

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

Obor SOČ: 5. Geologie

**Výzkum subvulkanických žil v okolí Benešova nad Černou**

**Research on subvulcanic intrusions in Benešov nad Černou and  
Surrounding Area**

**Autor: Eliška Bršlicová**

Škola: Gymnázium, České Budějovice, Česká 64,  
370 01 České Budějovice, Česká Republika

Kraj: Jihočeský kraj

**Konzultant:**

**RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.**

České Budějovice 2015

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Českých Budějovicích, dne .....

podpis: .....

## **Poděkování.**

Děkuji RNDr. Petru Rajlichovi, CSc., PhD. za odborné vedení, inspiraci a především podporu. Děkuji p. Ptáčkovi za pomoc při práci v terénu. Mé poděkování patří též p. Zbirovskému a Ing. Kristovi, PhD. za cenné rady a spolupráci při zpracování vzorků v laboratoři, a RNDr. Pavle Kodříkové za podporu a organizační vedení.

## Abstrakt

Velmi tenké subvulkanické žíly s malým objemem rychle utuhlých obsidiánů, ryolitů a porfyrů se vyskytují v okolí Benešova nad Černou, kde je objevil pan Ptáček. Krystalizační vývoj živců a sférolitů probíhal od sanidinu po mikroklin až po porfyrické albit-oligoklasové vyrostlice. Křemen se vyskytuje ve dvou formách tj. jako otavená pohlčená zrna z okolní horniny a nově vykrystalovaný hexagonální křemen. Pohlčený křemen zvyšuje obsah Si v horninách, chemický obraz hornin je krom toho ovlivňován navětráním. Obsah Si ve studovaných horninách kolísá v rozmezí od 17,7% do 40,7%, Al v rozmezí od 5,97% do 9,55%, K v rozmezí od 1,518% do 3,641%, Sr v rozmezí od 0,01% do 0,058%. Magnetická susceptibilita hornin v žílách kolísá od  $0,04 \cdot 10^3$  A/m do  $5,6 \cdot 10^3$  A/m, okolních hornin od  $0,08 \cdot 10^3$  A/m do  $0,36 \cdot 10^3$  A/m. Podle šesterečného křemene (beta) krystalizovaly za teplot vyšších než  $560^\circ\text{C}$ . Uvedené žíly pravděpodobně vznikly v permu, tedy v prvohorách. Mají větší rozsah, než je uváděno v současných geologických mapách.

**Klíčová slova:** subvulkanické žíly, žulové porfyry, ryolity, felzity, textury hornin, petrologie, šesterečný křemen (beta), sanidin, draselný živec, biotit, pleochroické dvůrky, chemismus hornin, faktorová analýza, obsidián, vulkanické sklo, sférolity živce, mikrofoto, perm, větrání hornin, kaolinizace, Benešov nad Černou

## Annotation

Very thin subvolcanic intrusions with small volume of quickly solidified obsidian, rhyolite and porphyry, are found in the surrounding area of Benešov nad Černou, where they were discovered by Mr. Ptáček. The formation of feldspar and spherulites evolved from sanidine, to microcline, to albite/oligoclase. The absorbed quartz is increasing the amount of Si in the rocks; chemistry of the rocks is also affected by weathering. The amount of Si in the examined rock samples varies from 17,7% to 40,7%, Al varies from 5,97% to 9,55%, K varies from 1,518% to 3,641%, Sr varies from 0,01% to 0,058%. The magnetic susceptibility of the intrusion rocks is fluctuating from  $0,04 \cdot 10^3$  A/m to  $5,6 \cdot 10^3$  A/m, the fluctuation of the magnetic susceptibility in the surrounding rocks is from  $0,08 \cdot 10^3$  A/m do  $0,36 \cdot 10^3$  A/m. The presence of hexagonal crystals of quartz means that intrusions hardened and crystallized at temperatures exceeding  $560^\circ\text{C}$ . These intrusions most likely formed in the Paleozoic era. The actual intrusions have greater extent than is shown in current geological maps.

**Key Words:** subvolcanic intrusions, granite porphyry, rhyolite, felsite, rock textures, petrology, hexagonal crystals of quartz, sanidine, potassium feldspar, biotite, pleochroic halo, chemistry of rocks, factor analysis, obsidian, volcanic glass, spherulitic feldspar, microphotography, Permian, weathering of rocks, kaolinization, Benešov nad Černou

## Obsah

1. Úvod -----	4
1.1. Všeobecný úvod -----	4
1.2. Stručný přehled geologie a geomorfologie okolí Benešova nad Černou -----	5
1.3. Výskyt a charakteristika subvulkanických žil -----	5
1.4. Význam subvulkanických žil pro poznání geologického vývoje v okolí Benešova nad Černou -----	6
2. Metody výzkumu -----	6
2.1. Terénní výzkum -----	6
2.2. Makroskopický výzkum -----	14
2.3. Zhotovení petrografických výbrusů -----	14
2.4. Mikroskopický výzkum -----	18
2.5 Stanovení chemického složení žil metodou XRF -----	18
2.6. Měření magnetické susceptibility -----	19
3. Zjištěné výsledky -----	20
3.1. Mikroskopická charakteristika minerálů v porfyrech -----	20
3.1.1. Křemeny -----	21
3.1.1.1. Křemen uzavřenin -----	21
3.1.1.2. Hexagonální (beta) křemeny -----	24
3.1.2. Biotit -----	25
3.1.3. Živec -----	27
3.1.3.1. Sanidin -----	27
3.1.3.2. Ortoklas -----	29
3.1.3.3. Mikroklin -----	30
3.1.3.4. Plagioklas -----	31
3.1.3.5. Sférolity -----	34

3.1.3.6. Kaolinické zvětrání živců -----	37
3.1.4. Pyrit -----	39
3.1.5. Apatit -----	39
3.1.6. Základní hmota -----	40
3.2. Rentgen-fluorescenční analýza -----	45
3.2.1. Souhrnné vyhodnocení korespondenční analýzy -----	46
3.3. Magnetická susceptibilita -----	50
3.4. Diskuse výsledků -----	51
4. Závěr -----	51
4.1. Soupis použité literatury -----	51
4.2. Seznam Příloh -----	52
Přílohy -----	54 - 68

## 1. Úvod

Cílem mé práce je zjistit vznik, charakteristiku a původ sopečných žil v okolí Benešova nad Černou. Tento výzkum jsem si zvolila, protože mne zajímá geologie a vulkanologie, a v okolí Benešova nad Černou se nachází subvulkanické intruze porfyrů a ryolitů, které nebyly dosud podrobně analyzovány. Lokalita i vzhledem k mému bydlišti poskytuje dobré možnosti terénního a laboratorního pozorování rozvoje subvulkanických žil ryolitů a porfyrů, spojených sopečných projevů a zároveň je vhodná pro použití různých metod analýz hornin. Navíc tyto intruze obsahují zajímavé útvary, které nejsou prozkoumány a mohly by nám velice přispět k odhalení, co se zde na této lokalitě odehrávalo.

### 1.1. Všeobecný úvod

*Sopečné jevy se mohou projevovat dvěma způsoby, povrchovými a podpovrchovými projevy. Povrchové projevy jsou produkty sopečné aktivity, které se vytvářejí na povrchu, například lávové výlevy, sopečné bomby a lávové tunely. Podpovrchové projevy je možné pozorovat především u lokalit starší sopečné činnosti, které mají již oderodované povrchové projevy a tím pádem jsou obnaženy především přírodní kanály lávy a žíly.*

#### Povrchové projevy

*Nejnápadnějším jevem jsou pochopitelně kopce či hory, což jsou takzvané sopečné kužele nebo-li sopky. Nejvýraznější úkazy jsou například stratovulkány, štítové vulkány a jednoduché kužele (popelové). Stratovulkány mohou produkovat explozivní erupce, ale i pozvolné lávové výlevy. Pod tímto typem se ukrývá mnoho světově známých sopek, například Svatá Helena v Severní Americe, Vesuv v Itálii a Fudži v Japonsku. Štítové vulkány jsou tvořeny pouze ze sopečných výlevů, kde láva není příliš explozivní, mnoho sopek tohoto typu se nachází na Havaji, například Mauna Kea a Mauna Loa. Popelové kužele se skládají pouze ze sopečného popele a pyroklastického materiálu a mnoho z nich sopčí pouze jednou, jeden z těchto vulkánů je Cerro Negro v Nikarague.*

*Další povrchové projevy pozorujeme a určujeme na vzorcích hornin, ze kterých jsou sopky buďto složeny nebo, které se vyskytují v jejich blízkosti. Jeden z těchto projevů jsou sopečné bomby, což jsou ztvrdlé kusy lávy, které vznikly vyvržením žhavé lávy ze sopky a jejím tuhnutím během letu vzduchem a následném dopadu na zem. Z tohoto důvodu jsou někdy vidět na sopečných bombách znaky odtryskávání a praskliny po tuhnutí. Někdy jsou přítomny xenolity (cizí kameny), křemeny a olivíny, které byly vyneseny lávou na povrch z nižší litosféry.*

*Do sopečných projevů jsou také řazeny lávové výlevy, v kterých mohou vznikat čedičové sloupky, což jsou šestihranné čedičové kvádry, které vznikly chladnutím velké plochy lávy. Sloupky mohou mít průměr několik centimetrů až několik metrů a délku od desítek centimetrů až po několik set metrů, a také se mohou vytvořit v sopečných intruzích s velkou mocností. V lávových výlevech také mohou vznikat lávové tunely, když láva teče, na jejím povrchu se tvoří krusta, která ztuhne po obvodu lávy a poté, co láva odteče, zůstává zde dutina. Duté, pozůstalé tunely mohou tvořit celé labyrinty v podzemí, například Kazumura Cave System na Havaji a Ape Cave ve Washingtnu.*

Mezi povrchové projevy také patří obsidiány, sopečný tuf a různé minerály. Obsidián je vulkanické sklo, které vzniká při prudkém tuhnutí lávy. Dalším z těchto jevů je sopečný tuf, což je materiál napadaný z výbuchu sopky. Sopečný tuf může obsahovat jednoklonné krystaly augitu a amfibolu. Oba tyto druhy krystalů byly vyneseny na povrch sopečnou aktivitou, proto jsou některé krystaly deformované či poloroztavené. V četných dutinách v sopečných výlevech se mohou také tvořit zeolity, jsou to drobné krystalky, například thomsonitu, které pokryjí stěny dutiny. Jsou to křemičitany s nedostatkem křemíku (Si), který je nahrazen vodou.

### Podpovrchové projevy

Jsou nejčastěji zjevné u starších sopek, jsou to jejich hlubinné projevy, například intruze, žíly a přírodní kanály magmatu. V žílách se mohou tvořit také čedičové sloupky, ale hlavně se zde nachází žilné porfyry, ryolity, porfyryty a čediče. Sopečná žíla chladne z vnějšku dovnitř, a pokud je na okrajích chladnutí prudké, může se vytvořit i vulkanické sklo, obsidián. Pokud žíla chladne pomalu, dochází ke krystalizaci, a při této situaci vznikají horniny porfyr a porfyrit. Porfyr je hornina, která obsahuje křemen, živec, biotit a může se v ní vyskytovat takzvaný hexagonální nebo-li beta křemen, podle kterého se dá určovat původní teplota taveniny, protože vzniká při 560°C. Ryolit je žilná hornina, která je charakteristická pro sopečné intruze při povrchu, které prodělaly rychlé tuhnutí, a proto jsou drobnozrnné až velmi jemnozrnné. Horniny porfyru a ryolitu jsou produktem kyselé hlubinné horniny žuly. Čedič je zásaditá hornina, jejíž hlubinnější horninou je porfyrit, ten obsahuje podobné látky jako porfyr, ale protože vzniká aktivitou zásaditějšího magmatu a má proto nedostatek křemene. Jak čedič, tak i porfyrit mají hlubinnou horninu v podobě gabra.

## 1.2. Stručný přehled geologie a geomorfologie okolí Benešova nad Černou

Okolí Benešova nad Černou a oblasti místních výskytů subvulkanických žil jsou tvořeny rulami, migmatity a místy i Weinsberskou žulou (viz obr. 2a a 2b) Subvulkanické nebo-li sopečné horniny v blízkosti povrchu (podpovrchové projevy vulkanismu) se zde vyskytují v podobě žil kyselých vulkanitů, většinou se jedná o porfyr a ryolit. Přítomnost jiných sopečných jevů nebyla prokázána ( Bršlicová E. (2014): *Sopečné jevy v okolí Benešova nad Černou*).

## 1.3. Výskyt a charakteristika subvulkanických žil

Žíly z kyselých vulkanitů se táhnou zhruba SSV – JJZ směrem na východ od Benešova nad Černou ve vzdálenosti cca 7 km. Mocnost žil není přesně známa, podle četných bloků určitě nepřesahuje 5 metrů. Žíly objevil pan Ptáček, a mají větší rozsah, než je uváděno v současných geologických mapách. Časté tenké žíly s mocností odhadem nanejvýš 2 až 3 metry dokládají rychlé utuhnutí a krátký epizodický charakter magmatické události. Malý objem magmatu a rychlé utuhnutí se projevilo na omezené tvorbě větších krystalů. Vyskytují se zde dva druhy těchto žil, jeden je tvořen žulovým porfyrem a druhý je tvořen ryolitem, u obou se vyskytuje v proměnlivém množství šesterečný nebo-li hexagonální křemen (beta). Ryolity a porfyry se na této lokalitě nachází jako kusy v sutí, na okraji polí nebo v ornici,



ojediněle se také vyskytují výchozy žil. Tyto žíly pravděpodobně vznikly v permu, tedy v prvohorách a po jejich vzniku zde nedošlo k většímu odnosu.

#### 1.4. Význam subvulkanických žil pro poznání geologického vývoje v okolí Benešova nad Černou

Vulkanické žíly v okolí Benešova nad Černou patrně utuhly ve svrchní vrstvě zemské kůry poměrně blízko povrchu, což je pro tekuté magma velice chladné prostředí. Tyto žíly jsou proto cenné pro poznání permského a popermského geologického vývoje oblasti a naznačují, že zde nedošlo od této doby k většímu odnosu hornin, který by odkryl hlubinné části těchto žil. Dokladem toho jsou vzorky s globulárními sférolity draselného živce s charakteristikou typickou pro ryolity (Gregerová, M., Fojt, B. & Vávra, V. 2012). Lokalita také nebyla nikdy předtím důkladně prozkoumána a jevy, které se zde vyskytují, jsou jedinečné pro geologii Jižních Čech.

## 2. Metody výzkumu

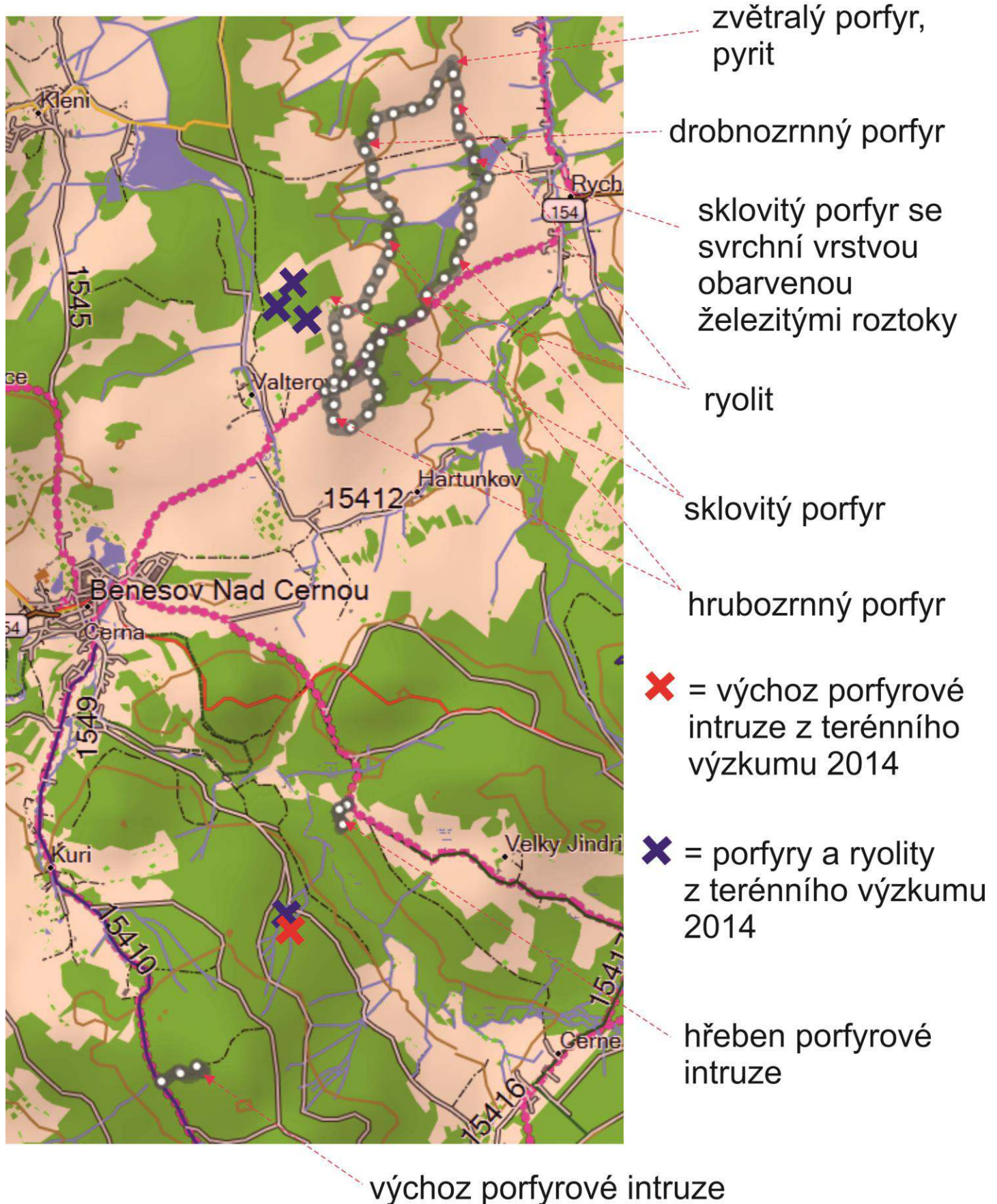
### 2.1. Terénní výzkum

Prvotní prospekci nalezených žil provedl původně pan P. Ptáček z Benešova nad Černou. Během mého výzkumu jsem žíly podrobněji zmapovala a jednotlivé navštívené lokality jsem dokumentovala fotograficky. Také jsem prováděla makroskopické určování hornin a sbírala jsem vzorky k následným analýzám. Mapování jsem prováděla pomocí GPS Garmin Oregon, a poté jsem z GPS vygenerovala zaměřené body a složila z nich mapu výskytu (viz obr. 2a a 2b).



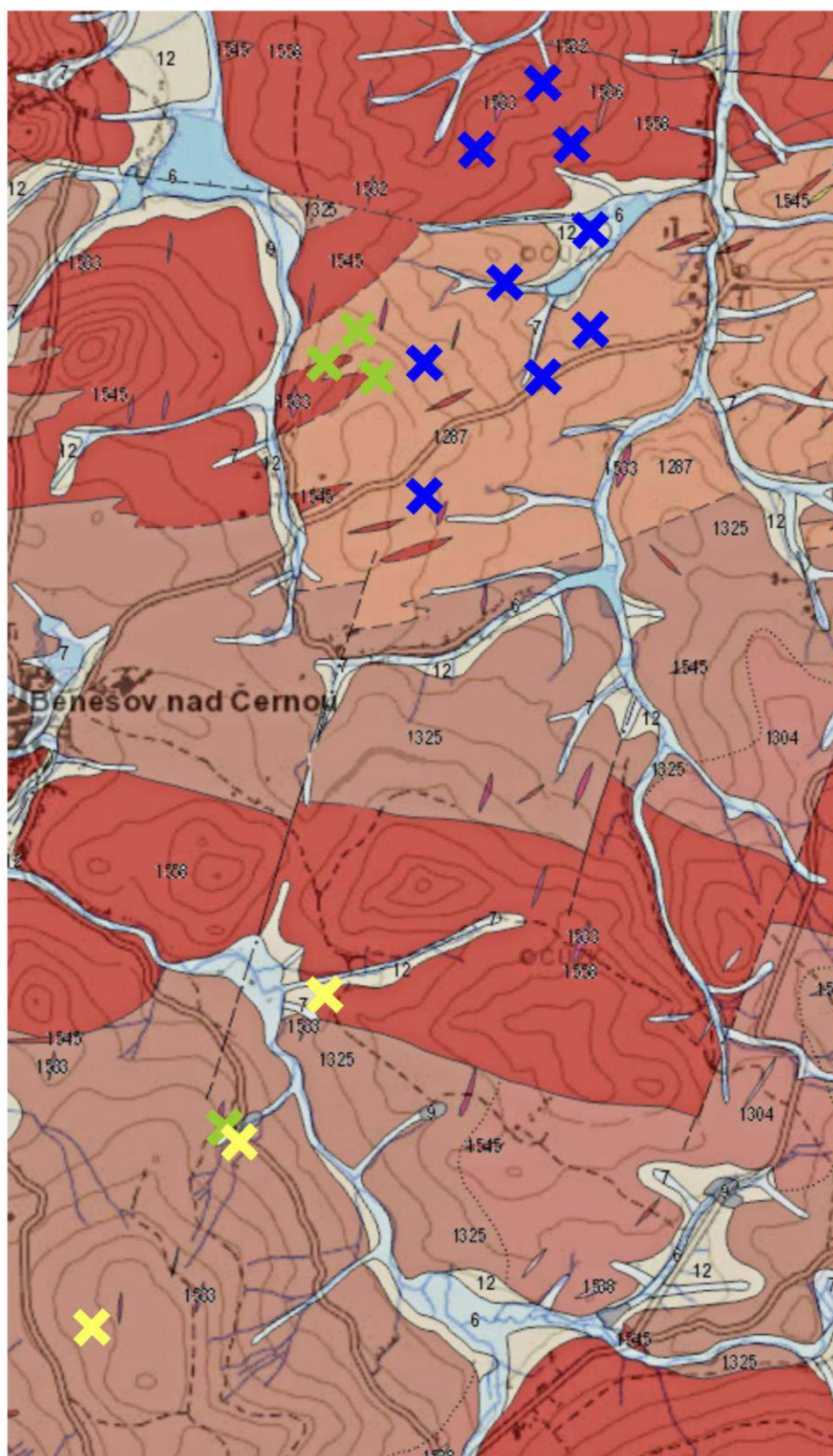
**Obr. 1** Hrubozrnné porfyry, natahané kusy z polí

# Lokality kyselých vulkanitů v okolí Benešova nad Černou



Obr. 2a Topografická mapa (8 km na výšku)

# Geologická mapa lokalit kyselých vulkanitů v okolí Benešova nad Černou



✖ = porfyry a ryolity  
z terénního výzkumu  
2015

✖ = porfyry a ryolity  
z terénního výzkumu  
2014

✖ = výchozy  
porfyrových intruzí

■ - granitový porfyr  
až granodioritový  
porfyr

■ - granit (žula)

■ - ortorula

■ - migmatit

■ - pararula až  
migmatit

■ - písčito-hlinitý  
sediment

Obr. 2b Geologická mapa (8 km na výšku)



**Obr. 3** Porfiry a ryolity v suti, výskyt pyritů



**Obr. 4**  
Hrubozrné  
porfiry natahané  
z polí v lese



**Obr. 5** Sklovité porfiry  
nanošené z pole



**Obr. 6** Sklovitý porfyr  
s výrazným biotitem

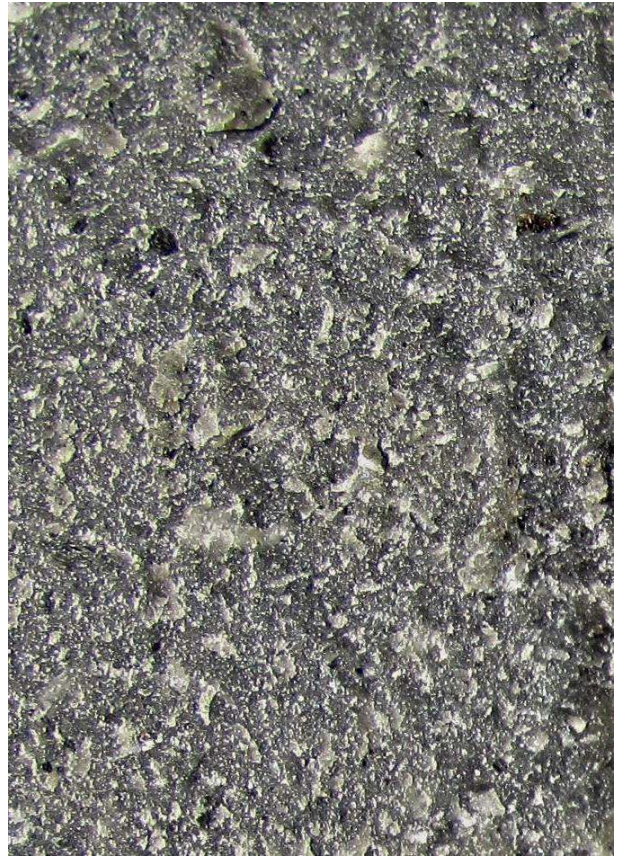
**Obr. 7** Kaolinické navětrání  
povrchu sklovitého porfyru,  
způsobuje zvýšenou měkkost  
povrchu oproti vnitřku vzorku





**Obr. 8** Hrubozrnný porfyr z výchozu intruze obrostlý mechem

**Obr. 9** Sklovitá struktura drobnozrnného porfyru



**Obr. 10** Sklovitý porfyr je obarvený do hloubky 1 až 2 cm železitými roztoky, vnějšek je také kaolinizován



**Obr. 11a** Mýtina pravděpodobně se hřbetem porfyrové žíly

**Obr. 11b** Zkoumání výchozu porfyrové intruze

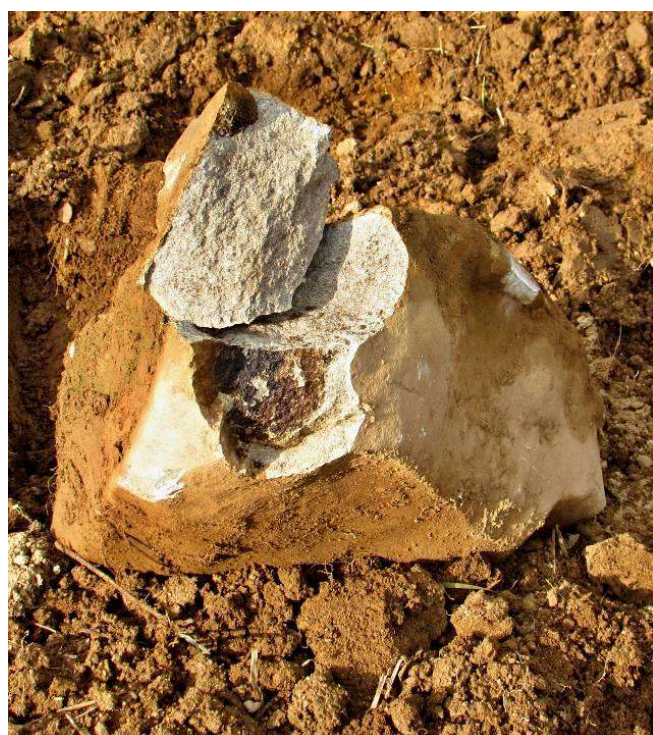


**Obr. 12** Kaolinické navětrání povrchu hrubozrnného porfyru je 0,5 až 1 cm hluboké



**Obr. 13**  
Výchoz  
porfyrové  
intruze

**Obr. 14** Výchoz porfyrové intruze



**Obr. 15** Ryolit v ornici na poli



## 2.2. Makroskopický výzkum

Posuzovala jsem zrnitost hornin, textury, zastoupení nerostů, zvětrání, velikost a obsah vyrostlic živce a hexagonálního křemene, a prováděla jsem fotografickou dokumentaci makrozorků. Vyhledávala jsem vzorky charakterizující výskyt horninotvorných nerostů a jejich zvláštnosti, a porovnávala jsem je se sopečnými produkty jiných lokalit.

## 2.3. Zhotovení petrografických výbrusů

Petrografické výbrusy jsou velice tenké proužky zkoumané horniny, nalepené mezi podložní a krycí sklíčka, které se dají prosvítit a pozorovat pod mikroskopem. Tyto výbrusy jsem nejprve zhotovovala a následně pozorovala a fotografovala pod mikroskopem.

Výbrusy jsem zhotovovala s pomocí pana J. Zbirovského, pracovníka geologické laboratoře URGA, s.r.o. v Olomouci v rámci týdenní výukové stáže v této firmě. Proces zhotovení probíhal následujícím způsobem:



**Obr. 16** Nařezání výbrusových kostek (3 x 2,2 cm) z geologického materiálu, které se po zabroušení budou lepit na podložní sklíčka

**Obr. 17 a 18** Příprava výbrusových kostek na lepení: výbrusové kostky se nahrubo vybrousí na kotouči s brusivem 400, dobroušení probíhá na skle s brusivem 800 (brusivo je karbid křemíku)



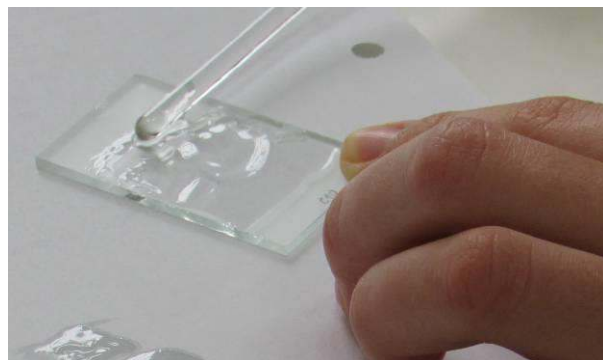


**Obr. 19** Vybroušené kostky se nahřejí na temperované plotýnce při teplotě 50 – 60°C, teplota nesmí být příliš vysoká, aby nedošlo k poškození minerálů

**Obr. 20 a 21** Vakuování: výbrusové kostky se na jedné straně pokryjí napouštěcí/lepící hmotou, Araldite 2020, která má stejný index lomu jako sklo; poté se impregnované výbrusové kostky vloží do exsikátoru s vývěvou, v němž se odeberou vzduchové bublinky z výbrusových kostek



**Obr. 22 a 23** Horní vrstva lepící hmoty se nejprve setře, aby se odstranily exsikátorem vytažené bublinky, poté se nanese nová vrstva lepidla a následuje lepení výbrusových kostek na lihem očištěné podložní sklíčka



**Obr. 24 a 25** Nalepené výbrusové kostky se nechají 24 hodin ztvrdnout na temperované plotýnce při 55°C (lepící hmota tuhne při 55°C)



**Obr. 26** Vytvrzený preparát se seřízne na tloušťku 1 mm a je očištěn od zbytku lepidla, následné hrubé broušení se provádí na brusných kotoučích, to ztenčí výbrus na cca 0,5mm



**Obr. 27** Jemné broušení: ztenčí výbrus až na 0,03mm, provádí se na sklech se vzestupně jemným brusivem (800 -> 1000 -> 1200); dostatečná tloušťka výbrusu je zjištěna pomocí polarizačního mikroskopu, kde je pozorována barva a zhášení minerálů, především pomocí křemene, který při požadované tloušťce (0,03mm) je v polarizovaném světle citrónové žlutý

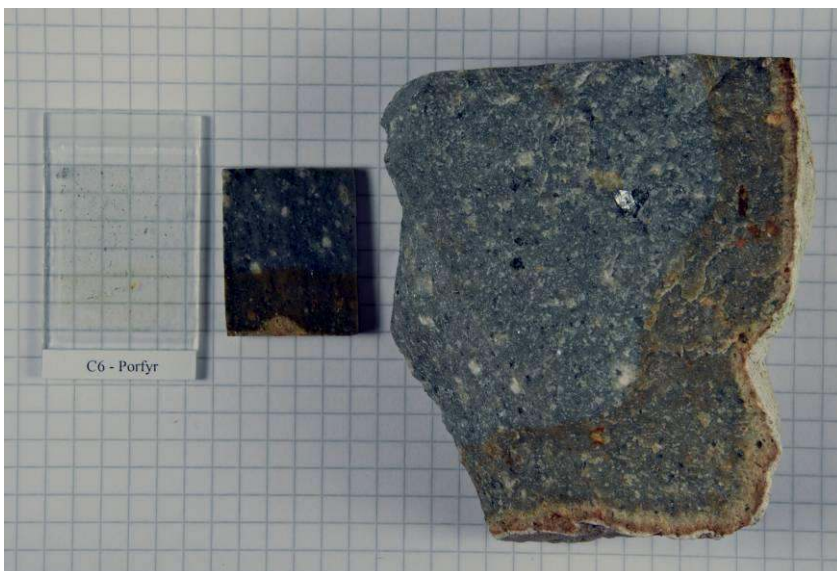
**Obr. 28** Hotový preparát je zakryt krycím sklíčkem, které je přilepeno Aralditem 2020 a následuje 24hodinové vytvrzení při teplotě 55°C



**Obr. 29** Výsledkem je petrografický krytý výbrus



**Obr. 30** Zprava vzorek C6, výbrusová kostka a petrografický výbrus. Celkem bylo zhotoveno 13 výbrusů, sama jsem zhotovila dva výbrusy vzorků C5 a B9. Doba zhotovení jednoho výbrusu představuje zhruba 72 hodin.



## 2.4. Mikroskopický výzkum

Zkoumala jsem 13 výbrusů hornin v polarizačních mikroskopech v geologické laboratoři URGA, s.r.o. v Olomouci (polarizační mikroskop Olympus BX51) a v Jihočeském muzeu v Českých Budějovicích (biologický mikroskop Olympus CX40 s přidanými polarizátory). Výbrusy jsem pozorovala při různých zvětšeních, určovala jednotlivé minerály a zajímavé oblasti fotografovala. Jednotlivé výbrusy i s původními vzorky jsou uvedeny v přílohách.



**Obr. 31** Olympus CX40, biologický mikroskop v Jihočeském muzeu s nástavcem na fotoaparát, zrcadlovka Olympus E-500 s dálkovým infračerveným ovládáním (dole před mikroskopem).

## 2.5 Stanovení chemického složení žil metodou XRF

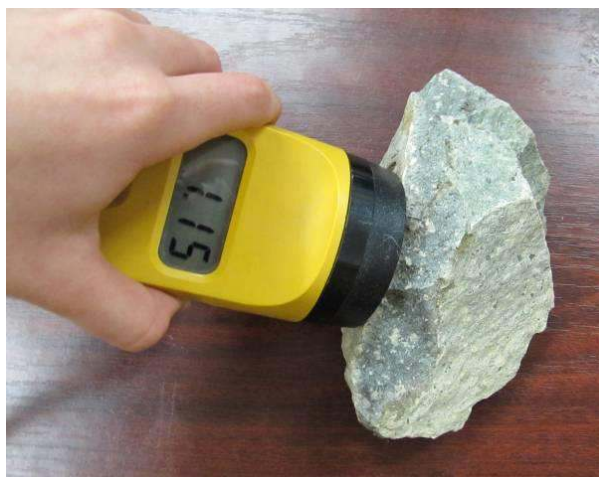
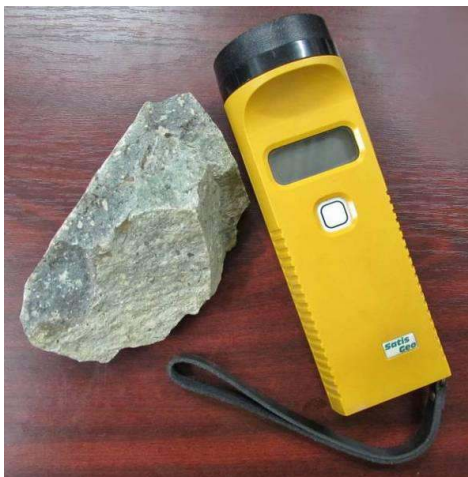
XRF nebo-li rentgenfluorescenční analýza (x-ray fluorescence analysis) využívá rentgenové záření ke zjištění prvků v daném předmětu za pomoci vlnových délek odrazu. Přístrojem Delta jsem metodou rentgenfluorescenční analýzy stanovovala obsah hlavních prvků v kusových preparátech porfyrů seříznutých na rovnou plošku, toto měření jsem prováděla v rámci týdenní stáže s pomocí Ing. P. Krista, pracovníka geologické laboratoře URGA, s.r.o. v Olomouci. Přístroj Delta byl upevněn k fixačnímu stolečku, jehož součástí byl i kryt, který odstiňoval přebytečné záření vycházející z přístroje. Hodnoty měření v podobě procent byly převedeny do grafické podoby, která zobrazovala tendence různých vzorků. Využila jsem korespondenční analýzu k sestavení grafů v programu PAST (Paleontological Statistics).



**Obr. 32** Přístroj Delta s fixačním stolečkem a se vzorkem C6

## 2.6. Měření magnetické susceptibility

Magnetická susceptibilita je fyzikální veličina, která vyjadřuje chování materiálu v magnetickém poli, v tomto případě vyjadřuje poměr magnetizace vzorků vůči vnějšímu magnetickému poli. Jak silná je magnetizace, či v jakém stupni je vzorek "magnetický" lze měřit kappametrem. V našem případě jsem zjišťovala magnetismus kyselých vulkanitů, který je nejspíše způsoben magnetitem. Měřila jsem magnetickou susceptibilitu kappametrem KT-6, ten udává hodnotu v  $n \cdot 10^3$  SI (A/m) s citlivostí  $\kappa = 10^{-5}$ . Přístroj se přiloží na nejrovnější plochu vzorku a spustí se, po chvíli se na displeji načte hodnota magnetismu daného vzorku. Následně jsem ze zjištěných hodnot zhotovila histogram.



**Obr. 33 a 34** Kappametr během měření se vzorkem 11

### 3. Zjištěné výsledky

#### 3.1. Mikroskopická charakteristika minerálů v porfyrech

**Tabulka 1** Výskytu minerálů

MINERÁL	TEORETICKÝ VZOREC	VÝSKYT
Křemen	Křemen utržený ( $\text{SiO}_2$ )	Ano
	Křemen hexagonální ( $\text{SiO}_2$ )	Ano
Živec	Plagioklas anorthit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )	Ne
	Plagioklas albit /oligoklas ( $(\text{Na,Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ )	Ano
	Ortoklas ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )	Ano
Biotit	Biotit ( $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$ )	Ano
Pyrit	Pyrit ( $\text{FeS}_2$ )	Ano
Apatit	Apatit ( $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$ )	Ano
Zirkon	Zirkon ( $\text{ZrSiO}_4$ )	Ne
Chlorit	Chlorit ( $(\text{Mg,Fe})_6(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ )	Ano
Kaolinit	Kaolinit - kaolinizace živců ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ )	Ano
Epidot	Epidot ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{FeOSiO}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})$ )	?

### 3.1.1. Křemeny

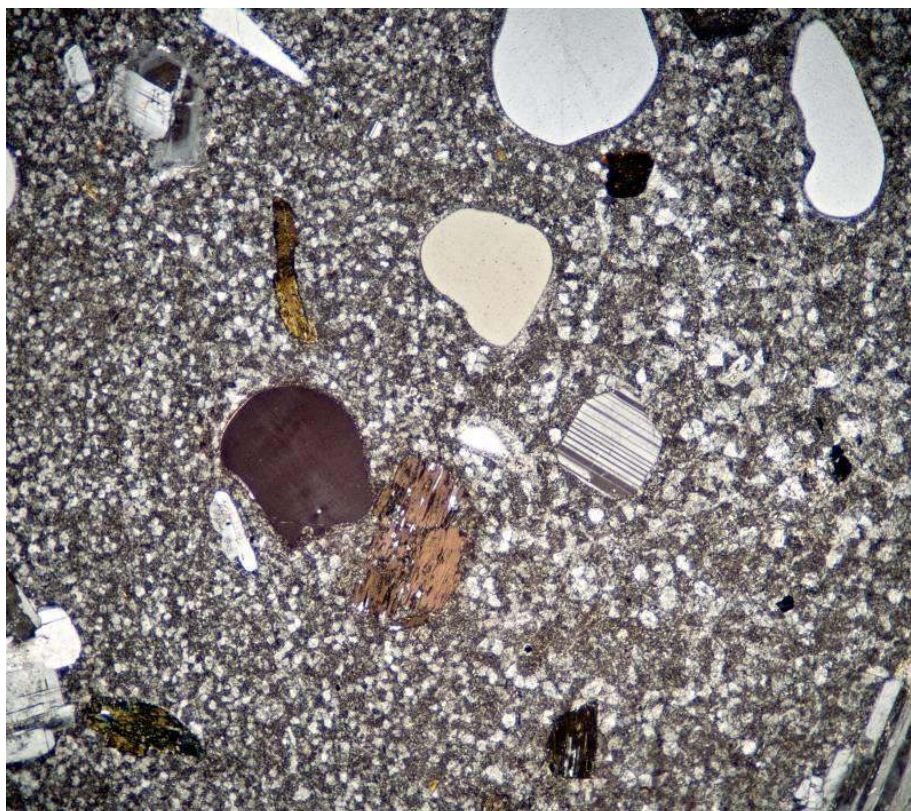
V polarizovaném světle mikroskopu zháší krystalky křemenů do tmavě hnědé, šedé, v tomto případě mají i značnou undulózitu. V mikroskopických preparátech jsem pozorovala dva druhy křemenů.

První typ křemene představuje součást porfyrů s největším zastoupením  $\text{SiO}_2$ . Jedná se patrně o křemenné uzavřeniny utržené z okolních hornin a otavené do kulovitých útvarů v magmatu. Uvnitř těchto křemenů jsem pozorovala zachované šokové projevy obdobné křemenům přisuzovaným Českému kráteru (Rajlich 2014). Uvedený křemen se vyskytuje v horninách velmi jemnozrné, felzitické stavby (obr. 35 a 40).

Druhý typ křemene má vlastní hexagonální krystalový tvar a představuje beta křemen vykrystalizovaný z magmatu. Tento typ křemene jsme pozorovali pouze v makrovzorcích (obr. 42). Na jeho vznik z magmatu poukazuje jeho výskyt v celkově vykrystalizovaných porfyrech, kde je normální horninovou součástí.

#### 3.1.1.1. Křemen uzavřenin

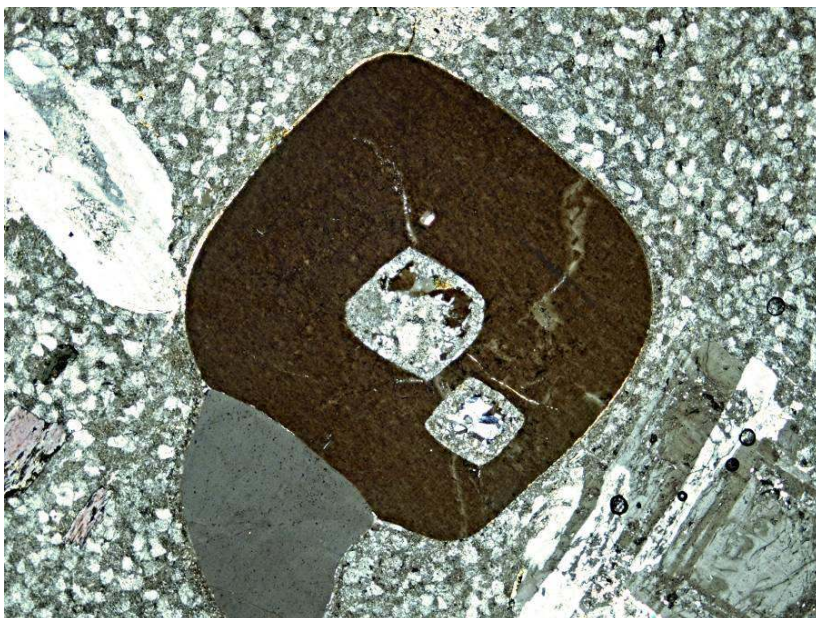
V petrografických výbrusech křemeny obsahují křížící se pásy kavitačních dutinek, takže se pravděpodobně jedná o šokové křemeny z okolní horniny. Většina porfyrů a ryolitů z okolí Benešova nad Černou, které mají vyšší obsah křemene, obsahuje poškozená křemenná zrna z okolních hornin. Především se jedná o drobnozrné horniny, které kompletně nevykrystalizovaly. Křemeny také vykazují známky otavení, a protože vznikají při teplotách okolo  $560^\circ\text{C}$ , magma muselo mít vyšší teplotu.



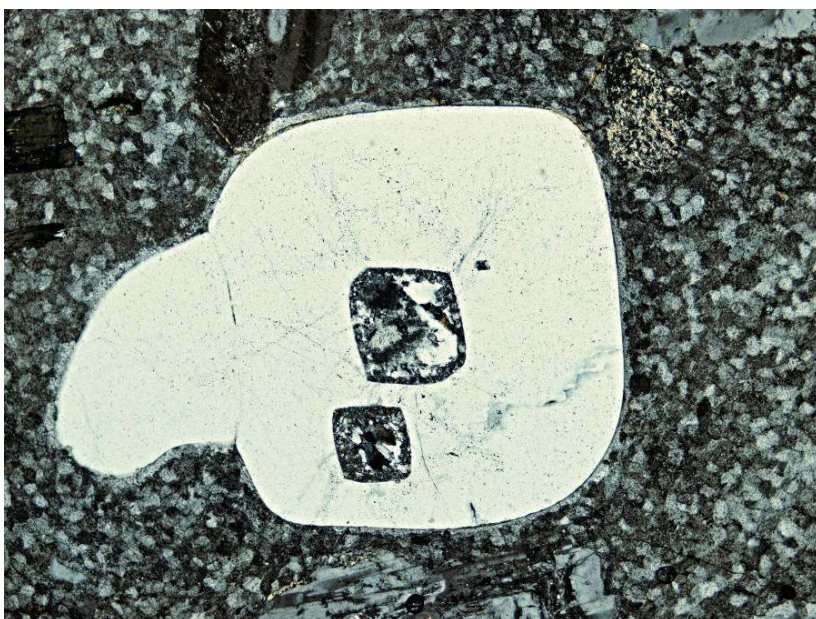
**Obr. 35** Magma mohlo být mírně explozivní, což vedlo k rozdrčení horniny v hloubce a vzniku velkého množství otavených zrn, jaké například na obrázku vlevo vidíme zatavené do sklovitého porfyru. Vzorek B9 při zvětšení 25x.



**Obr. 36** Toto zrna křemene je šokové (pásky). Vnitřní šokové štěpné roviny se pod mikroskopem jeví jako tenké pásky bublinek, tedy kavitačních dutinek, které vznikly někdejším šokem. Křemen má otavené hrany, a také se nachází mezi drobnozrnnou základní hmotou. Vzorek B9 při zvětšení 50x.



**Obr. 37** Křemen je undulózní a velice otavený, vyskytuje se v drobnozrnné základní hmotě spolu s dalšími utrženými krystaly. Vzorek B9 při zvětšení 50x.



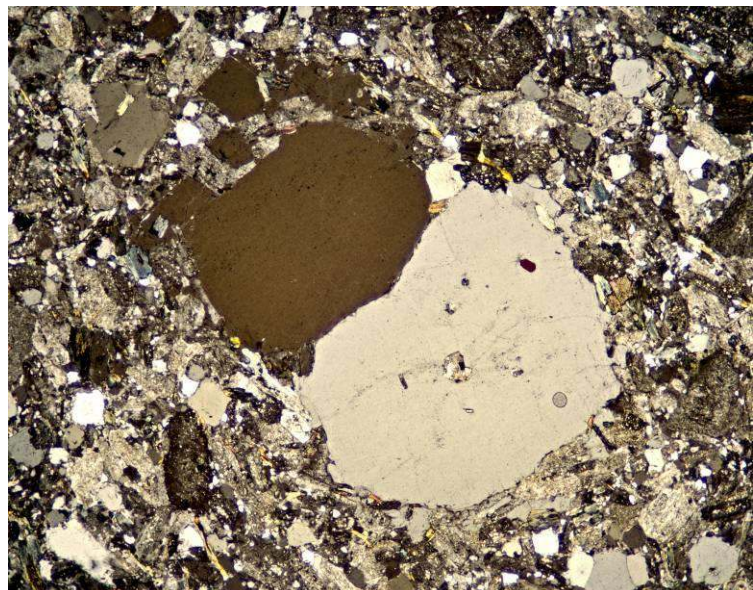
**Obr. 38** Stejný krystal po otočení o 90° v polarizačním světle, také vykazuje známky šoku v podobě kavitačních dutinek. Vzorek B9 při zvětšení 50x.

**Obr. 39** Otavený křemen v drobnozrnné základní hmotě. Magma muselo mít mnohem vyšší teplotu než 560°C (teplota krystalizace křemene), protože krystal absolutně postrádá své hrany. Vzorek 19 při zvětšení 50x.



**Obr. 40** Otavené a poškozené křemeny po přenosu magmatem během subvulkanických procesů v drobnozrnném ryolitu vzorku 16.

**Obr. 41** Undulózní krystaly křemene, které jsou podrcené pravděpodobně od přenosu magmatem. Základní hmota je kolem krystalu stlačena, vzorek C5 při zvětšení 25x.



### 3.1.1.2. Hexagonální (beta) křemeny

Hexagonální křemeny vznikají při teplotě 560°C a představují významný indikátor teplot, za kterých vznikaly porfyrové žíly, jelikož je většina z nich mírně otavená, znamená to, že křemeny vykryštovaly a následně byly mírně otaveny novým přívalem magmatu a poté zataveny do tuhnoucí hmoty porfyru. Hexagonální křemeny se nacházejí v porfyrech s pokročilejší krystalizací, takže v hornině, která celá vykryštovala, nevyskytují se například v námi studovaných ryolitech.



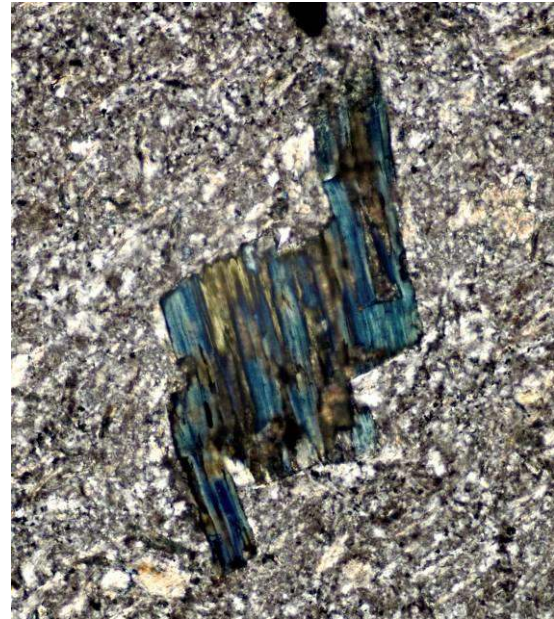
**Obr. 42** Hexagonální křemen ve vzorku 09, nachází se v hrubozrnném porfyru a je velmi pravidelný, takže měl dostatečnou teplotu, podmínky a čas na krystalizaci.



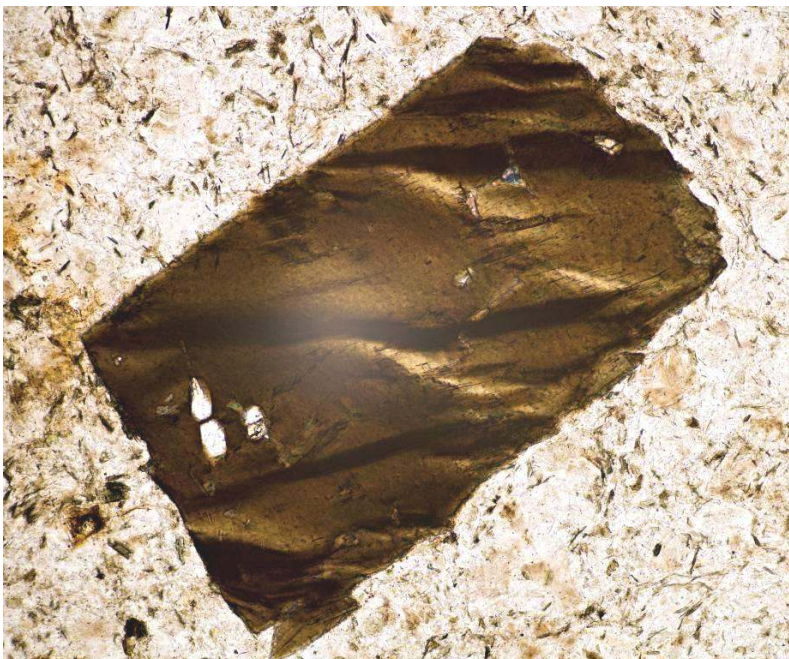
**Obr. 43** Hrubozrnný porfyr s krystalem hexagonálního křemene, vzorek 09.

### 3.1.2. Biotit

Vyrostlice biotitu se v porfyrech vyskytují ve dvou formách, a to v šesterečných krystalech jednoklonné soustavy a v lištách. Ztrátou železa z biotitu v závěru magmatické fáze vzniká špinavě zelená až čistě zelená slída, pravděpodobně chlorit. Na petrografických výbrusech v polarizovaném světle zháší do zelené, modré a hnědé, některé lištovité krystaly jsou potřhané, což naznačuje, že by se mohlo jednat o utržený biotit z okolních migmatitů, popřípadě včasné vytvořený biotit deformovaný při dalším pohybu tuhnoucí taveniny.

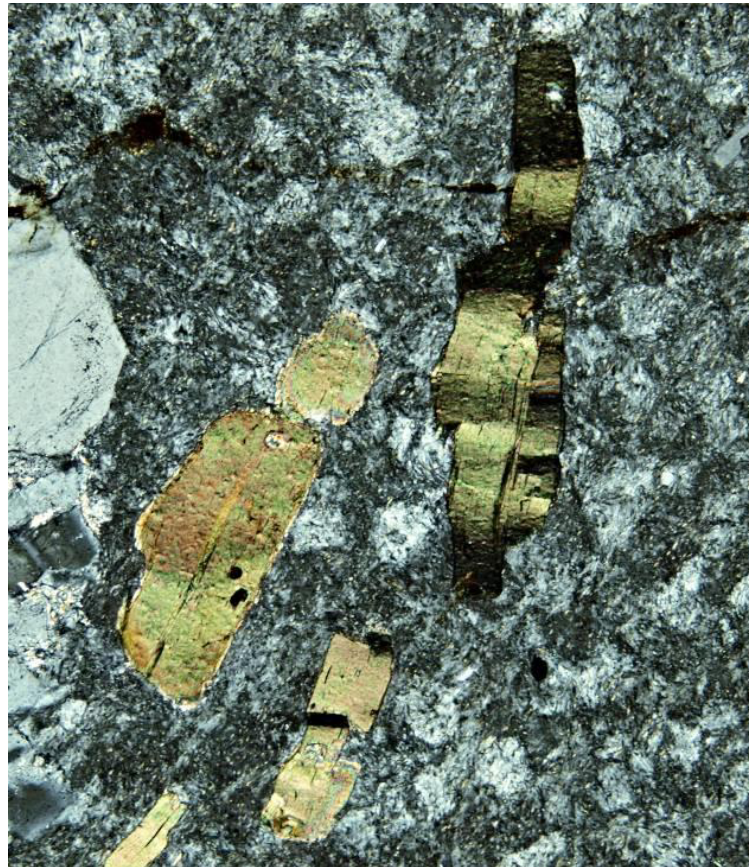


**Obr. 44 a 45** Deformovaný, chloritizovaný biotit v drobnozrnném ryolitu. Biotit při pootočení o 90° v polarizovaném světle zháší do modra (vpravo). Vzorek B při zvětšení 200x.



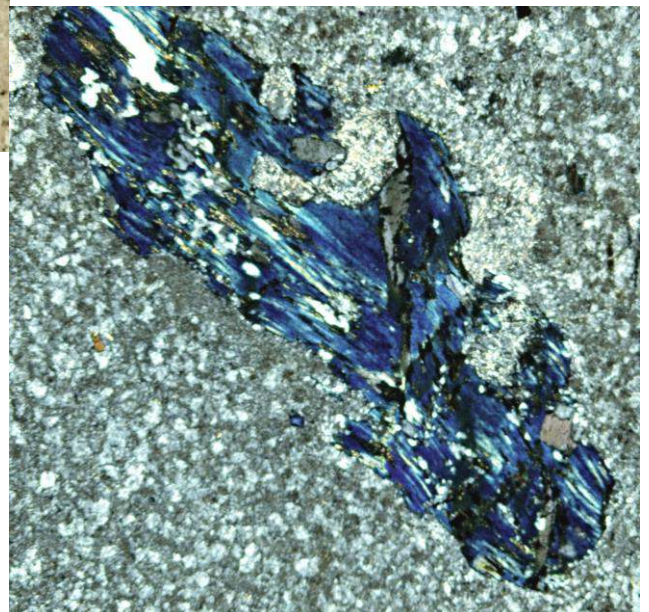
**Obr. 46** Deformovaný biotit v drobnozrnné základní hmotě. Vzorek F při zvětšení 100x.

**Obr. 47** Biotit v drobnozrnném porfyru vykazuje značnou deformaci a zakřivení způsobené patrně během přenosu magmatem. Vzorek B9 při zvětšení 100x.



**Obr. 48** Potrhaný chloritizovaný biotit v drobnozrnném ryolitu. Minerál má typickou nazelenalou barvu v normálním (nepolarzovaném) světle. Opakní zrna představují pravděpodobně ilmenit vyloučený při chloritizaci biotitu. Vzorek B9 při zvětšení 50x.

**Obr. 49** Stejný minerál ale v polarizovaném světle zháší undulózně do modré barvy a místy do hnědé. Vzorek B9 při zvětšení 50x.



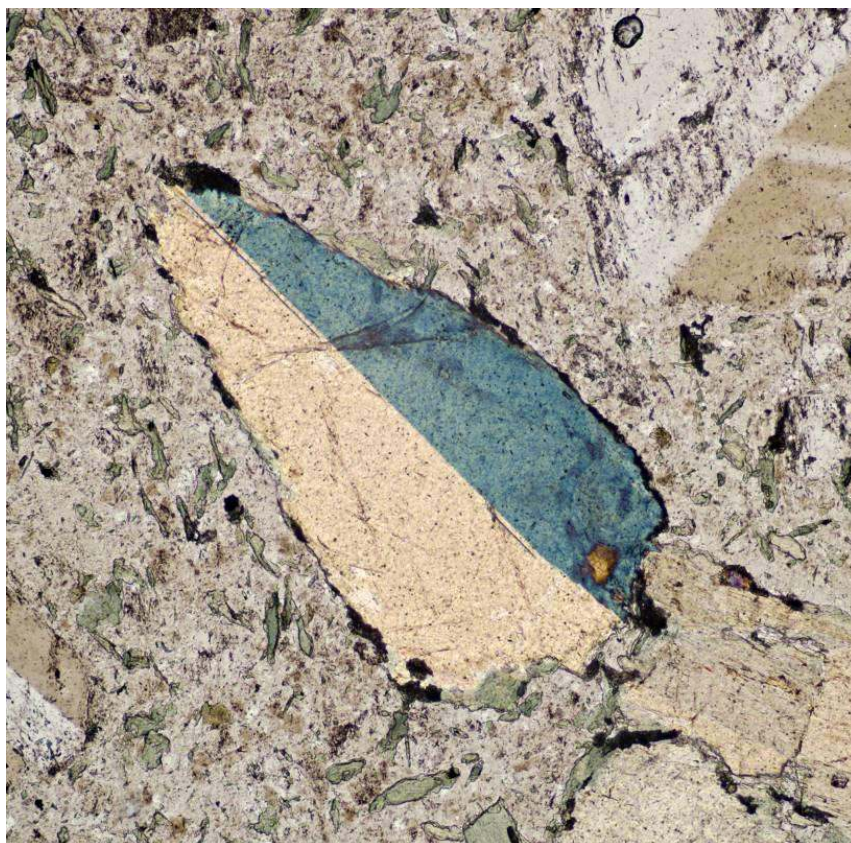
### 3.1.3. Živec

Živcové vyrostlice mají značně proměnlivou velikost podle zrnitosti základní hmoty (matrix). Nejmenší jsou v jemnozrnných až velmi jemnozrnných vzorcích, které by mohly představovat původní sklovité okraje žil. Větší vyrostlice živců jsou pohlcené z okolních hornin, protože se většinou nachází v matrixu s menšími vyrostlicemi. Jejich přítomnost je dokazována bílým kaolinickým navětráním.

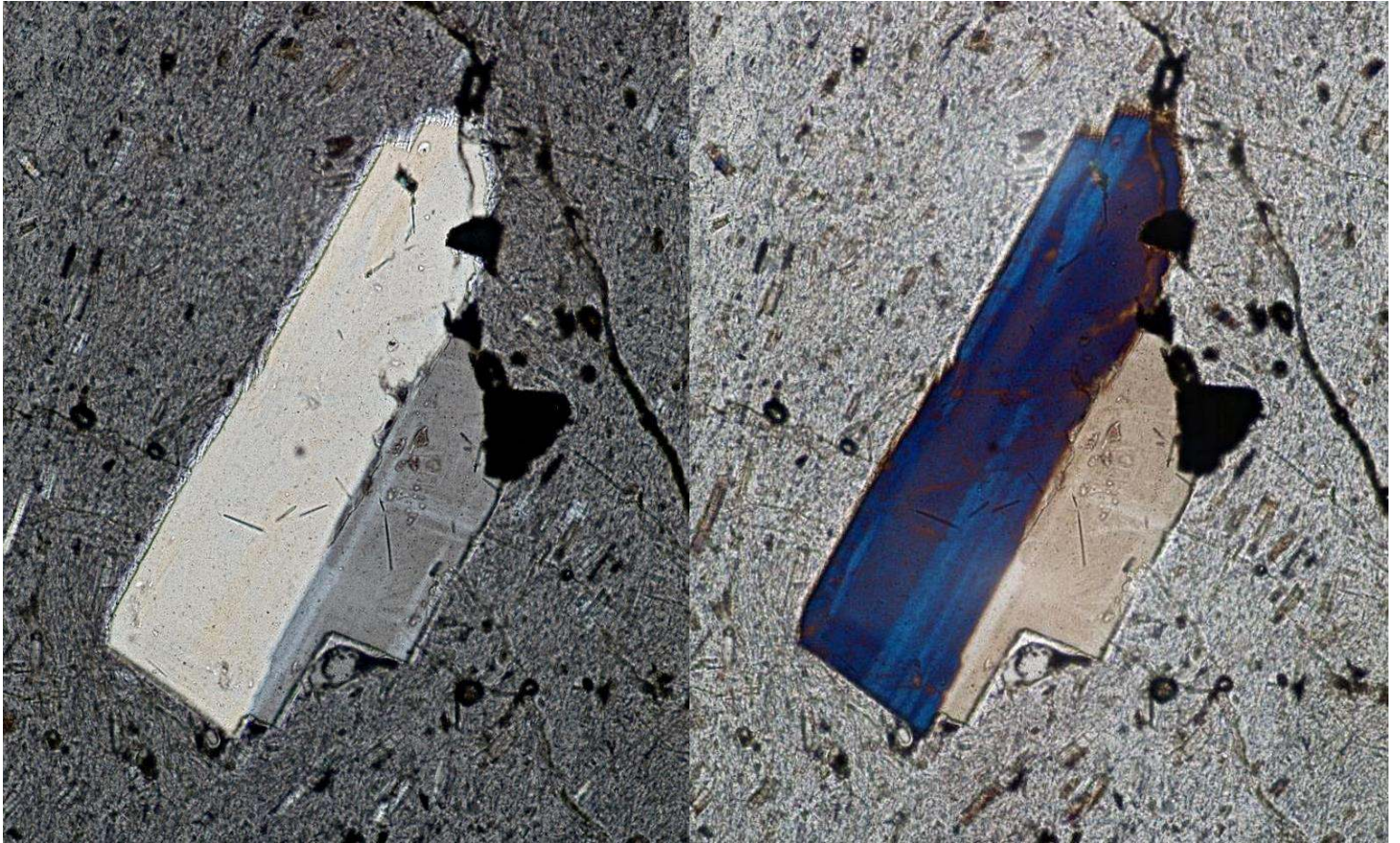
V porfyrech se vyskytují jak draselné živce, tak i plagioklasy. V polarizačním světle pod mikroskopem jsou zbarveny do různých odstínů šedé a hnědé, viditelné jsou i odlišné úhly (zákonitosti) srůstu jak podle albitového, karlovarského, tak i dalších zákonů. Částečné navětrání se projevuje v duhových vlnkách narušujících stavbu vyrostlice. Kaolinizace živců způsobuje bělavé zbarvení horniny a její změkčení.

#### 3.1.3.1. Sanidin

Sanidin je draselný živec, který neobsahuje znaky zonálnosti a lamelování, není polykrystalický, a z dvojčatění je pouze ze dvou krystalů, které mají v petrografických výbrusech jasné zhášení a ohraničení. Časem se sanidin může přeměnit na ortoklas a poté i na mikroklin, ale chemické složení minerálu se během přeměny nemění. Přítomnost sanidinů a draselných živců dokazuje, že subvulkanické intruze musely utuhnout ve velice chladném prostředí v blízkosti povrchu. Stejně jevy, spolu se sférolity (viz 3.1.3.4. Sférolity), se vyskytují v porovnávacím vzorku obsidiánu z lokality Obsidian Dome, Kalifornie, USA, který vznikl při prudkém ochlazení magmatu v blízkosti povrchu.



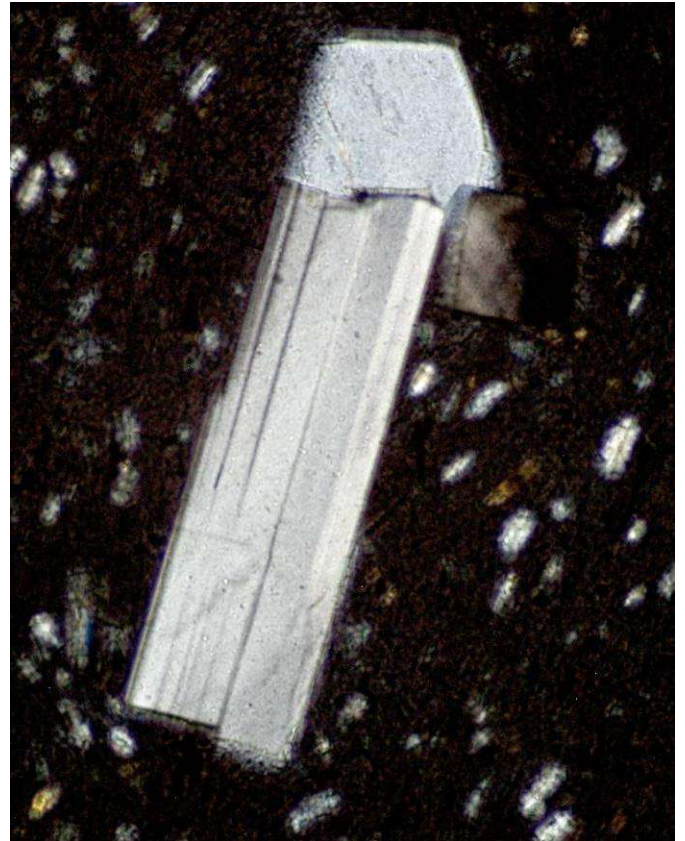
**Obr. 50** Sanidin má velice čistý srůst ze dvou krystalů a většinou není zonální. Vzorek D při zvětšení 100x.



**Obr. 51a a 51b** Srostlý krystal sanidinu z porovnávacího vzorku obsidiánu, z lokality Obsidian Dome, USA. Obrázek vpravo je pootočený v polarizačním světle o 90°. Vzorek C20 při zvětšení 100x, panorama ze 2 snímků.



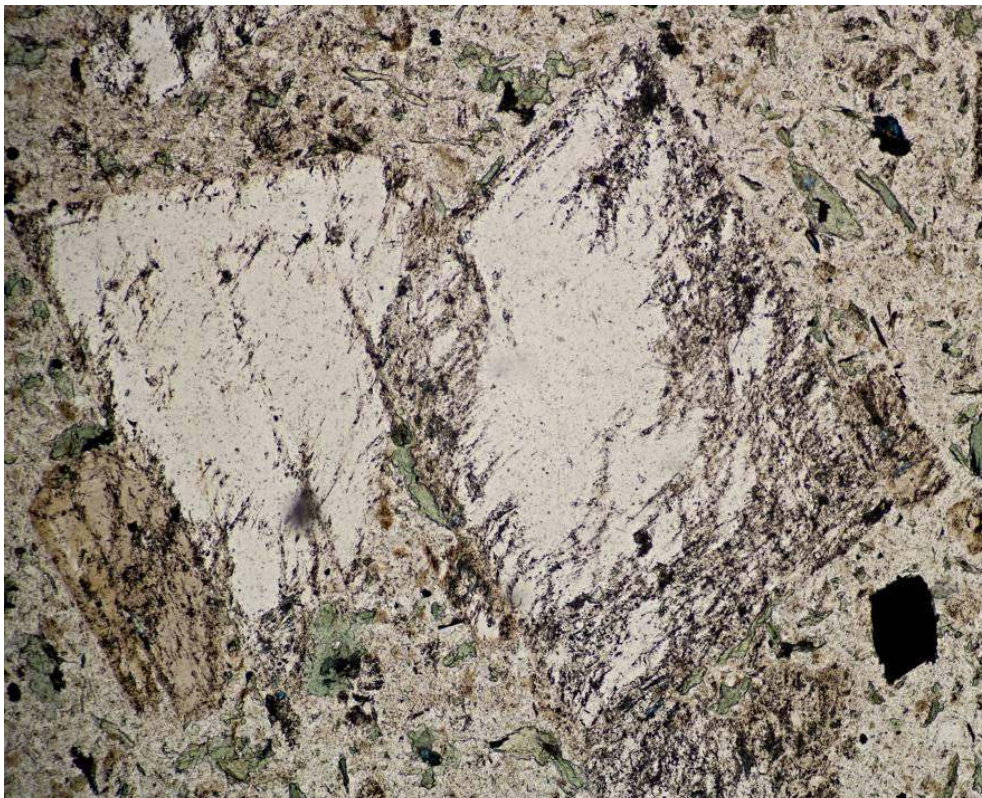
**Obr. 52** Srostlice sanidinu v porovnávacím vzorku obsidiánu. Undulozita v prostřední části srostlice je důkaz pozvolného měnění sanidinu na draselný živec. Vzorek C20 při zvětšení 200x, panorama z 9 snímků.



**Obr. 53a a 53b** Sroslice sanidinu v obsidiánu z lokality Obsidian Dome, USA. Vzorek C20 při zvětšení 200x.

### 3.1.3.2. Ortoklas

Draselný živec ortoklas vzniká přeměnou sanidinu a podléhá kaolinickému zvětrání, což pak způsobuje měkkost horniny. V mikroskopu nemá příliš zřetelné ohraničení, srůstá podle karlovarského zákona a na rozdíl od sanidinu je undulózní.

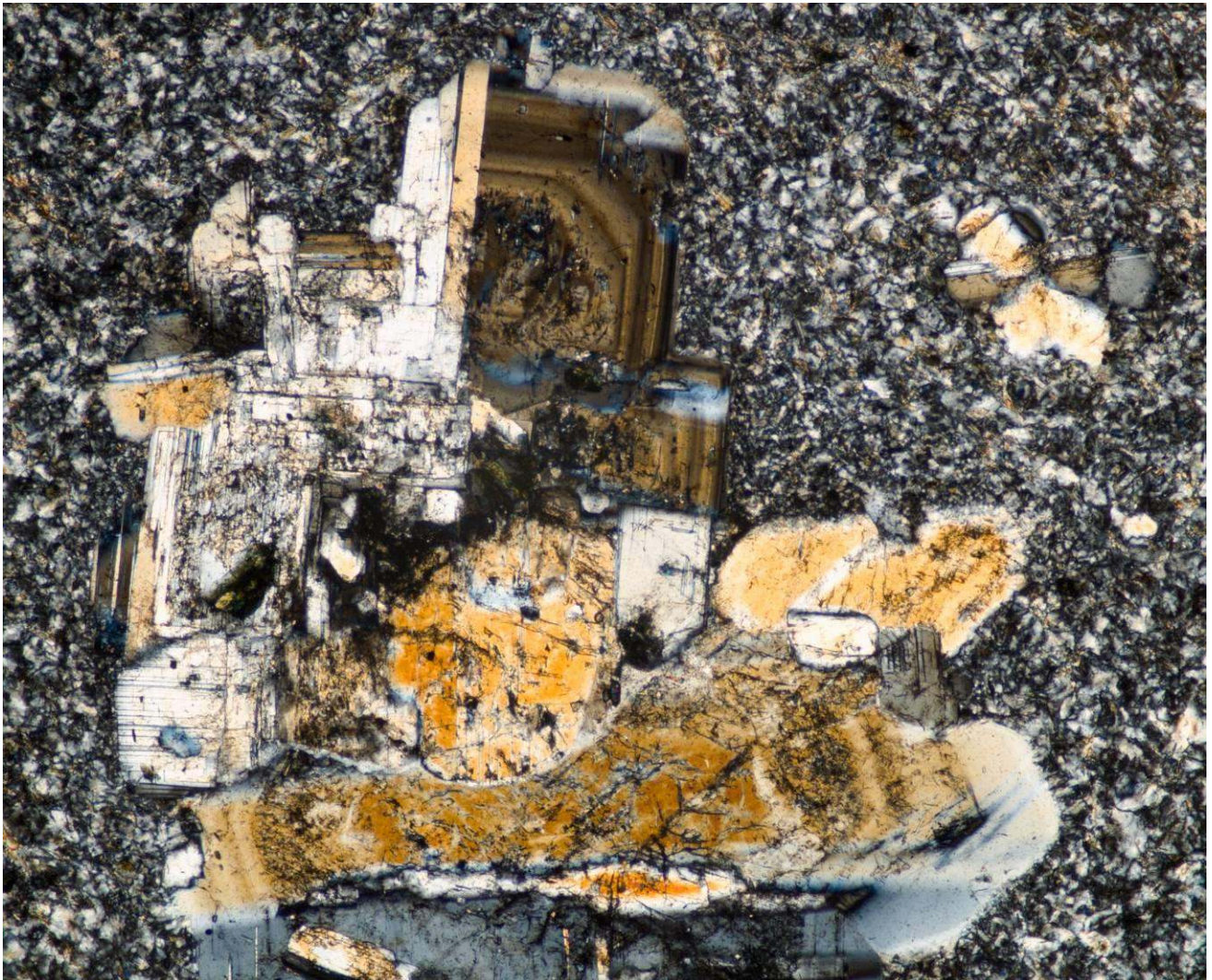


**Obr. 54** Jednotlivé části ortoklasových sroslíc zháší v polarizačním světle odlišně od sebe, vzorek D při zvětšení 100x.



### 3.1.3.3. Mikroclin

Mikroclin je draselný živec, který vzniká přeměnou ortoklasu po jeho přeměně ze sanidinu. V mikroskopu je poznat podle pravoúhlého lamelování, které je pro něj typické.



**Obr. 55** Prorostlice mikroklinu (světlá oblast vlevo) a plagioklasu (hnědá, undulózní oblast vpravo) ve velmi jemnozrnném ryolitu. Vzorek F při zvětšení 50x.

**Obr. 56** Mikroclin s typickým pravoúhlým lamelováním ve vzorku F při zvětšení 50x.

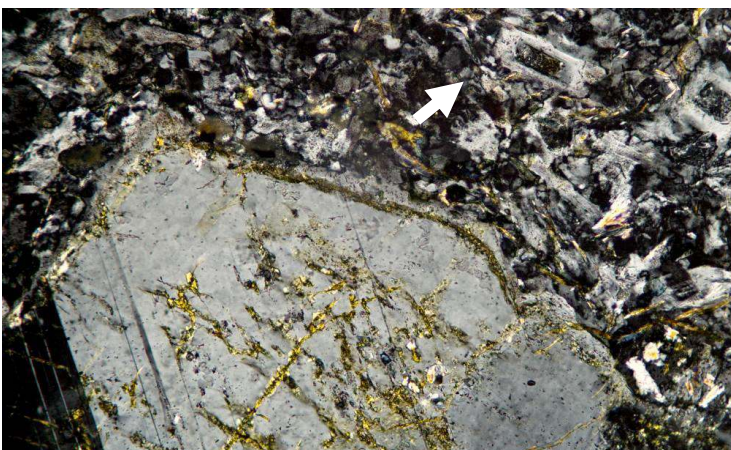


#### 3.1.3.4. Plagioklas

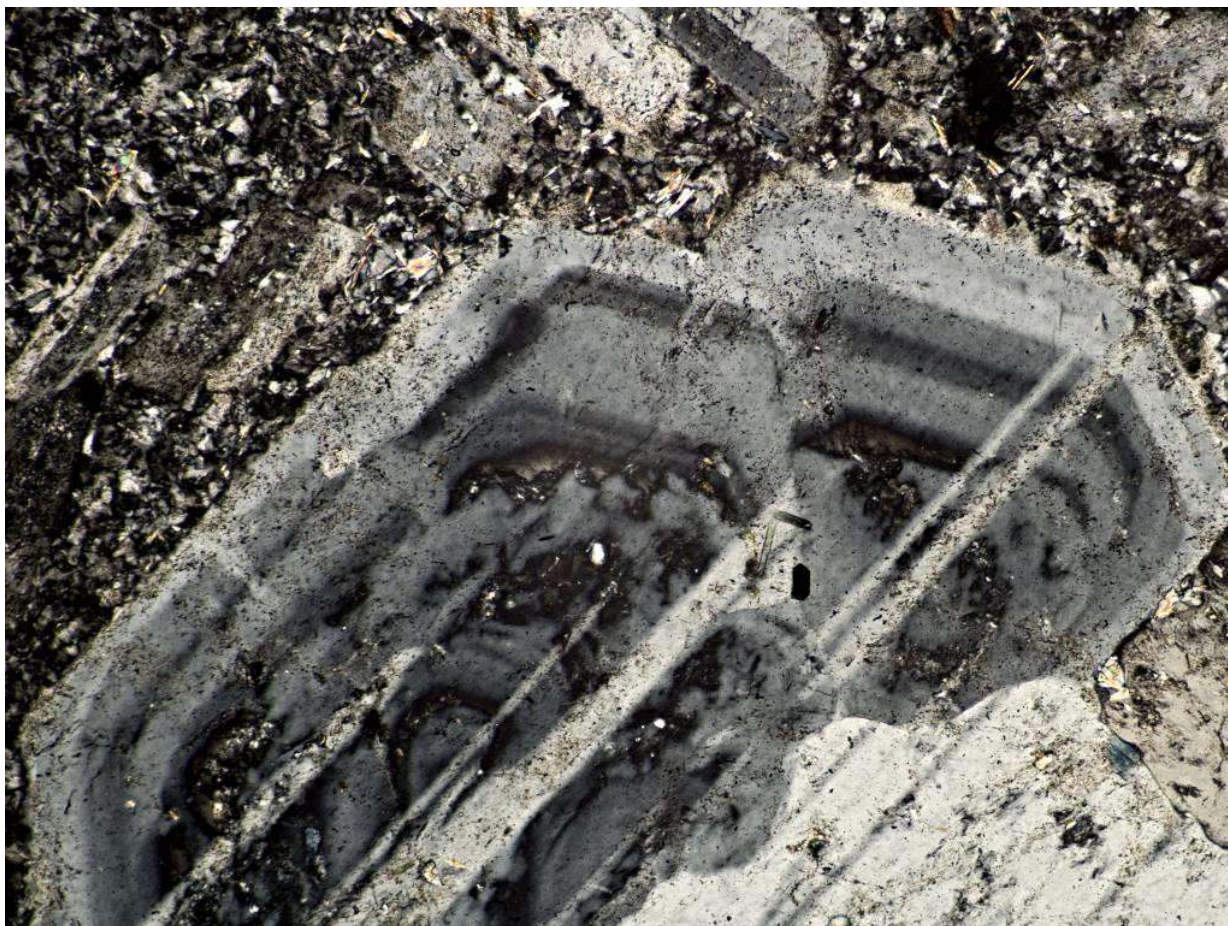
Plagioklasy jsou sodné nebo vápenné živce, které mohou srůstat podle mnoha zákonů, jsou polysyntetické a podléhají kaolinizaci. V polarizačním světle mikroskopu jsou velmi zonální a undulózní. Ve studovaných vzorcích je jejich stavba mnohdy narušená kaolínem vznikajícím jejich větráním, počátky kaolinizace probíhají hlavně podél prasklin.



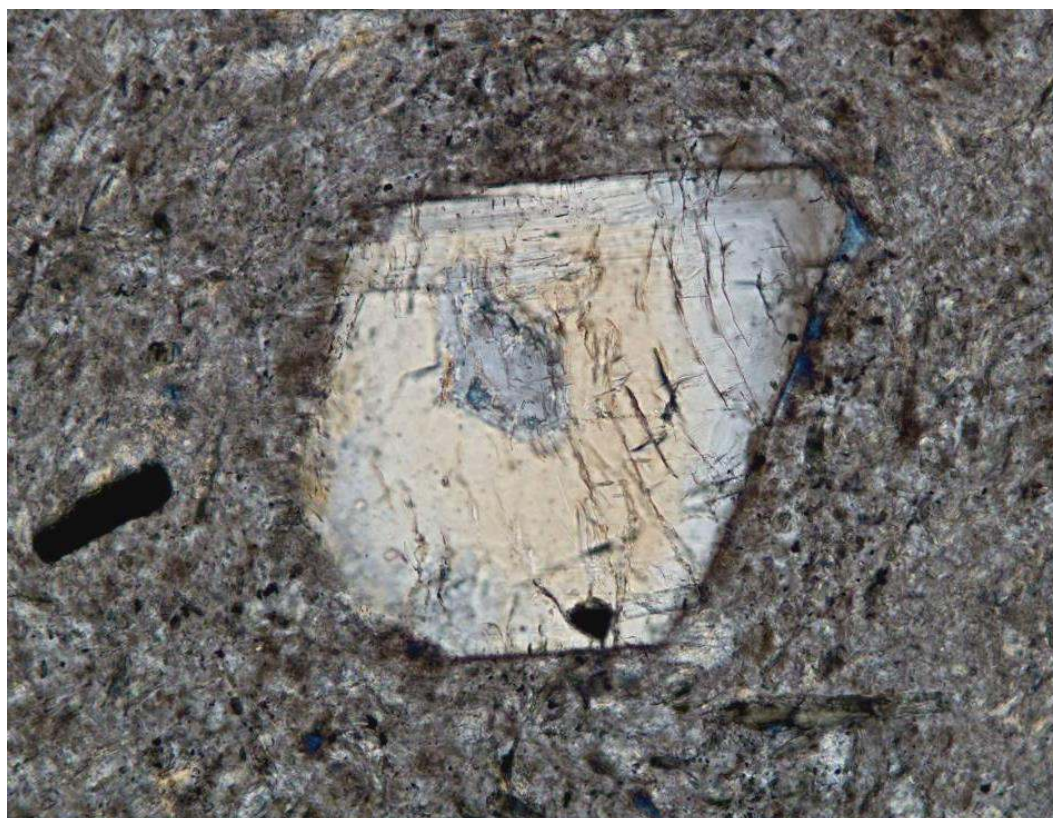
**Obr. 57** Vzorek C6 má proželezněnou vrstvu na svrchní části pronikající cca 1 až 2 cm do hloubky (oranžové obarvení sklovitého ryolitu), fotografie výbrusu z tohoto vzorku je z proželezněné části a je vidět, že se oranžové zbarvení, které je způsobeno železitými roztoky, šíří podél prasklin oslabených a změkčených kaolinizací. Vzorek C6 při zvětšení 100x, složené panoráma z 9 snímků.



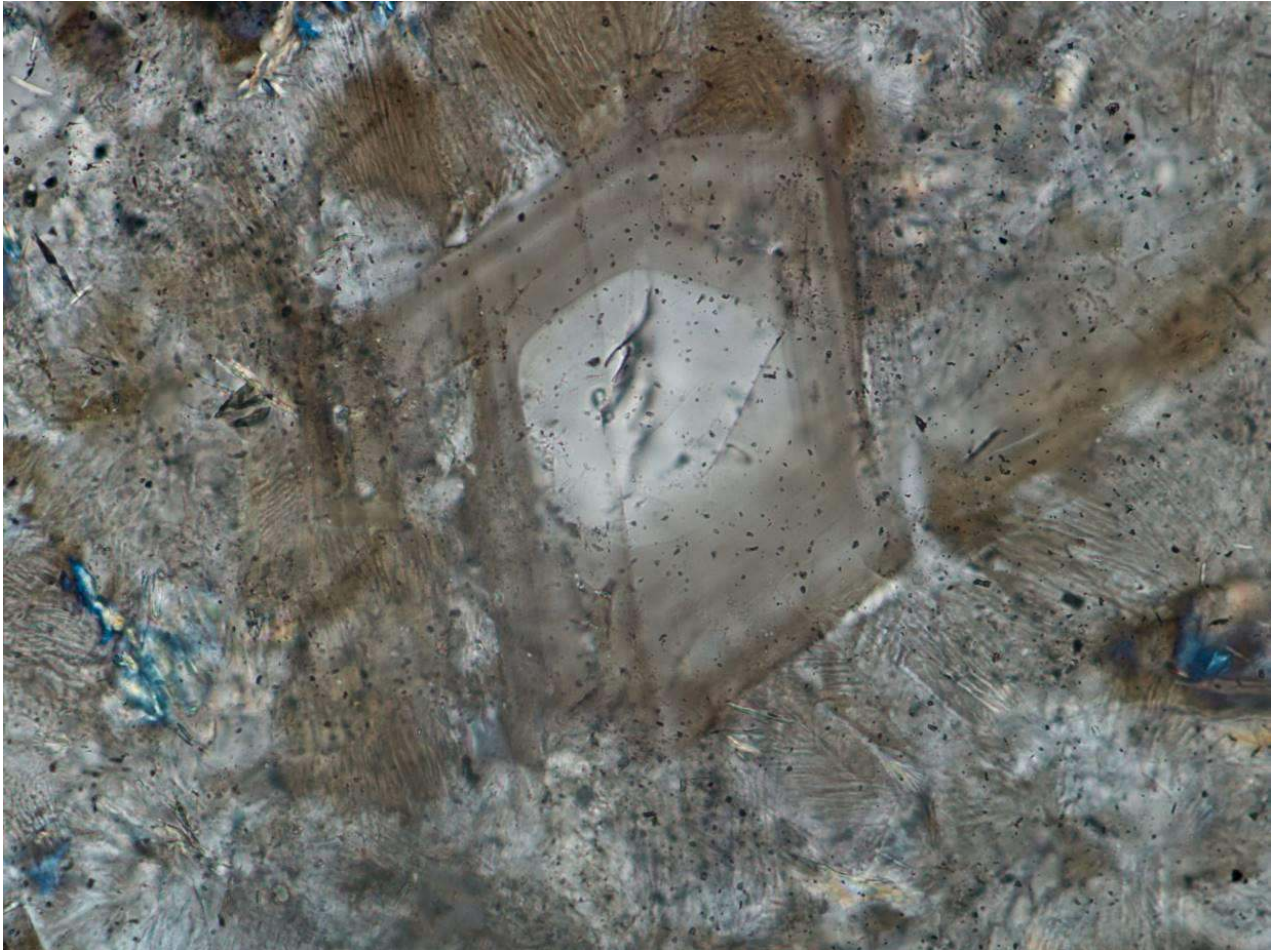
**Obr. 58** Horní část srostlice s větším přiblížením, v základní hmotě se nachází drobné živce s dutinkami. Srostlice byla pohlcená z okolní horniny a proto se nachází v jemnozrnné základní hmotě. Vzorek C6 při zvětšení 200x.



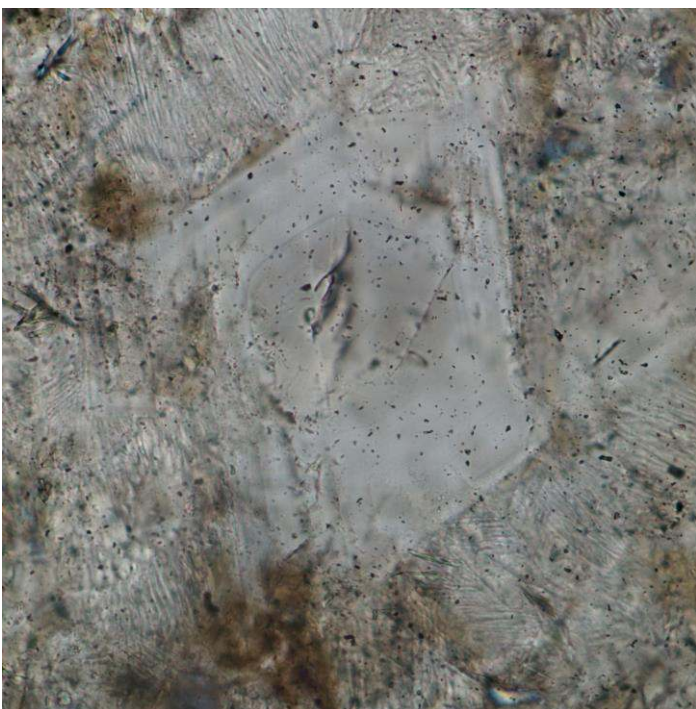
**Obr. 59** Srostlice plagioklasů vykazuje značnou zonálnost a undulozitu danou srůsty, nachází se v jemnozrnnějším matrixu, takže se jedná o pohlcenou vyrostlici. Vzorek 19 při zvětšení 100x.



**Obr. 60** Vyrostlice obsahuje dutinku křemene, vzorek B při zvětšení 200x.



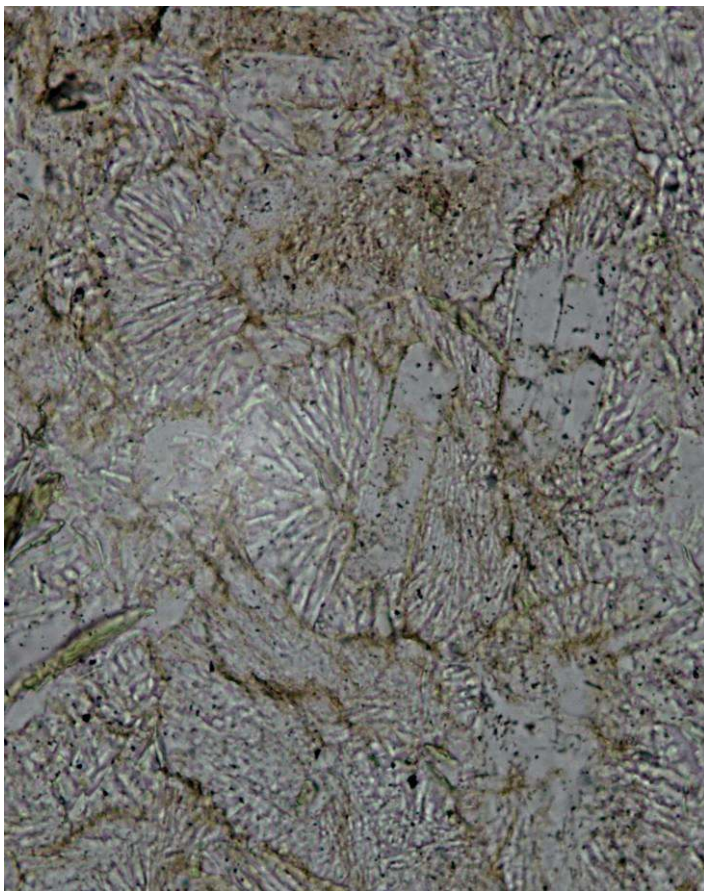
**Obr. 61, 62 a 63** Vyrostlice plagioklasu je zonální a undulózní, v jejím středu se nachází dutinka vyplněná křemenem, který se barevně liší od živce v polarizovaném světle. Vzorek A při zvětšení 400x, levý dolní obr.62 je pootočený o 90° v polarizovaném světle a pravý dolní obr.63 je pootočený o 270°.



### 3.1.3.5. Sférolity

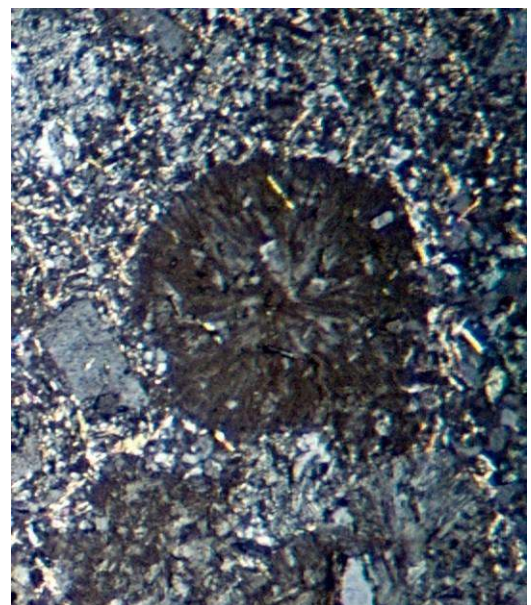
Malé vějířkovité útvary viditelné pouze pod mikroskopem, jsou sférolity živce. Každý pruh tvořící sférolit je jeden krystal, zárodky vyrůstají ze stejného bodu, a když mají prostor, tak se rozšiřují do těchto vějířků. Sférolity se vyskytují ve felzitech, což jsou v tomto případě ryolity, subvulkanické horniny krystalizující v blízkosti povrchu, v kterých proběhlo rychlé tuhnutí a jsou jemnozrnné, mohou se proto vyskytovat i v obsidiánech.

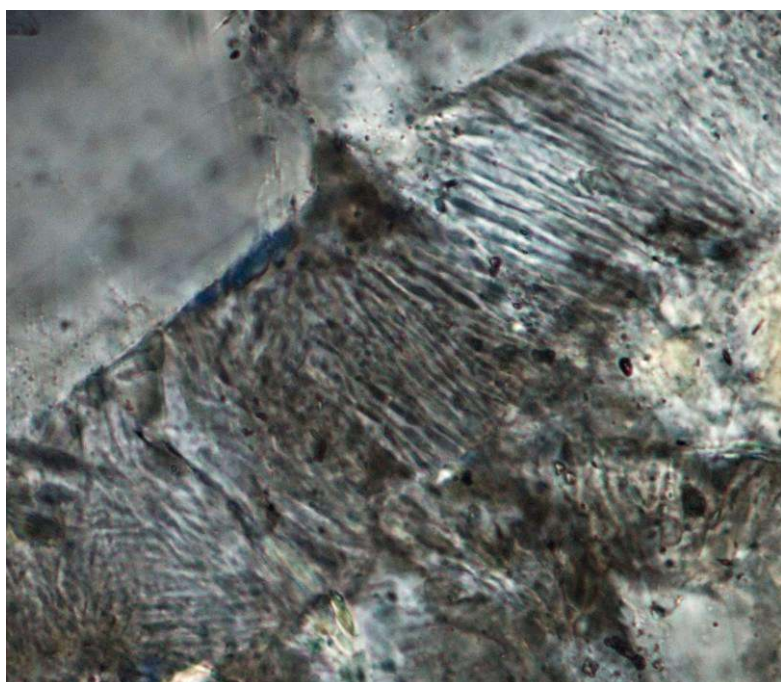
Globulární sférolity jsou dokladem prudkého utužení intruzí v chladném prostředí v blízkosti povrchu. Přesná hloubka výskytu intruzí při jejich vzniku není známa, protože nelze upřesnit geometrický stupeň okolní horniny z té doby, tj. nelze určit do jaké hloubky byl okolní masív natolik chladný, aby vznikly zmiňované jevy.



**Obr. 65** Globulární sférolit ve vzorku C10 při zvětšení 25x.

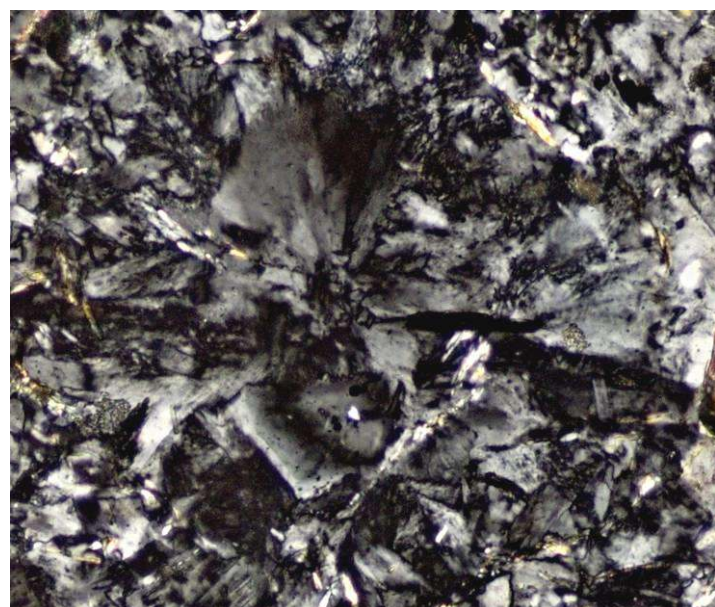
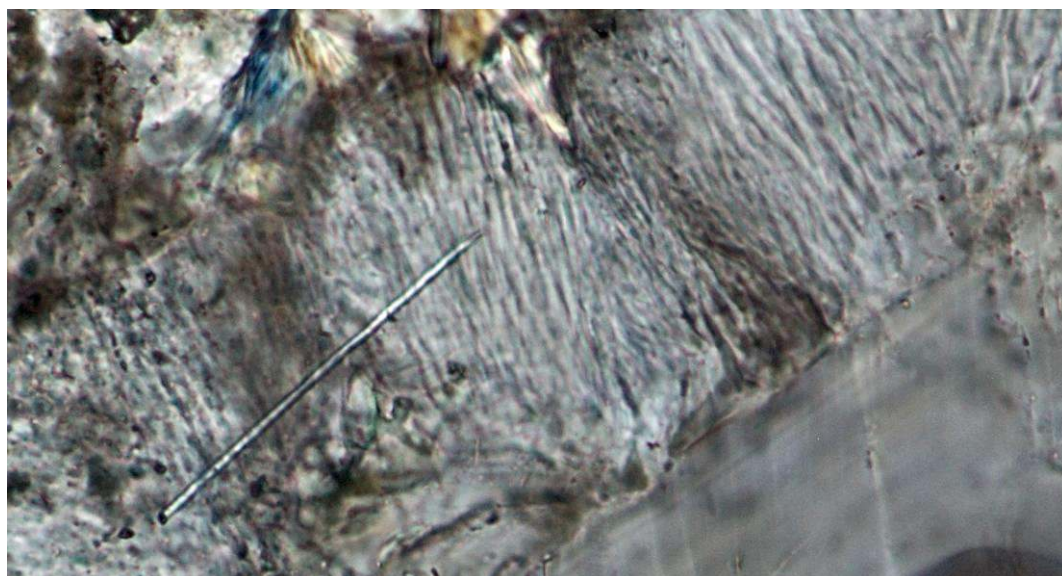
**Obr. 64** Globulární sférolity živců v matrixu ryolitu, skupina „vějířků“ má stejný střed, ze kterého vyrůstají zárodky. Vzorek 01 při zvětšení 200x.



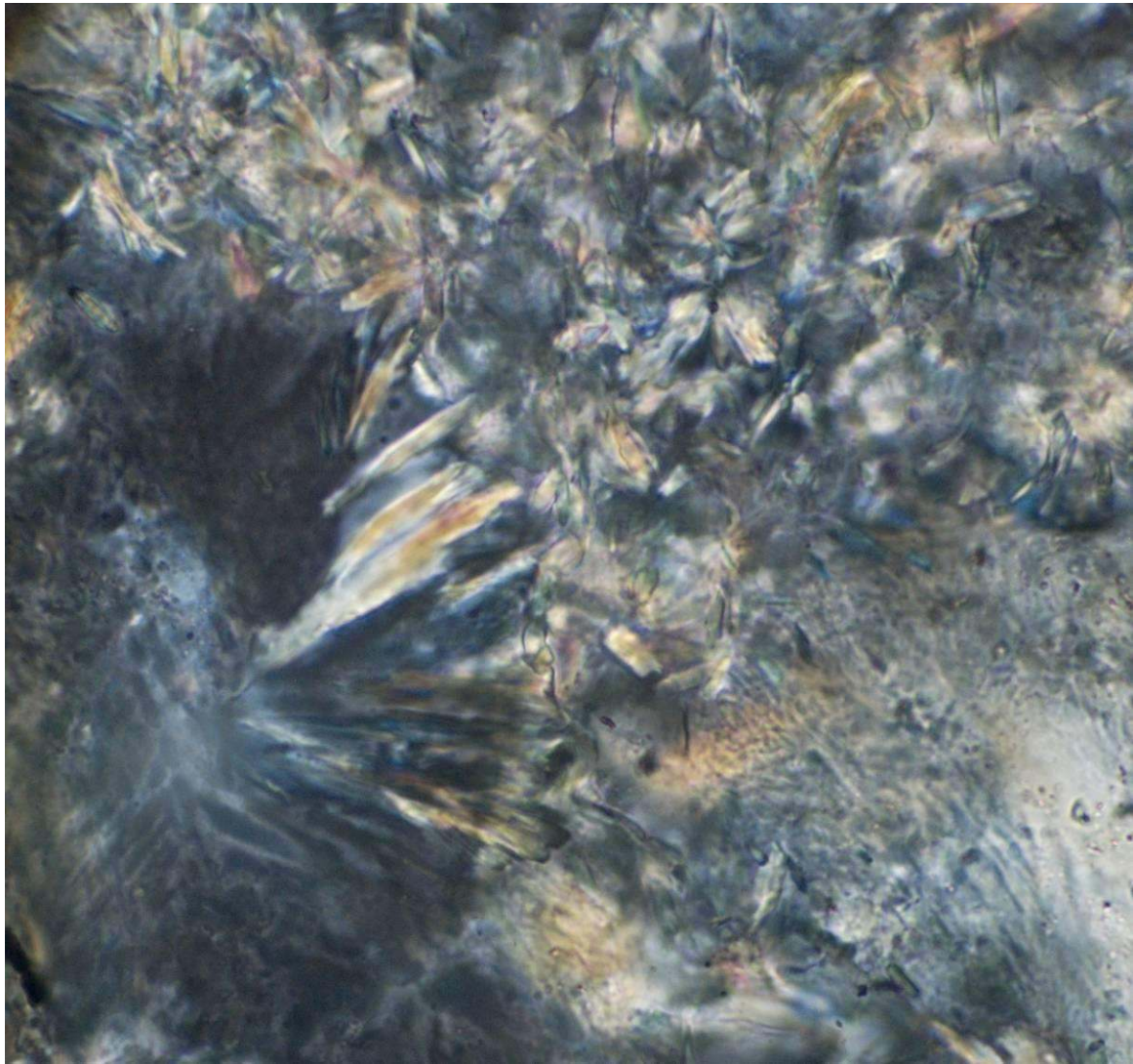


**Obr. 66** Sféroality lemující pohlcenou vyrostlici živce. Vzorek A při zvětšení 400x.

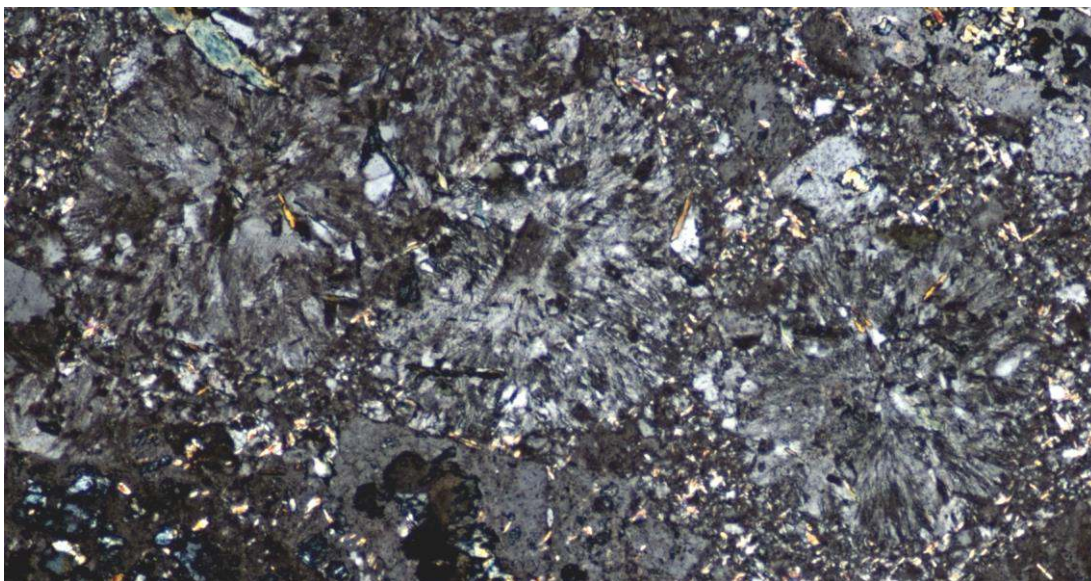
**Obr. 67** Vějířkovité sféroality ve vzorku A při zvětšení 400x.



**Obr. 68** Sféroality v základní hmotě vzorku C6 při zvětšení 100x.



**Obr. 69** Jemnozrné sférolity v matrixu sklovitého vzorku A při zvětšení 600x.



**Obr. 70**  
Skupima  
globulí  
v základní  
hmotě,  
vzorek C10  
při zvětšení  
50x.

### 3.1.3.6. Kaolinické zvětrání živců

Kaolinizace živců je druh zvětrání, při kterém se živec přemění na kaolinit a probíhá zejména u draselných živců. Pod mikroskopem je vidět narušení stavby vyrostlice živce a jílový minerál kaolinit je žluto-duhový.



**Obr. 71**  
Kaolinické  
navětrání  
na srostlici  
krytalů  
plagioklasu,  
ve vzorku  
B9 při  
zvětšení  
50x.

**Obr. 72** Sítivo  
kaolinizace na živci  
uvnitř vzorku C5 při  
zvětšení 50x.







**Obr. 73**  
Kaolinizace  
mění strukturu a  
stavbu  
vyrostlice živce  
vzorek B při  
zvětšení 200x.

**Obr. 74** Vzorek B  
pootočený o 45° při  
zvětšení 200x.



### 3.1.4. Pyrit

Krystalky pyritu v porfyrech dokazují přítomnost síry obsažené v tavenině. Čtvercové pyrity jsou většinou mikroskopické, ale výjimečně viditelné i pouhým okem. Na výbrusech se jeví jako tmavé čtvercové útvary, které nelze prosvítit.

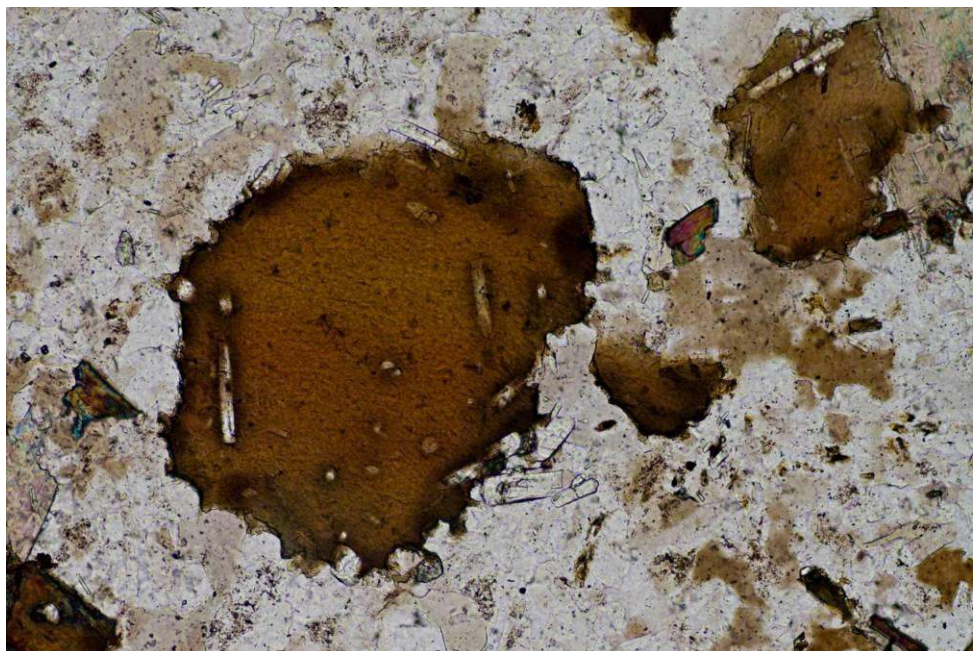
### 3.1.5. Apatit

Porfyry obsahující apatity je prozatím ojedinělý jev, který byl nalezen v biotitických porfyrech v Malenicích. Apatity byly pozorovány především v biotitech, kde jsou obklopené tmavě hnědě zbarvenou kruhovitou skvrnou, která dokládá výraznou změnu pleochroismu rozrušené krystalové mřížky okolního biotitu jako reakce na dlouhodobé  $\alpha$  záření z krystalů apatitů. V krystalech biotitu tvoří tmavé skvrnky jako většina akcesorických minerálů (apatit, allanit, zirkon), kolem nich mohou být vyvinuty pleochroické dvůrky (Gregerová, M., Fojt, B. & Vávra, V. 2012).



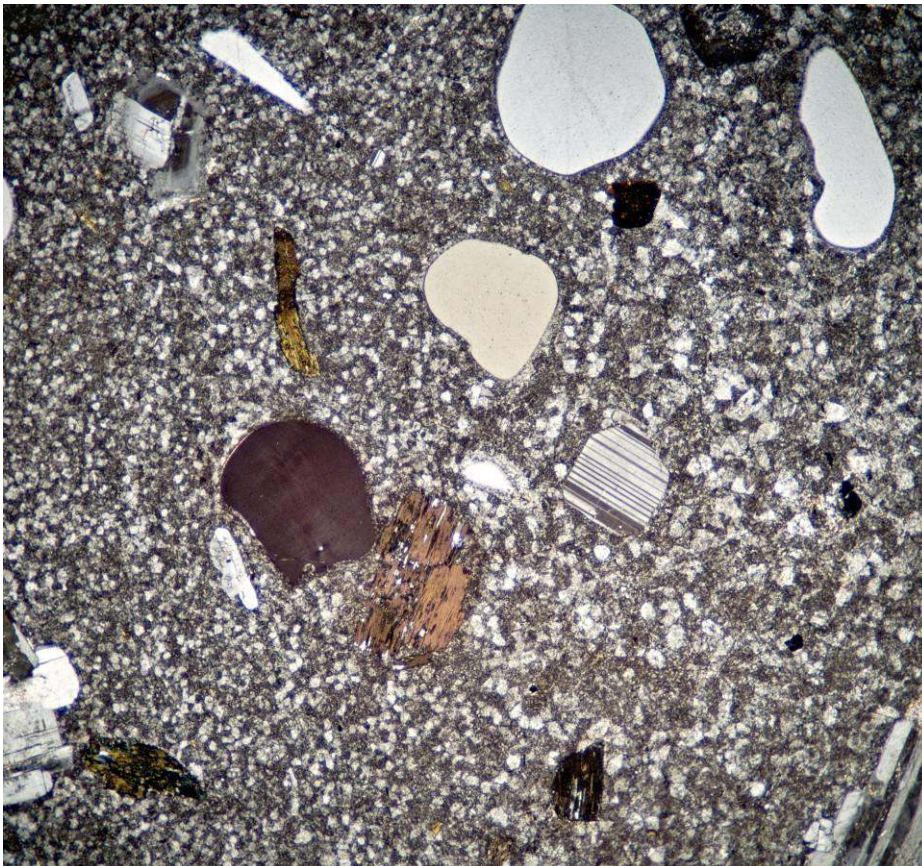
**Obr. 75** Biotit s apatity obklopenými pleochroickými dvůrkami, vzorek C při zvětšení 100x.

**Obr. 76** Vzorek C při zvětšení 100x



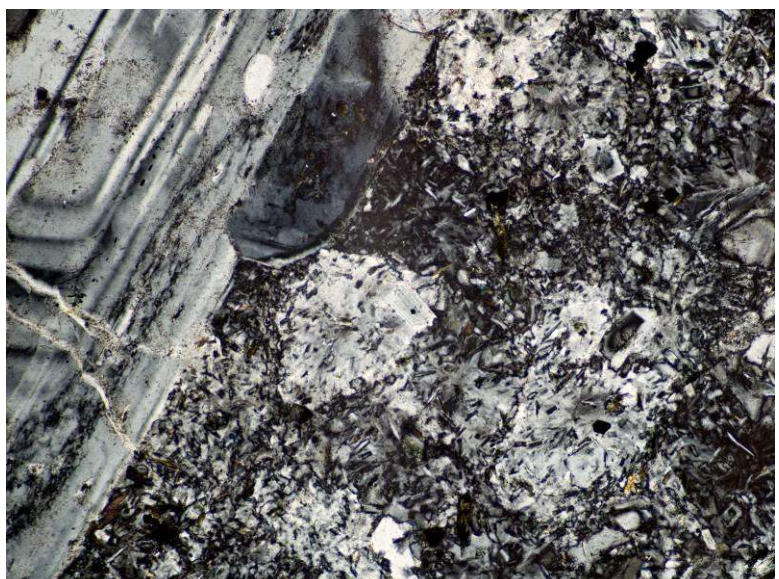
### 3.1.6. Základní hmota

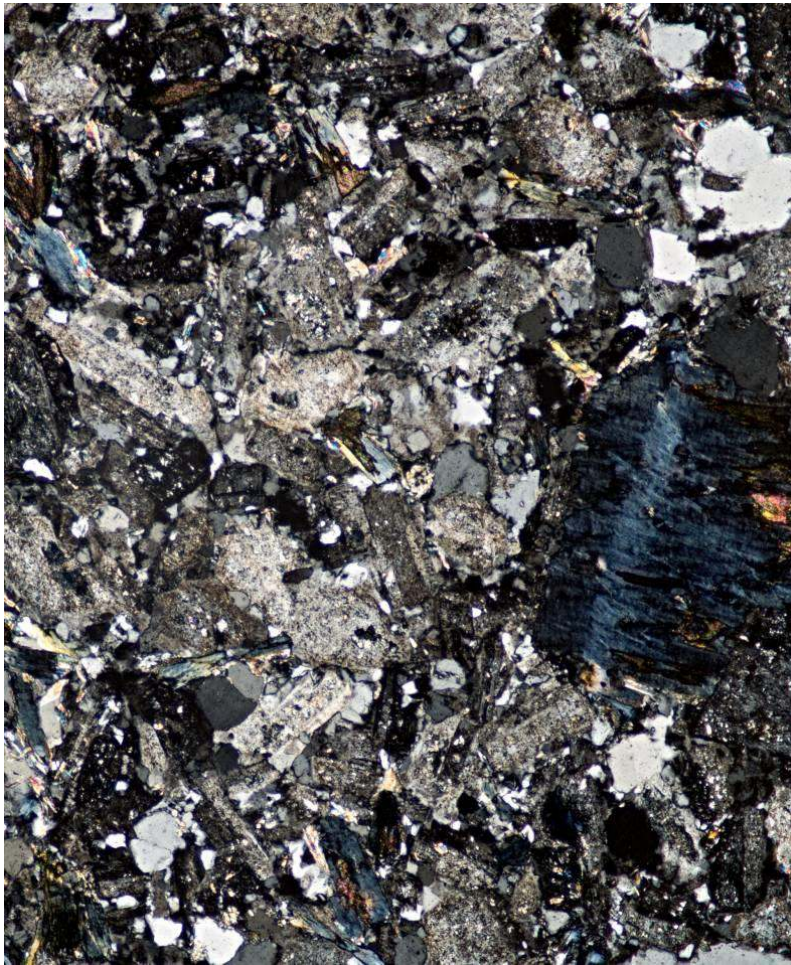
Základní hmota nebo-li matrix, je hmota mezi vyrostlicemi v porfyrech, obsahuje zárodky zamrzlé krystalizace, v některých případech živců může tvořit sférolity nebo-li vějířky zárodků živců (viz obr. 82 až 86). Mnohé krystalové vyrostlice v matrixu pochází z okolních hornin a byly sopečnou aktivitou utrženy, pohlceny a následně zataveny do hmoty tuhnoucího magmatu (viz obr.77). V některých případech obsahuje poškozené krystaly, které vznikly během první vlny magmatu a byly poškozené během následující vlny nového magmatu.



**Obr. 77** Základní hmota v některých případech obsahuje zárodky krystalů o různé velikosti. Vlevo na fotografii je jemnozrnější než vpravo, pravděpodobně se zde nachází rozhraní nerovnoměrného chladnutí magmatu. Vpravo se magma ochlazovalo pomaleji, a proto byl delší čas na krystalizaci, což umožnilo vznik větších zárodků vyrostlic. Vzorek B9 při zvětšení 25x.

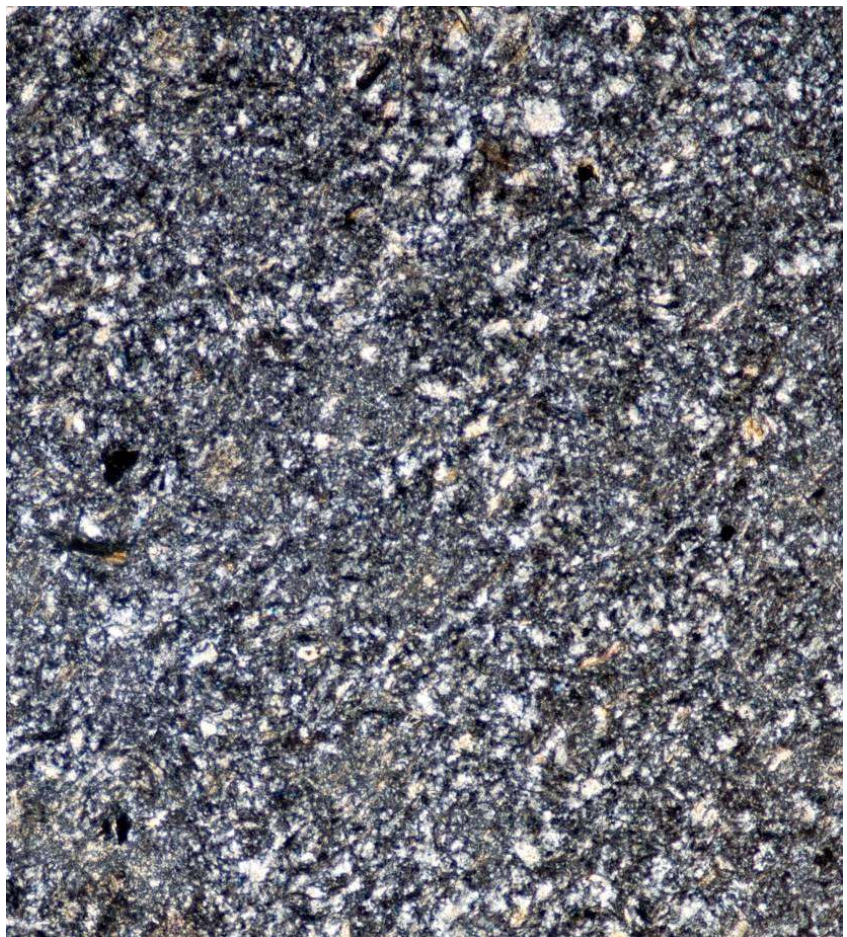
**Obr. 78** Matrix se zárodky krystalizace sklovitého porfyru se zonální vyrostlicí plagioklasu, vzorek E při zvětšení 100x.

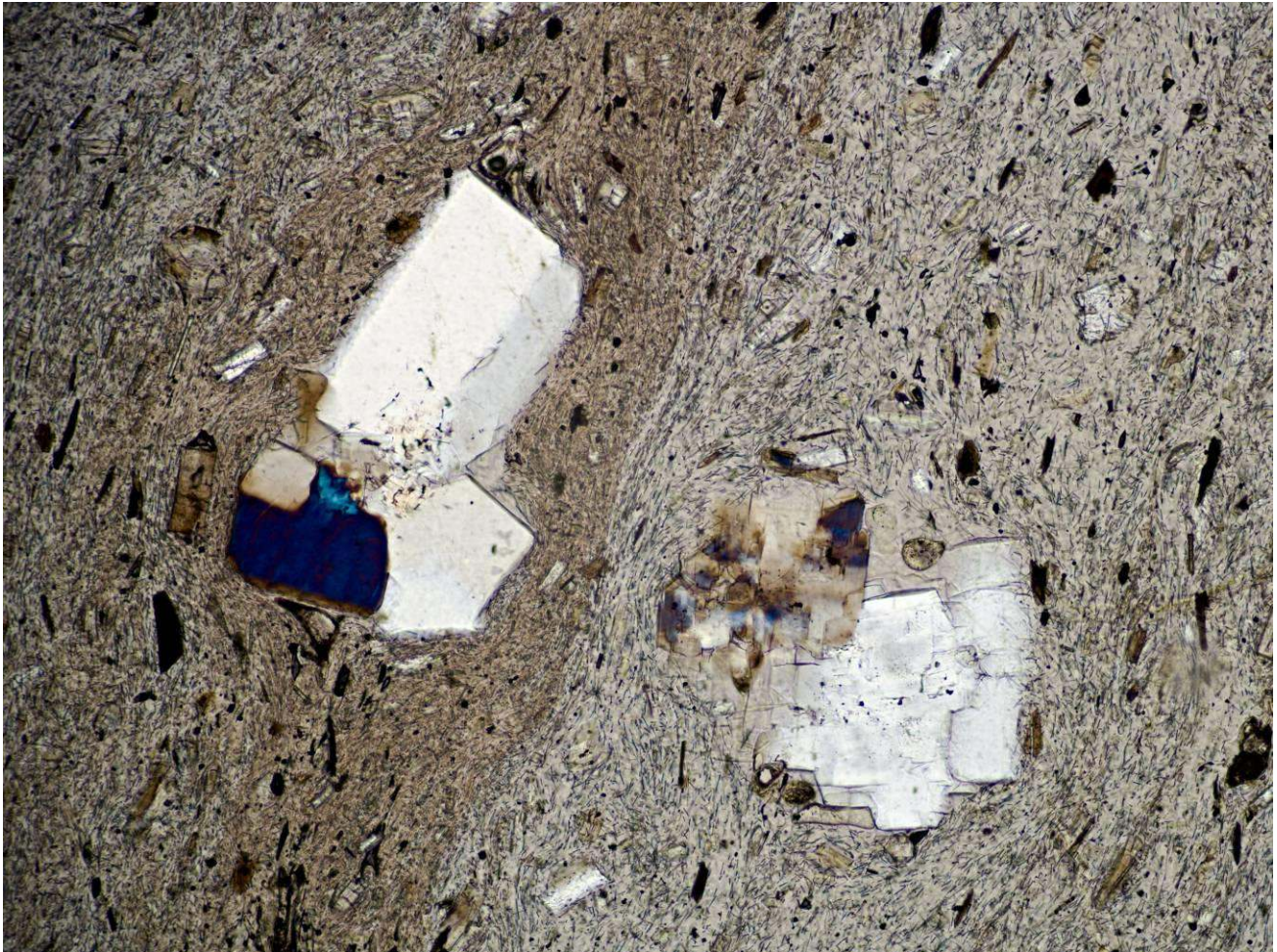




**Obr. 79** Hrubozrnná základní hmota v porfyru. Vzorek C5 při zvětšení 50x.

**Obr. 80** Jemnozrnná základní hmota sklovitého porfyru. Vzorek B při zvětšení 50x.

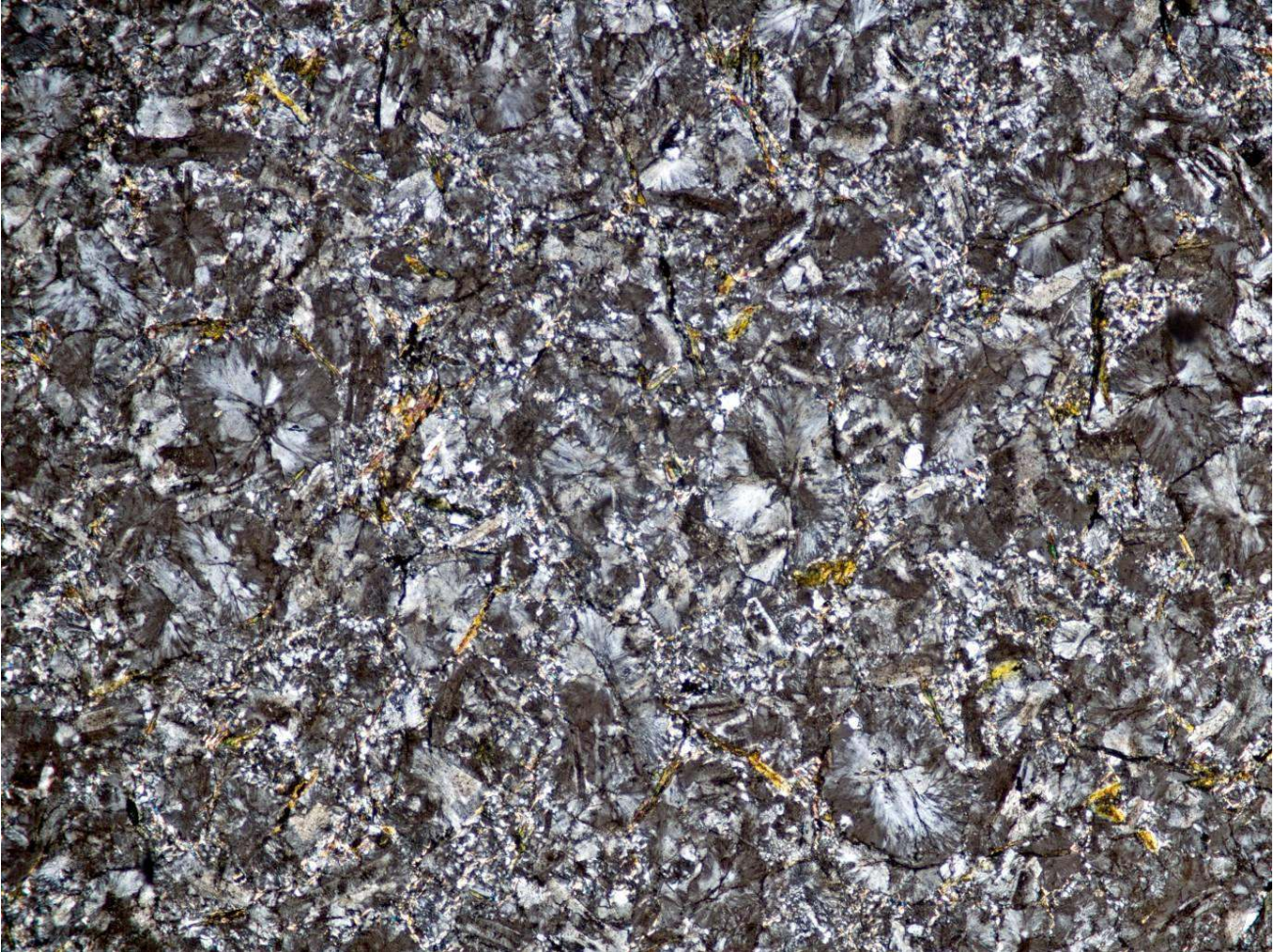




**Obr. 81** Porovnávací vzorek obsidiánu (Obsidian Dome, Kalifornie, USA) má velmi jemnozrnnou sklovitou základní hmotu, s drobnými zárodky krystalů, které nestačily vykristalizovat, protože magma utuhlo příliš rychle. Dvě vyrostlice sanidinu na fotografii jsou obklopeny základní hmotou, která se protlačuje mezi nimi, také je v ní vidět proudění (odlišné zbarvení matrixu a orientace zárodků). Vzorek C10 při zvětšení 100x.

**Obr. 82** Základní hmota je jemnozrnná a obsahuje sférolity živců. Vzorek F při zvětšení 50x.

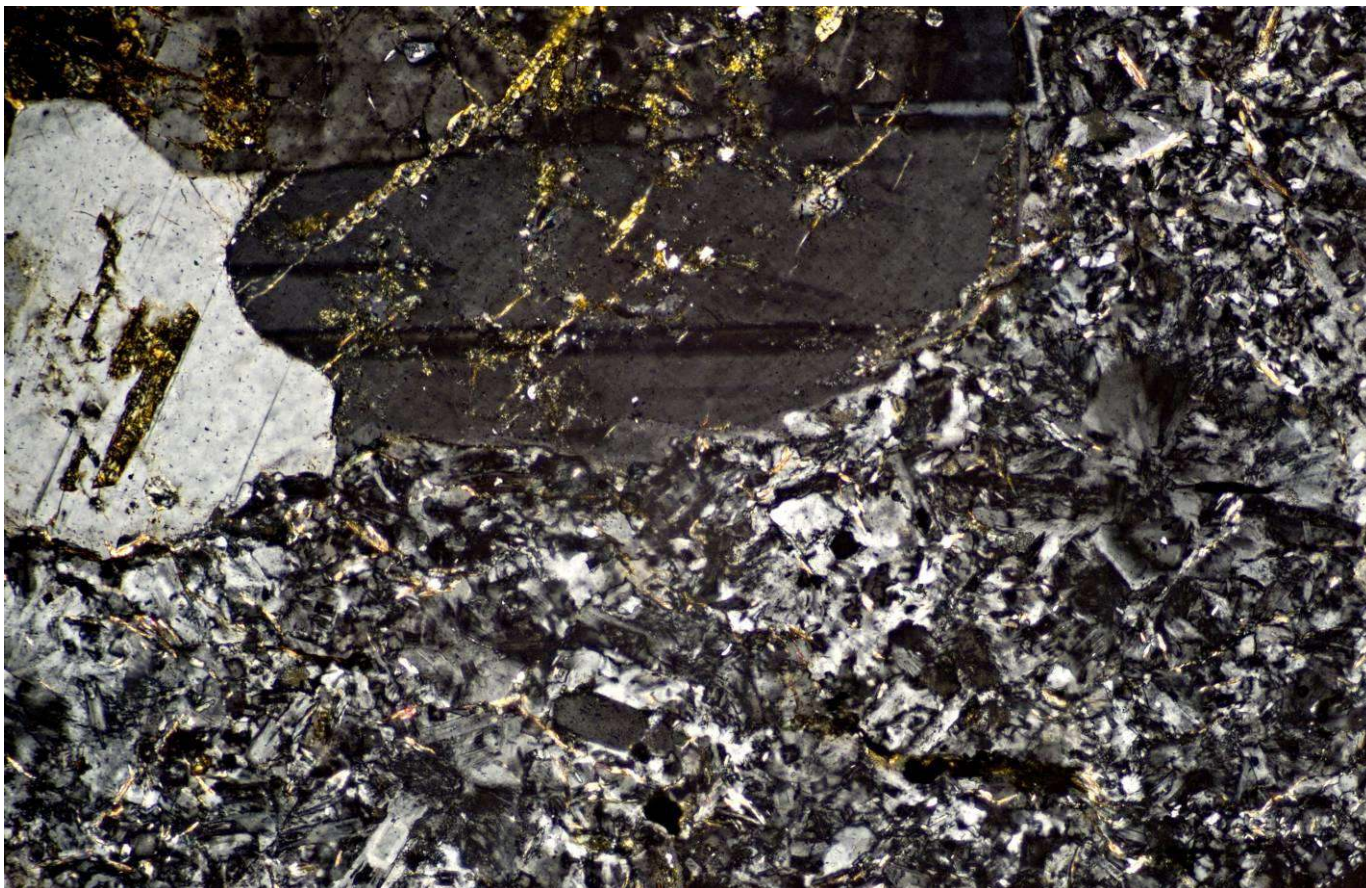




**Obr. 83** Jemnozrná matrix ryolitu s globulárními sférolity, vzorek 01 při zvětšení 50x.

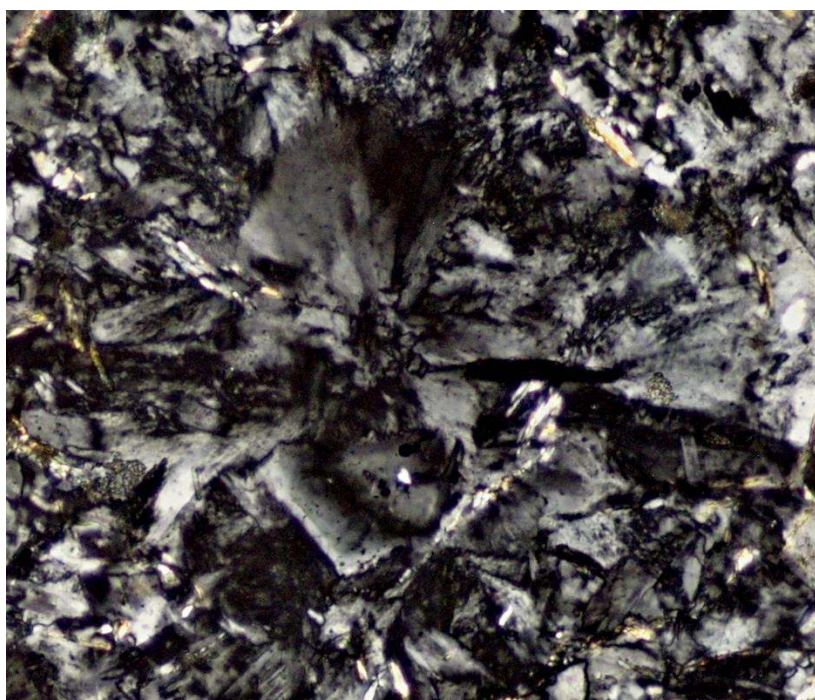
**Obr. 84** Matrix ryolitu vzorku 01 zvětšený 200x.





**Obr. 85** Sklovitý ryolit s vyrostlící plagioklasu obsahuje sférolity v základní hmotě. Do celého vzorku v četně základní hmoty prostupuje do hloubky 1 až 2 cm prozeleznění způsobující oranžové zbarvení. Zbarvení se obvláště usazuje do mezer v matrixu a do míst změkčených kaolinizací. Vzorek C6 při zvětšení 100x.

**Obr. 86** Zvětšení pravé dolní části obr. 85, podrobně zobrazuje sférolity v matrixu. Vzorek C6 při zvětšení 100x.



### 3.2. Rentgeno-fluorescenční analýza

Ze zpracovaných hodnot naměřených přístrojem Delta jsem vyřadila hodnoty hořčíku, fosforu a vápníku z grafu, protože je nebylo možné změřit u všech analyzovaných vzorků, a proto by způsobovaly nepřesnosti (viz tabulka 3). Pro odhad obsahu vápníku jako indikátor můžeme ale použít stroncium, protože mají podobné vlastnosti a odrazivost, takže je možné, že došlo k pomíchání signálů (odrazů). Body v grafu označené „-s“ jsou nadrcené vzorky na prášek. Nadrcením na malé částice se může zpřesnit odrazivost vzorku, protože vysílané vlny nebudou zkresleny plochami vyrostlic, ale mohou vzniknout nepřesnosti spojené s vmezeřeným vzduchem mezi částicemi prášku.

Z výsledného grafu korespondenční analýzy jsou rozpoznat různé tendence vzorků vůči prvkům, graf se skládá ze tří os, a každá z nich čerpá různé procento z celkového množství rozptylu. Osa 1 obsahuje 41%, osa 2 obsahuje 30% a osa 3 obsahuje 21%, dvojrozměrný graf os 1 a 2 čerpá dohromady 71% hodnot, tudíž zobrazují nejpřesnější tendence.

Osa	% čerpaných hodnot
1	40,774
2	30,323
3	20,901
4	6,2106
5	1,4851
6	0,1675
7	0,058773
8	0,043167
9	0,028882
10	0,0067878
11	0,0012074

**Tabulka 2** Znázorňuje podíl (čerpání) rozptylu faktorovými osami z celkového rozptylu. Pro tvorbu grafů byly použity pouze tři první osy, které dohromady čerpají 92% hodnot, což je dostačující na zjištění hlavních tendencí vzorků.

Graf 1 s osami 1 a 2 má dvě hlavní diferenciované skupiny, zobrazuje se zde základní polarita mezi skupinou Si a K proti skupině Al, Sr (zastupující Ca), Fe, Zr, Zn, Ti a Th. Tato polarita je dána zvětráním. Vzorky s orientací na Si mají velké množství pohlčených, cizorodých křemenů z okolních hornin, například vzorek F a C13. Vzorky orientované na K mají větší obsah draselných živců a jsou nejvíce alkalické. Oproti vzorkům vztahujícím se na K jsou vzorky s vazbou na Sr a Al, jsou nejvíce vápnité nebo zvětralé a indikují směr plagioklasů. Osa Fe a Th je dána obsahem biotitu.

V grafu 2 s osami 1 a 3 stojí K s Si proti Al, vzorky blíže k Si a K obsahují draselné živce a pohlčené křemeny, a vzorky blíže k Al jsou více kaolinicky zvětralé. Také je zde polarita Sr (indikátoru Ca), která potvrzuje přítomnost plagioklasů.



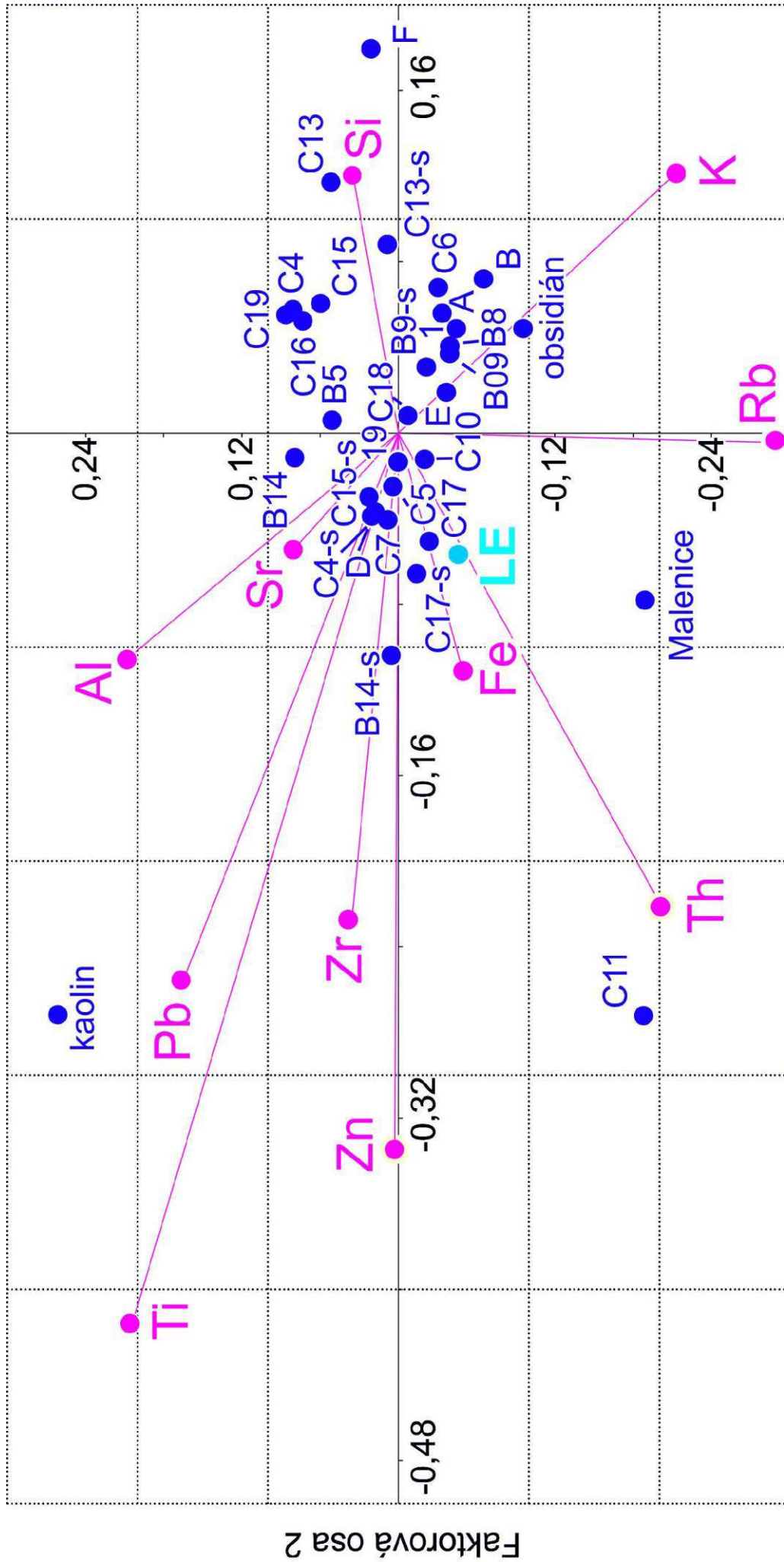
V grafu 3 s osami 2 a 3 se sdružil K s Rb jako protipól k Al, a Si je na tento vztah kolmý. Si je situován v blízkosti osy 1, a proto je v grafu 3 uprostřed. Diferenciace Al od K je způsobena kaolinickým zvětráváním. Vzorek C11 je i v grafech 1 a 2 sdružován se vzorkem kaolínu, ale v grafu 3 má vazbu jak na kaolín tak na K, což potvrzuje přítomnost draselných živců a jejich následné zvětrávání. Hlavní skupina vzorků má orientaci na Sr (zastupující Ca), takže obsah plagioklasů ve vzorcích dominuje.

### ***3.2.1. Souhrnné vyhodnocení korespondenční analýzy***

Mezi vzorky jsou zařazeny tři porovnávací vzorky, a to obsidián z lokality Obsidian Dome v USA, hrubozrnný porfyr z Malenic a kaolin z Ortů u Hrdějovic. Porovnávací vzorek kaolinu se drží mimo hlavní skupinu vzorků, protože má odlišné složení, ale znázorňuje vzorky s výrazným zvětráním (sdružuje se s nimi). Obsidián se orientuje na Si a obzvláště na K, protože obsahuje krystalky křemene a sanidiny, které se časem přeměňují na draselné živce. Porfyr z Malenic si udržuje odstup od vzorků z Benešova nad Černou, protože se jeho složení mírně liší, obsahuje apatity a velké vyrostlice plagioklasů.

Poměr K a Si ve vzorcích určuje kyselost sopečných hornin, ve více kyselých horninách stoupá zároveň obsah Si i K. V grafech není K sdružený s Fe, což dokazuje, že většina K má původ v draselných živcích a ne v biotitu. Obsah Si je daný množstvím pohlceného křemene ve vzorcích; natavení, uzavření a utuhnutí probíhalo během první fáze vzniku subvulkanických žil, protože se cizorodé křemeny nachází v jemnozrnných a sklovitých okrajových částech sopečných intruzí.

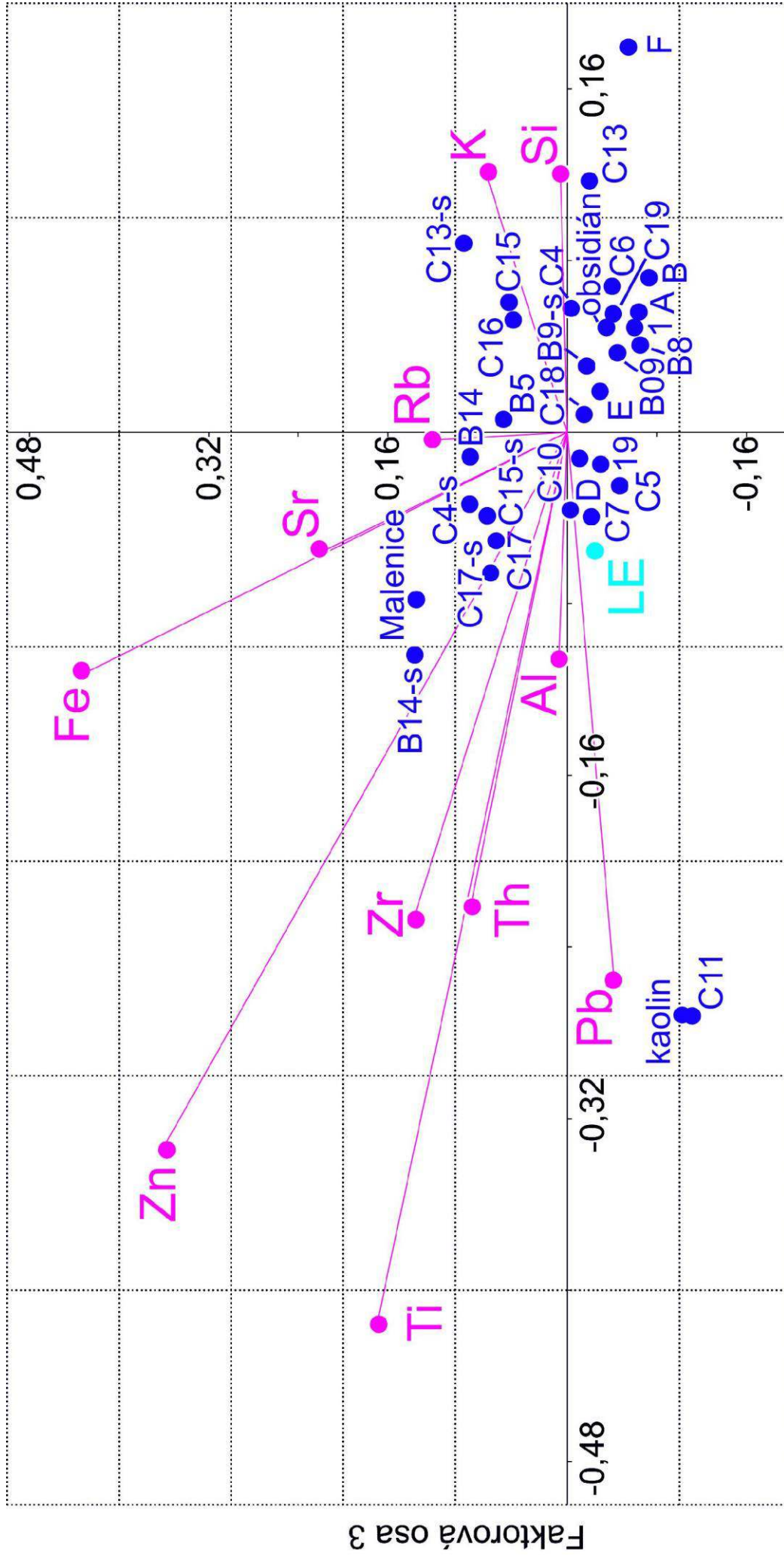
Graf 1



Faktorová osa 1

Faktorová osa 2

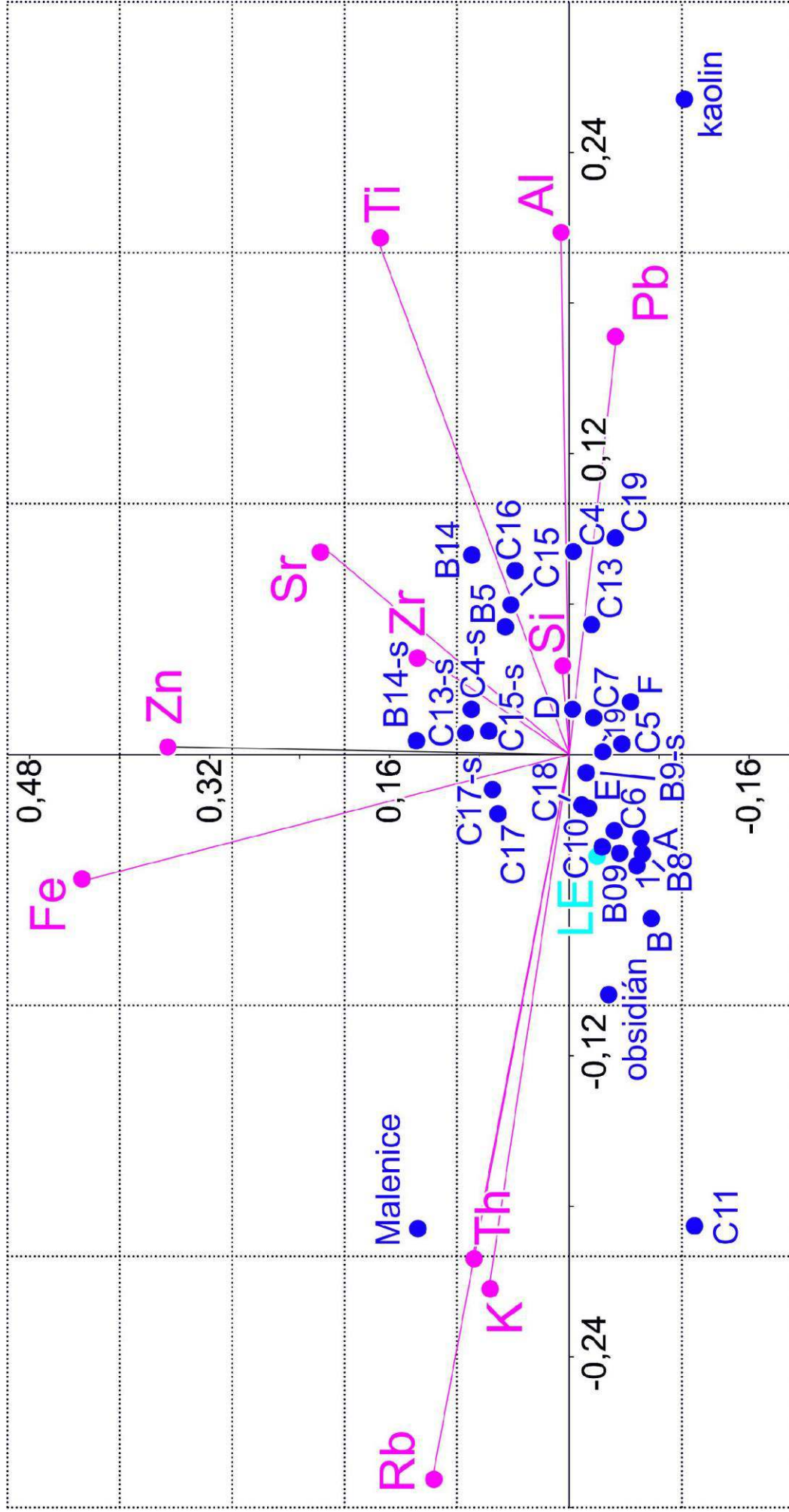
Graf 2



Faktorová osa 1

Faktorová osa 3

Graf 3



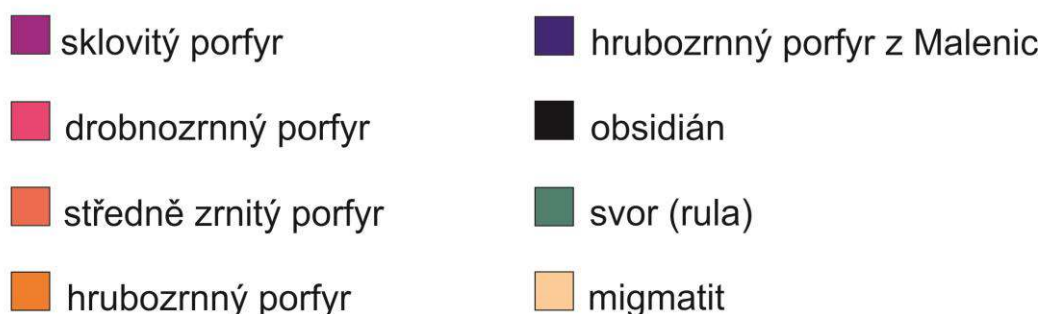
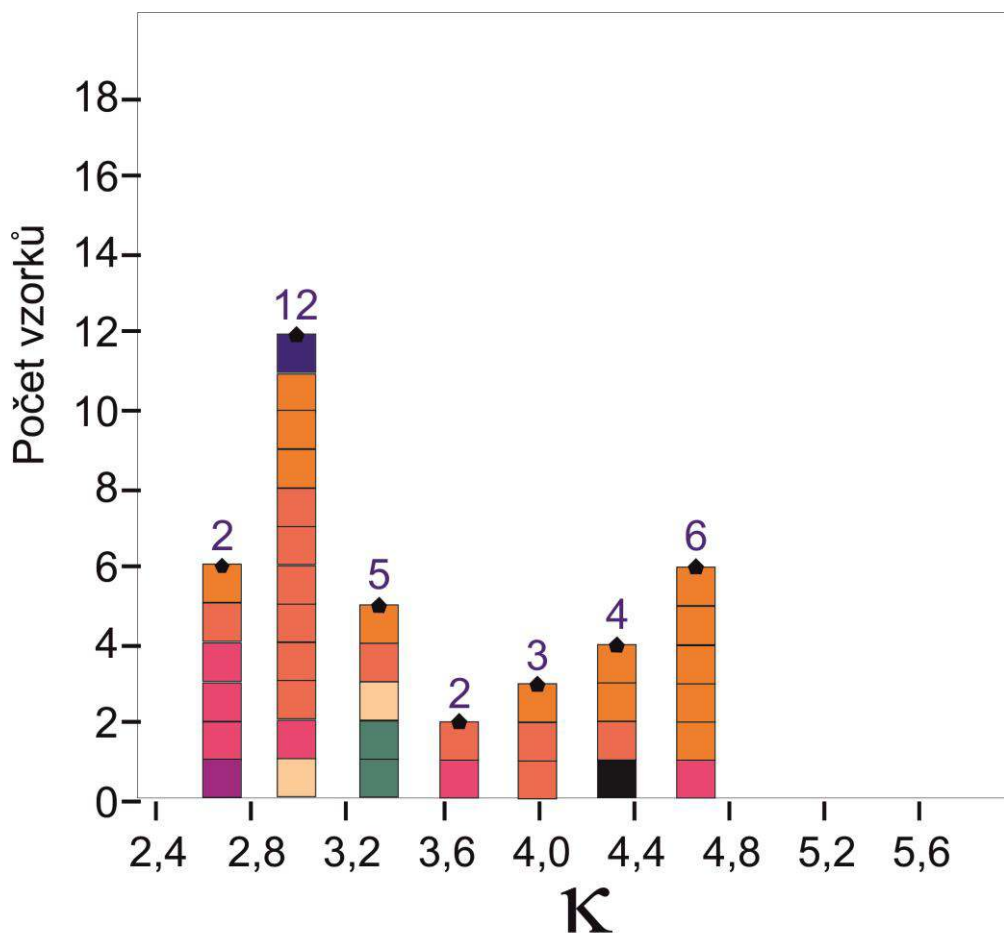
Faktorová osa 2

Faktorová osa 3

### 3.3. Magnetická susceptibilita

Magnetické vlastnosti mnou měřených hornin pravděpodobně způsobuje minerál magnetit. Jedná se zřejmě o velmi malá zrnka, protože nebyl pozorován v petrografických výbrusech. Mezi hrubozrnnými a jemnozrnnými vulkanity není v jejich magnetizmu rozdíl (viz histogram). Znamená to, buďto že magnetit pochází z okolních hornin a následně byl zataven do vulkanitů, jak do jejich jemnozrnné části, tak i mezi krystalizující vyrostlice v hrubozrnné části, nebo se mohly vytvořit malé vyrostlice magnetitu krystalizací v základní hmotě obou druhů vulkanitů. Další možnost je, že se mohl magnetit vytvořit rozkladem biotitu. Analýzou magnetické susceptibility bylo také zjištěno, že kyselé vulkanity z okolí Benešova nad Černou vykazují značný magnetismus oproti okolním horninám. To otevírá možnost pro další druh měření, magnetometrii. Pomocí magnetometrie by se dal zjistit podrobnější rozsah subvulkanických žil na této lokalitě, a ověřit jejich konkrétní výskyt.

#### Histogram



### 3.4. Diskuse výsledků

Sklovitá a velmi jemnozrná stavba studovaných žil spolu s přítomností sanidinu, sférolitů živce a porovnání s obsidiánem z Obsidian Dome, Kalifornie, USA dovoluje označit horniny jako původní obsidiány. Vyšší obsah draslíku a křemíku pak horniny přiřazuje do skupiny svým složením blízké ryolitům. Sklovitá a jemnozrná stavba dokládá rychlé připovrchové utuhnutí hornin a naznačuje, že po jejich vzniku zde nedošlo k žádnému většímu odnosu. Povaha žil naznačuje, že musely utuhnout ve svrchní vrstvě zemské kůry v blízkosti povrchu a chladného prostředí. Tato událost je dokazována výskytem přeměněných a ojediněle i samotných krystalů sanidinů, které se vyskytují v obsidiánech, a tudíž u sopečných intruzí v blízkosti povrchu v chladném prostředí. Dokladem toho jsou vzorky s globulárními sférolity draselného živce s charakteristikou typickou pro ryolity (Gregerová, Vávra & Fojt, 2002). Terénní geologické mapování potvrdilo, že současné geologické mapy nezobrazují plný rozsah sopečných žil z okolí Benešova nad Černou. Hlavní pás výskytu je 7 km ve směru SSV – JJZ na východ od Benešova nad Černou (výchozy, suť) a je možné, že se v jeho okolí naleznou ještě další výskyty.

## 4. Závěr

Na základě terénního výzkumu, mapování a petrologického rozboru jsem zjistila, že v okolí Benešova nad Černou se vyskytují tenké žíly obsidiánů (ryolitů) a žulových porfyrů. Dosud zjištěná rozloha celého pásma představuje pás SSV – JJZ směru dlouhý cca 7 km a široký cca 3 km. Tenké žíly nepřesahují mocnost odhadem 5 m a vykazují zonální stavbu s porfyrickými středy a sklovitým okrajem. V minerálním složení hornin jsem pozorovala postupnou přeměnu sanidinu na mikroklin a přeměněný – chloritizovaný biotit. Křemen se vyskytuje ve dvou formách tj. jako otavená pohlčená zrna z okolní horniny a nově vykrystalovaný hexagonální křemen. Mladší magmatický hexagonální křemen ukazuje na teplotu krystalizace kolem 560°C. Pohlčený křemen zvyšuje obsah Si v horninách, chemický obraz hornin je kromě toho ovlivňován navětráním. Obsah Si ve studovaných horninách kolísá v rozmezí od 17,7% do 40,7%, Al v rozmezí od 5,97% do 9,55%, K v rozmezí od 1,518% do 3,641%, Sr v rozmezí od 0,01% do 0,058%. Magnetická susceptibilita hornin v žílách kolísá od  $0,04 \cdot 10^3$  A/m do  $5,6 \cdot 10^3$  A/m, okolních hornin od  $0,08 \cdot 10^3$  A/m do  $0,36 \cdot 10^3$  A/m. Chemické složení žil odpovídá žulovým porfyrům. V chemismu hornin se také projevuje kaolinizace a zvětrávání. Horniny žil jsou v porovnání s okolím magneticky anomální. Podle předběžného porovnání s literaturou porfyry intrudovaly před 220 – 260 mil lety, kdy byl okolní masív už studený. Kyselé vulkanity (sopečné horniny) vznikly patrně v blízkosti povrchu a od doby jejich intruze zde nedošlo k většímu odnosu hornin.

### 4.1. Soupis použité literatury

BRŠLICOVÁ, Eliška. *Sopečné jevy v okolí Benešova nad Černou*. České Budějovice, 2014. Středoškolská odborná činnost. Gymnázium Česká a Olympijských nadějí Česká 142/64, 370 01 České Budějovice. Vedoucí práce RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.

DUDEK, Arnošt, Ferry FEDIUK a Marie PALIVCOVÁ. *Petrografické tabulky: příručka petrografické mikroskopie s atlasem struktur a textur*. Praha: Naklad. ČSAV, 1962, 303 s.

GREGEROVÁ, Miroslava. *Mikroskopie horninotvorných a technických minerálů*. Vyd. 1. Brno: Moravské zemské muzeum, 2002, 325 s. ISBN 80-702-8195-2.

KNOPF, Alfred. *National Audubon Society Field Guide to Rocks and Minerals*. New York: Chanticleer Press, Inc., 1979, 850s.

NELSON, Prof. Stephen A. Mineralogy: Twinning, Polymorphism, Polytypism, Pseudomorphism. TULANE UNIVERSITY. [online]. 2013-09-16 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/twinning.htm>

RAJLICH, Petr. *Naušův atlas hornin Prachaticka*. 2. vyd. České Budějovice: Jihočeský kraj, 2010, 328 s. ISBN 978-802-5480-137.

RAJLICH, Petr. *Vesmírná příhoda v Českém křemenu (a v Českém masivu)*. Vyd. 1. Praha: Geologie, 2014, 166 s. ISBN 978-80-260-5678-2.

RAPPRICH, Vladislav. *Za sopkami po Čechách*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2012, 240 s. ISBN 978-802-4737-966.

RHODES, Frank a Raymond PERLMAN. *Geology*. New York: St. Martin's Press, 1991. ISBN 1-58238-143-7.

Geologický slovník anglicko-český a česko-anglický. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba* [online]. 2001 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/gslow.pl>

Geologické encyklopedie on-line. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba* [online]. 2007 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>

Geologické a geovědní mapy: Geologie, radon a geologická mapa Benešov nad Černou. BOKR, Pavel. *Geologické a geovědní mapy* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-602388/>

Krzemiany przestrzenne: (sanidyn, ortoklaz, mikroklin, plagioklasy, pertyt, nefelin, kwarc  $\beta$ , chalcedon, opal). *OPEN-AGH: MSWPC* [online]. 2008-04-11 [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: <http://open.agh.edu.pl/mod/resource/view.php?id=897>

## 4.2. Seznam Příloh

1. Tabulka 3: Výchozí tabulka měření obsahu prvků ve vzorcích
2. Výbrus 01
3. Výbrus 19
4. Výbrus A

5. Výbrus B
6. Výbrus B9.a
7. Výbrus B9.b
8. Výbrus C
9. Výbrus C5
10. Výbrus C6.a
11. Výbrus C6.b
12. Výbrus C10
13. Výbrus D
14. Výbrus E
15. Výbrus F



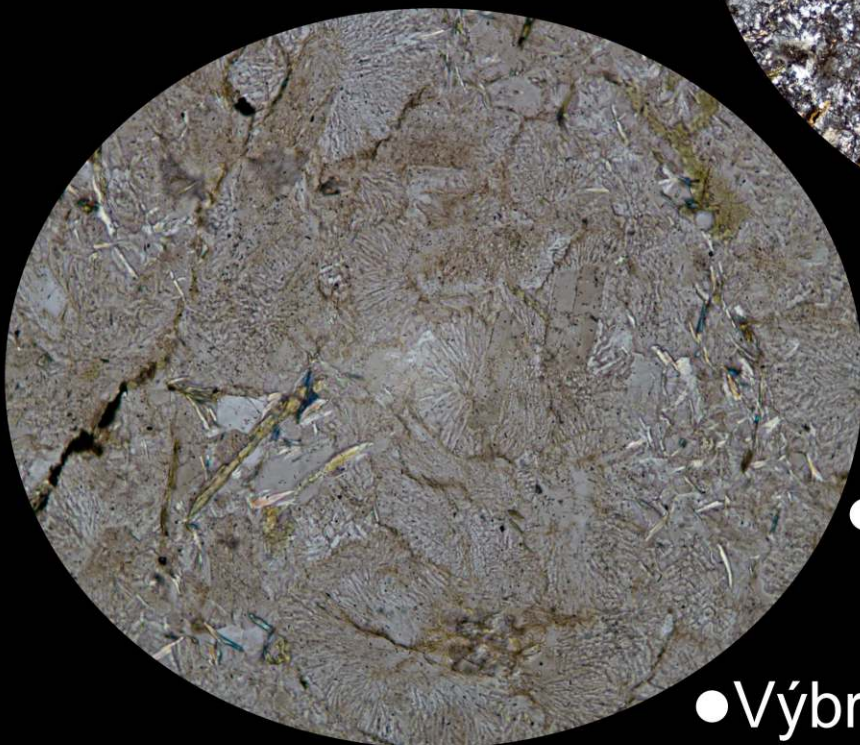
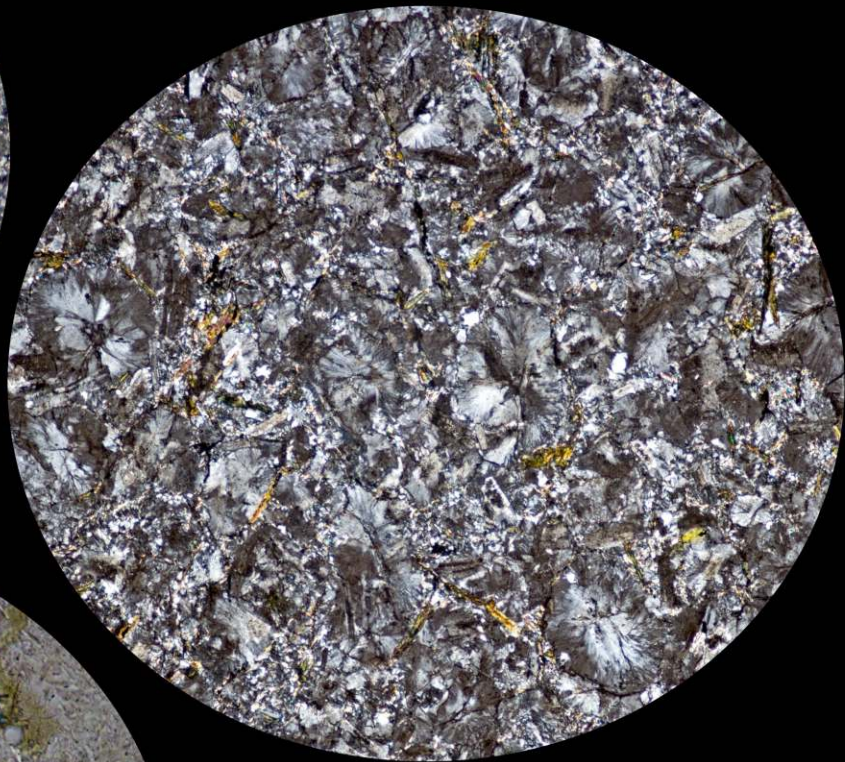
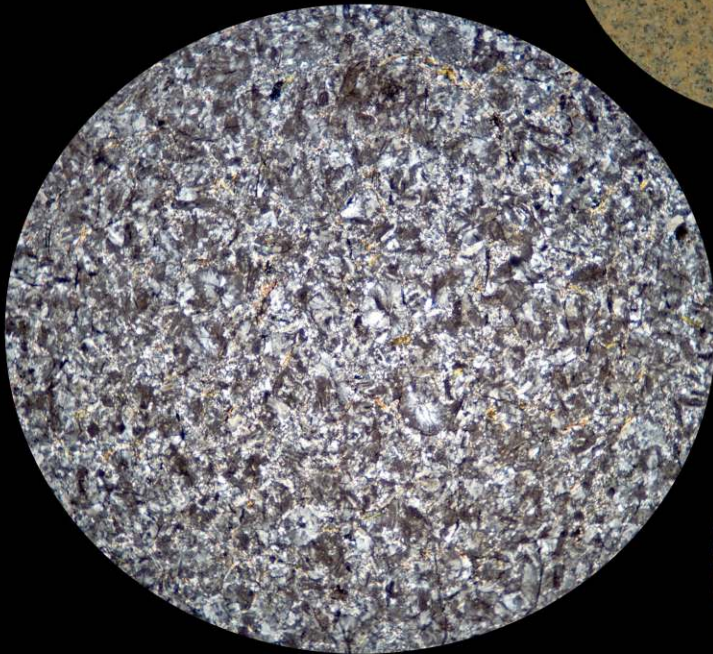
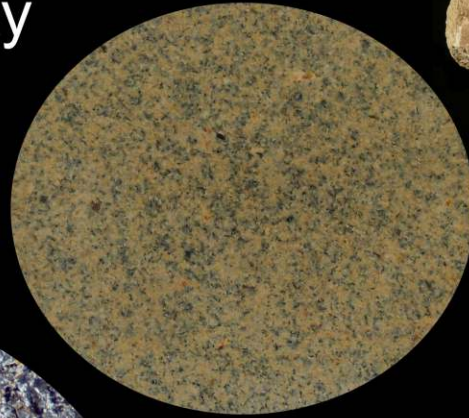
**Tabulka 3** Výchozí tabulka měření obsahu prvků ve vzorcích:

Klíč: hodnoty jsou udávány v %, LE značí lehké prvky, -s znamená práškový vzorek

	LE	Th	Pb	Zr	Sr	Rb	Zn	Fe	Mn	Ti	Ca	K	P	Si	Al
B14-s	54,6	0,001	0,002	0,014	0,046	0,008	0,006	4,099	0,063	0,396	2,082	1,879	0,117	28,2	8,53
B9-s	53,7	0,001	0,002	0,008	0,025	0,016	0,003	1,671	0,042	0,148	1,243	3,003	0,033	32,6	7,45
C13-s	49,2	0,002	0,003	0,008	0,023	0,015	0,005	2,959	0,042	0,015	0,02	3,641	0,018	35,8	8,26
C15-s	53,1	0,001	0,001	0,012	0,041	0,013	0,005	2,831	0,054	0,269	0,636	3,47	0,092	30	9,55
C17-s	54,8	0,001	0,002	0,013	0,041	0,011	0,005	2,998	0,053	0,253	1,366	2,931	0,096	28,7	8,73
C4-s	52	0,002	0,002	0,013	0,05	0,01	0,016	3,11	0,054	0,271	2,615	2,612	0,096	30,4	8,76
1	55,3	0,002	0,002	0,007	0,017	0,014	0,003	1,121	0,023	0,095	0,099	3,12	0,008	33,4	6,8
19	55,2	0,002	0,002	0,012	0,045	0,01	0,002	1,655	0,028	0,304	1,296	2,126	0,045	31,5	7,7
A	54,6	0,001	0,002	0,006	0,024	0,012	0,002	1,038	0,029	0,09	0,552	3,025	0	33,7	6,91
B	55,1	0,001	0,002	0,005	0,015	0,019	7E-04	0,865	0,034	0,078	0,29	3,501	0,008	33,8	6,24
B09	54,6	0,001	0,002	0,007	0,025	0,016	0,001	1,278	0,038	0,199	1,009	3,14	0,003	32,7	6,93
B14	50,6	9E-04	0,001	0,011	0,045	0,008	0,004	3,139	0,052	0,388	1,823	1,518	0,121	33,2	9,08
B5	51	7E-04	0,002	0,007	0,022	0,018	0,004	2,526	0,054	0,465	1,027	2,631	0,069	33,2	9,04
B8	55,1	0,001	0,002	0,006	0,018	0,015	9E-04	1,062	0,036	0,157	1,029	2,902	0,011	32,9	6,73
C10	55,1	0,001	0,002	0,011	0,037	0,012	0,002	1,855	0,036	0,236	1,117	2,781	0,043	31	7,76
C11	70,5	0,002	0,001	0,008	0,017	0,012	0,007	1,548	1,468	0,295	0,178	2,115	0,087	17,7	5,98
C13	49,5	0,001	0,003	0,007	0,02	0,013	0,003	1,341	0,028	0,097	0,009	2,916	0,009	37,7	8,4
C15	49,4	7E-04	8E-04	0,011	0,045	0,011	0,004	2,371	0,042	0,358	0,657	2,607	0,1	35,7	8,66
C16	49,1	9E-04	0,002	0,011	0,041	0,009	0,002	2,393	0,047	0,293	1,719	2,182	0,068	35,3	8,8
C17	55,1	0,002	0,002	0,013	0,039	0,011	0,003	2,931	0,059	0,466	1,131	2,549	0,047	30	7,59
C18	54	0,002	0,002	0,016	0,043	0,011	0,002	1,727	0,027	0,19	1,356	2,811	0,029	31,9	7,92
C19	51,4	4E-04	3E-04	0,01	0,024	0,008	0,002	1,24	0,013	0,245	0	1,934	0,015	36	9,19
C4	49,1	8E-04	0,002	0,013	0,046	0,01	0,002	1,577	0,026	0,207	2,058	2,619	0,063	34,8	9,49
C5	56,4	0,001	0,001	0,012	0,046	0,007	0,004	1,557	0,034	0,191	0,842	1,806	0,038	31,3	7,84
C6	53,6	0,001	0,002	0,006	0,017	0,014	0,002	1,286	0,045	0,171	0,474	3,124	0,008	34,4	6,79
C7	54,9	0,002	0,002	0,011	0,058	0,009	0,002	1,823	0,035	0,267	2,549	1,863	0,039	30,3	8,15
D	54,3	0,001	9E-04	0,011	0,049	0,007	0,003	2,063	0,04	0,303	2,722	1,793	0,042	30,6	8,06
E	54,9	0,002	0,002	0,008	0,032	0,013	0,001	1,579	0,039	0,23	1,299	2,794	0,026	32,2	6,86
F	49,7	5E-04	0,001	0,005	0,01	0,011	0,001	0,935	0,029	0,118	0,289	2,257	0,004	40,7	5,97
kaolin	57,4	0,003	0,008	0,024	0,007	0,01	0,005	0,734	0,008	0,767	0,031	0,441	0,023	23,6	16,9
obsidián	55,3	0,003	0,003	0,022	0,004	0,019	0,004	1,266	0,048	0,125	0,033	4,605	0	32	6,62
Porfyr Malenice	57,4	0,005	0,004	0,025	0,021	0,045	0,005	3,803	0,087	0,523	1,911	4,798	0,452	25,7	5,17

# Výbrus 01

- jemnozrnný ryolit
- obsahuje sférolity živců (vějířky)

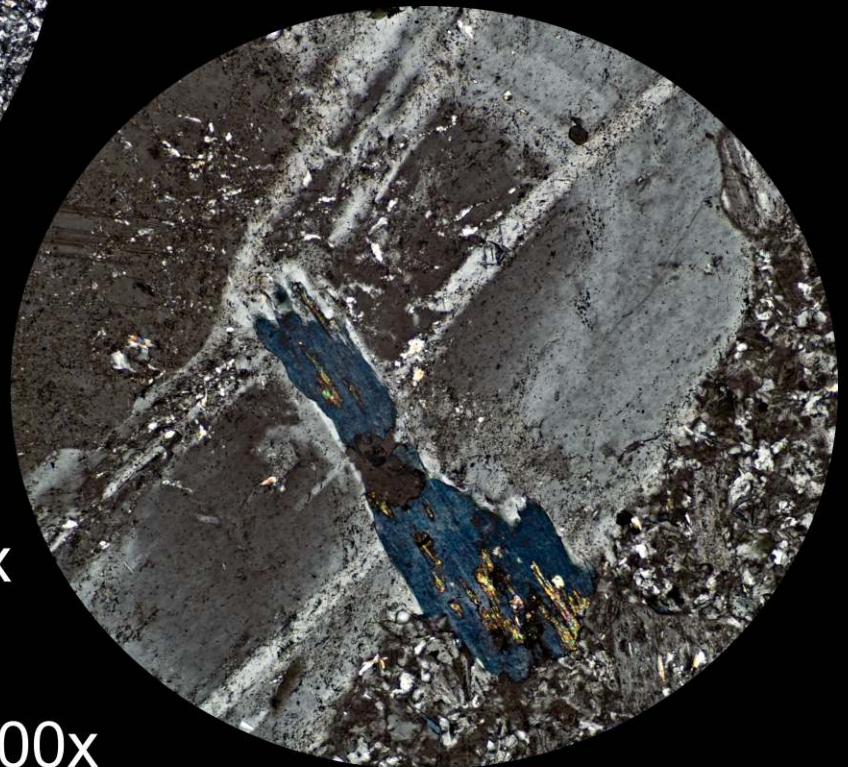
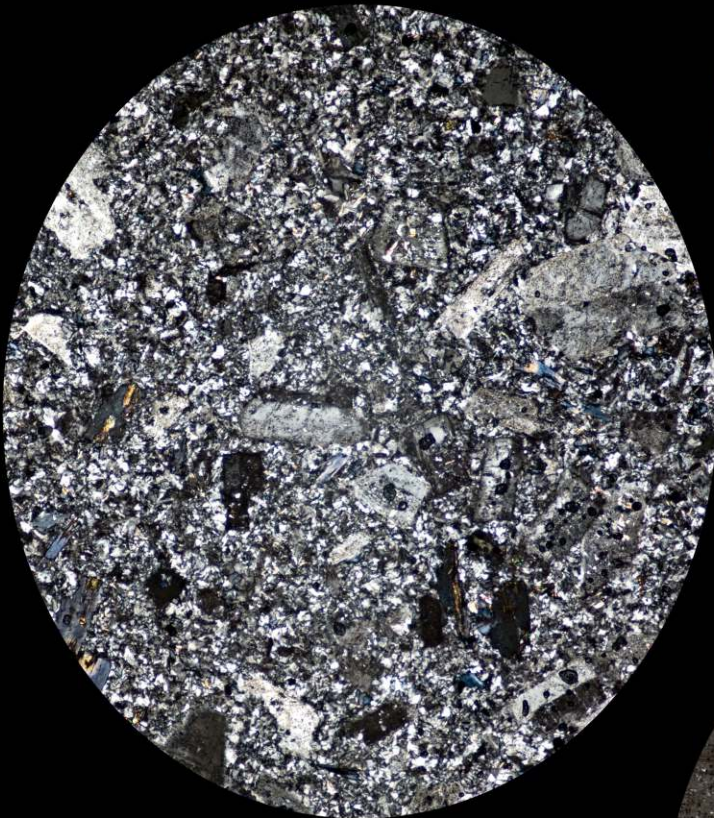
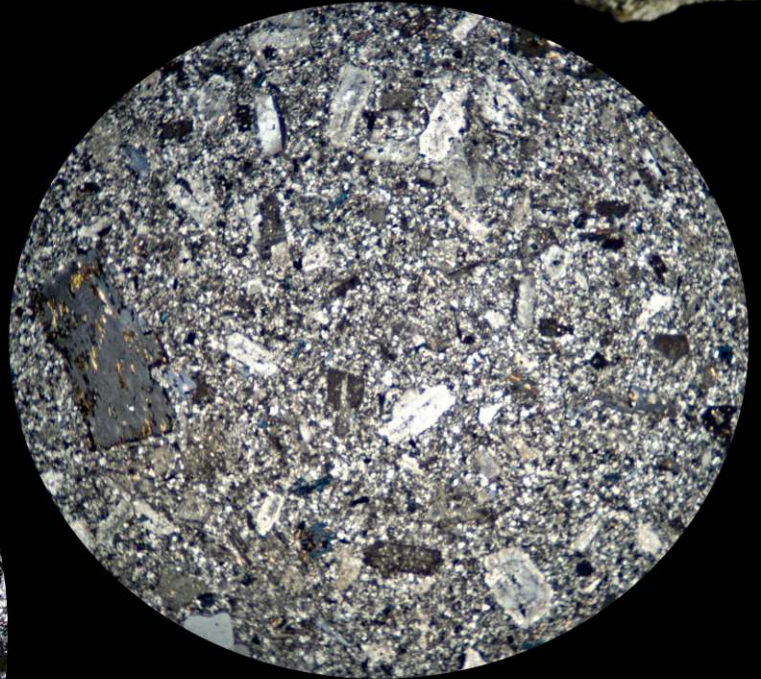


■ Vzorek 01

- Výbrusová kostka
- Výbrus zvětšení 25x
- Výbrus zvětšení 50x
- Výbrus zvětšení 200x

# Výbrus 19

- hrubozrnný porfyr
- obsahuje otavené hexagonální křemeny



■ Vzorek 19

● Výbrusová kostka

● Výbrus zv. 25x

● Výbrus zv. 50x

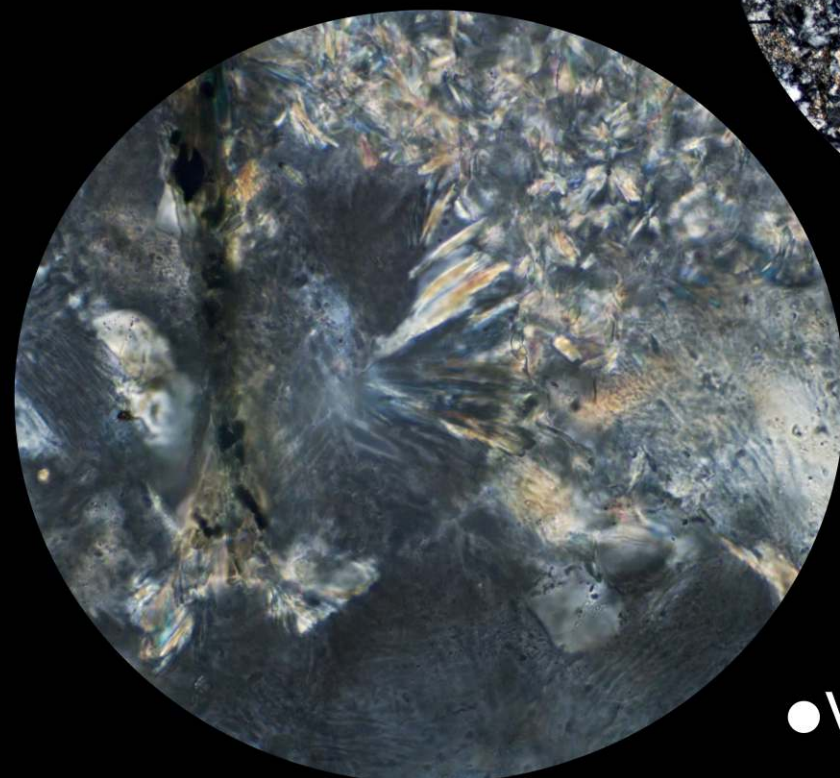
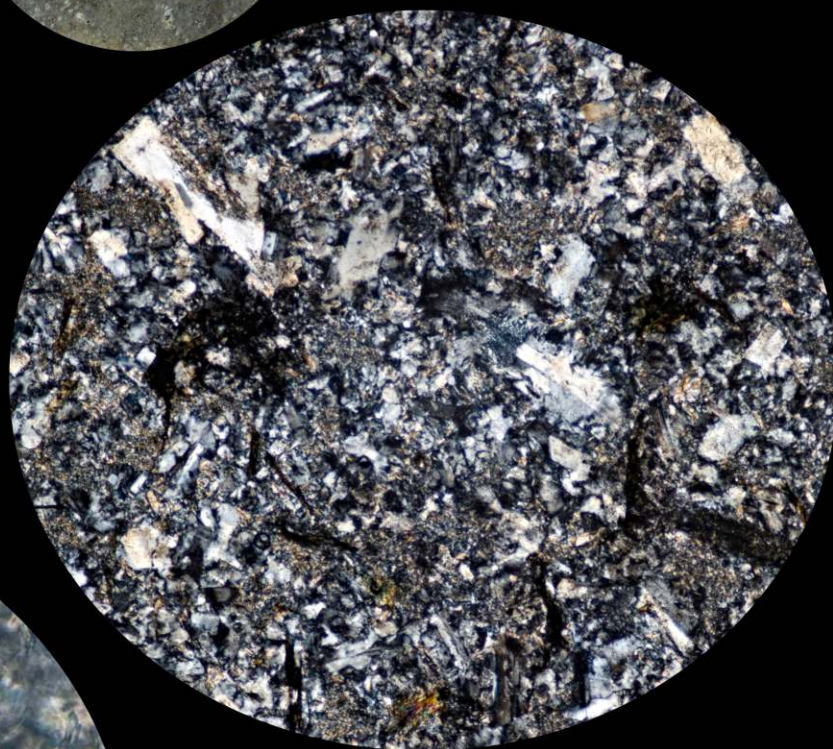
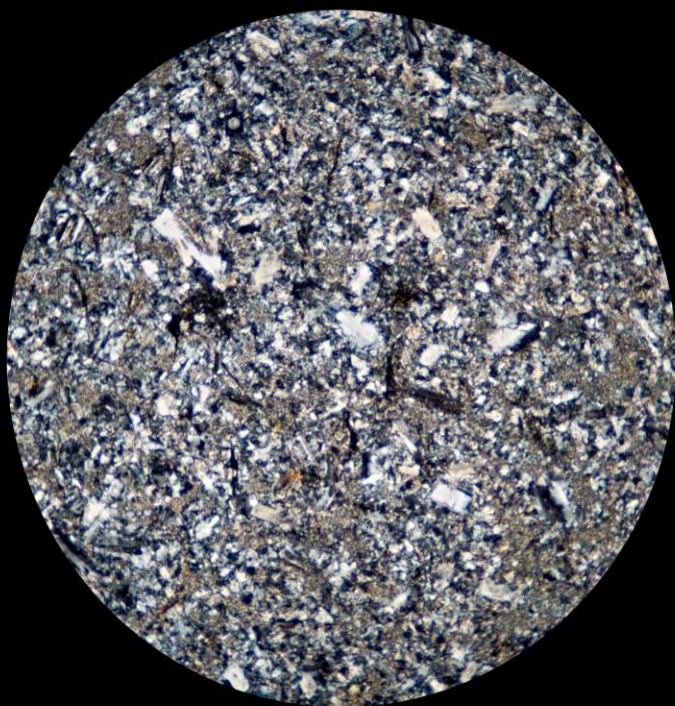
● Výbrus zv. 100x

# Výbrus A

- sklovitý porfyr
- sférolity živce
- vnější část subvulkanické intruze



1 cm



■ Výbrus A

● Výbrusová kostka

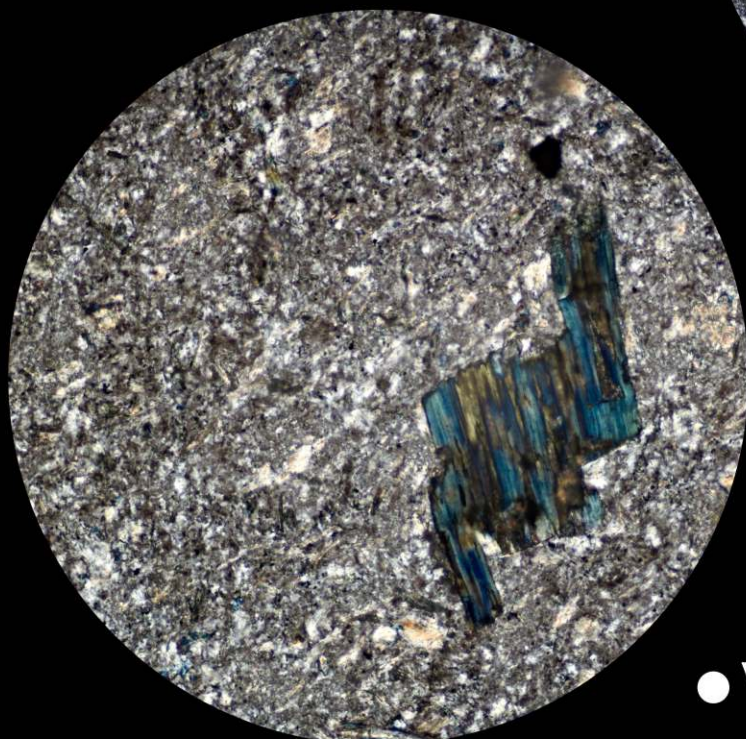
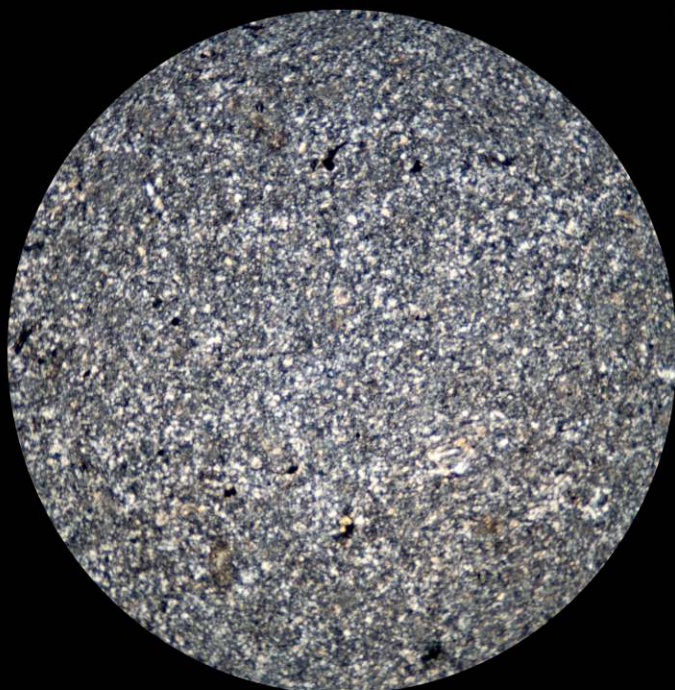
● Výbrus zv. 25x

● Výbrus zv. 50x

● Výbrus zv. 600x

# Výbrus B

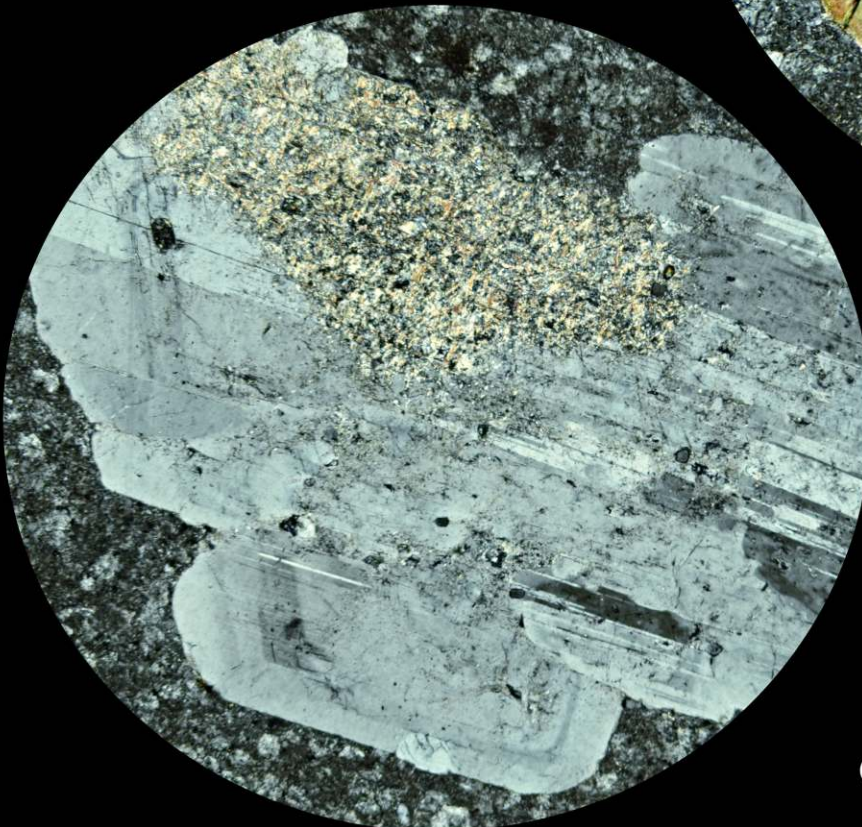
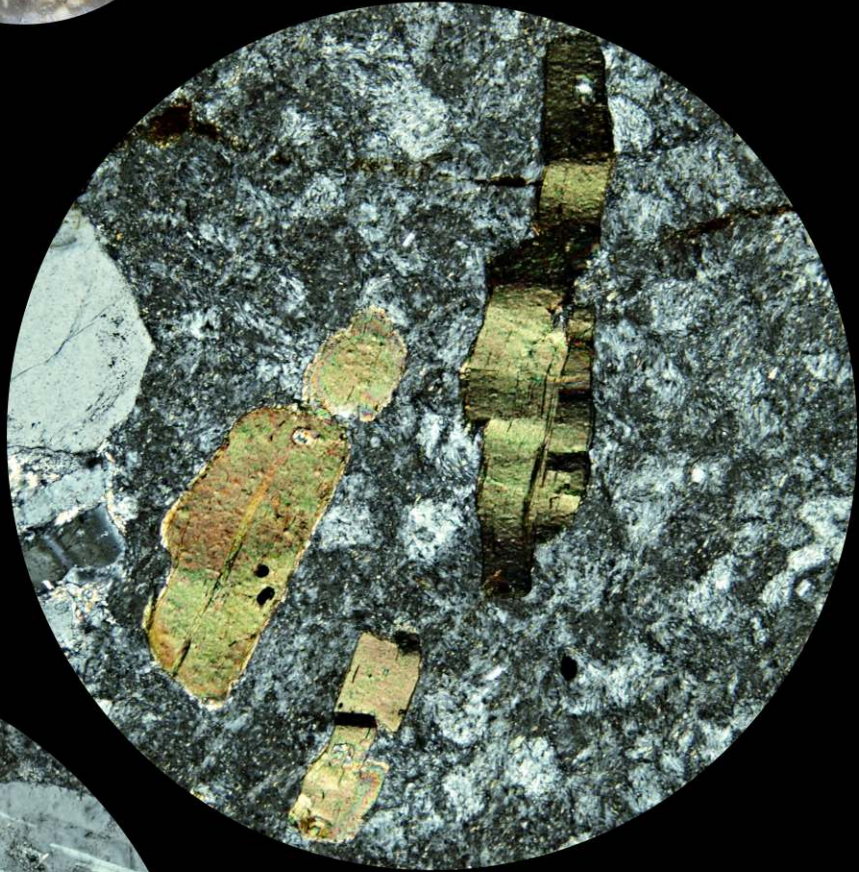
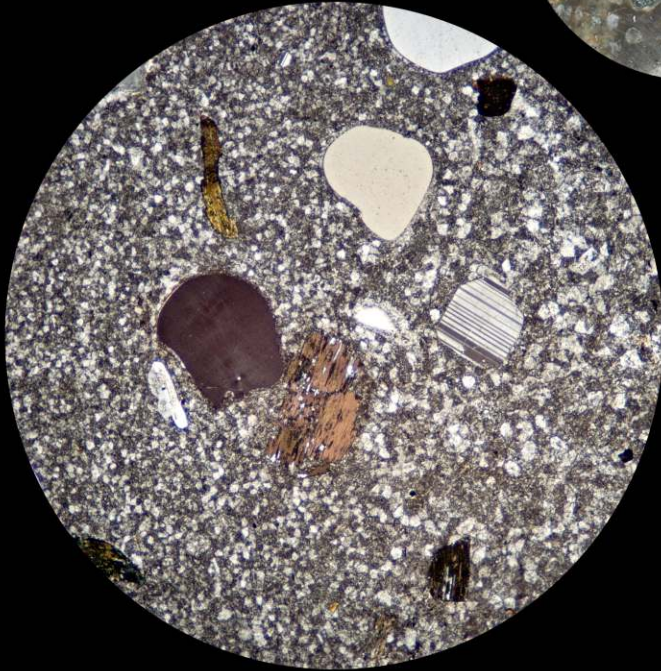
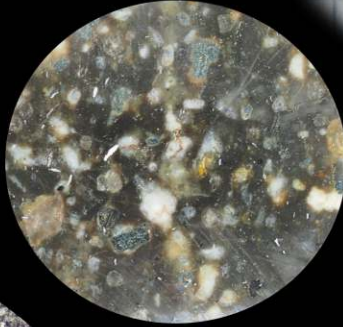
- sklovitý jemnozrný porfyr
- vnější část intruze



- Vzorek B
- Výbrusová kostka
- Výbrus zv. 25x
- Výbrus zv. 50x
- Výbrus zv. 100x

# Výbrus B9.a

- Sklovitý porfyr
- pohlcené krystaly z okolní horniny

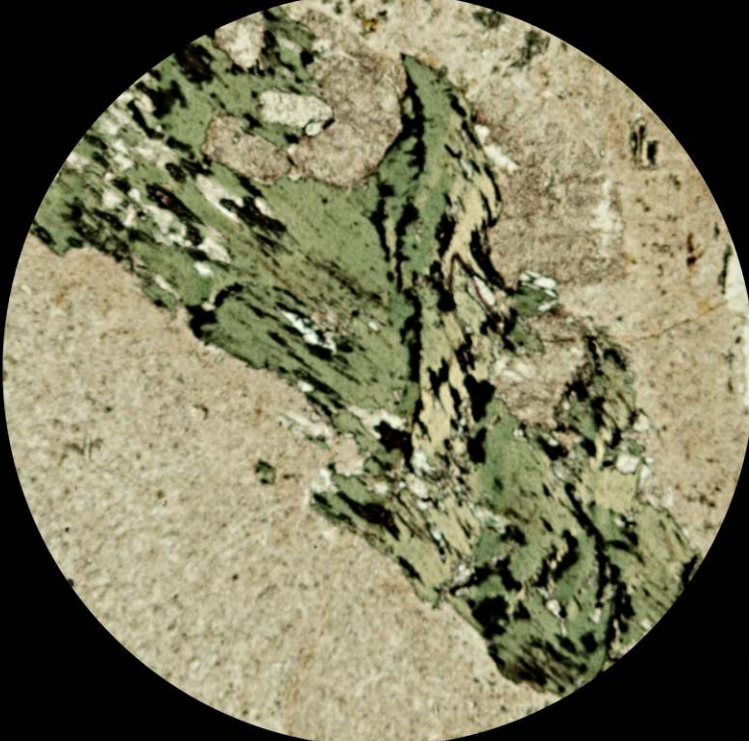


■ Vzorek B9

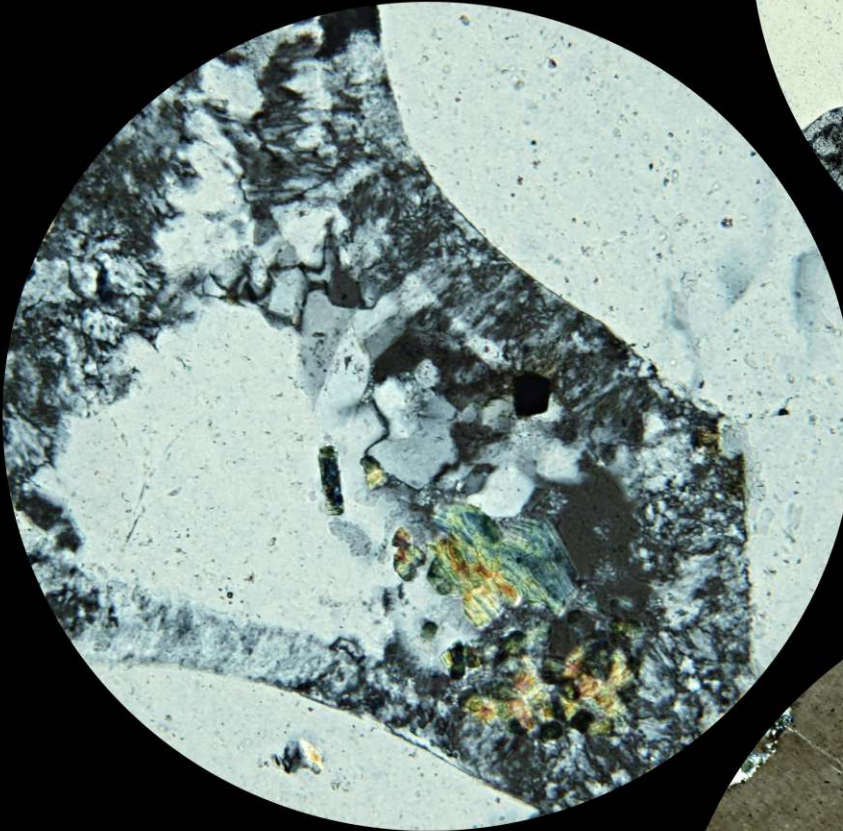
- Výbrusová kostka
- Výbrus zv. 25x
  - Výbrus zv. 100x
- Výbrus zv. 50x

# Výbrus B9.b

chloritizovaný biotit



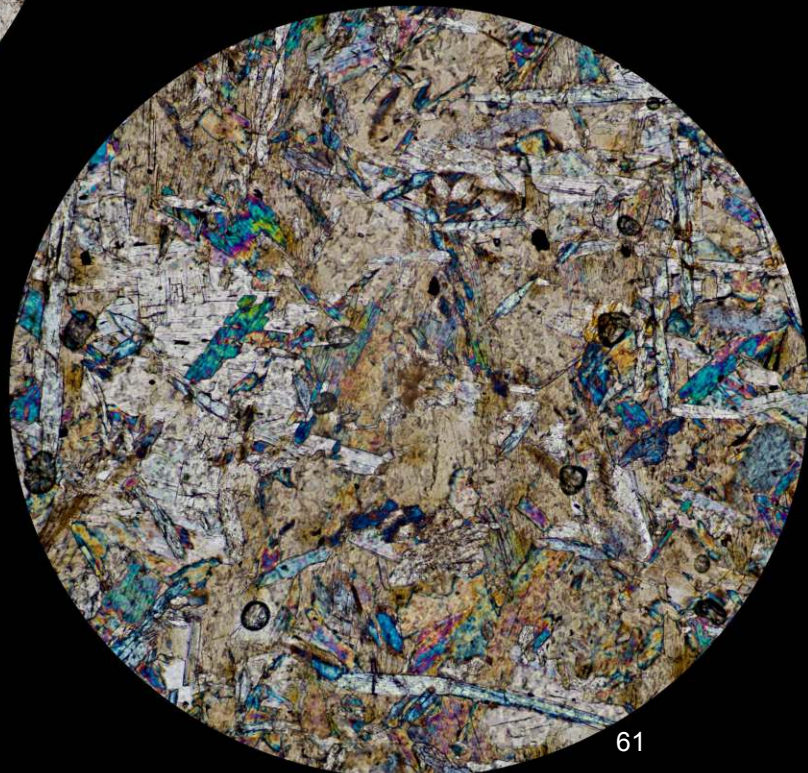
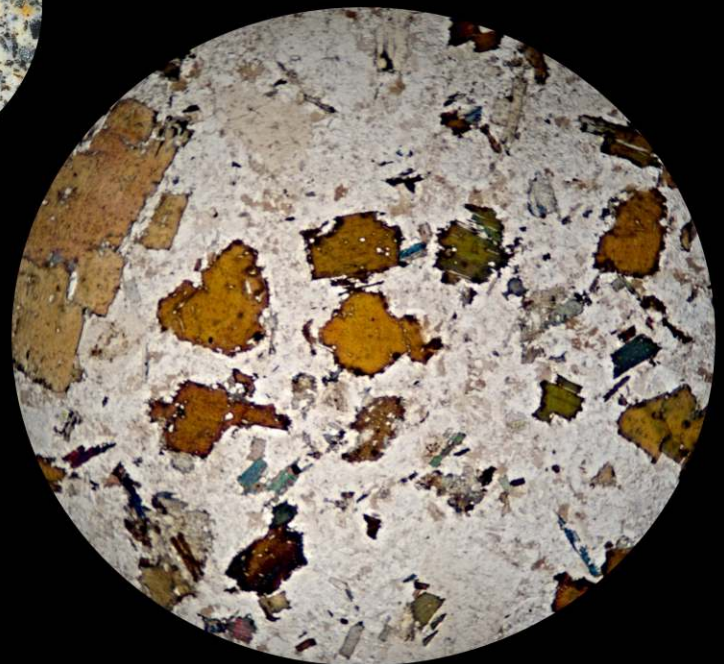
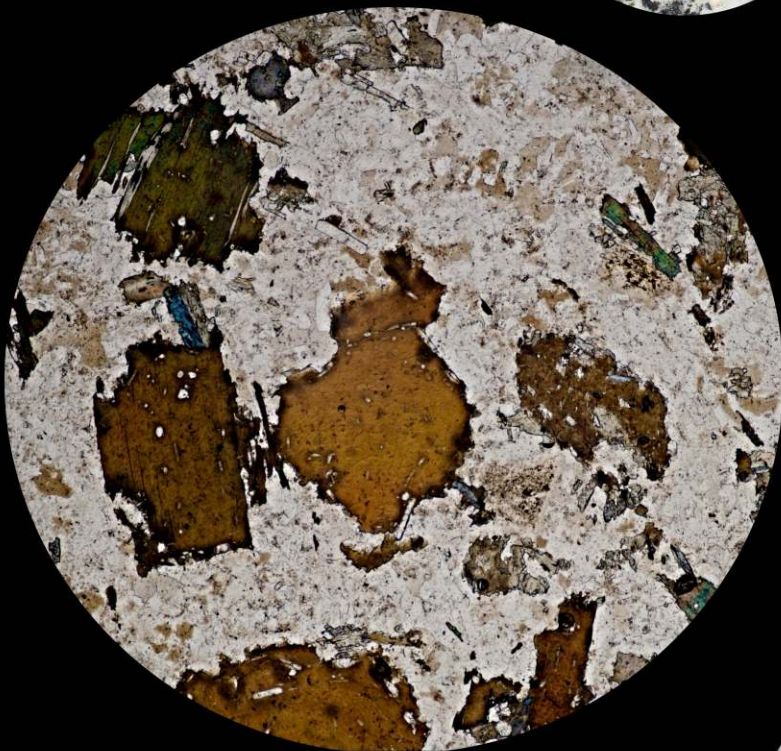
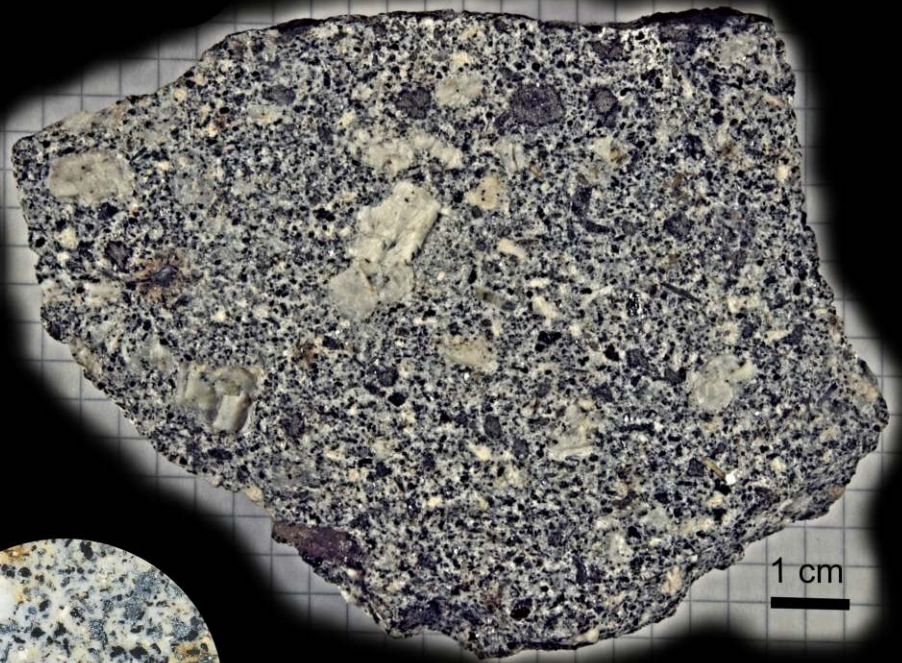
dutinky uvnitř  
šokových křemenů



- Výbrus zv. 50x
- Výbrus zv. 50x
- Výbrus zv. 200x
- Výbrus zv. 50x

# Výbrus C

- hrubozrnný porfyr
- lokalita Malenice
- velké vyrostlice plagioklasů
- pleochroické dvůrky s apatitem



■ Vzorek C

● Výbrusová kostka

● Výbrus zv. 25x

● Výbrus zv. 50x

● Výbrus zv. 100x

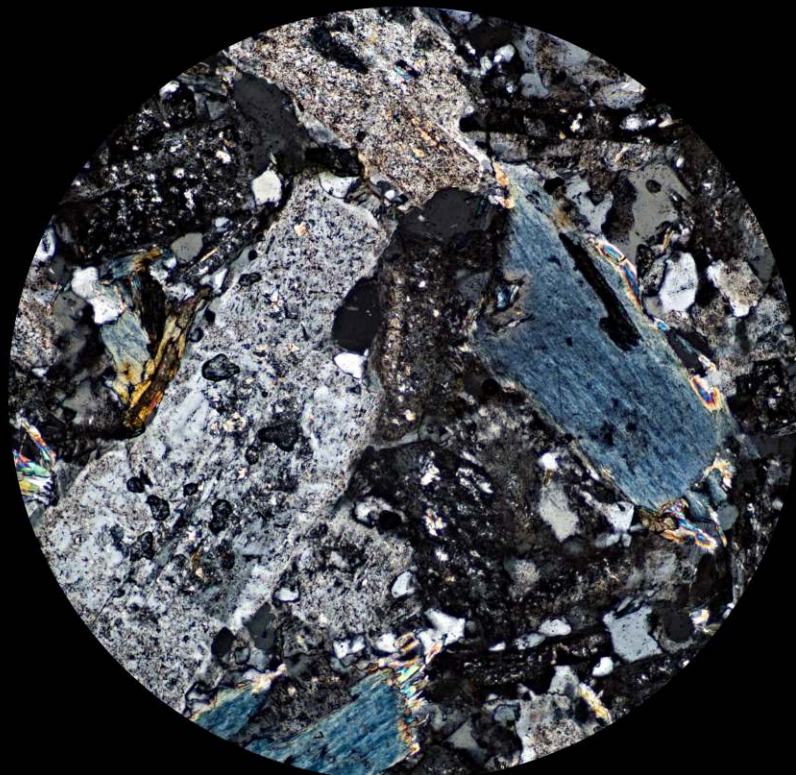
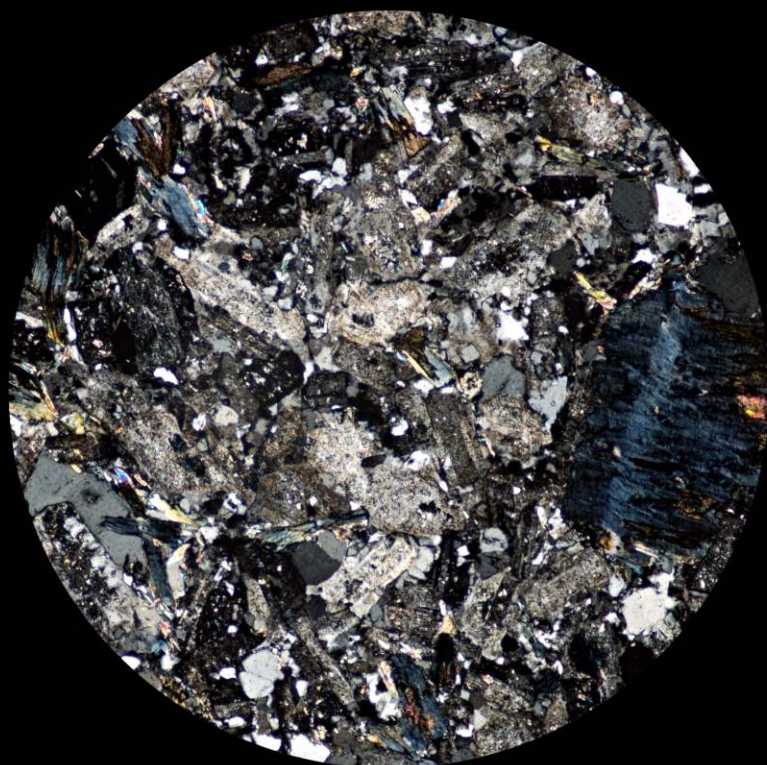
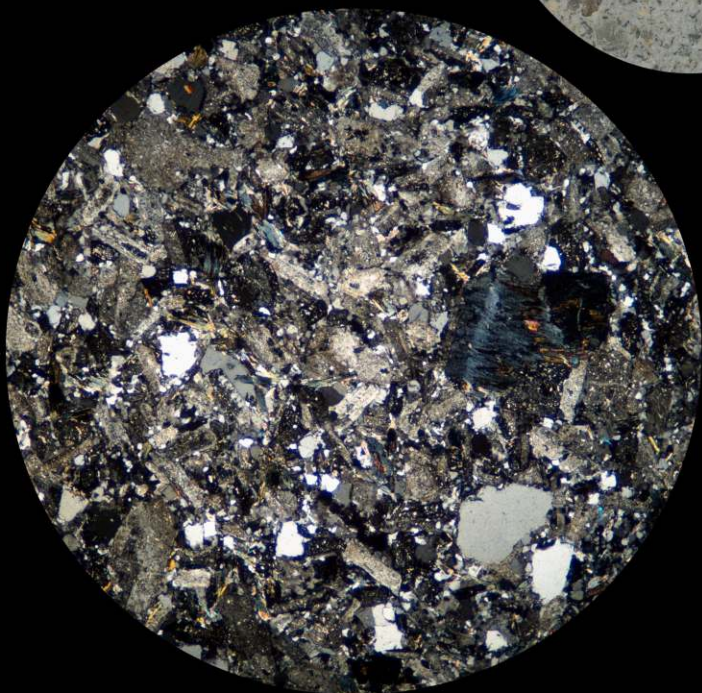
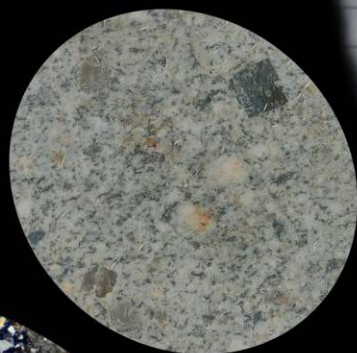


# Výbrus C5

- hrubozrnný porfyr
- chloritizované biotity



1 cm

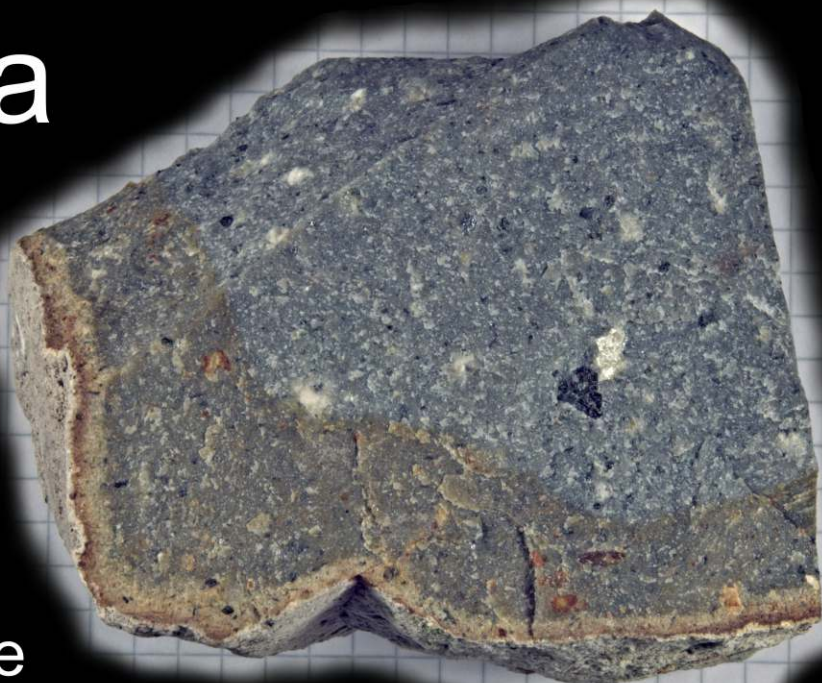


■ Vzorek C5

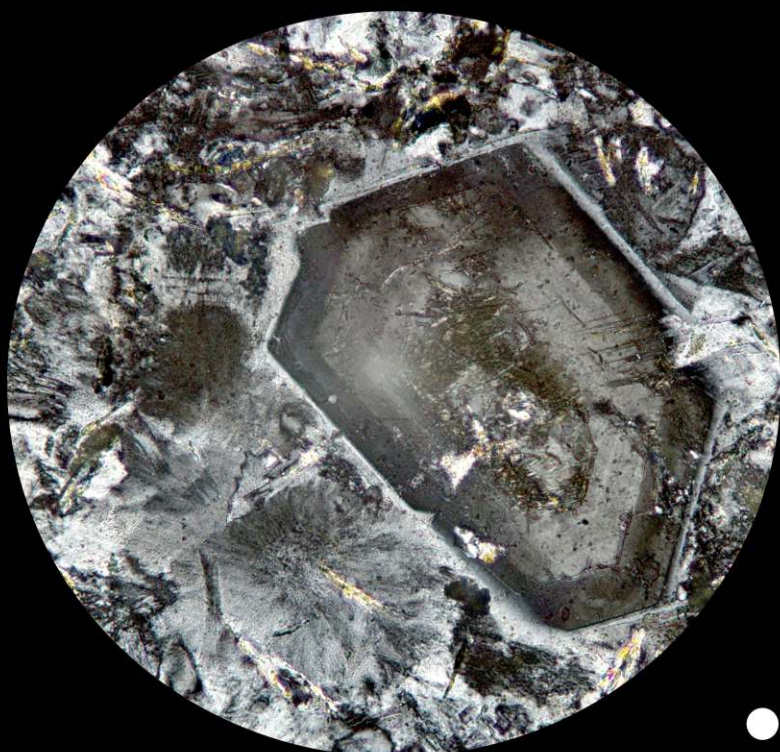
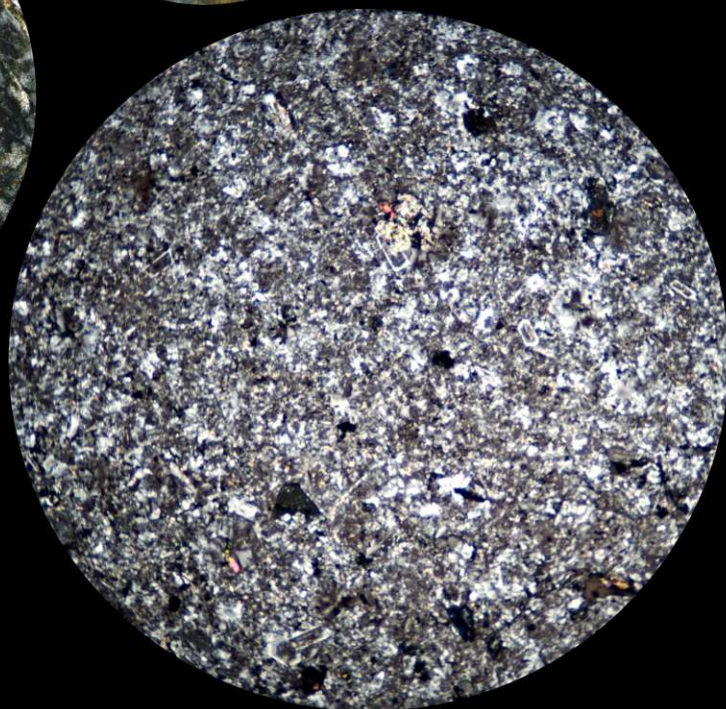
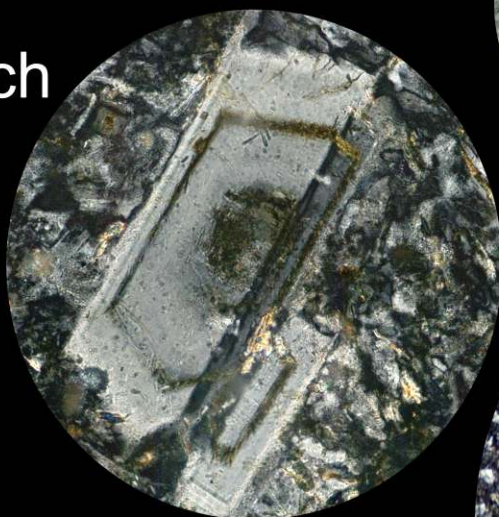
- Výbrusová kostka
- Výbrus zv. 25x
  - Výbrus zv. 50x
  - Výbrus zv. 100x

# Výbrus C6.a

- sklovitý ryolit
- na svrchní straně kaolinizace silná až 0,5 cm a proželeznění až 2 cm hluboké
- proželeznění způsobuje oranžové zbarvení části vzorku, šíří se podél prasklin zeslabených kaolinizací

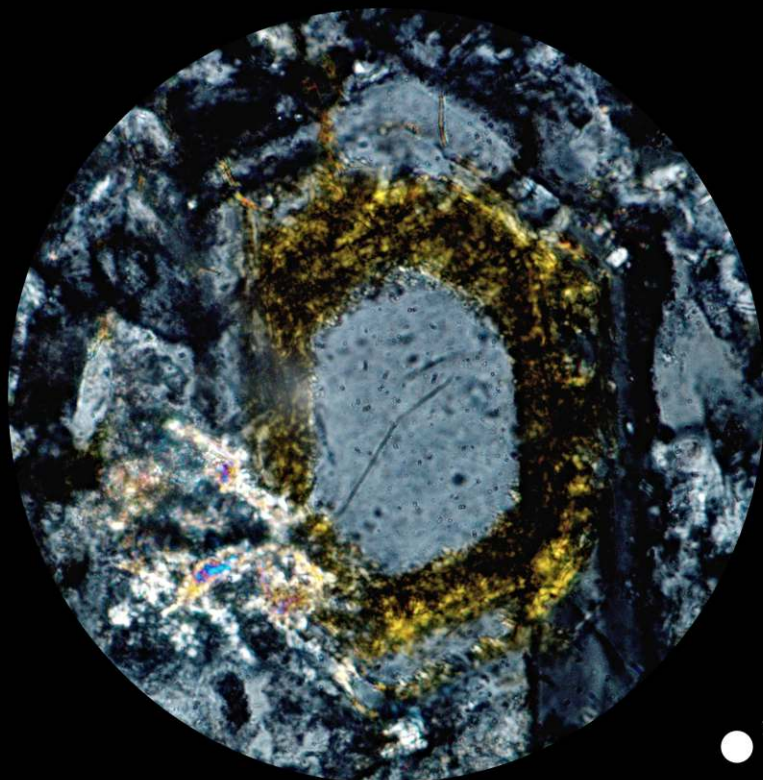
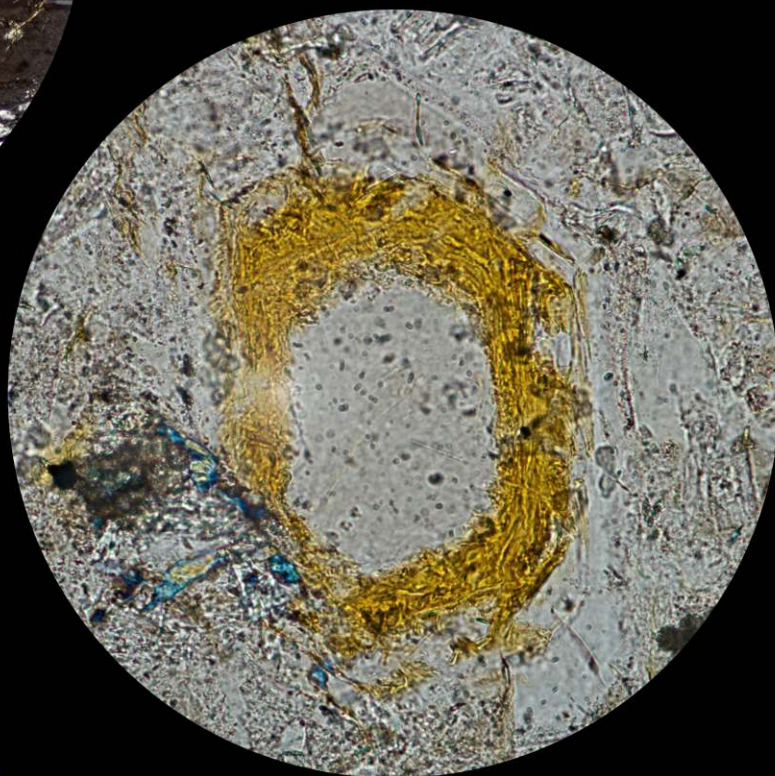
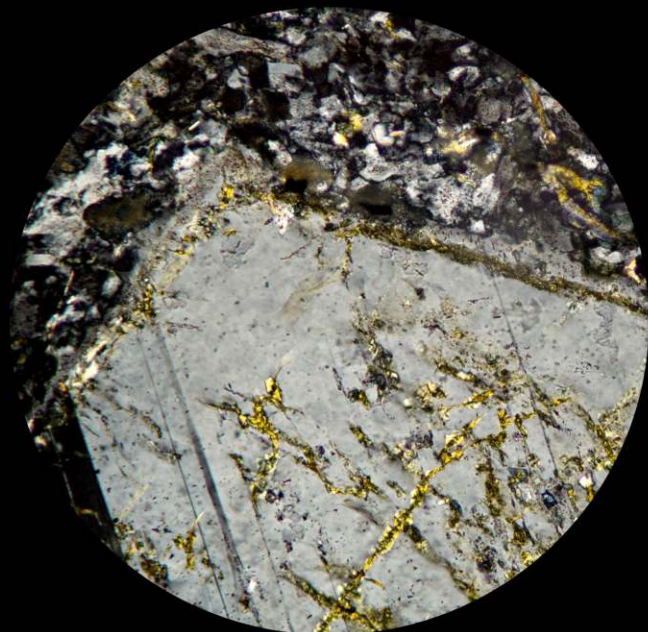
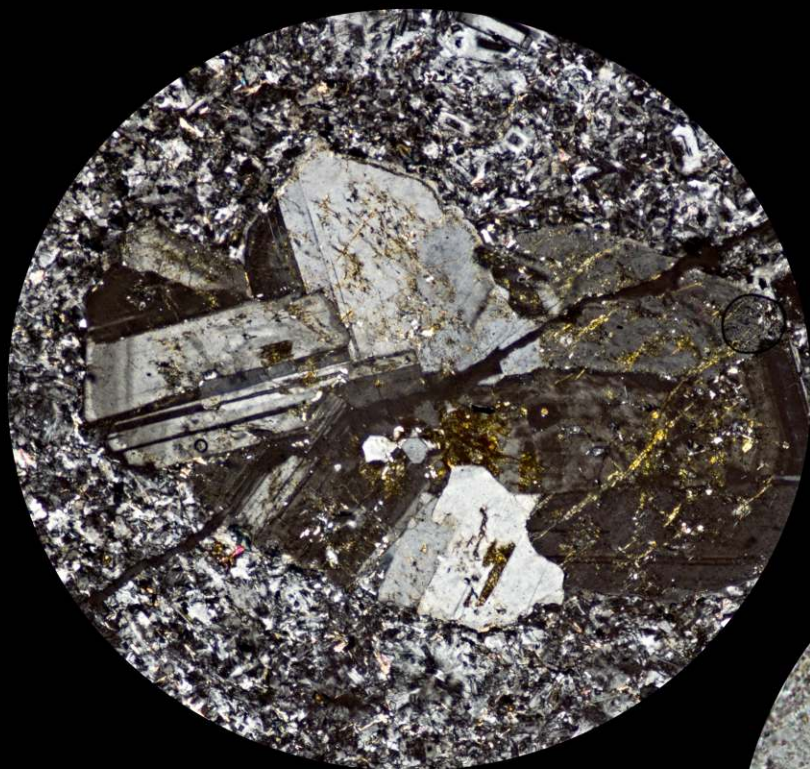


1 cm



- Vzorek C6
- Výbrusová kostka
- Výbrus zv. 400x
- Výbrus zv. 25x
- Výbrus zv. 200x

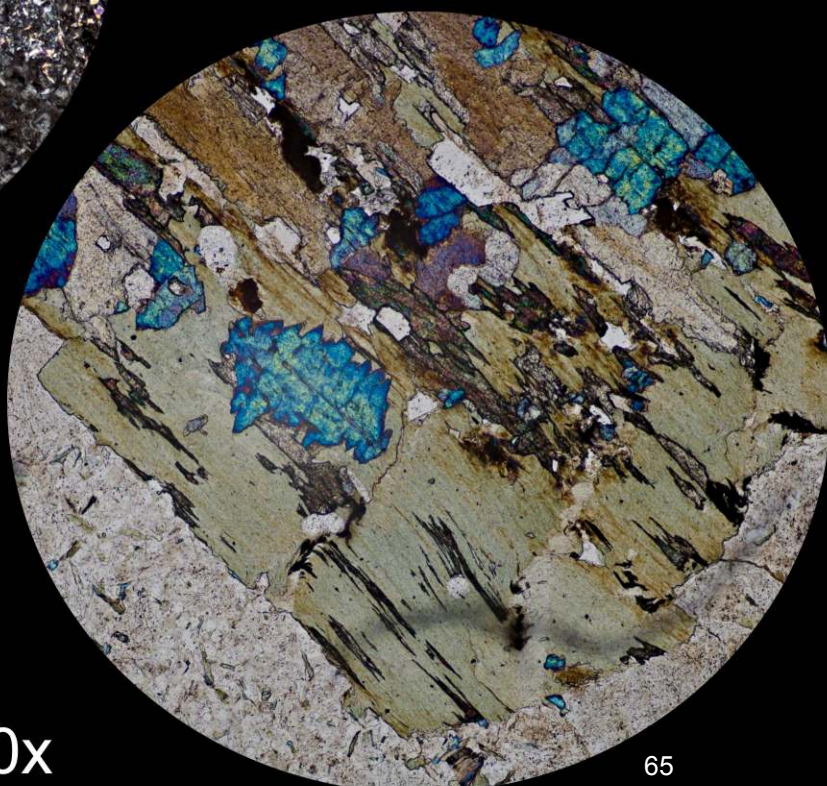
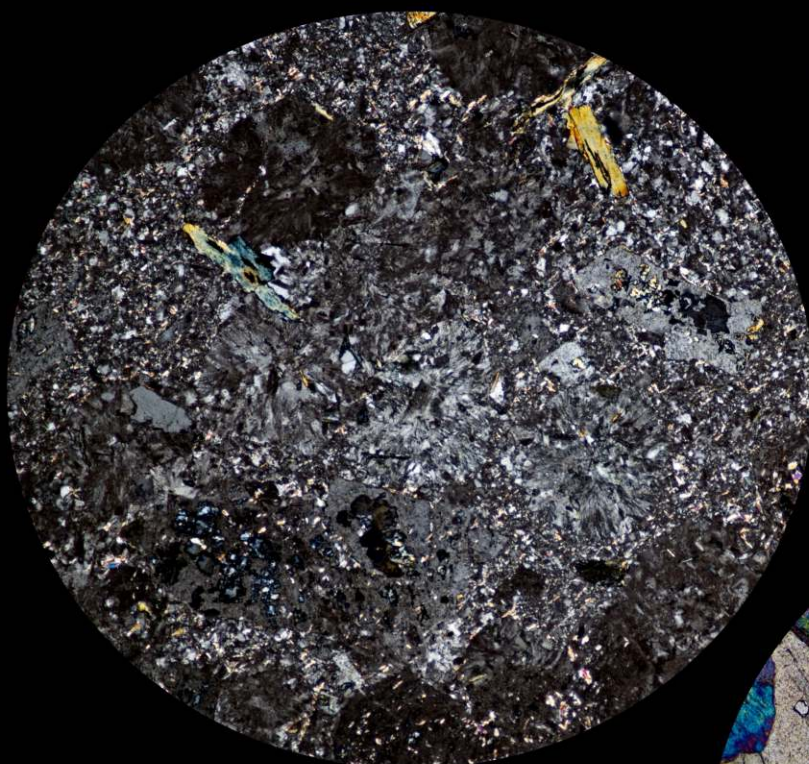
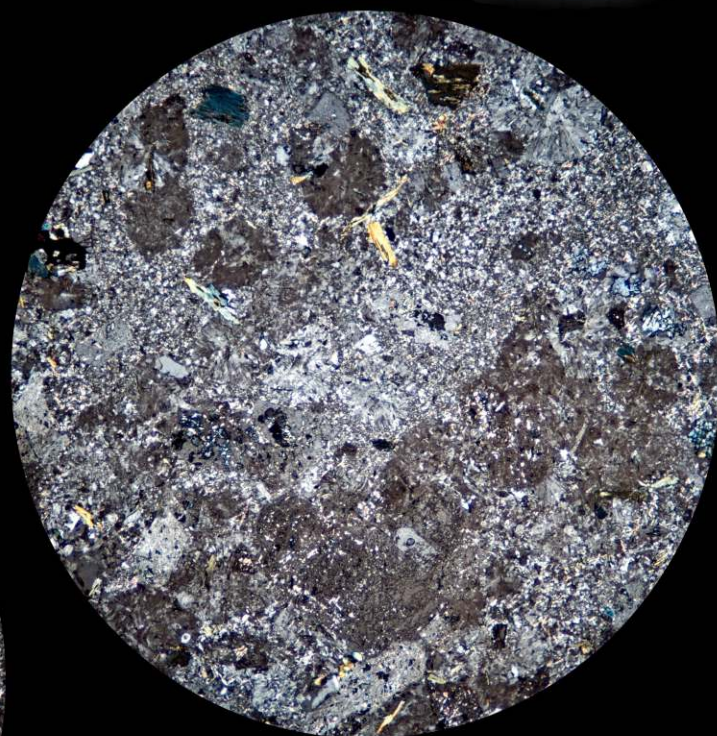
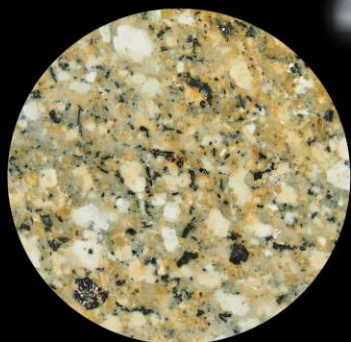
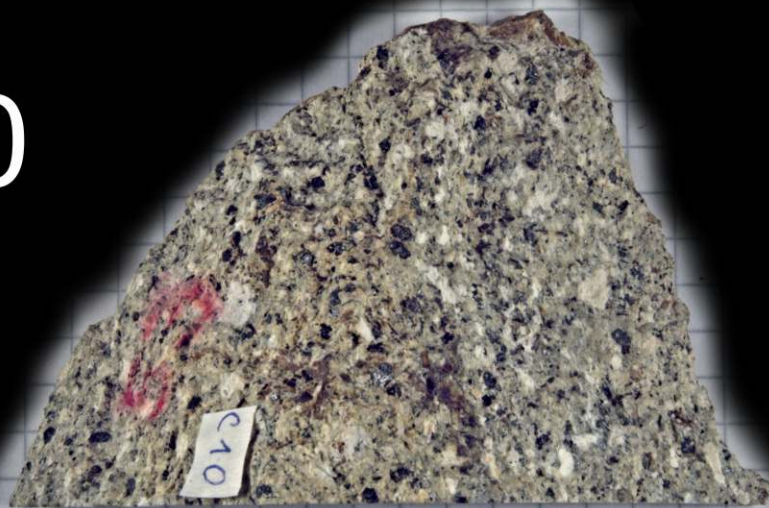
# Výbrus C6.b



- Výbrus zv. 200x
- Výbrus zv. 50x
- Výbrus zv. 400x
- Výbrus zv. 400x

# Výbrus C10

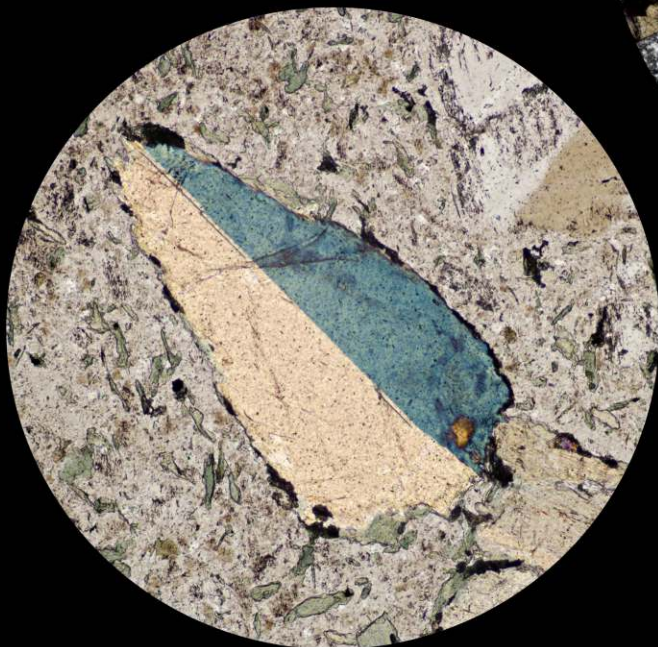
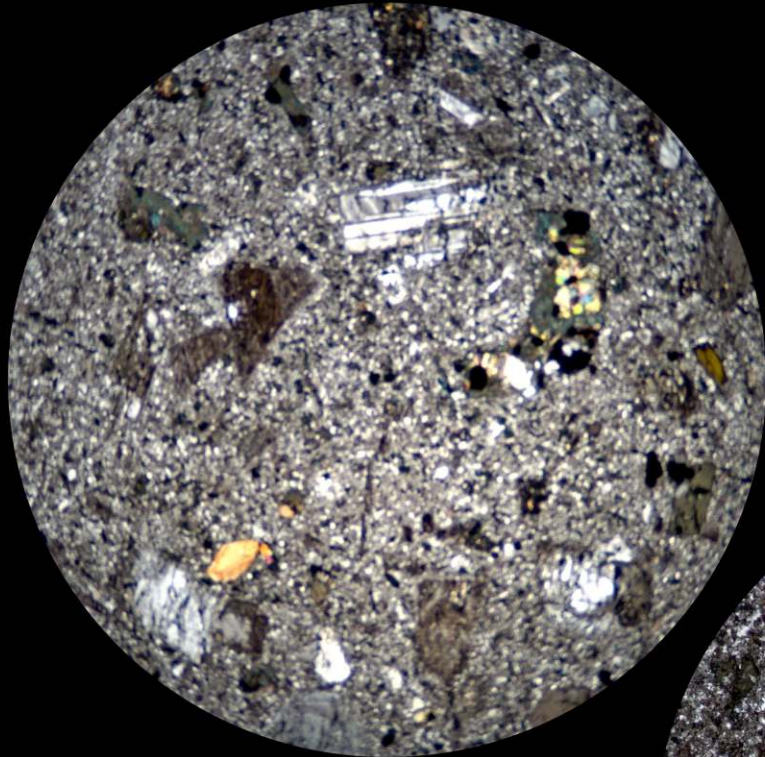
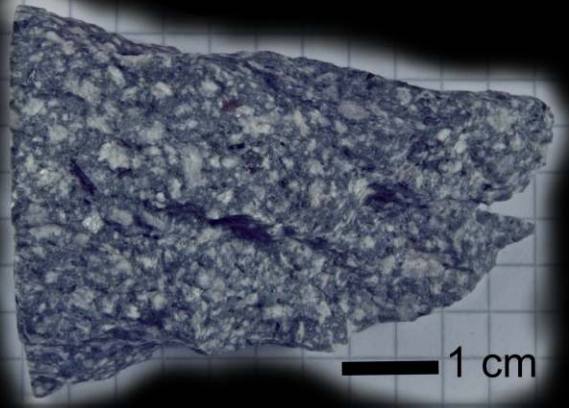
- drobnozrnný porfyr
- chloritizovaný biotit
- sférolity živců



- Vzorek C10
- Výbrusová kostka
  - Výbrus zv. 25x
- Výbrus zv. 50x
  - Výbrus zv. 100x

# Výbrus D

- hrubozrnný porfyr
- obsahuje sanidin a ortoklas

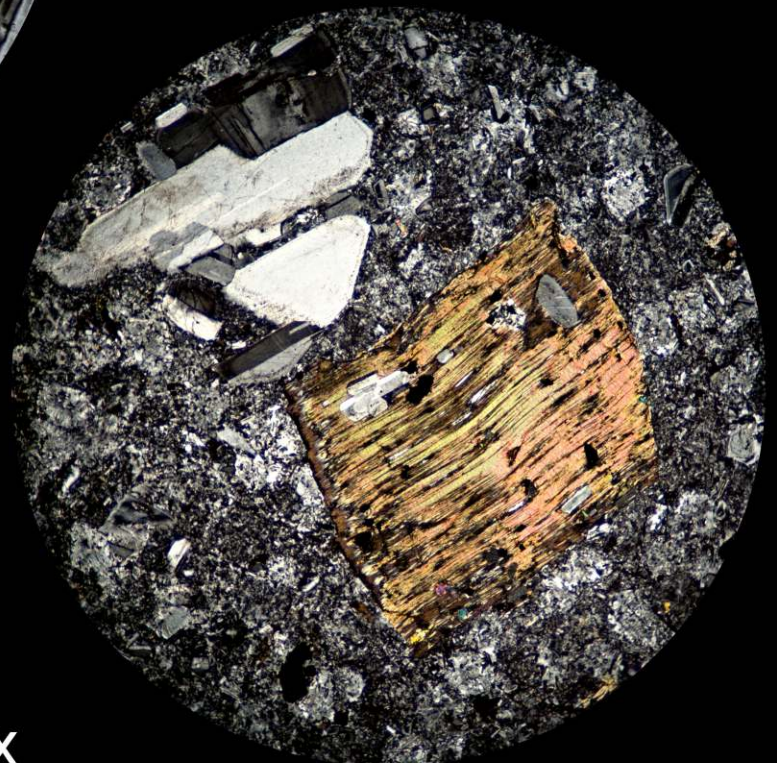
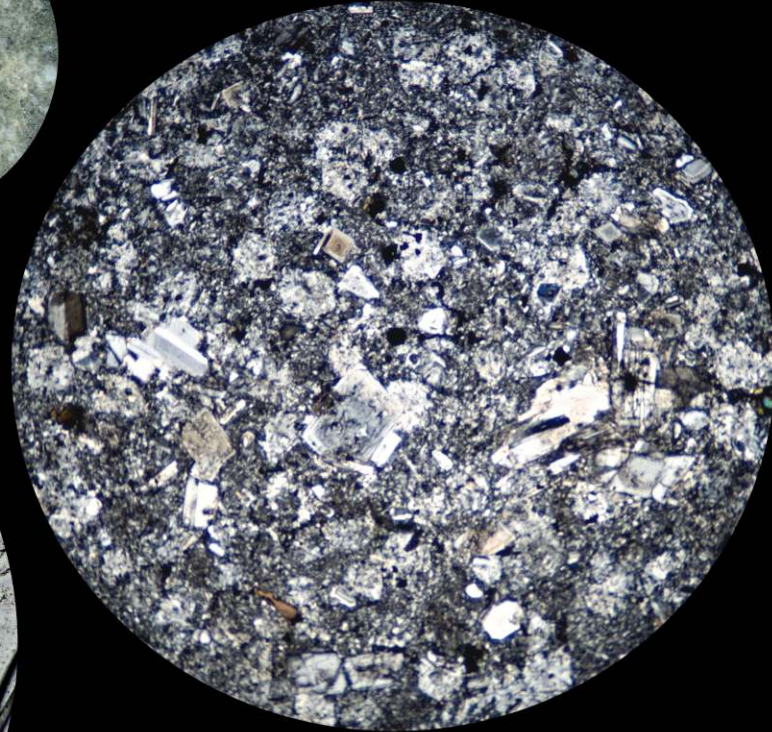
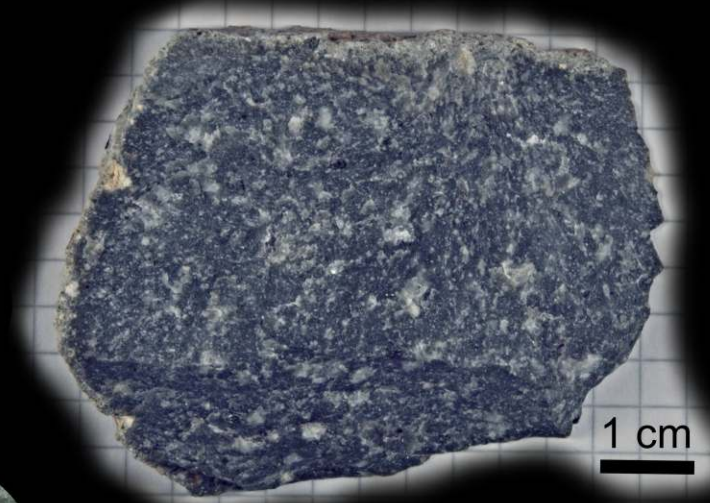


■ Vzorek D

- Výbrusová kostka
- Výbrus zv. 25x
  - Výbrus zv. 50x
- Výbrus zv. 100x

# Výbrus E

- drobnozrnný porfyr
- plagioklasové lamely
- chloritizovaný biotit



■ Vzorek E

● Výbrusový kostka

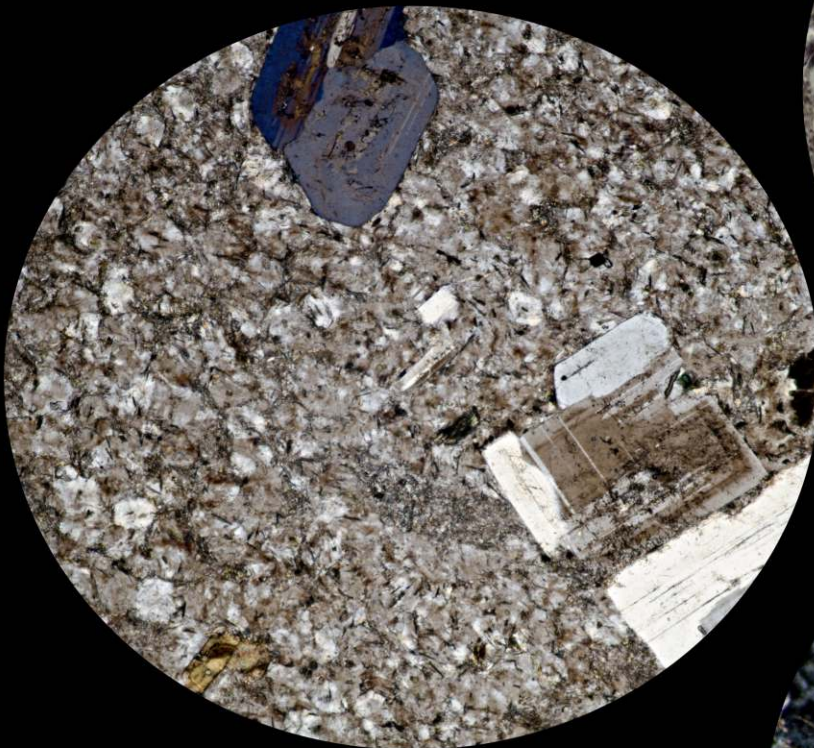
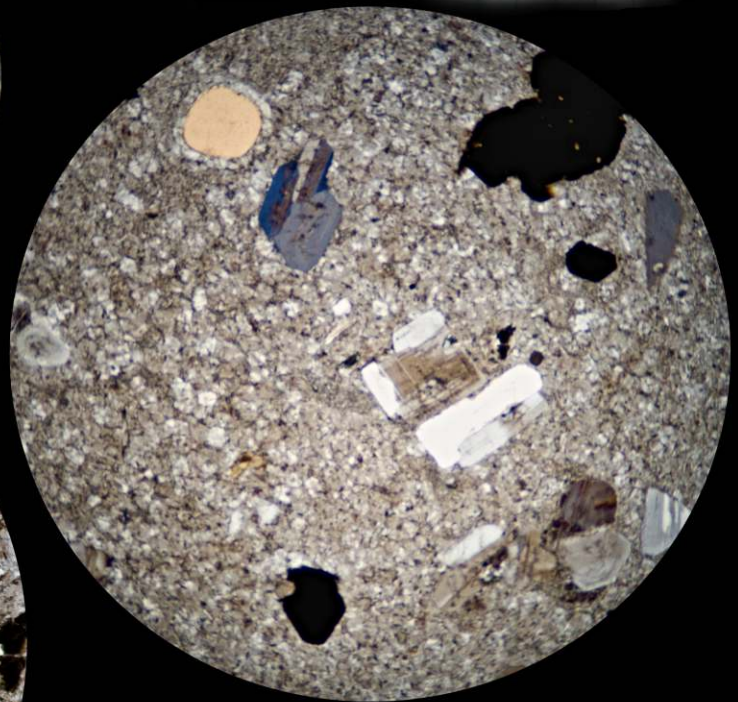
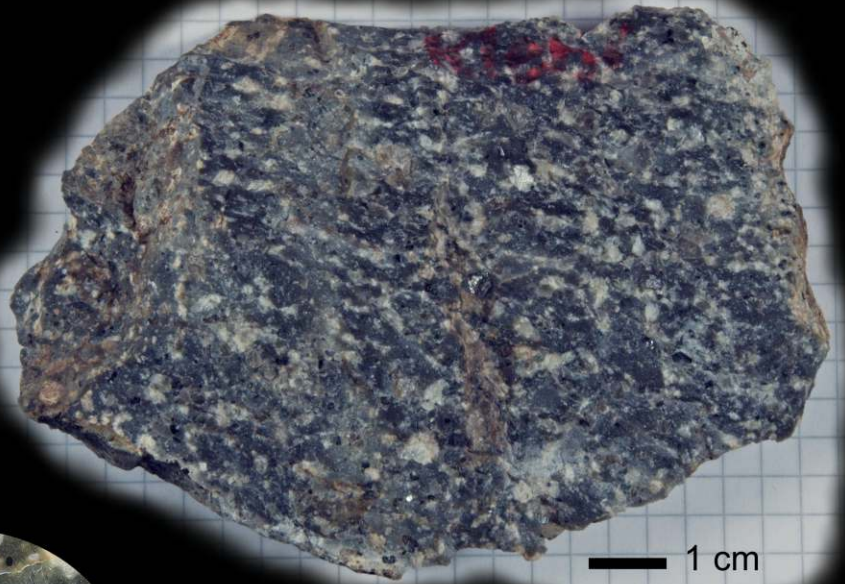
● Výbrus zv. 25x

● Výbrus zv. 100x

● Výbrus zv. 25x

# Výbrus F

- hrubozrnný porfyr
- zonální živce
- sférolity živců v základní hmotě
- otavené křemeny



■ Vzorek F

● Výbrusová kostka

● Výbrus zv. 25x

● Výbrus zv. 50x

● Výbrus zv. 100x