

3. Vlastnosti minerálů pozorované v odraženém světle

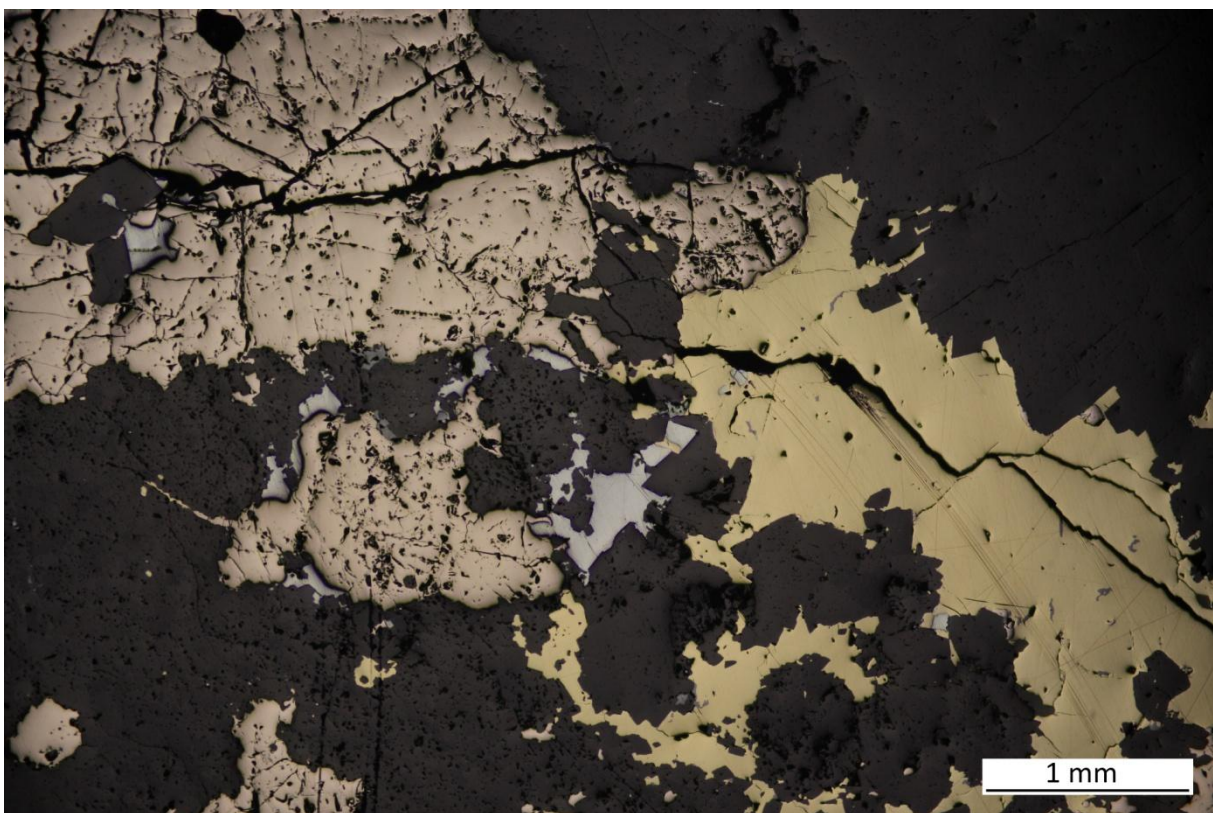
U většiny rudních minerálů jsou charakterizovány jejich optické vlastnosti v nábrusech (kapitoly 4.1 a 4.2). V této kapitole jsou tyto vlastnosti podrobně vysvětleny.

Vlastnosti pozorované pomocí planárně polarizovaného světla (PPL)

Analyzátor se vyjme z optické dráhy, aby byl poskytnut jasný obraz.

Barva

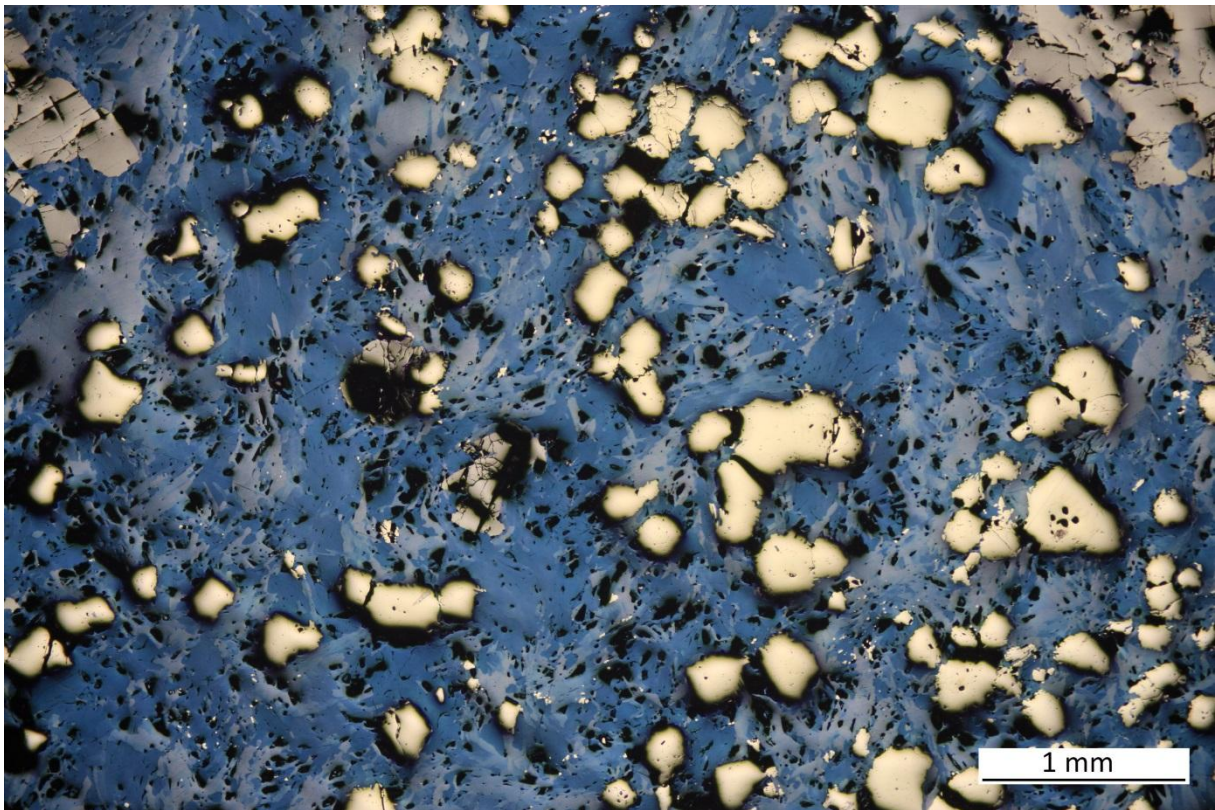
Většina minerálů v nábrusech je při pozorování pomocí PPL jen nepatrně zbarvená a vnímání barev závisí na faktorech, jako jsou: typ mikroskopu, světelného zdroje a citlivosti očí pozorovatele. Barva je proto obvykle popsána jednoduše jako odstín šedé, nebo bílé, např. namodrale-šedý rutil nebo růžově-bílý kobaltin.



Obr. 1. Chalkopyrit (žlutý), pyrotin (růžově hnědý) a galenit (bílý), vz. Zlaté Hory, PPL

Pleochroismus

Jestliže barva minerálu kolísá od zrna k zrnu a jednotlivá zrna mění barvu při otáčení stolkem mikroskopu, pak je minerál pleochroický. Barvy pro různé orientace krystalu jsou uvedeny, pokud jsou známy. Covellin například vykazuje dvě extrémní barvy – modrou a modravě světle-šedou. Pleochroismus lze často pozorovat pouze pečlivým pozorováním skupin zrn v různých krystalografických orientacích. Alternativně může být pleochroismus minerálu určen v blízkosti nepleochroického minerálu, např. pleochroický ilmenit proti izotropnímu magnetitu.



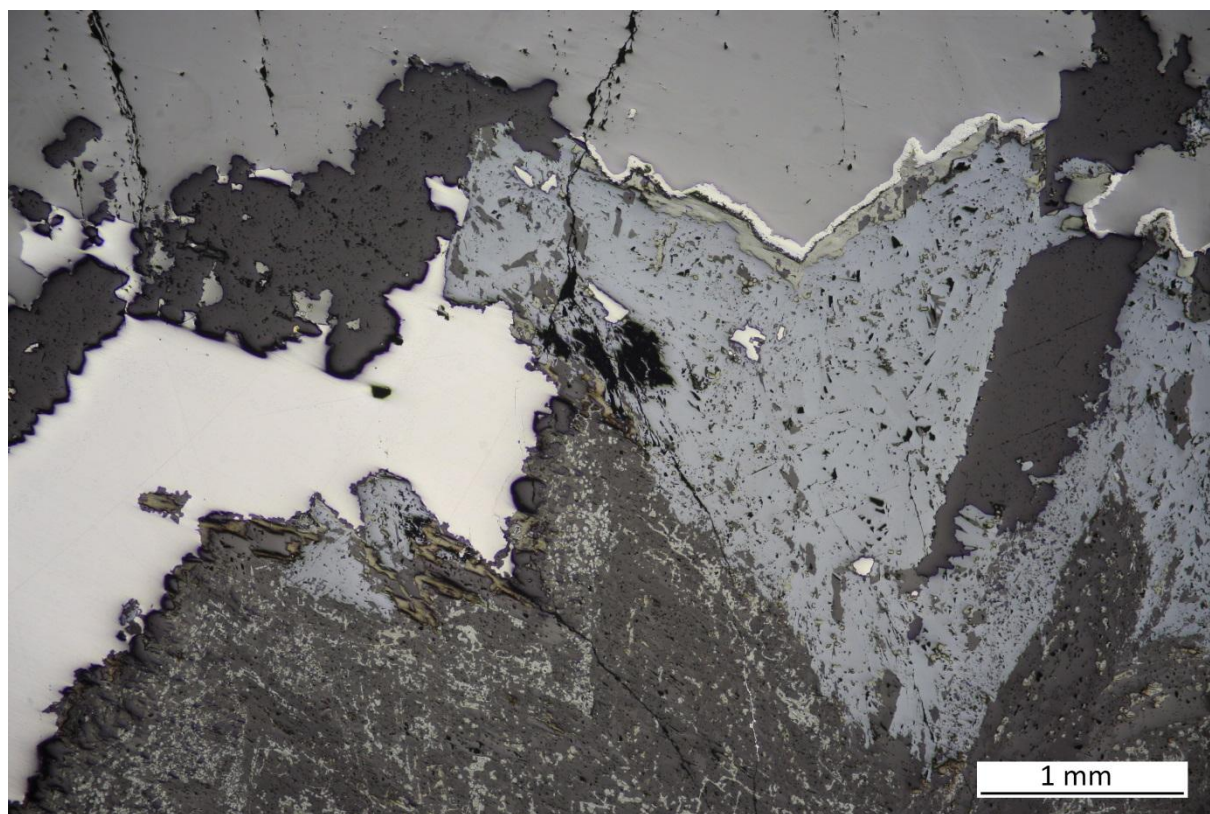
Obr. 2. Covellin (modrý a silně pleochroický, modrá až namodrale světle-šedá) s nepleochroickými pyritem (žluto-bílý) a bornitem (růžově hnědý), vz. Bor, PPL

Odraznost

Jde o procentuální množství světla, odrážejícího se od leštěného povrchu minerálu. Tam, kde je to možné, jsou uvedeny hodnoty odraznosti (R) pro každou krystalografickou orientaci minerálu. Oko není dobré při odhadu absolutní odraznosti, ale je dobrým srovnávačem. Hodnoty odraznosti minerálů by proto měly být použity pro účely porovnání minerálů. Odraznost může být spojena se stupnicí jasu /odstínu šedi/ následujícím způsobem (viz.

tabulka). Minerál s odrazivostí cca 15 % (např. sfalerit) může být světle šedý, nebo se jeví bílý ve srovnání s minerálem s nízkou odrazivostí (jako je např. křemen), nebo tmavě šedý – ve srovnání s jasným minerálem (jako je pyrit):

R (%)	Stupnice šedé
0-10	tmavě šedá
10-20	šedá
20-40	světle šedá
40-60	bílá
60-100	zářivě bílá



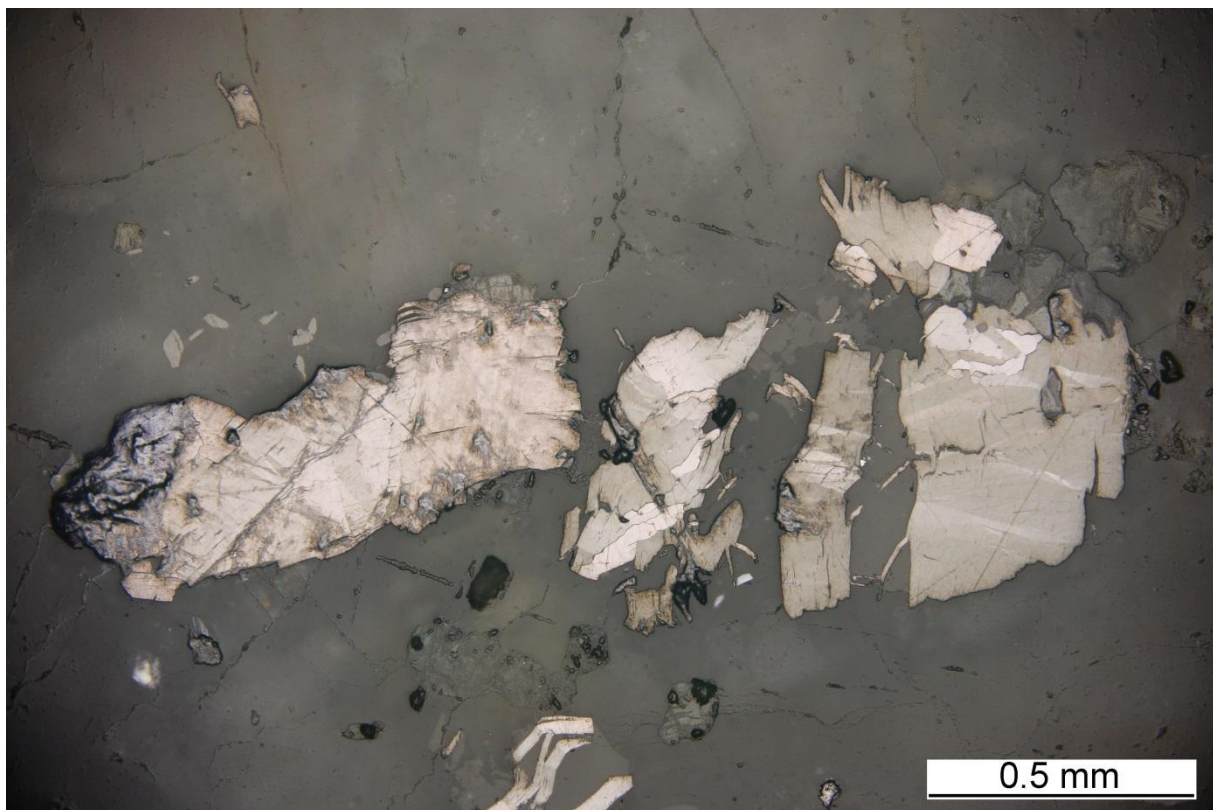
Obr. 3. Agregát chalkozínu (modravě-šedý se zřetelnou anizotropií), sfalerit (tmavěji šedý s R= 15%) a galenit (bílý s R=43%), vz. 6, XPL

Bireflexe (dvojodraz)

Bireflexe je kvantitativní hodnota a pro anizotropní zrno minerálu je měřítkem rozdílu mezi maximální a minimální hodnotou odraznosti. Nicméně, bireflexe je obvykle hodnocena kvalitativně, např.:

- slabá: pozorovaná s obtížemi, $\Delta R < 5\%$ (např. hematit)
- výrazná: snadno pozorovatelná, $\Delta R > 5\%$ (např. antimonit).

Pleochroismus a bireflexe jsou úzce příbuzné vlastnosti. Termín pleochroismus se používá k popisu změny v odstínu, nebo intenzitě barev minerálu, zatímco termín bireflexe se používá pro změnu jasu.



Obr. 4. Molybdenit (šedo-bílý) s velmi silnou bireflexí, vz.16, PPL

Vlastnosti pozorované s použitím zkřížených nikolů (XPL)

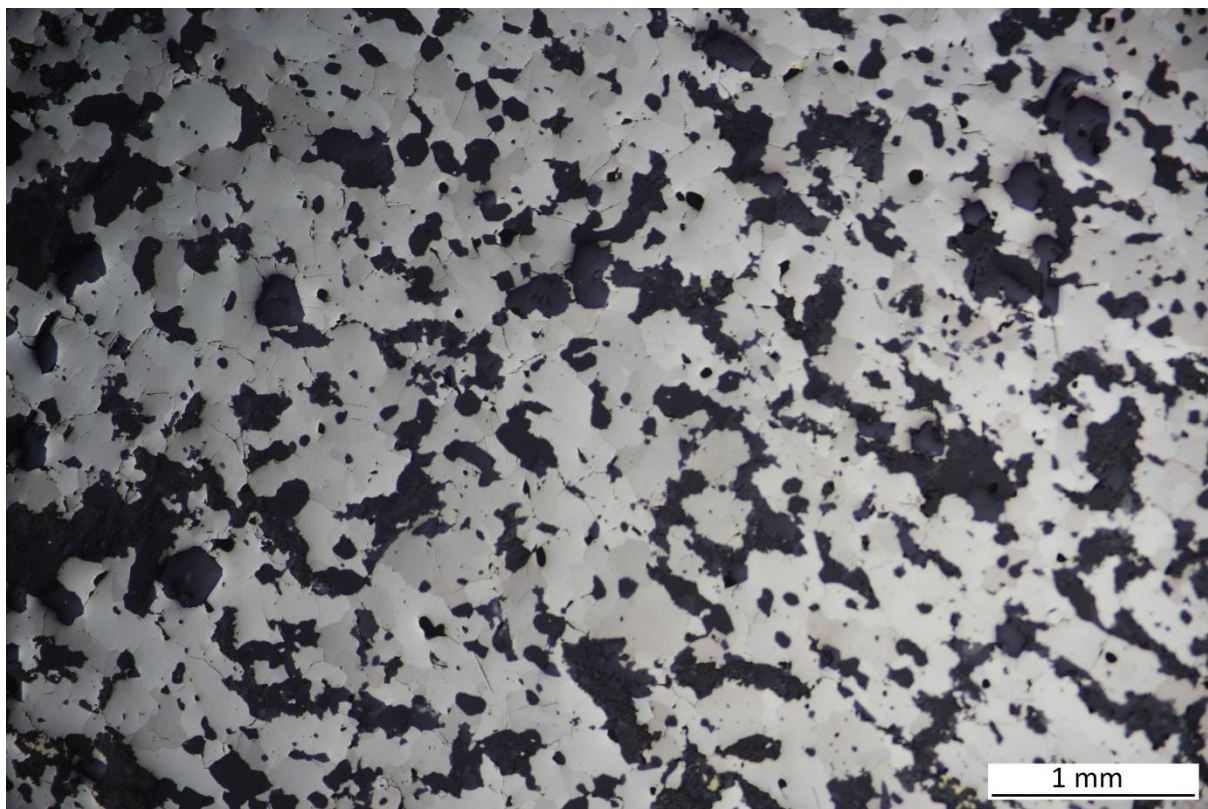
Analyzátor je vložen do optické dráhy tubusu mikroskopu, aby zorné pole bylo tmavé.

Anizotropie

Anizotropie se výrazně liší s krystalografickou orientací průřezu nekubického minerálu. Posuzuje se následovně:

- a) Izotropní minerál: všechna zrna zůstávají tmavá při otáčení stolku, např. magnetit.
- b) Slabě anizotropní minerál: nepatrná změna jasu během otáčení, pozorovatelná pouze při pečlivém pozorování s použitím mírně rozkřížených nikolů, např. ilmenit.
- c) Silně anizotropní minerál: výrazná změna jasu a možné barvy, viditelné při otáčení stolku při použití přesně zkřížených nikolů, např. hematit.

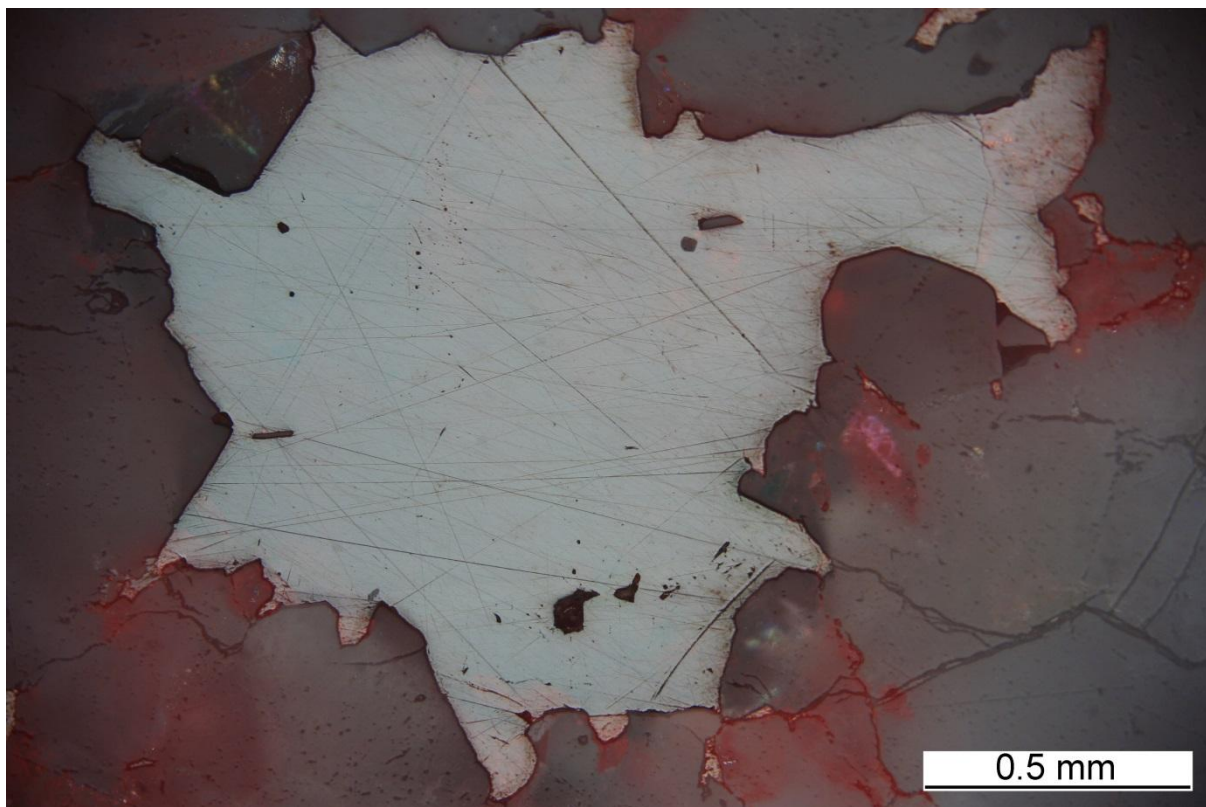
Upozornění - Některé kubické minerály (např. pyrit) mohou vypadat jako slabě anizotropní a slabě anizotropní minerály (např. chalkopyrit) se mohou jevit jako izotropní. Anizotropie a bireflexe jsou příbuzné vlastnosti; anizotropní zrno minerálu jeví také vždy bireflexi, ale bireflexe v PPL je vždy mnohem obtížněji detekovatelná než anizotropie v XPL.



Obr. 5. Zrnitý agregát pyrotinu s viditelnou anizotropií, vz. 67, zvětšení 4x, XPL

Vnitřní reflexy (odrazy)

Světlo může procházet leštěným povrchem nerostu a odrazit se zpět. Vnitřní odrazy jsou proto viditelné u všech průhledných minerálů. Při hledání vnitřních odrazů je třeba věnovat zvláštní pozornost minerálům s nízkou až střední odrazností (poloopakní minerály), u nichž může být vnitřní odraz pozorován jen s obtížemi a blízko hranic zrn, nebo prasklin. Rumělka, na rozdíl od hematitu, kterému je jinak podobná, vykazuje efektní červené vnitřní reflexy.



Obr. 6. Cinabarit s charakteristickými vnitřními reflexy červené barvy, vz. 65, XPL

Vnější charakter zrn

Tvary zrn minerálů jsou určeny komplexními proměnnými, které působí během vzniku a krystalizace, a následné rekrystalizace, nahrazování, nebo alterace. Idiomorfnní zrna (termín používán v odrazové mikroskopii pro dobře krystalově omezená, neboli euhedrání zrna) nejsou častá, ale některé minerály v leštěném vzorku mají větší tendenci k pravidelnému tvaru zrna, než jiné.

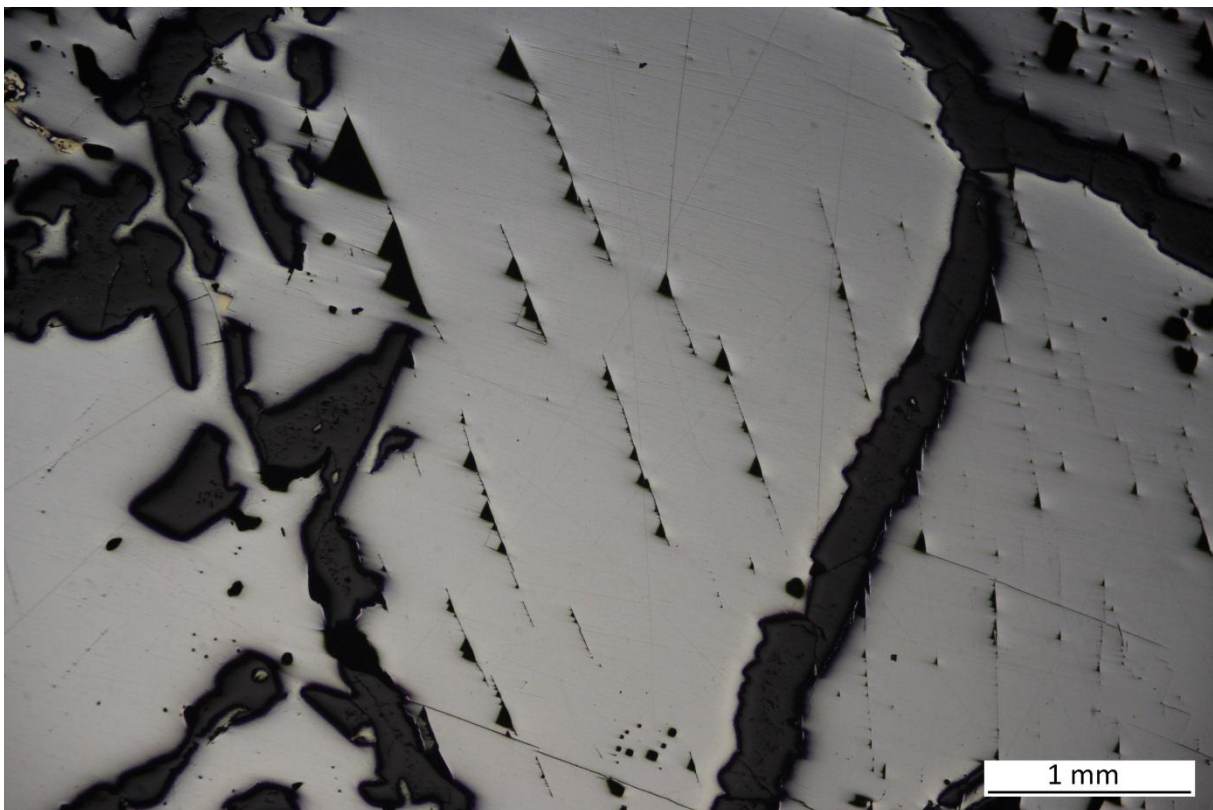
Vnitřní vlastnosti zrn

Dvojčatění

Dvojčatění se nejlépe pozoruje pomocí zkřížených nikolů. Je rozpoznatelné, pokud jsou v místech s různými orientacemi zhášení individuů pozorovatelné kontakty s rovnými hranicemi uvnitř jednoho zrna. Kasiterit je často zdvojčatělý.

Štěpnost

Štěpnost je obtížněji pozorovatelná v odraženém světle, než v procházejícím světle a obvykle se projevuje ve formě nespojitých pravidelně tvarovaných, nebo zaoblených jamek či rýh. Galenit se vyznačuje trojúhelníkovými štěpnými jamkami. Škrábance se někdy také podobají stopám po štěpení.



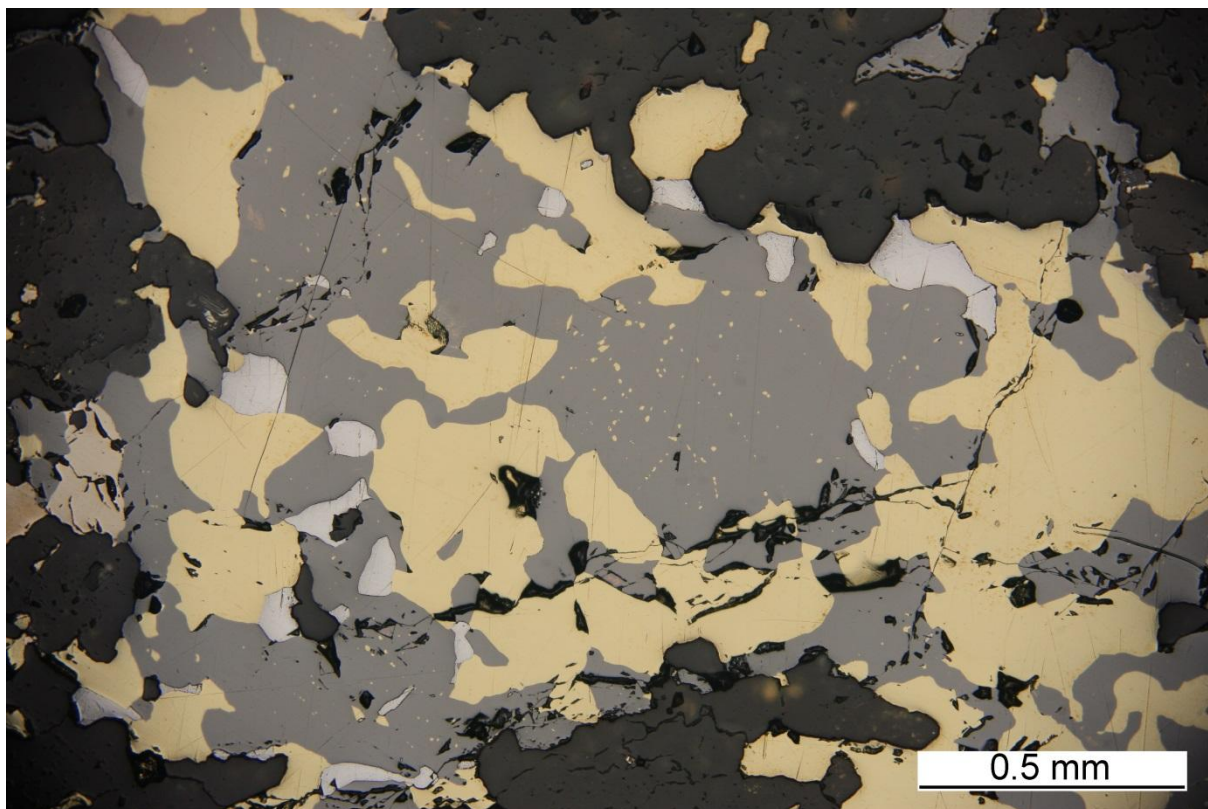
Obr. 7. Galenit s typickými vyštípnutými trojúhelníčky – štěpnost podle krychle, vz. 64, PPL

Zonálnost

Zonálnost v chemismu u chemicky složitých minerálů, jako je např. tetraedrit, je pravděpodobně velmi častá, ale pouze zřídka vykazuje pozorovatelné účinky, jako jsou například barevné zóny (lemy). Zonalita mikroinkluzí je častější.

Inkluze

Typ a povaha inkluzí běžně pozorovatelných v minerálech se uvádí z toho důvodu, že tato znalost může pomoci při identifikaci minerálu. Například pyrhotin často obsahuje lamelové inkluze pentlanditu. Sfalerit obsahuje často kapičkovité inkluze chalkopyritu.



Obr. 8. Sfalerit (šedý s kapičkovitými inkluzemi žlutého chalkopyritu), chalkopyrit (žlutý), galenit (bílý) a zno pyrotinu (krémový, nahnědlý), vz. 21, zvětšení 10x, PPL

Číslo tvrdosti podle Vickerse (VHN)

Hodnota tvrdosti podle Vickerse je kvantitativní hodnota mikrotvrdosti, jejíž znalosti jsou užitečné pro určení minerálu a při srovnání leštitelnosti minerálů.

Rozlišovací (diagnostické) vlastnosti

Charakteristické znaky jsou uváděny pro srovnání minerálu s jinými nerosty, které se vyskytují v podobných minerálních asociacích. Termíny tvrdší nebo měkčí odkazují na srovnání tvrdosti při leštění.

Pozorování v odraženém světle pomocí imerzního oleje

Předběžné pozorování nábrusů minerálů je vždy prováděno na vzduchu ($RI = 1.0$), vzduch je mezi leštěným povrchem a objektivem mikroskopu a pro většinu účelů to stačí. Zvýšení užitečného zvětšení a rozlišení lze dosáhnout použitím imerzních metod, které vyžadují imerzní olej (používejte doporučený olej výrobce mikroskopu, například: olej Cargille, typu A) mezi čočkami objektivu a povrchem preparátu.

Použitím imerzí se dosáhne také výrazného poklesu lesku. Dalším důvodem pro použití imerzního oleje je fakt, že následný změněný vzhled minerálu může pomoci při jeho identifikaci. Ramdohr (1969) uvádí: „Je potřeba znovu a znovu zdůrazňovat, že ten, kdo se vyhýbá použití olejové imerze, postrádá důležitý diagnostický nástroj a nikdy neuvidí stovky detailů popsaných v této knize.“ Olejová imerze vede téměř vždy k poklesu odraznosti minerálu.

Při pozorování na vzduchu, na rozdíl od použití imerzního oleje, může barva minerálu zůstat stejná, nebo se může také výrazně měnit. Klasickým příkladem je covellin, u kterého se barva mění z modré ve vzduchu na červenou v oleji. Jemu velmi podobný „blaubleibender“ – konzistentně modrý covellin, zůstává modrý jak ve vzduchu, tak i v oleji. Jiné vlastnosti, jako je bireflexe a anizotropie, mohou být použitím olejové imerze zesíleny, nebo zeslabeny.

Chcete-li použít olejovou imerzi, snižte stolek mikroskopu tak, aby byl imerzní objektiv dostatečně vysoko nad požadovanou oblastí horizontálně leštěného vzorku. Na povrch průřezu a nejlépe také na čočku objektivu umístěte kapku doporučeného oleje. Pomalu zvedejte stolek pomocí ovládání hrubého zaostření a pozorujte z boční strany, dokud obě kapky oleje nesplynou. Pokračujte ve zvedání stolku velmi pomalu pomocí jemného zaostření a dívejte se dolů okulárem, dokud se obraz nezaostří. Přes pole se mohou proplétat malé bubliny, ty by ale neměly působit příliš rušivě. Větší bubliny, které bývají způsobeny příliš rychlým posunem vzorku, lze uspokojivě odstranit pouze úplným vyčištěním.

Chcete-li imerzní objektiv očistit, spusťte stolek a ihned otřete konec objektivu měkkou tkaninou. Lze použít hadřík s alkoholem, nevhodné je rozpouštědlo, jako např. aceton, jehož použití může vést k uvolnění čoček objektivu. Leštěný preparát může být opatrně zvednut a vyčištěn stejným způsobem.

Většina kvalitativních pozorování rudní mikroskopie může být provedena bez použití olejové imerze a je potřeba se vyvarovat aplikace imerzních olejů u vzorků, které jsou následně potaženy uhlíkem pro elektronovou mikroanalýzu. Tato technika má nejefektivnější využití při studiu malých zrn materiálů s nízkou odrazností, jako je grafit, nebo organické sloučeniny, kde je přínosem výrazné zvýšení rozlišení a kvalita obrazu při vysokém zvětšení.

Leštící (obrusová) tvrdost

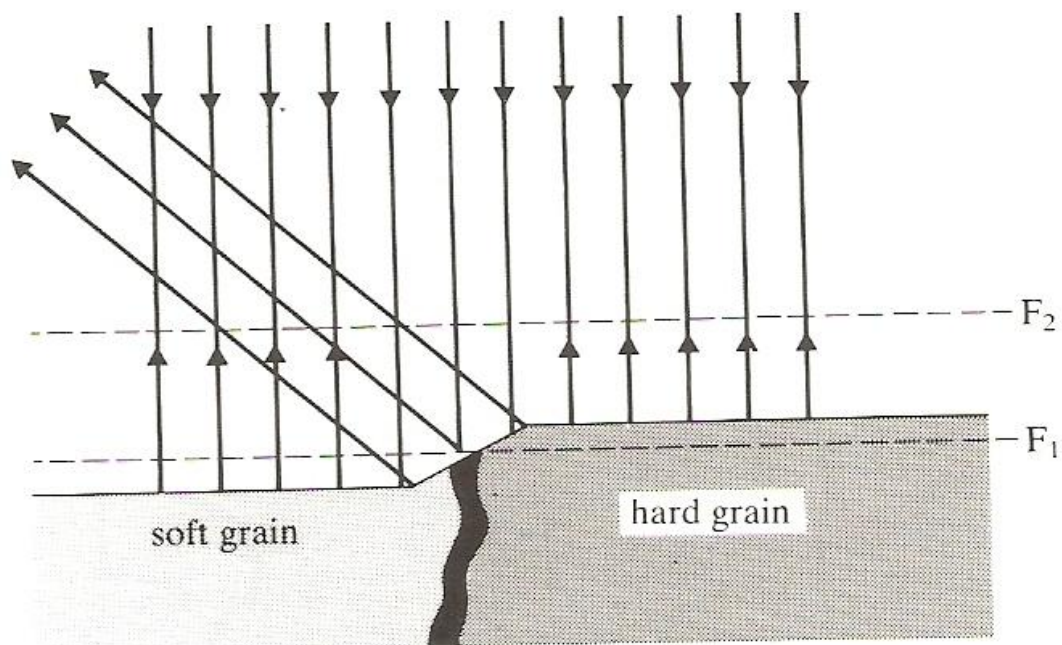
Během leštění dochází k tomu, že leštěné preparáty nevyhnutelně získají určitý reliéf vzhledem k rozdílné tvrdosti jednotlivých komponent (obr. 9). Měkké minerály mají tendenci být odstraněny snadněji než tvrdé minerály. Také povrchy tvrdých zrn mají tendenci se stát konvexními, zatímco povrchy měkkých zrn se stávají konkávními. Jednou z výzev techniky leštění je úplně vyloučit různorodost reliéfu při leštění, protože dochází ke škodlivému vlivu leštěného reliéfu na vzhled leštěné části, a také vyvstává nutnost vysoké kvality opticky plochých leštěných povrchů pro měření odraznosti. Protože v některých případech je nestejný reliéf vzorku vzniklý leštěním výhodný pro kvalitativní identifikaci minerálů, je často vhodné zvýraznit reliéf několika minutovým broušením jemným abrazivem, jako je γ - Al_2O_3 , na jemné vláknité podložce. Nestejný reliéf vzorku vede k jevu známému jako Kalbova světelná linka, která má podobný vzhled jako Beckeho linka.

Ostrý kontakt zrna mezi tvrdým minerálem, jako je pyrit a měkkým minerálem (galenit nebo sfalerit) je dobře viditelný při zaostření. Při mírném rozostření způsobeném zvětšením vzdálenosti mezi vzorkem a objektivem by se měla objevit podél kontaktu zrna v měkkém minerálu jemná světelná linka. Původ této světelné čáry by měl být snadno objasněn z obr. 9. V ideálním případě by se světelná linka měla vzdálit od hranice zrn, pokud je vzorek později rozostřen. Při rozostření v opačném směru se světlo objevuje v tvrdším minerálu a v tomto směru je rozostření nutné, pokud je světelná linka obtížně viditelná v jasně bílém měkkém minerálu. Světelná linka je nejlépe viditelná pomocí objektivu s malým zvětšením a téměř uzavřeném otvoru clony.

Kalbova světelná linka se používá k určení relativní leštící tvrdosti minerálů, které jsou vzájemně na kontaktu, ve stejné leštěné části. Tato metoda může být použita k potvrzení optické identifikace minerálů, nebo jako pomůcka k identifikaci jednotlivých minerálů, a to

porovnáním s publikovanými seznamy relativní tvrdosti leštění (např. Uytebogaard a Burke 1971).

Určení relativní lešticí tvrdosti může být cenné při studiu mikro-inkluzí v identifikované hostitelské fázi; srovnání tvrdosti inkluze a jejího okolí může být použito k odhadu tvrdosti inkluze, nebo k vyloučení některých možností vyplývajících z optických vlastností. Podobně, pokud optické vlastnosti nemohou být použity k jednoznačné identifikaci minerálu, může pomoci srovnání tvrdosti leštění s identifikovaným koexistujícím minerálem. Například pyrotin, který je možné snadno identifikovat, se může vyskytovat v asociaci s pyritem, nebo pentlanditem, které mají podobný vzhled; pyrit je však tvrdší než pyrotin, zatímco pentlandit je měkkší.



Obr. 9. Relativní obrusová tvrdost. Poloha zaostření je nejprve na F_1 . Pokud je vzorek posouván níže a dále od objektivu, úroveň, která je zaostřena, se přesune na F_2 tak, že se Kahova světelná linka pohybuje do měkkí látky.

Literatura:

Gribble, C.D. a Hall, A.J. (1992): Optical mineralogy. Principles and practis. UCL Press, Glasgow.

Hallimond, A. F. (1970): The polarising microscope. York: Vickers Instruments.

Lister, B. (1978): Ore polishing. Institute of Geological Sciences Report 78/27. London: HMSO.

Ramdohr, P. (1969): The ore minerals and their intergrowths. Oxford: Pergamon.

Shepherd, T., A. H. Rankin a D. H. M. Alderton (1985): A practical guide to fluid inclusion studies. Glasgow: Blackie.

Uytebogaard, W. a E. A. J. Burke (1971): Tables for microscopic identification of ore minerals. Amsterdam: Elsevier.