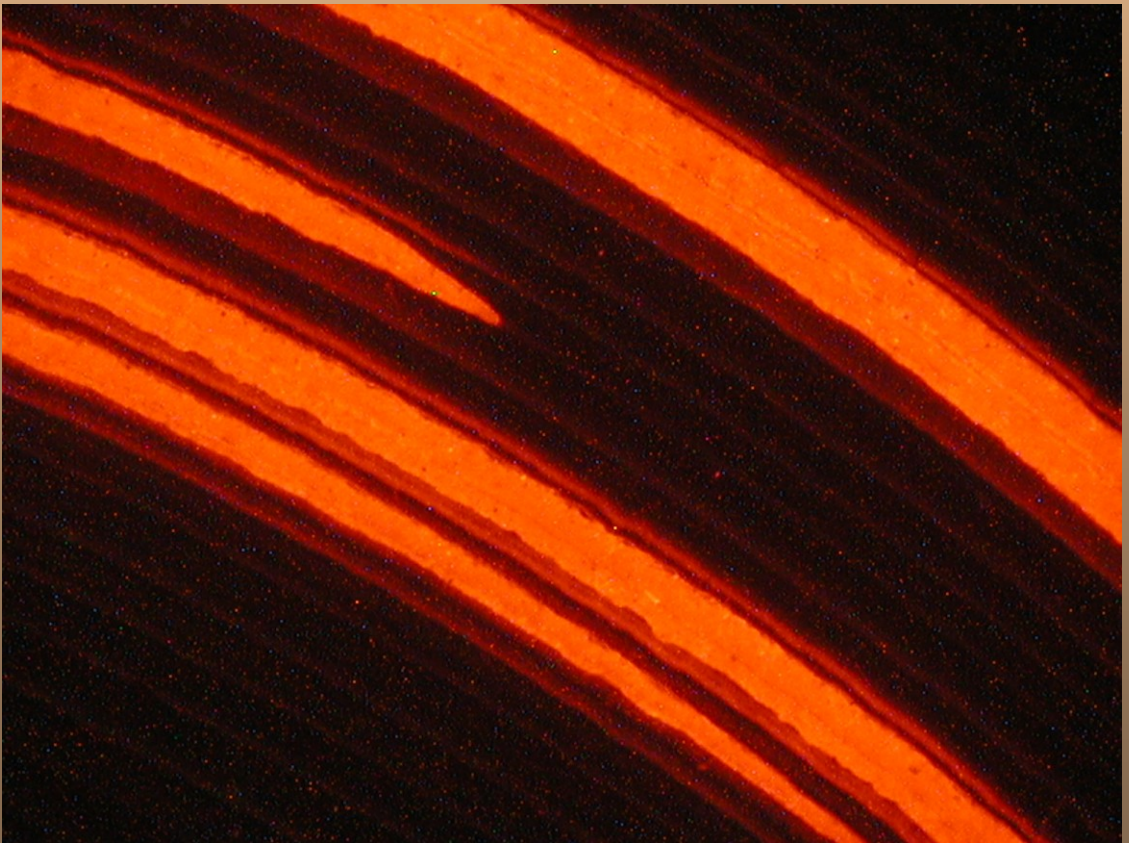
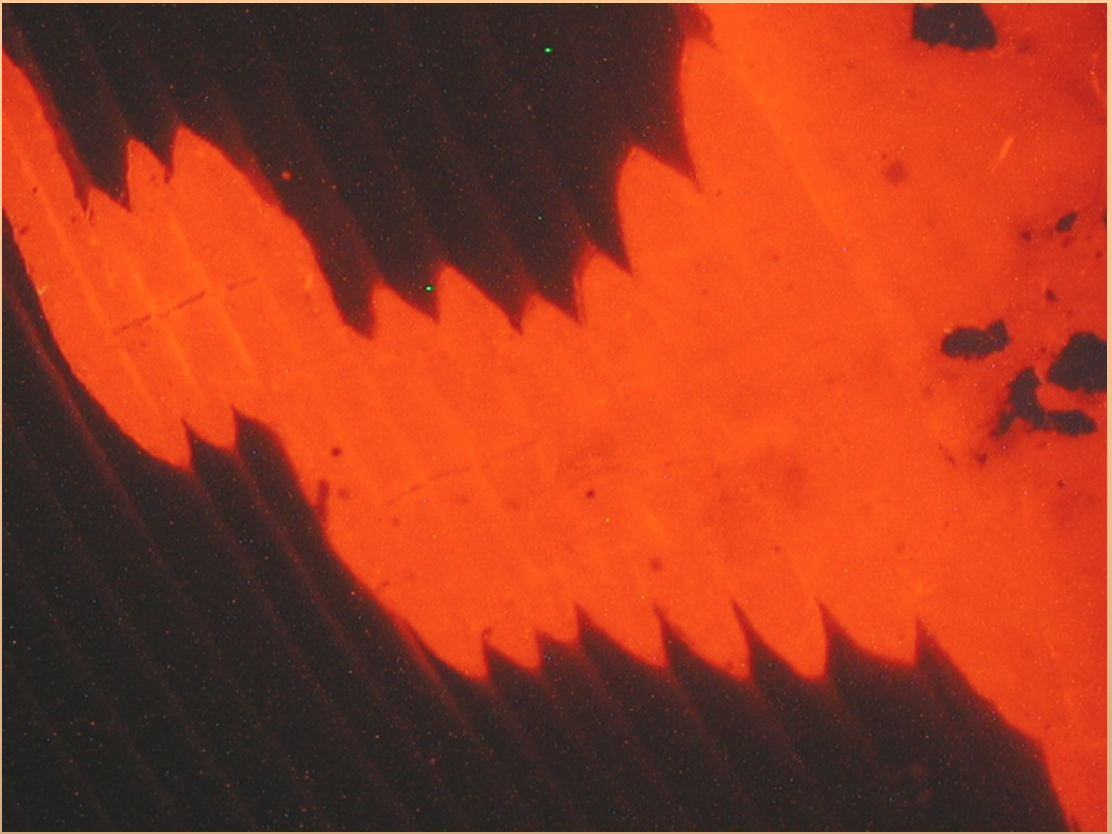
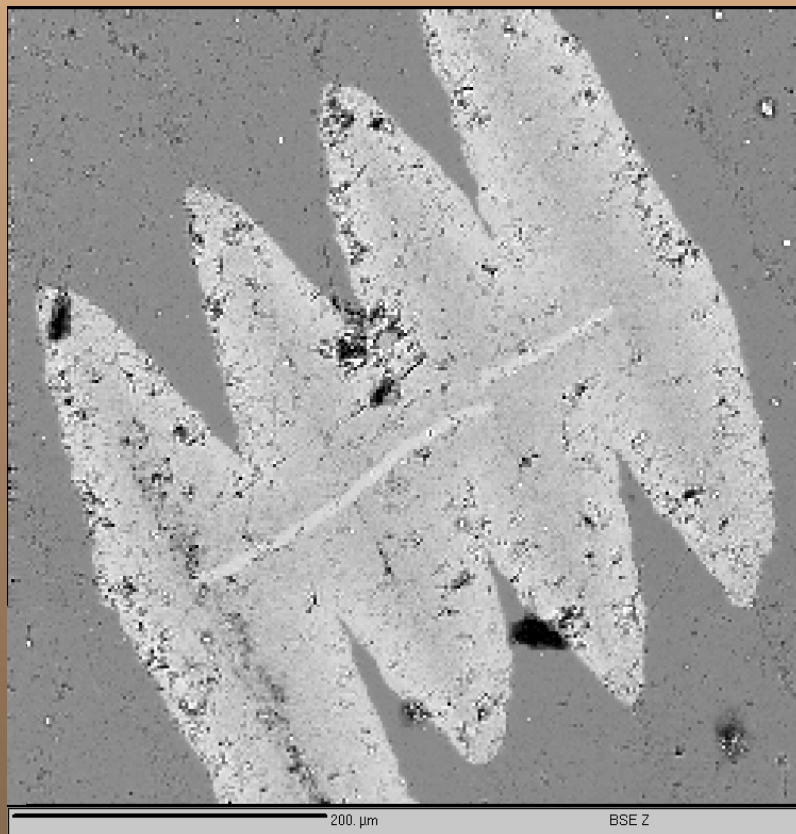
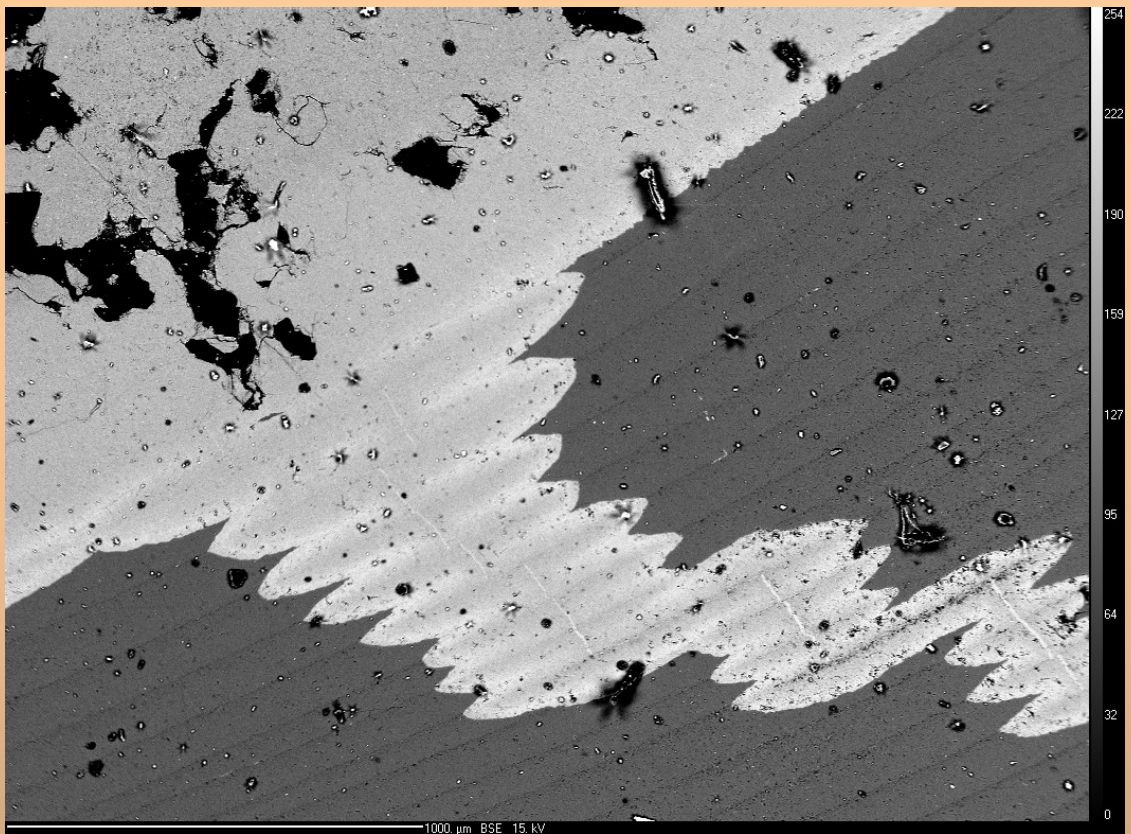


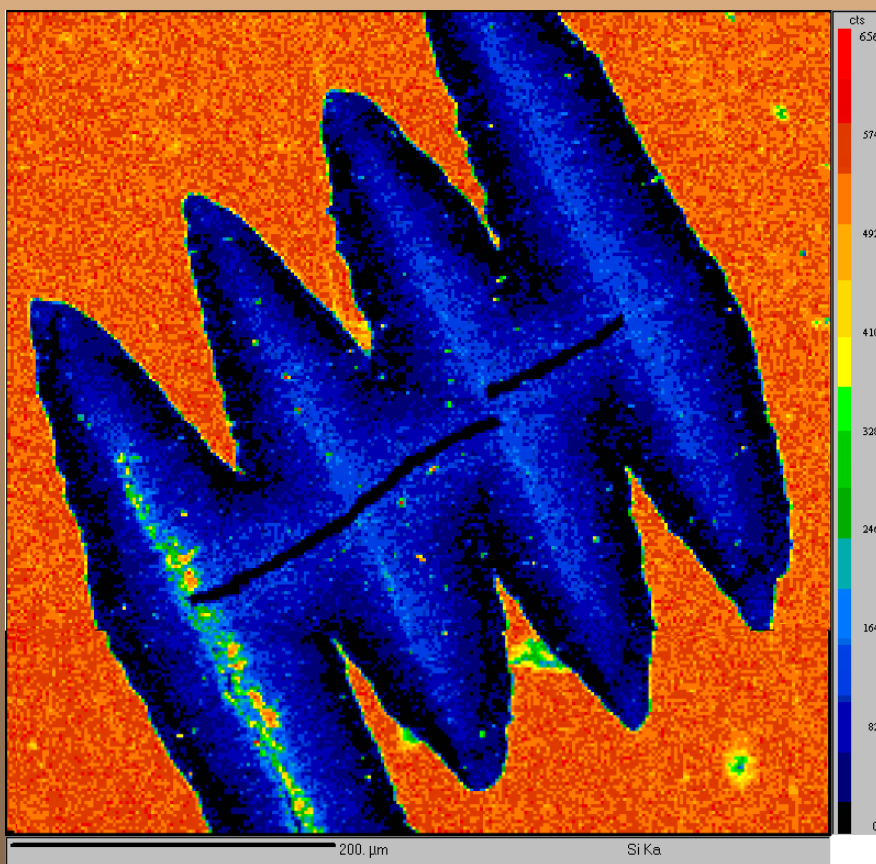
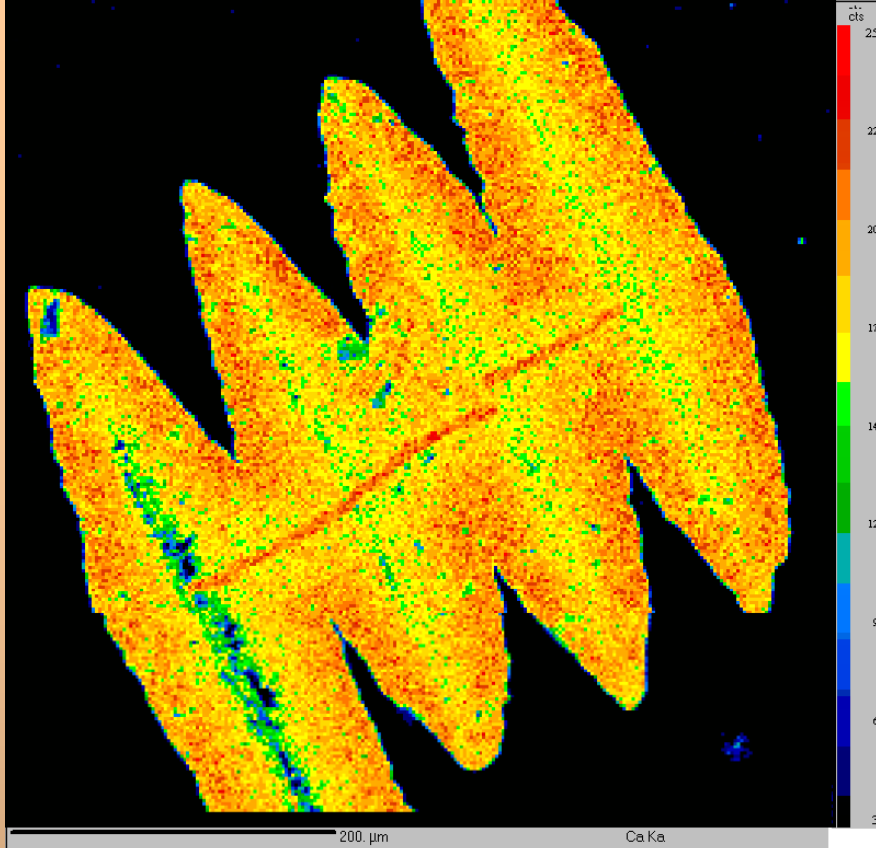
Fig. 1. Correlation between CL intensity (normalized to counts/5 s) and Mn concentration (ppm). The data of PIXE and the high-resolution CL spectroscopy reveal a linear correlation between CL intensity and Mn content above 10 ppm Mn. Below this concentration Mn can be analyzed by QHRS-CL only.



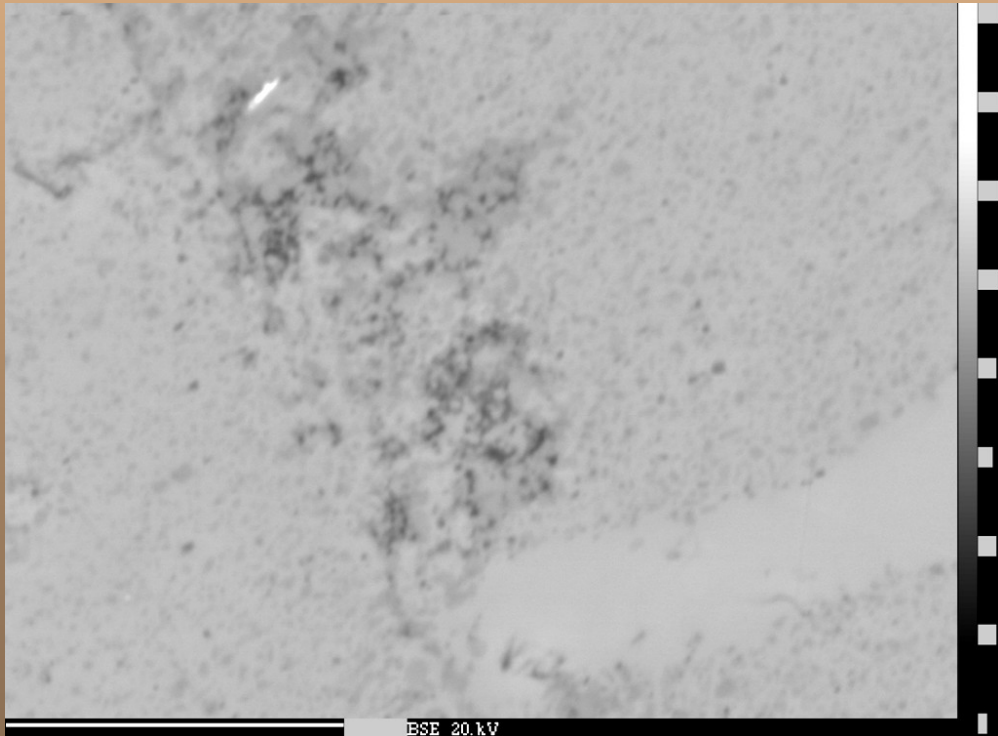
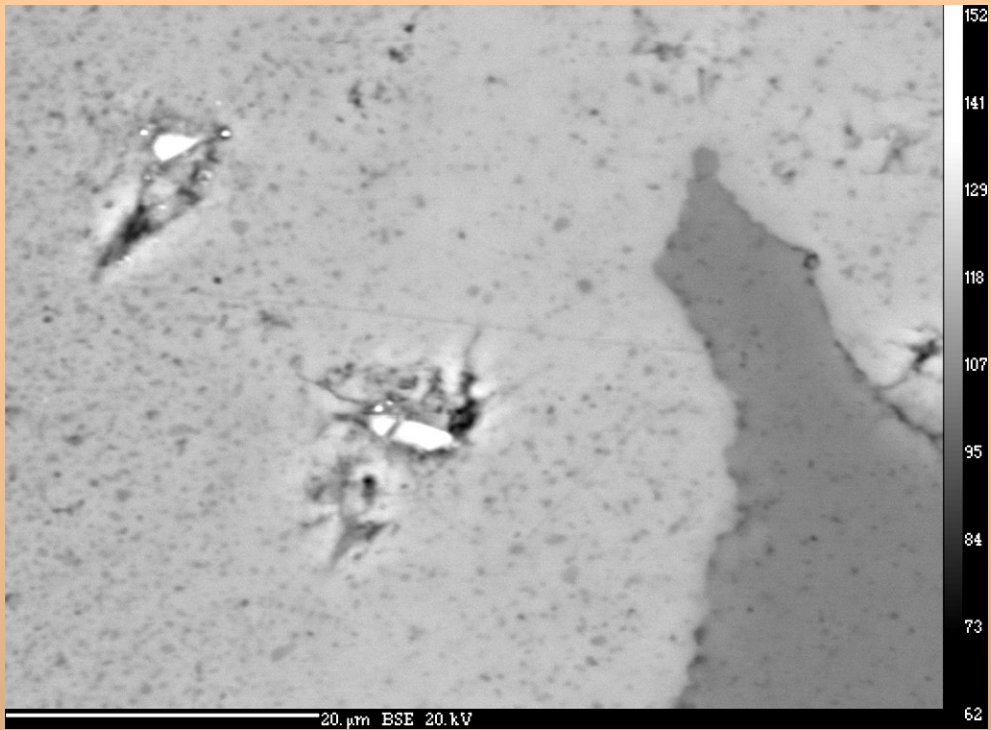
Karbonatizované acháty, podkrkonoší, *neostré okraje*



Karbonatizovaný achát, BSE



Karbonatizovaný achát, plošná distribuce Ca a Si



Karbonatizovaný achát, BSE, detail

Závěry

Katodová luminiscence podstatně rozšiřuje, ve srovnání s klasickou mikroskopickou technikou, možnosti studia hornin a minerálů. Klasická mikroskopie využívá efektů vznikajících při průchodu světla minerálem. Výsledný obraz je závislý v podstatě na indexu lomu, dvojlomu, barvě minerálu, distribuci uzavřenin pozorovaného minerálu. Například u plagioklasů narůstá index lomu v závislosti na stoupajícím obsahu anortitové komponenty z 1,525 u albitu až na 1,576 u anortitu. Tento poměrně malý rozdíl v indexu lomu je v optickém mikroskopu poměrně obtížně pozorovatelný. V případě, že je stejné zrno pozorováno v CL, je šance identifikovat jeho vnitřní stavbu podstatně vyšší, neboť s narůstajícím obsahem vápníku velmi často narůstá i obsah manganu, který je jedním z hlavních aktivátorů. S pomocí CL jsou při tom pozorovatelné rozdíly v intenzitě CL podmíněné velmi malými změnami koncentrace Mn - řádově v ppm. Proto je i velmi malá změna ve složení studovaného objektu doprovázena často výraznou změnou intenzity nebo barvy luminiscence.

V případě, že je pozorován minerál, který netvoří pevné roztoky - např. křemen - není jeho vnitřní stavba v polarizačním mikroskopu často vůbec patrná. V katodové luminiscenci však křemen z magmatických hornin vykazuje zonální stavbu obdobnou jako v případě živců. U křemene je změna intenzity CL vyvolávána velmi malými změnami (jednotky až desítky ppm) v obsahu aktivátoru, v tomto případě Al zastupujícího Si (Watt et al. 1997).

CL je tedy schopna registrovat daleko menší změny ve složení nebo struktuře jednotlivých fází, než je tomu u polarizační mikroskopie a je proto při identifikaci jejich vnitřních staveb daleko citlivější.

U všech zmíněných aplikací je ale třeba mít na paměti, že luminiscenční petrografie je jenom kvalitativní metodou, která přináší řadu indicií o procesech probíhajících v horninovém prostředí. Avšak její kombinace s kvantitativními metodami zejména s minerálně-chemickými, celohorninovými a izotopickými analýzami - může přinést ucelenou představu o procesech, které formovaly jednotlivé minerály, horniny.