

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor 5. Geologie

**Subvulkanické intruze v Jižních Čechách:
Studie okolí Benešova nad Černou a Helfenburku**

**Subvolcanic intrusions in South Bohemia:
Study of the surrounding area of Benešov nad Černou and
Helfenburk**

Autor: Eliška Bršlicová

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

Jihočeský kraj

Konzultant:

RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.

České Budějovice 2016

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 zpřístupňování 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. Zbirovskému, Mgr. Kopecké a Ing. Kristovi, PhD. za cenné rady a spolupráci při zpracování vzorků v laboratoři URGA, s.r.o. v Olomouci. Mé poděkování patří též Ing. Roubíčkovi a jeho laboratornímu týmu za asistenci a rady při analýzách vzorků v laboratořích ČLUZ, a.s v Novém Strašecí.

Abstrakt

Terénní, mikroskopický a analytický výzkum obsidiánových a porfyrových žil z okolí Helfenburku a Benešova nad Černou dovoluje sloučit oba výskyty do identické magmatické/sopečné události. Hlavními nerosty porfyrických a sklovitých či jemnozrnných žil jsou draselné živce ve formě ortoklasu, mikroklinu a reliktního sanidinu. Křemen byl zjištěn jako pohlcená otavená zrna a beta křemen vykrystalovaný z magmatu v okolí Benešova nad Černou. Na Helfenburku se nachází pouze jako allotriomorfní zrna v základní hmotě.

Plagioklasy v okolí Benešova nad Černou a méně na Helfenburku obsahují výrazné polysyntetické lamelování, a vytváří srostlice a prorostlice. Ve vzorcích z okolí Benešova nad Černou je jejich stavba mnohdy narušená kaolinitem vznikajícím jejich větráním. U vzorků z Helfenburku jsou plagioklasové vyrostlice výrazně větší oproti porfyrům z okolí Benešova nad Černou. Jedná se zejména o albit a mnohdy o kombinaci draselného a sodného živce neboli perthit. Vyrostlice plagioklasu jsou zonální a undulózní. Vyskytuje se zde myrmekit.

Biotit se vyskytuje v několika formách, a to v pseudohexagonálních krystalech jednoklonné soustavy, v lištách a v podobě zárodků krystalizace v základní hmotě. Ty pak dodávají vzorku tmavší barvu, proto se někdy mylně označují jako minety. Biotity uvnitř porfyrů z Benešova nad Černou jsou většinou plně chloritizované, zbarvené zeleně, tmavé opakní oblasti jsou pravděpodobně ilmenit. Biotity z Helfenburku bývají potrhané, deformované a v některých případech i roztažené podél vyrostlic živců v podobě foliačních ryb. Některé biotity z Helfenburku obsahují drobné jehličky sagenitu v typickém srůstu. Apatity v biotitech obklopené pleochroickými dvůrky byly nalezeny pouze v porfyrech z Helfenburku a Malenic. V porfyrech z Helfenburku podléhá sporadický amfibol biotitizaci při krystalizaci magmatu.

Chemicky se vzorky z Helfenburku oddělují do třech výrazných skupin. Nejvýrazněji se odděluje jeden vzorek s vyšším obsahem Na shodný se žilami z Benešova nad Černou. Druhou skupinu představují vzorky s vyšším obsahem Ti, Fe a Mg, tato skupina se od žil z Benešova nejvíce odlišuje. Třetí skupina je zastoupeny vzorky s průměrným složením první a druhé skupiny, ale celkově obsahem Ti, Fe, Mg a K odlišná od Benešova nad Černou.

Mapováním žil na Helfenburku jsem vymezila odlišné hranice porfyrových žil od stávajících geologických map. Výzkum naznačuje, že se jedná o jedno veliké, tektonicky rozčleněné těleso směru S – J s menšími postranními žilami.

Klíčová slova: Benešov nad Černou, Helfenburk, magmatismus, žíla, porfyr, ryolit, obsidián, mineta, ortoklas, sanidin, mikroklin, plagioklas, sagenit, biotit, apatit, amfibol, beta křemen, chemické složení, XRD, XRS, XRF, foliační ryby

Abstract

Field, microscopic and analytical research of obsidian and porphyric intrusions from the surrounding area of Helfenburk and Benešov nad Černou allows the merging of the two occurrences into an identical magmatic/volcanic event. The main mineral of the porphyric and glassy or fine grained intrusions is potassium feldspar in the form of orthoclase, microcline and relict sanidine. Quartz was identified as absorbed melted grains and as beta quartz, that crystallized out of the magma in the surroundings of Benešov nad Černou. At Helfenburk the quartz is only found as allotriomorphic grains in the matrix. Plagioclases in surroundings of Benešov nad Černou and less on Helfenburku contain significant polysynthetic lamellae, and form twins and intergrowths. In the samples from Benešov nad Černou, their structure is often disrupted by kaolinite resulting from their weathering. In the samples from Helfenburk the plagioclase phenocrysts are significantly bigger compared to the porphyries in Benešov nad Černou. This particularly constitutes of albite and often a combination of potassium and sodium feldspar known as perthite. Phenocrysts of plagioclase are zonal and undulose. Myrmekite is also found within the porphyries.

Biotite occurs in several forms, in pseudo-hexagonal crystals of the monocline system, in plates and in the form of beginning crystallization within the groundmass. The biotites give the samples a darker color, therefore they are sometimes mistakenly referred to as minettes. Biotites inside porphyries from Benešov nad Černou are mostly fully chloritized, green-coloured and contain dark opaque areas, that are probably ilmenites. Biotites of Helfenburku are tattered, distorted and in some cases, stretched along the phenocrysts of feldspars in the form of a foliation fish. Some of the biotites from Helfenburk contain small needle-like sagenites in typical growths. Apatites in biotites are surrounded by pleochroic holes and are only found in the porphyries from Helfenburk and Malenice. In the porphyries from Helfenburku is the sporadic amphibole a subject to biotitization during the cooling and crystallization of the magma.

The samples from Helfenburku chemically separated into three distinct groups. Most notably separated is one sample with higher content of Na, same as in the intrusions from Benešov nad Černou. The second group represents samples with higher content of Ti, Fe and Mg, this group separates the most from the intrusions in Benešov nad Černou. The third group is represented by the samples with the average composition of the first and second groups, but overall, with its content of Ti, Fe, Mg and K it differs from Benešov nad Černou.

While mapping the intrusions in Helfenburk, I defined different boundaries of the porphyric veins from the current geological maps. Research suggests that this is one great tectonically broken down body in the direction N – S with smaller lateral veins.

Key words: Benešov nad Černou, Helfenburk, magmatism, intrusion, porphyry, rhyolite, obsidian, minette, orthoclase, sanidine, microcline, plagioclase, sagenite, biotite, apatite, amphibole, beta quartz, chemical composition, XRD, XRS, XRF, foliation fish

1. Úvod	6
1.1. Všeobecný úvod k vulkanickým provinciím.....	6
1.2. Stručný přehled geologie okolí Helfenburku.....	7
1.3. Porovnání žil z okolí Benešova nad Černou a z Helfenburku	7
1.4. Vysvětlivky zkratk dále použitých v textu.....	7
2. Metody výzkumu	8
2.1. Terenní výzkum	8
2.2. Makroskopický výzkum	24
2.3. Mikroskopický výzkum	24
2.3.1. Zhotovení petrografických výbrusů.....	24
2.3.2. Mikroskopování.....	28
2.4. Rentgenfluorescenční analýza (XRF)	29
2.5. Rentgenová spektrometrie (XRS)	30
2.5.1. Zhotovení tavených tablet.....	30
2.5.2. Zhotovení voskových tablet.....	33
2.5.3. Měření rentgenovým spektrometrem	34
2.6. Rentgenová difrakce (XRD).....	36
2.6.1. Zhotovení preparátu XRD	36
2.6.2. Měření rentgenovým difraktometrem.....	38
3. Zjištěné výsledky.....	41
3.1. Makroskopická charakteristika porfyrů.....	41
3.2. Mikroskopická charakteristika minerálů v porfyrech.....	48
3.2.1. Křemeny.....	48
3.2.1.1. Pohlcený křemen	49
3.2.1.2. Hexagonální (beta) křemeny	51
3.2.1.3. Allotriomorfní křemeny.....	52
3.2.2. Živec.....	52

3.2.2.1. Plagioklas	52
3.2.2.2. Myrmekit	56
3.2.2.3. Sanidin	57
3.2.2.4. Ortoklas	59
3.2.2.5. Perthit	60
3.2.2.6. Sférolitický ortoklas	61
3.2.2.7. Mikroklin	63
3.2.2.8. Kaolinizace živců	63
3.2.3. <i>Biotit</i>	66
3.2.3.1. Chloritizovaný biotit	70
3.2.3.2. Sagenitový biotit	72
3.2.3.3. Biotitové foliační ryby	74
3.2.4. <i>Základní hmota</i>	75
3.2.5. <i>Apatit</i>	81
3.2.6. <i>Muskovit</i>	83
3.2.7. <i>Amfibol</i>	87
3.3. Chemické analýzy	90
3.3.1. Výsledky rentgenfluorescenční analýzy	90
3.3.2. Výsledky rentgenové spektrometrie	92
3.3.3. Porovnání chemického složení lokalit	94
3.3.4. Výsledky rentgenové difrakce	96
3.4. Souhrnná diskuze výsledků	96
4. Závěr	97
4.1. Soupis použité literatury	97
4.2. Seznam Příloh	100

1. Úvod

Cílem mé práce je zjistit vznik, charakteristiku a rozlohu sopečných žil v okolí hradu Helfenburk u Bavorova a porovnat je s výskytem žil v okolí Benešova nad Černou (Bršlicová, 2015). Tento výzkum jsem si zvolila, protože se zajímám o geologii a vulkanologii. V okolí Helfenburku a Benešova nad Černou se nachází žíly (subvulkanické intruze porfyrů a ryolitů), které nebyly dosud podrobně analyzovány a jejich zanesení v geologické mapě je nepřesné.

V mé práci se na úvod zmíním o členění vulkanických provincií podle profesora H. C. Shetha, poté nastíním geologickou situaci v okolí Helfenburku, pak bude následovat popis jednotlivých metod výzkumu, které jsem prováděla a poté výsledky provedených analýz, na závěr bude diskuze výsledků.

1.1. Všeobecný úvod k vulkanickým provinciím

Následující systém řazení vulkanických provincií je podle návrhu profesora H. C. Sheth, Ph.D. z Indian Institute of Technology Bombay. Do tzv. *Large Igneous Provinces* (LIP) jsou řazeny všechny oblasti vyvěřelých hornin, které mají nad 50 000 km² bez ohledu na jejich mechanismus a kompozici, LIP se dělí na *Large Volcanic Provinces* (LVP), do kterých spadají výlevné lávy (ryolitické, čedičové a andezitové) a na *Large Plutonic Provinces* (LPP), které obsahují hlubinné a intruzivní lávy.

LVP se dále člení na *Large Rhyolitic Provinces* (LRP), *Large Basaltic Provinces* (LBP), *Large Basaltic-Rhyolitic Provinces* (LBRP) a *Large Andesitic Provinces* (LAP), bez ohledu na vznik oblasti. LRP zastupuje oblasti, které obsahují hlavně kyselé vulkanity (ryolit, dacit, trachyt) spolu s dalšími v menším množství, jako je například Sierra Madre Occidental v Mexiku. LBP představují oblasti s bazickými vulkanity hlavně s čedičovou kompozicí, které mohou obsahovat menší výskyt, například ryolitu či trachytu. Pod LBP si lze představit vulkanické oblasti Islandu, Hawaie a Indočíny. LBRP jsou oblasti, kde se vyskytují jak felsitické horniny, tak i mafické přibližně ve stejném množství, ale postrádají vulkanity střední kompozice, jako například lávové pole Oregonu. LAP představují oblasti hlavně andezitového charakteru s menším obsahem jiných hornin, jako jsou jihoamerické Andy a severoamerické Kaskády.

Pod LPP patří pouze *Large Granitic Provinces* (LGP), kde dominují kyselé lávy (žula, granodiorit, tonalit) jako například v Hílamajích nebo pobřeží Peru, LPP nemá začleněnou provincii s mafickým charakterem, protože možní kandidáti nemají jasný původ, jedná se o poměrně staré a oderodované oblasti.

Oblast výskytu porfyrových žil i ve spojení s dalšími lokalitami v Jižních Čechách nepřesahuje rozlohu 50 000 km², a proto nemůže být podle velikosti zařazena do systému vulkanických provincií ve smyslu Shetha (2007). Ale vzhledem k pravděpodobnému doposud odhadovanému rozšíření podle geologických map, území o rozloze 8435 km² představuje vulkanickou provincii menších rozměrů. Jedná se o významný geologický fenomén západní

části Českého masívu a podle výše uvedené klasifikace se může jednat o velikostně menší obdobu velké ryolitové provincie (LRP).

1.2. Stručný přehled geologie okolí Helfenburku

Podloží okolí Helfenburku a zde nacházejících se subvulkanických žil je tvořeno hlavně migmatity a místy rulou a pararulou. Četné skalní výchozy jsou výrazně foliované po duktilní deformaci. Vyskytují se zde četné výchozy porfyrických subvulkanických žil, které jsou mocné až několik desítek metrů.

1.3. Porovnání žil z okolí Benešova nad Černou a z Helfenburku

Žíly v okolí Helfenburku jsou poměrně mocné a hrubozrnné, sklovité okraje se zde vyskytují spíše ojediněle, což dokazuje, že se jedná o hlubinnější žíly, které byly silným odnosem odkryty. Oproti tomu, intruze v okolí Benešova nad Černou mají malý objem a jsou hlavně sklovitého charakteru (Bršlicová, 2015), vznikaly v těsné blízkosti zemského povrchu a v okolní oblasti nedošlo k příliš velkému odnosu. Žíly na obou lokalitách jsou tvořeny kyselými vulkanity v podobě porfyru, v případě Benešova nad Černou až ryolitu. Helfenburský porfyr je význačný velkými vyrostlicemi živce a nachází se v mocných výchozech napříč lokalitou. Porfyr z Benešova nad Černou obsahuje větší množství křemene a vyskytuje se v menších výchozech a také v sutí. Helfenburské žíly mají podle mého vlastního mapování S – J až SZ – JV směr a místy jsou mocné až 35 metrů.

1.4. Vysvětlivky zkratk dále použitých v textu

XRF = rentgenfluorescenční analýza

XRS = rentgenová spektrometrie

XRD = rentgenová difrakce

xpl = polarizované světlo mikroskopu

ppl = nepolarizované světlo mikroskopu

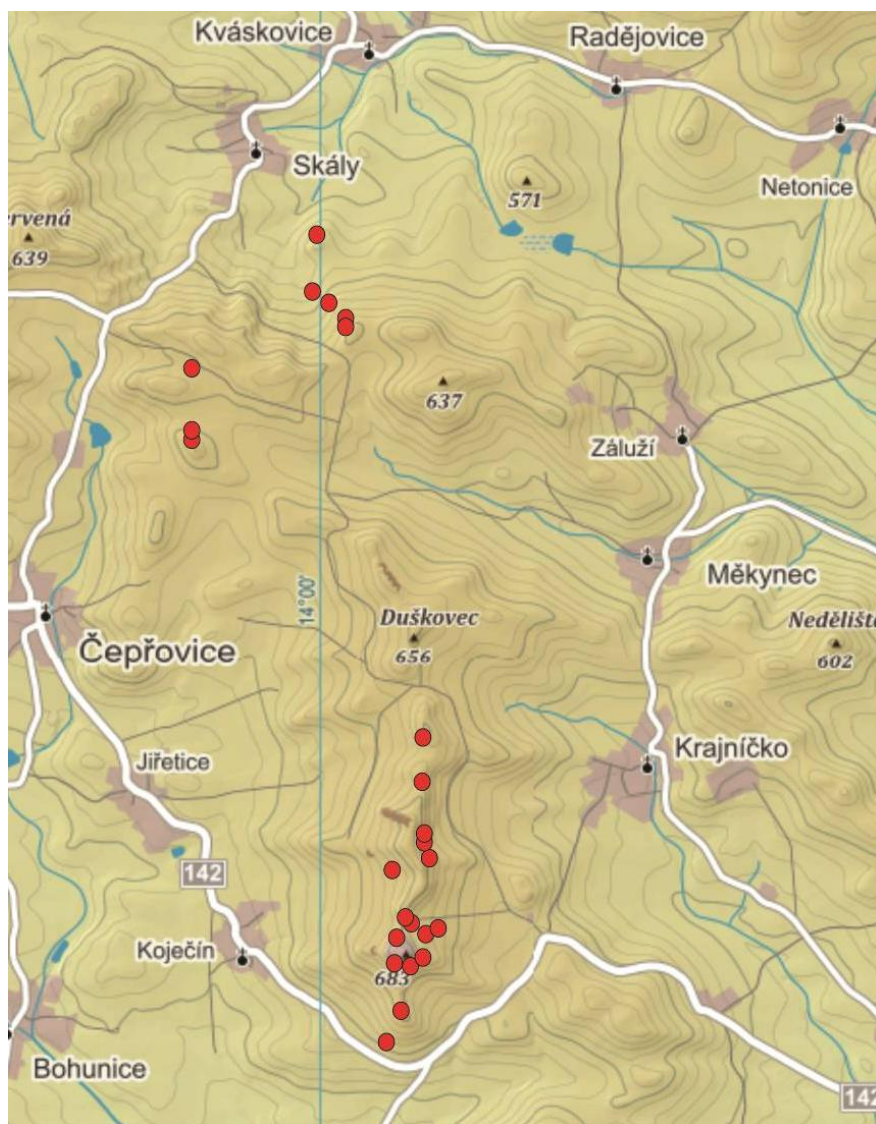
Hf = lokalita Helfenburk

BnČ = lokalita Benešov nad Černou

2. Metody výzkumu

2.1. Terenní výzkum

V rámci terenního výzkumu jsem žíly mapovala, fotograficky dokumentovala a sbírala vzorky k následným analýzám. Zmapované pásmo představuje oblast o velikosti 7 km x 2 km, v rámci tohoto pásma jsem zjistila odlišnost od současné geologické mapy, zejména naprosto odlišný směr žil, který podle mého zjištění je S – J. Změřené souřadnice jsem vkládala do topografické, satelitní a geologické mapy s pomocí grafického programu.

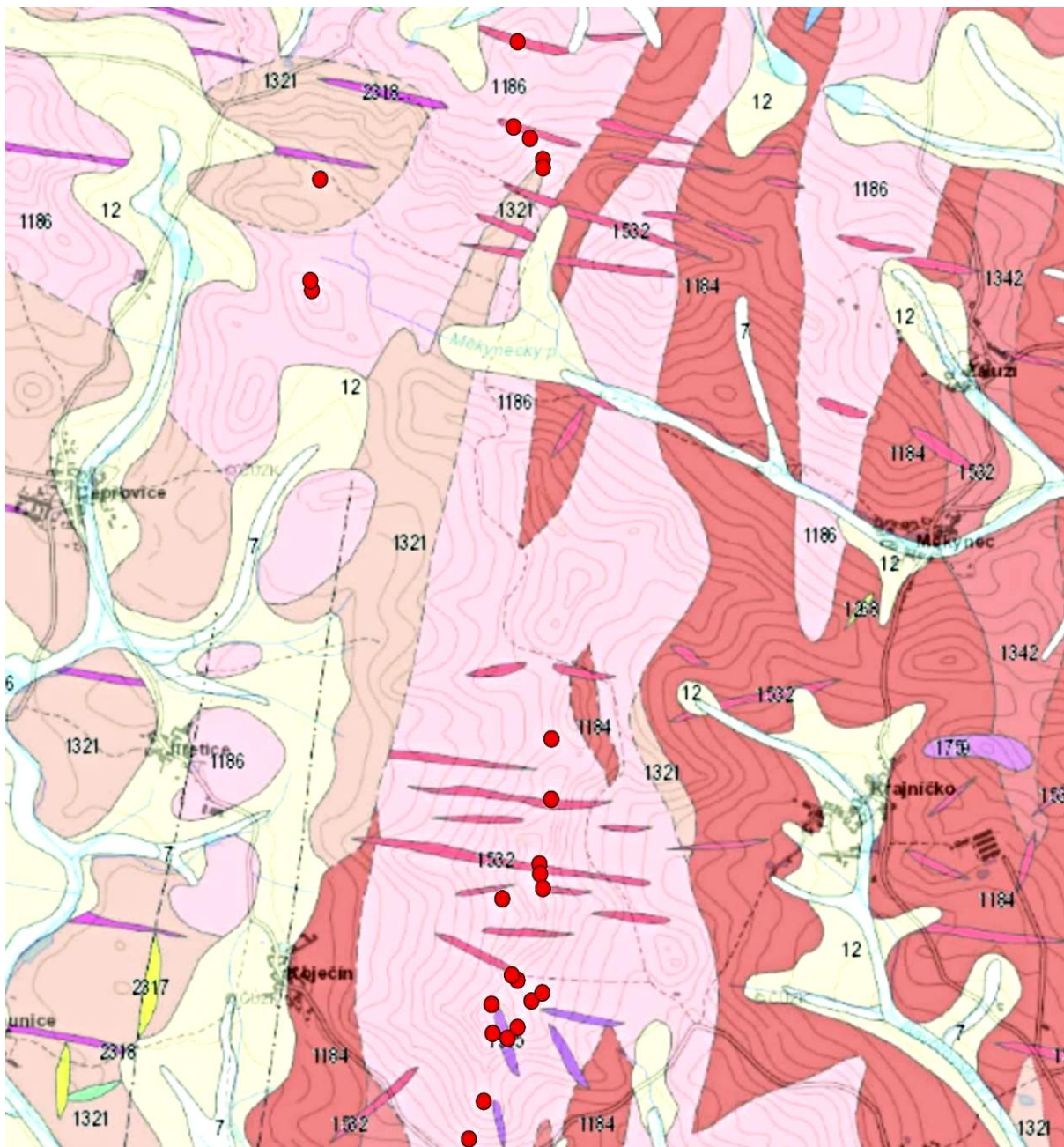


Obr. 1 Topografická mapa okolí Helfenburku (8 km na výšku) s vyznačenými místy výskytu porfyrů

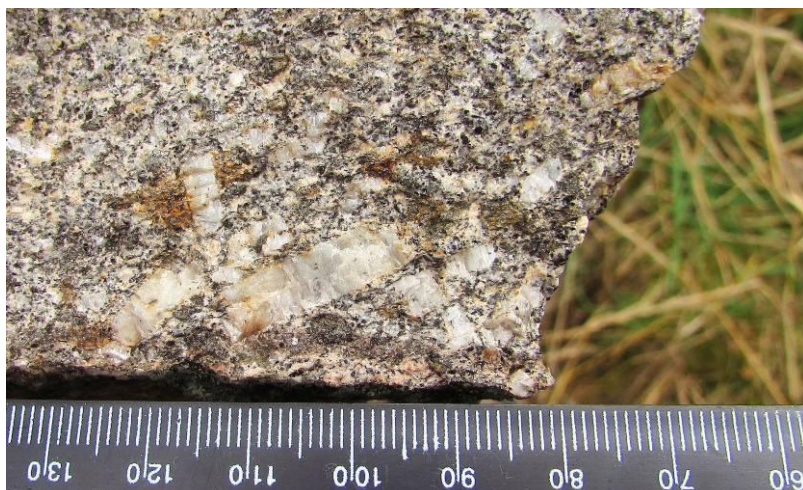
Zdroj:

<https://mapy.cz/zemepisna>

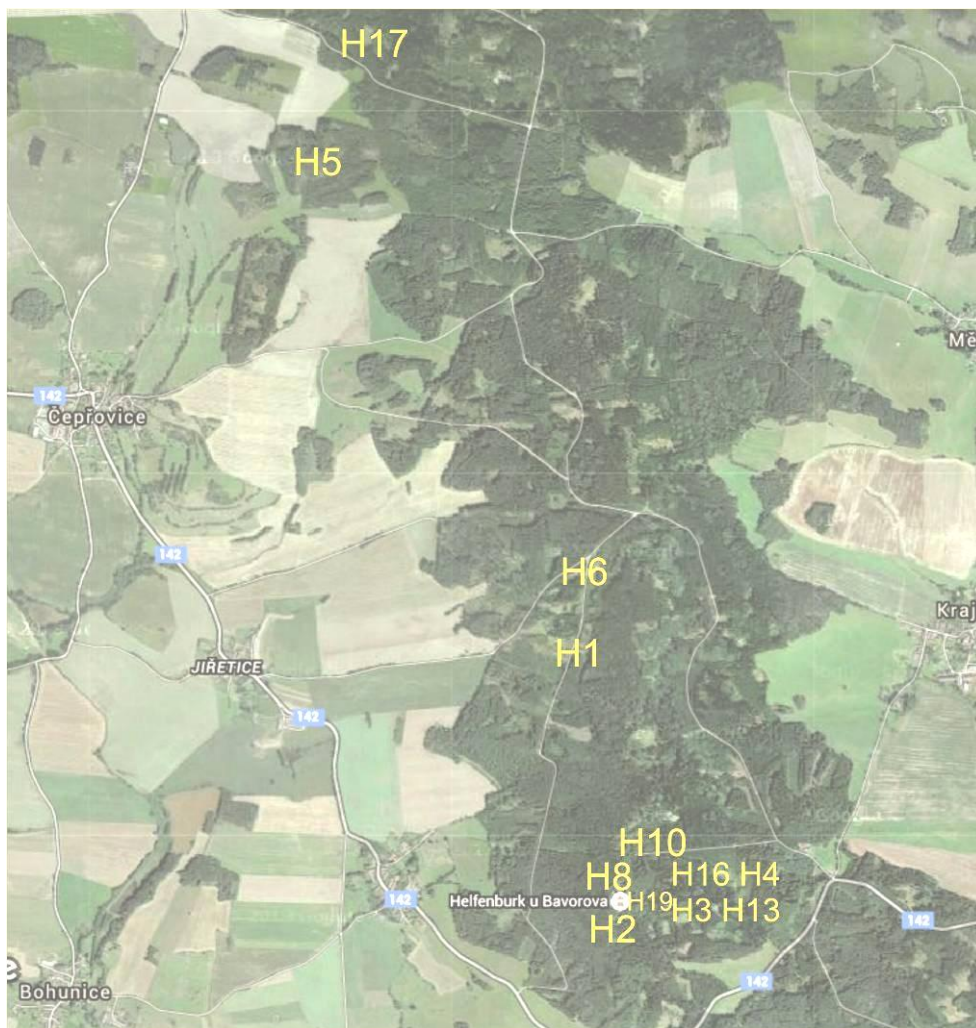
Obr. 2 Geologická mapa okolí Helfenburku (5 km na výšku) s vyznačenými místy výskytu porfyrů



Zdroj: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php



Obr. 3 Přítomné porfyry obsahují velké primární vyrostlice plagioklasů, ale mnohdy následně přemístěných novým průnikem magmatu



Obr. 4 Satelitní mapa okolí Helfenburku (4,5 km na výšku) s vyznačenými místy odebraných vzorků

Zdroj: <https://www.google.cz/maps/>

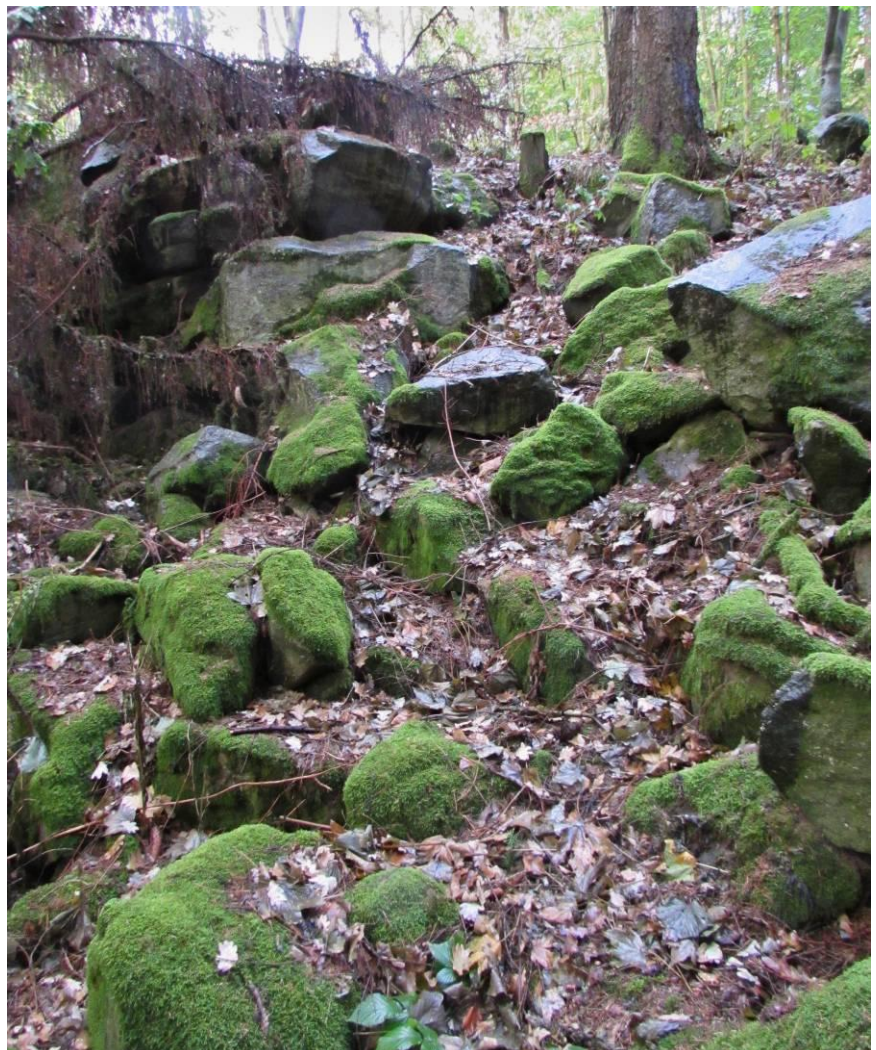
Obr. 5 Helfenburk (pohled na S), intruze se táhnou po hřebeni kopce a pokračují dále na sever





Obr. 6 Bloky porfyrů na jižním svahu kopce

Obr. 7 Porfyrové bloky poblíž severní strany Helfenburku





Obr. 8 Hrad Helfenburk

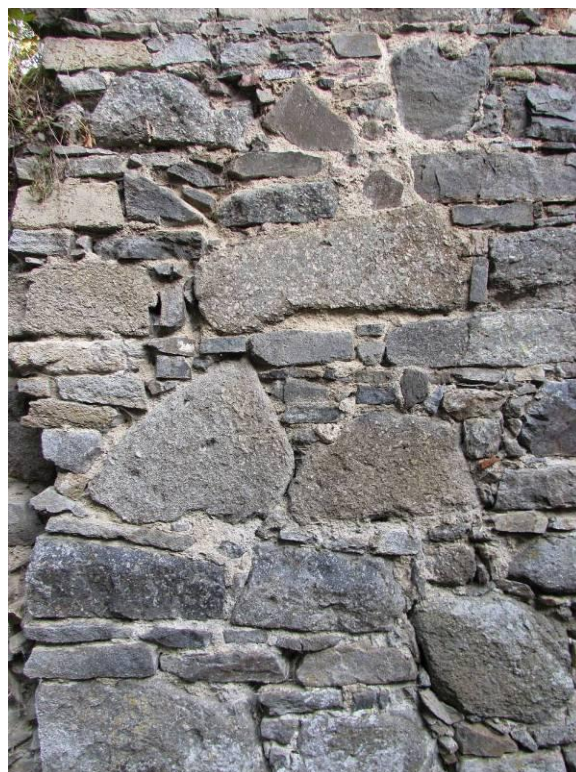


Obr. 9
Rozpadlý
výchoz
porfyrové
intruze na
bloky



Obr. 10
Porfyrový výchoz pod hradební zdí, struktura skály je narušena zlomem, který vznikl již po utužení žíly

Obr. 11 Porfyrové kameny v hradební zdi



Obr. 12 Rulová uzavřenina uvnitř porfyru



Obr. 13 Vzorky porfyrů při terénním sběru; vzorek vlevo je drobnozrnější, ale všechny obsahují poměrně velké vyrostlice živce.

Obr. 14 Porfyrový výchoz blíž okrajové části žíly. Materiál musel být už poměrně utuhlý, proto obsahuje znatelnou foliaci.





Obr. 15 Velké částečně vyvětralé vyrostlice plagioklasového živce v porfyru



Obr. 16 Sklovitý porfyr z okraje žíly má malé vyrostlice a drobnozrnnou strukturu.



Obr. 17 Okolní horniny porfyrů jsou tvořeny hlavně duktilně přetvořenými migmatity.

Obr. 18 Zlom v migmatitové skále, zřetelná foliace



Obr. 19 Vrásnění v migmatitu



Obr. 20 Foliační ryba
uvnitř skalní stěny
migmatitu

Obr. 21 Zvrásněný migmatit





Obr. 22 Porfyrové výchozy s kontaktem mezi intruzí a rulou v hradním příkopě, průměrný sklon kontaktu je 60° až 84° , oba výchozy obsahují tektonické rozpraskání kolmé na kontakt, které vzniklo po vytvoření intruze, kontakt pravděpodobně pokračuje i pod neodkrytým úsekem



Obr. 23a
Výchoz
porfyrové
intruze na
kontaktu
s rulou

Obr. 23b Stejný výchoz při pohledu zvrchu, znaky tektonického rozpukání kolmo na kontakt





Obr. 24a Druhý výchoz s kontaktem porfyru a ruly, vykazuje stejné tektonické křehké rozpukání jako předchozí výchoz



Obr. 24b
Výchoz lemuje pás světlejší horniny, reakční lem intruze. Proběhla možná ztráta železa nebo difúze látek podmiňujících růst živce.

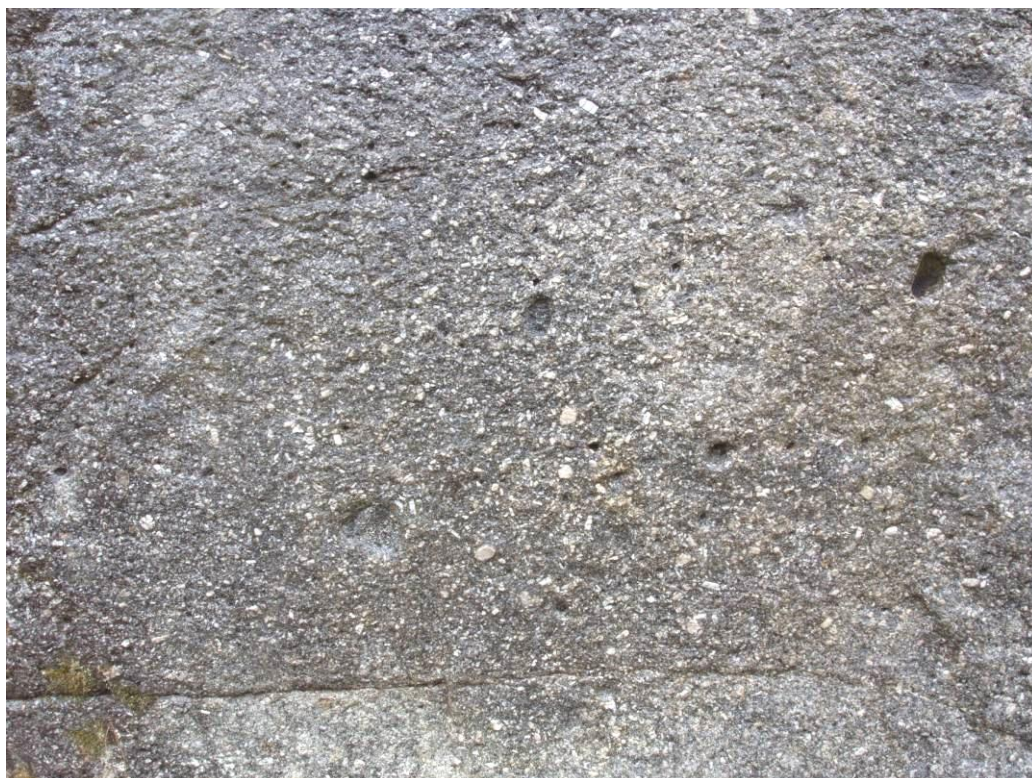


Obr. 24c Proudové textury jsou v úzkém rozsahu, hlavně znatelné podle orientace žilců danou stlačením, pozdější tektonickou deformaci potvrzuje i znatelný posun kontaktu hornin.



Obr. 25 Kontakt jemnozrného sklovitého porfyru s rulou, kontakt je silně tektonicky porušen, směr kontaktu je 100°.

Obr. 26 Výchoz porfyrové intruze



Obr. 27a
Xenolity
neboli
uzavřeniny
v
porfyrovém
výchozu



Obr. 27b Největší odkrytý porfyrový výchoz v okolí Helfenburku umožňuje pozorovat struktury porfyru ve větším rozsahu.



Obr. 27c
Porfyr
obsahuje
velké
vyrostlice
živců.

2.2. Makroskopický výzkum

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

2.3. Mikroskopický výzkum

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. Celkem jsem při těchto výzkumech zhotovila 26 výbrusů. Samotný jeden výbrus představuje časový náklad 72 hodin včetně lepení. Je možné lepit více výbrusů najednou a ušetřit čas.

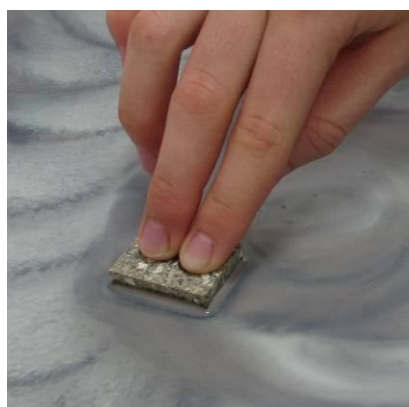
2.3.1. Zhotovení petrografických výbrusů

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

Obr. 29 a 30 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)



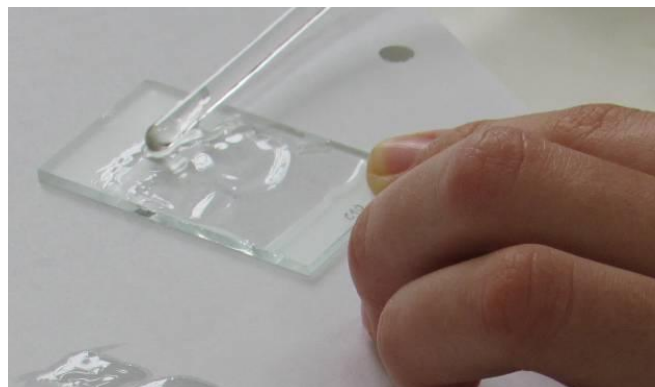


Obr. 31 Vybrúšené kostky se nahřejí na temperované plotýnce při teplotě 50 – 60°C, teplota nesmí být příliš vysoká, aby nedošlo k poškození minerálů

Obr. 32 a 33 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. 34 a 35 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. 36 a 37 Nalepené výbrusové kostky se nechají 24 hodin ztvrdnout na temperované plotýnce při 55°C (lepící hmota tuhne při 55°C)

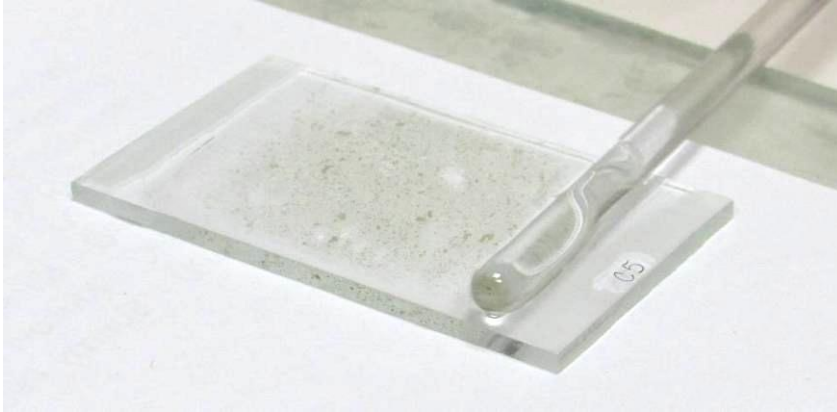


Obr. 38 Vytvrzený preparát se seřízne na tloušťku 1 mm a je očištěn od zbytku lepidla, následné hrubé broušení se provádí na brusných kotoučích, to ztenčí výbrus na cca 0,5mm



Obr. 39 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

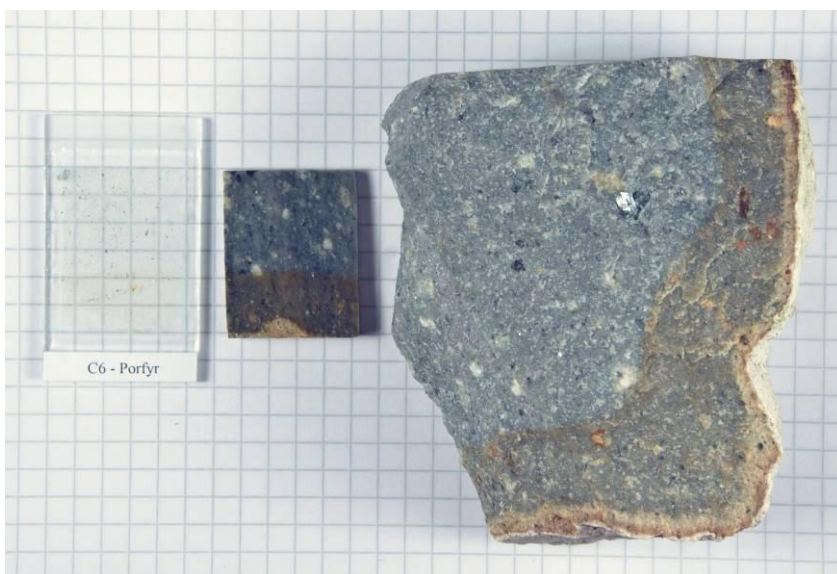
Obr. 40 Hotový preparát je zakryt krycím sklíčkem, které je přilepeno Aralditem 2020 a následuje 24hodinové vytvrzení při teplotě 55°C



Obr. 41 Výsledkem je petrografický krytý výbrus



Obr. 42 Zprava: vzorek, výbrusová kostka a petrografický výbrus



2.3.2. Mikroskopování

Výbrusy hornin jsem zkoumala 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.

Obr. 43 Olympus BX51, geologický polarizační mikroskop s kamerou napojenou na počítač



Obr. 44 Olympus CX40, biologický mikroskop v Jihočeském muzeu s nástavcem na fotoaparát, zrcadlovka Olympus E-500 s dálkovým infračerveným ovládáním (dole před mikroskopem).

2.4. Rentgenfluorescenční analýza (XRF)

Rentgenfluorescenční analýza (x-ray fluorescence analysis) využívá rentgenové záření ke zjištění prvků v daném předmětu, záření z přístroje vyrazí elektron z nejnižšího orbitalu, to způsobí elektronovou díru, která je zaplněná elektronem z vyššího orbitalu za uvolnění energie, která je změřena přístrojem. Metodou XRF jsem stanovovala chemické složení v práškových preparátech porfyrů přístrojem Delta, 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 stojanu, 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) a následně grafy upravovala v grafickém programu. K dnešnímu datu jsem zhotovila celkem 36 analýz.



Obr. 45 Přístroj Delta s fixačním stojanem

2.5. Rentgenová spektrometrie (XRS)

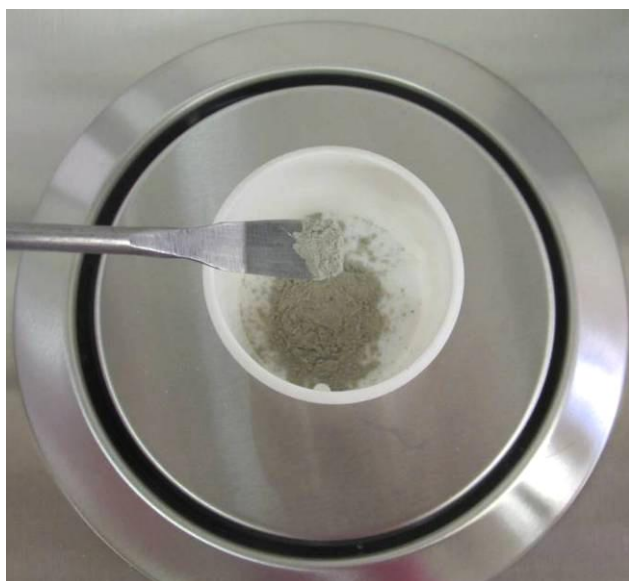
Rentgenová spektrometrie je obdoba XRF, ale mnohem přesnější. Dovoluje zjištění i lehčích prvků, což je její výhoda, oproti tomu její nevýhodou je dlouhé vytváření potřebných preparátů ze vzorků.

2.5.1. Zhotovení tavených tablet

Obr. 46 a 47 Vzorek v podobě namletého prášku nejprve utřeme v třecí misce a tím se odstraní nevítaná větší zrníčka



Obr. 48 a 49 Na analytické váze navážíme 0,7g práškového vzorku a 7g boritanu lithného ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)



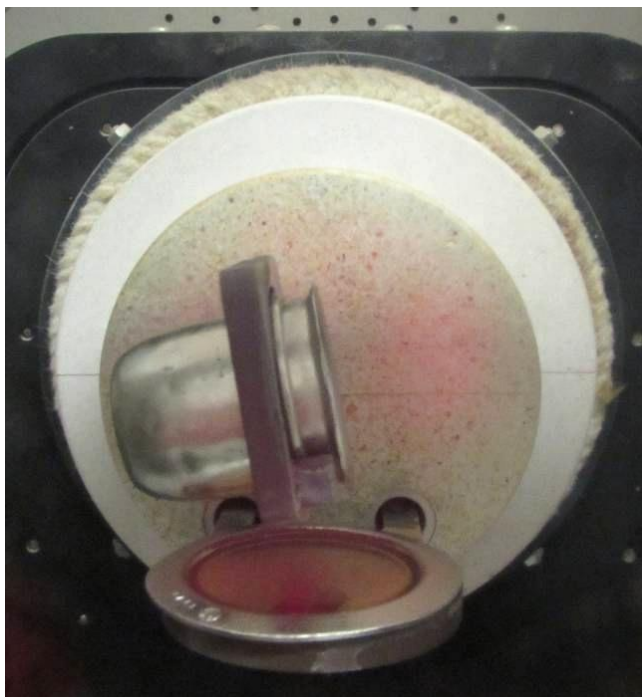
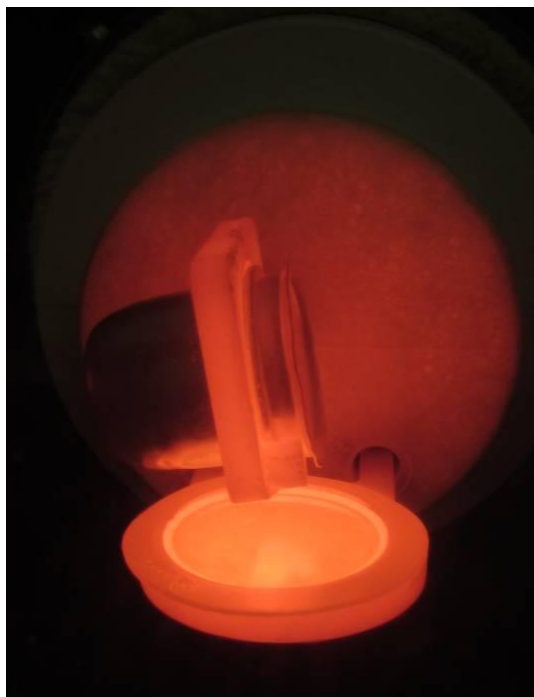
Obr. 50 a 51 Směs následně promícháme a utřeme v třecí misce, dále směs přemístíme do platinového (PtAu₅) kelímku, který se vkládá do tavicí pece



Obr. 52 V tavicí peci je teplota 1100°C, při které se směs roztaví



Obr. 53 a 54 Směs se přeleje do platinové mističky, kde se ochladí na vytavenou tabletu podobnou sklíčku

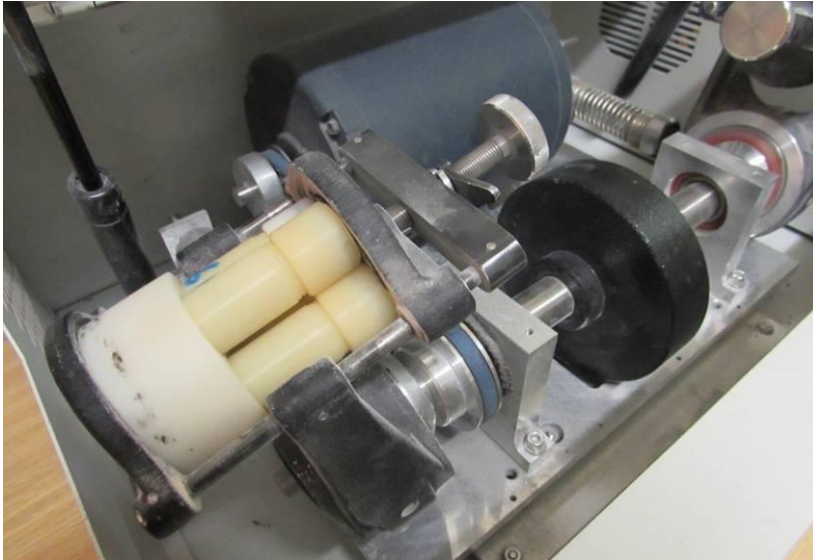


Obr. 55 Vytavená tableta je absolutně homogenní, a proto také ideální na spektrometrii, protože dovoluje kvalitní měření, při kterém není záření ovlivňováno strukturou jednotlivých krystalů (vlevo neměřená tableta, vpravo měřená tableta)



2.5.2. Zhotovení voskových tablet

Obr. 56 a 57 Naváží se 3g práškového vzorku, který se vloží do ampulky spolu se 4 mlecími kuličkami z karbidu wolframu a nechá se mlít 30 minut, poté se z ampulky vyjmou kuličky, přidá se 1g vosku, vloží se 2 malé mlecí kuličky a nechá se mlít 1 minutu



Obr. 58 a 59 Namletá směs vzorku s voskem se přemísť do třídílné formy, v které se lisuje tlakem 150kp/cm^2





Obr. 60 Výsledek je vylisovaná tableta „voskovka“, která se může vložit do rentgenového spektrometru, kde se jeden vzorek měří po dobu 20 minut

2.5.3. Měření rentgenovým spektrometrem

XRS měření probíhá podobně jako u XRF, ze zdroje se na vzorek vyše rentgenové záření, které vyrazí elektron z nějnižší orbitalové slupky (k), vzniklá elektronová díra je zaplněna elektronem z druhé nejnižší orbitalové slupky (l). Rozdíl energií mezi k a l slupkami se při doplnění uvolní a tato energie je měřena snímačem, který jednotlivé energie zaznamenává jako impulzy. Podle počtu impulzů (energie), který je charakteristický pro daný prvek, se vypočítává množství prvku. Nejprve měřením vznikne předběžná analýza, na jejímž základě se vyhodnocuje další chemická analýza, postupným opakováním se výsledky zpřesňují. Měření tavené tablety trvá 5 minut a měření voskové tablety probíhá 20 minut. Měření tavených tablet je přesnější, protože je materiál kompletně amorfni.

Obr. 61 Držák na vzorky vkládané do spektrometru



Obr. 62 Rentgenový spektrometr PANalytical Axios mAX

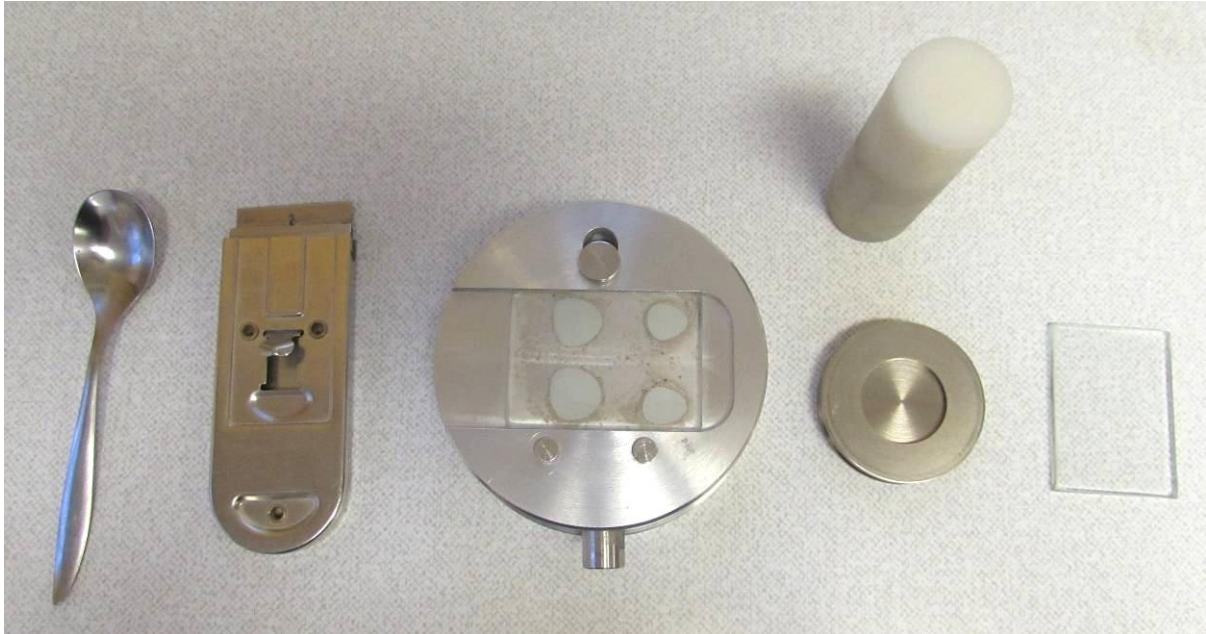


2.6. Rentgenová difrakce (XRD)

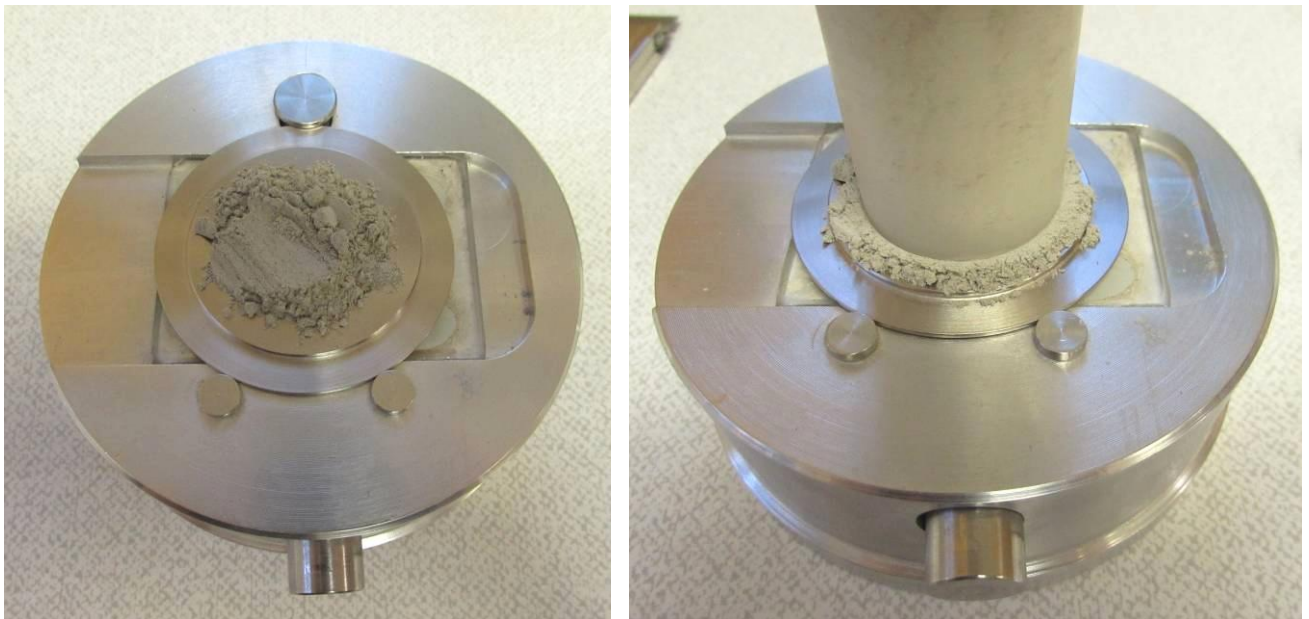
Rentgenová difrakce je založená na odrazu rentgenového záření od materiálu vzorku a je určena ke zjištění minerálního složení.

2.6.1. Zhotovení preparátu XRD

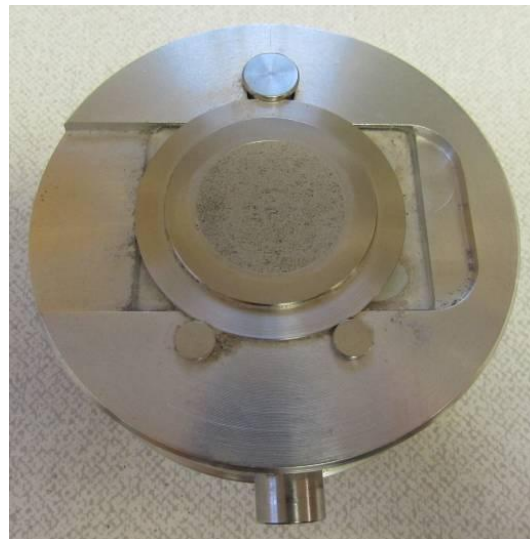
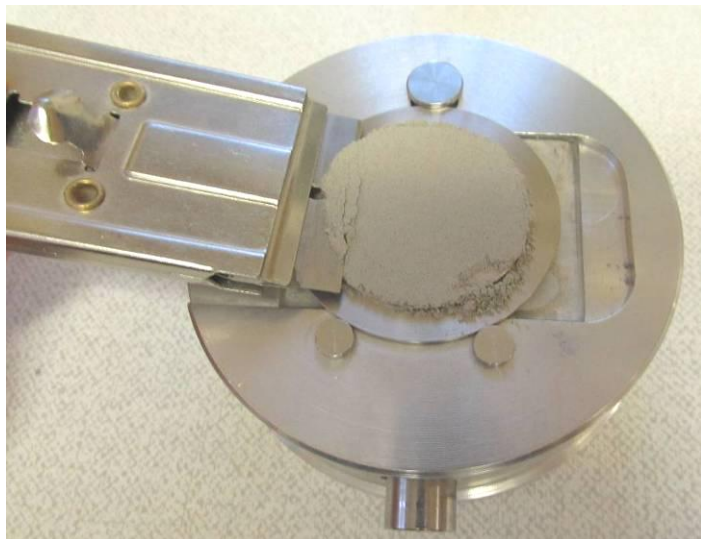
Obr. 63 Pomůcky k zhotovení preparátu



Obr. 64 a 65 Práškový vzorek se nasype do svrchní části držáku a ručně se vtlačí do držáku



Obr. 66 a 67 Širokým nožikem se seškrábne přebytek vzorku a držák se očistí, ale nesmí se zasáhnout do upěchovaného vzorku



Obr. 68 a 69 Vzorek se uzavře druhou částí držáku a kompletní držák se vzorkem se umístí do stojny na vzorky, která se vloží do rentgenového difraktometru



2.6.2. Měření rentgenovým difraktometrem

Usměrněné záření dopadá na práškový povrch vzorku, kde se odráží od atomů krystalové mřížky. Pokud se odrazí v rámci jednoho krystalu, atomy mají stejně danou vzdálenost navzájem, nastává interference odraženého záření a to projde clonou do detektoru. Vzorek během měření rotuje a zdroj spolu s detektorem se hýbou, aby měnily úhel měření, snímání začíná na $5^{\circ}2\theta$ a končí na $70^{\circ}2\theta$, úhel se nepřetržitě mění, ale hodnoty jsou zaznamenávány po $0,02^{\circ}2\theta$. Měření XRD jednoho vzorku probíhá 20 minut. Analýza může být znevýhodněna amorfním skelným materiálem a minerálem pod $1\ \mu\text{m}$, tento amorfní podíl způsobuje, že grafy měření nezačínají nulou.

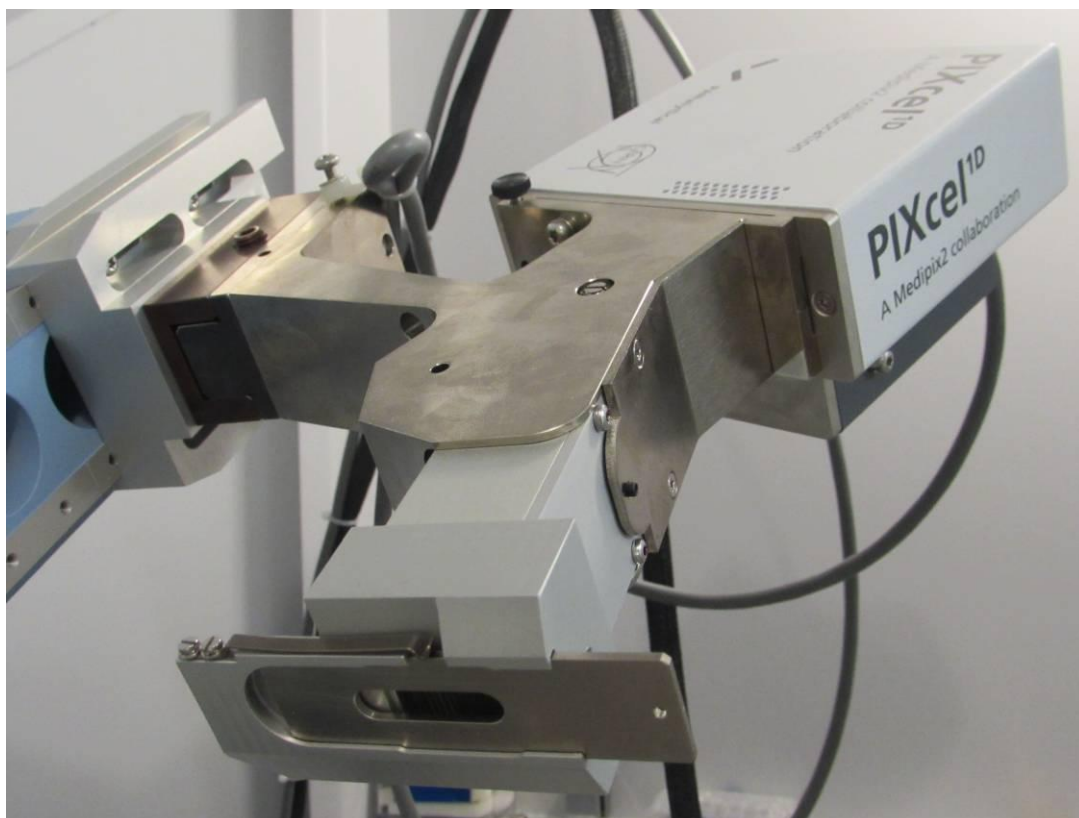
Obr. 70 Rentgenový difraktometr PANalytical X'Pert Pro



Obr. 71 Zdroj rentgenového záření



Obr. 72 Detektor interferenčního odrazu



Obr. 73 Vnitřek difraktometru

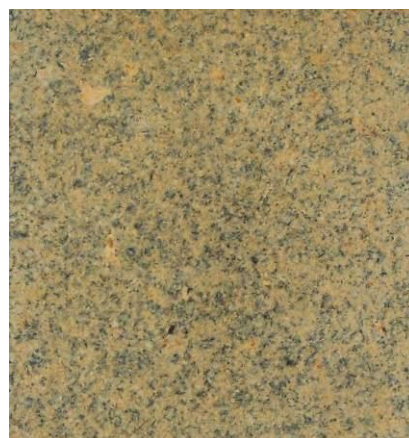


3. Zjištěné výsledky

3.1. Makroskopická charakteristika porfyrů

Kyselé vulkanity v Benešově nad Černou jsou velmi sklovité a většinou jemnozrné. Tvoří porfyry a ryolity, které zřejmě utuhly v blízkosti povrchu. Obsahují vyrostlice plagioklasů i draselných živců, biotity a pohlcené i vykrytalizované (beta) křemeny. V porfyrech není žádná orientace vyrostlic, pravděpodobně došlo k okamžitému utužení horniny a nenásledoval žádný pozdější pohyb. Většina vzorků obsahuje pokročilejší kaolinizaci, která je zatelná i z makroskopického pozorování.

V oblasti Helfenburku jsou porfyry mnohem hrubozrnější a žíly jsou mocnější, to znamená, že tuhly pomaleji. Porfyry obsahují velké vyrostlice plagioklasů, perthitu a albitu, a menší draselné živce. Dále obsahují amfiboly, apatity, uzavřeniny muskovitu a biotity, které jsou velmi deformované. V základní hmotě jsou známky pohybu v době pokročilejšího utužení, například biotity jsou mnohem více poškozené a deformované než v Benešově nad Černou a živcové vyrostlice se orientují ve směru pohybu žíly. Porfyry se zde rozdělují do dvou hlavních skupin podle vzhledu, první má tmavší základní hmotu a druhá ji má světlejší. Skupina s tmavšími vzorky má větší obsah biotitu v matrixu, způsobující tmavou barvu a jsou jemnozrnější. Skupina tvořená světlejšími vzorky je početnější, hrubozrnější a má světlejší základní hmotu. Biotity se v ní vyskytují pouze v podobě větších vyrostlic.



Obr. 74a, b Ryolit z Benešova nad Černou je velice jemnozrný a má světlé zbarvení, zčásti způsobené kaolinizací. Obr. 74b je povrch výbrusové kostky. Vzorek 01.

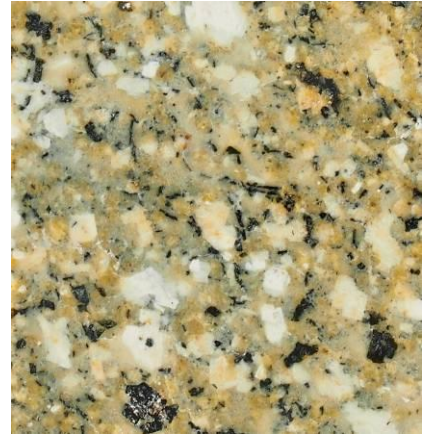


Obr. 75a, b Sklovitý porfyr z Benešova nad Černou. Vzorek A.



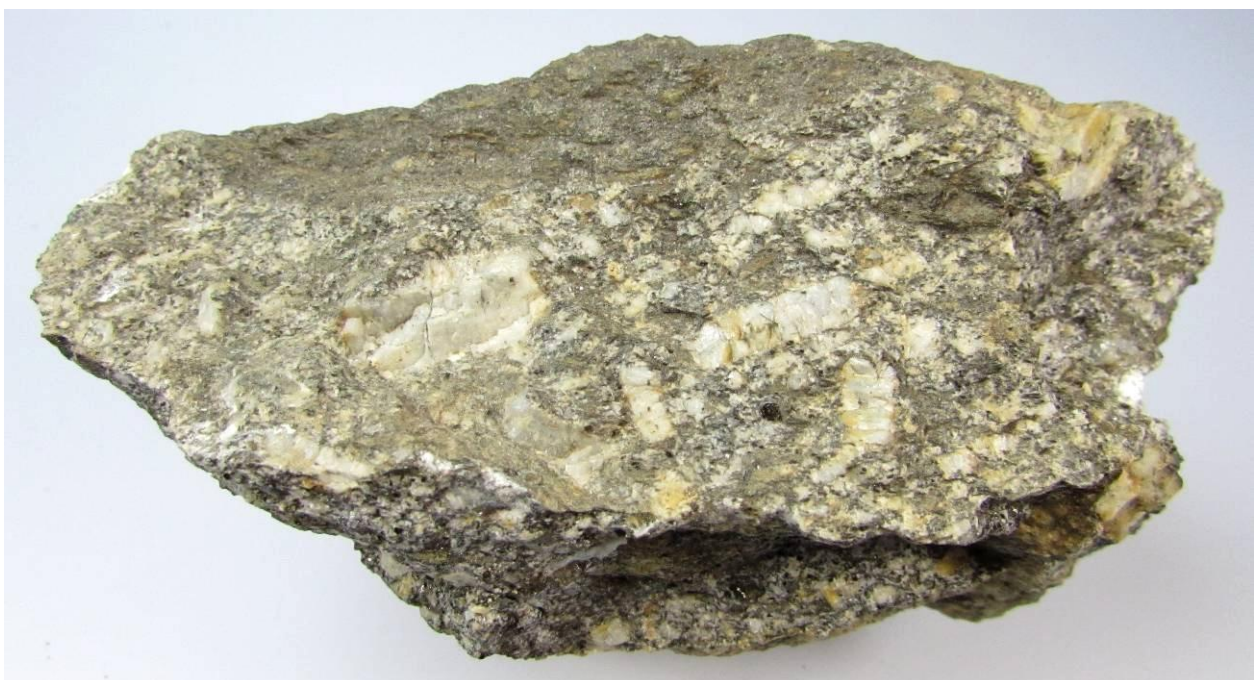
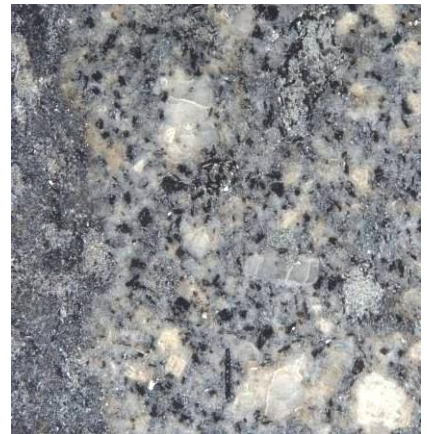
Obr. 76a, b Jemnozrnňý ryolit z Helfenburku má podobňý vzhled i chemické složení jako vzorky z Benešova nad Černou. Vzorek H1.

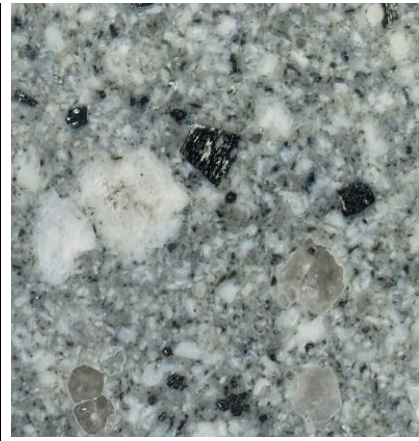




Obr. 77a, b Hrubozrnější porfyr z Benešova nad Černou s hexagonálním křemenem, vykrystalizovaném z magmatu. Vzorek 02.

Obr. 78a, b Hrubozrný porfyr z Helfenburku obsahuje uzavřeninu ruly utrhlou z okolní horniny (na vzorku nahoře, uvnitř výbrusové kostky vlevo). Vzorek H17.





Obr. 79a, b Hrubozrnný porfyr z Benešova nad Černou obsahuje hexagonální křemen (šipka) a mnoho pohlcených křemenů (sklovitá, šedá zrna ve výbrusové kostce), pravděpodobně z okolní žuly. Vzorek 19.

Obr. 80a, b Hrubozrnný porfyr z Helfenburku s velkými vyrostlicemi živce. Vzorek H10.





Obr. 81
Sklovitý porfyr z Benešova nad Černou obsahuje silné kaolinické navětrání na svrchní straně (světlý pás podél okraje). Vzorek 03.

Obr. 82 Porfyr z Benešova nad Černou je téměř celý postižený kaolinizací, výjimku tvoří tmavší prostředek, kde jsou navětralé jen žilce, ale ne matrix. Vzorek 13.





Obr. 83 Rozhraní mezi jemnozrnným ryolitem a hrubozrnným porfyrem z Helfenburku. Hrubozrnný porfyr intrudoval později v druhé vlně magmatu.

Obr. 84 Vzorek z Benešova nad Černou obsahuje přechod mezi hrubozrnným vnitřkem a jemnozrnným vnějškem porfyrické žíly, daný rychlostí a teplotou tuhnutí. Oproti Helfenburku je rozhraní pozvolné, takže se jedná o porfyrickou stavbu intruze a ne o dvě vlny magmatu. Vzorek 06.





Obr. 85
 Kontakt porfyrové žíly s okolní rulou, která byla během vzniku žíly vypečená. Na Helfenburku jsou porfyrické vyrostlice živců orientované ve směru pohybu žíly, to znamená, že magma tuhlo pomaleji a v pohybu.

Obr. 86
 Kontakt okraje porfyrové žíly z Benešova nad Černou a okolní žíly. Porfyr je velmi jemnozrný a vzorky nemají orientované vyrostlice, takže při kontaktu s okolím došlo k okamžitému utuhnutí a nenásledoval další pohyb.



3.2. Mikroskopická charakteristika minerálů v porfyrech

Tabulka 1 Nerosty přítomné v horninách

MINERÁL	TEORETICKÝ VZOREC	H	B	M
Křemen	Křemen pohlcený SiO_2	Ne	Ano	Ne
	Křemen hexagonální SiO_2	Ano	Ano	Ano
Živec	Plagioklas albit / oligoklas $(\text{Na,Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	Ano	Ano	Ano
	Sanidin / Ortoklas / Mikroklin KAlSi_3O_8	Ano	Ano	Ano
	Sférolitický ortoklas KAlSi_3O_8	Ne	Ano	Ne
Biotit	Biotit $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	Ano	Ano	Ano
	Sagenitový biotit - biotit s rutilem / titanitem	Ano	Ne	Ne
Muskovit	Muskovit $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Ano	Ne	Ano
Chlorit	Chlorit $(\text{Mg,Fe})_6(\text{AlSi}_3)_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Ano	Ano	Ano
Apatit	Apatit $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$	Ano	?	Ano
Zirkon	Zirkon ZrSiO_4	Ne	Ne	Ne
Amfibol	Amfibol $(\text{Ca,Na,K})_{2-3}(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al})_5(\text{SiAl})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Ano	?	?
Kaolinit	Kaolinit - kaolinizace živců $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Ano	Ano	Ano

Vysvětlivky: H – Helfenburk, B – Benešov nad Černou, M – Malenice

3.2.1. Křemeny

V polarizovaném světle mikroskopu zháší krystalky křemenů většinou jednotně v celém zrnu do tmavě hnědé a šedé. Ve zkoumaných porfyrech mají i značnou undulózitu, tzn. že zhášení není v rozsahu celého zrna rovnoměrné. Undulózita bývá projevem tektonického porušení.

V mikroskopických preparátech z Benešova nad Černou jsem pozorovala dva druhy křemenů. První typ křemene představuje součást porfyrů s největším zastoupením SiO_2 , patrně se jedná o křemenné uzavřeniny utržené z okolních hornin. Byly otavené v magmatu do kulovitých útvarů a vyskytují se v horninách velmi jemnozrné, felsitické stavby (obr. 90). Druhý typ křemene má vlastní hexagonální krystalový tvar a představuje beta křemen

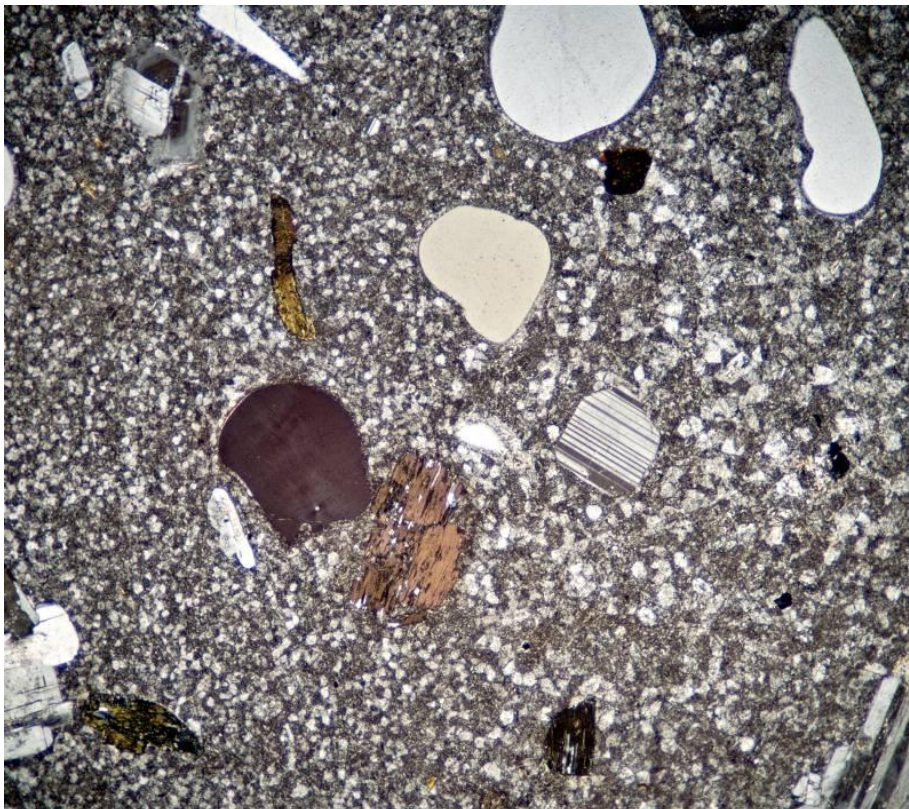
vykrystalizovaný z magmatu. Vyskytuje se v celkově vykrystalizovaných porfyrech, kde je normální horninovou součástí (obr. 92).

V porfyrech z Helfenburku a z Malenic jsou vyrostlice křemene ojedinělé a minerál zde hlavně tvoří základní hmotu mezi většími vyrostlicemi. Pozorovala jsem pouze jeden pohlčený křemen v mikroskopickém preparátu H1, tento vzorek se chemicky i vzhledově přiřazuje spíše ke vzorkům z Benešova nad Černou, takže se jedná o netypický jev pro lokalitu Helfenburk.

3.2.1.1. Pohlčený křemen

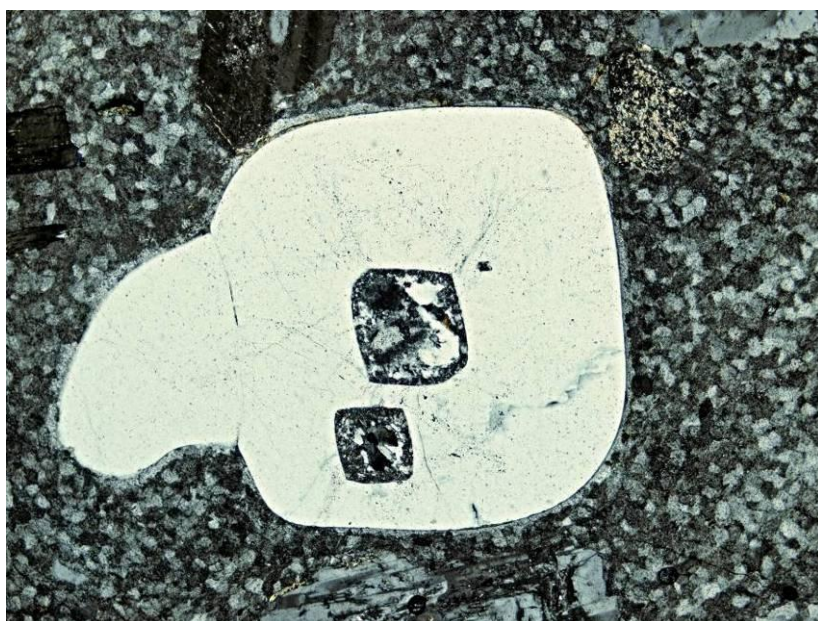
Jak bylo výše uvedeno, poškozená (pohlčená) křemenná zrna z okolních hornin obsahuje většina porfyrů a ryolitů z okolí Benešova nad Černou a ojedinělý vzorek z Helfenburku. Jejich výskyt je daný druhem hornin, do kterých porfyry intrudovaly. V Benešově nad Černou se jedná zejména o žuly, v kterých křemen tvoří jednu ze tří hlavních složek. Oproti tomu, v oblasti Helfenburku a Malenic okolní horniny tvoří ruly a migmatity, které neobsahují velké vyrostlice křemene a proto porfyry nemají v této oblasti časté křemenné uzavřeniny. Dále se pohlčené křemeny především nachází v drobnozrnných horninách felsitického charakteru, které kompletně nevykrystalizovaly.

Pohlčené křemeny vykazují známky silného otavení, a protože vznikají při teplotách okolo 560°C, magma muselo mít vyšší teplotu. Tyto křemeny dále obsahují křížící se pásy kavitačních dutinek obdobné šokovým projevům přisuzovaným Českému kráteru (Rajlich, 2014).



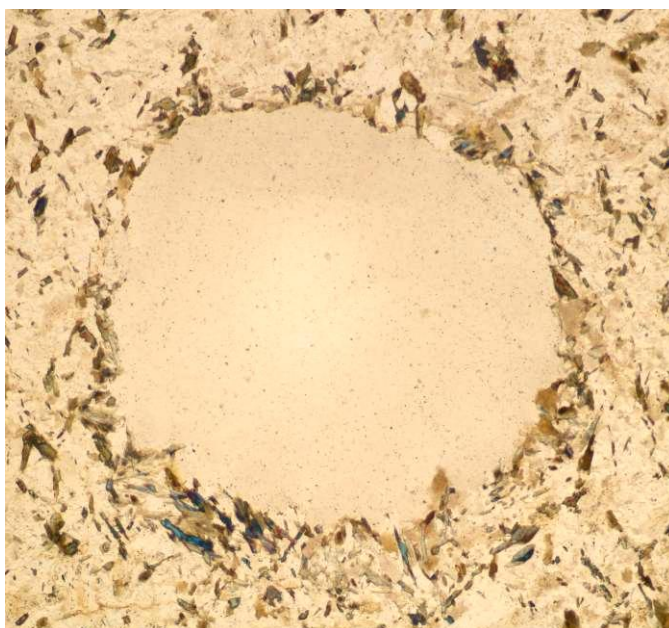
Obr. 87 Magma mohlo být mírně explozivní, což vedlo k rozdrčení horniny v hloubce a vzniku velkého množství otavených zrn, jaké například na obrázku vlevo vidíme zatavené do sklovitého porfyru. Vzorek B9 při zvětšení 25x a světle xpl. (BnČ)

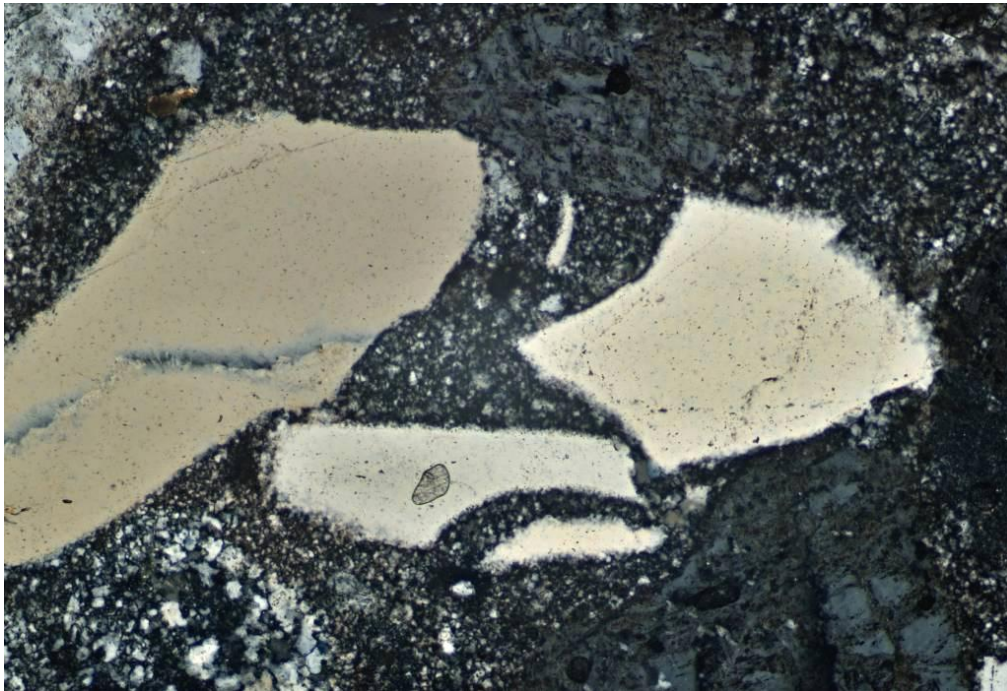
Obr. 88 Vnitřní šokové štěpné roviny se pod mikroskopem jeví jako tenké pásy bublinek, tedy kavitačních dutinek, které vznikly někdejší šokem. Křemen má otavené hrany, a také se nachází mezi drobnozrnnou základní hmotou. Vzorek B9 při zvětšení 50x a světle xpl. (BnČ)



Obr. 89 Otavené křemenné zrnko obsahuje kavitační dutinky a undulozitu, nepravidelné zhašení pravděpodobně způsobené přemístěním magmatem. V pravém dolním rohu je vidět pohyb zrna proti základní hmotě. Vzorek B9 při zvětšení 50x a světle xpl. (BnČ)

Obr. 90 Otavený křemen v drobnozrnné ryolitické základní hmotě. Magma muselo mít mnohem vyšší teplotu než 560°C (teplota krystalizace křemene), protože křemen je kompletně otavený. Vzorek H1 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)





Obr. 91
Příklad
potrhaných,
méně
otavených
křemenů v
porovnávacím
vzorku z
teplického
porfyru.
Vzorek T při
zvětšení 100x
a světle xpl.

3.2.1.2. Hexagonální (beta) křemeny

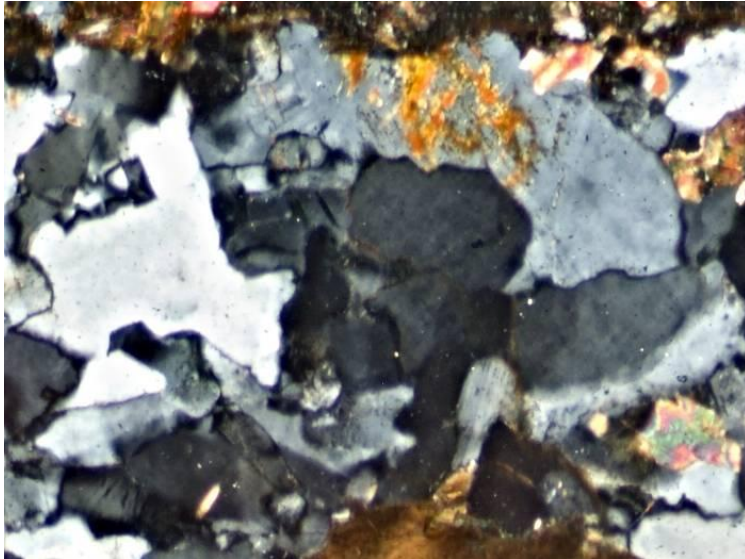
Hexagonální křemeny jsem pozorovala pouze v porfyrech z Benešova nad Černou, kde se nacházejí v žilách s pokročilejší krystalizací, takže v hornině, která zcela vykrytalizovala. Vznikají při teplotě 560°C a krystalizují přímo z magmatu, proto představují významný indikátor teplot vzniku porfyrové žíly. Jelikož je většina z nich mírně otavená, znamená to, že křemeny vykrytalizovaly a následně byly mírně otaveny novým přívalem magmatu a až poté zataveny do tuhnoucí hmoty porfyru.



Obr. 92 Hexagonální křemen ve vzorku 09, nachází se v hrubozrnném porfyru a je velmi pravidelný, takže měl dostatečnou teplotu, podmínky a čas na krystalizaci (makrofotografie, BnČ).

3.2.1.3. Allotriomorfní křemeny

Křemenná allotriomorfní hmota je přítomná ve všech pozorovaných vzorcích, je součástí základní hmoty porfyrů. Tvoří ji zárodky krystalů křemene. U většiny petrografických preparátů z Helfenburku a z Malenic je to však jediný zjištěný projev přítomnosti křemene.



Obr. 93 Křemeny v základní hmotě porfyru. Vzorek H5 při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)

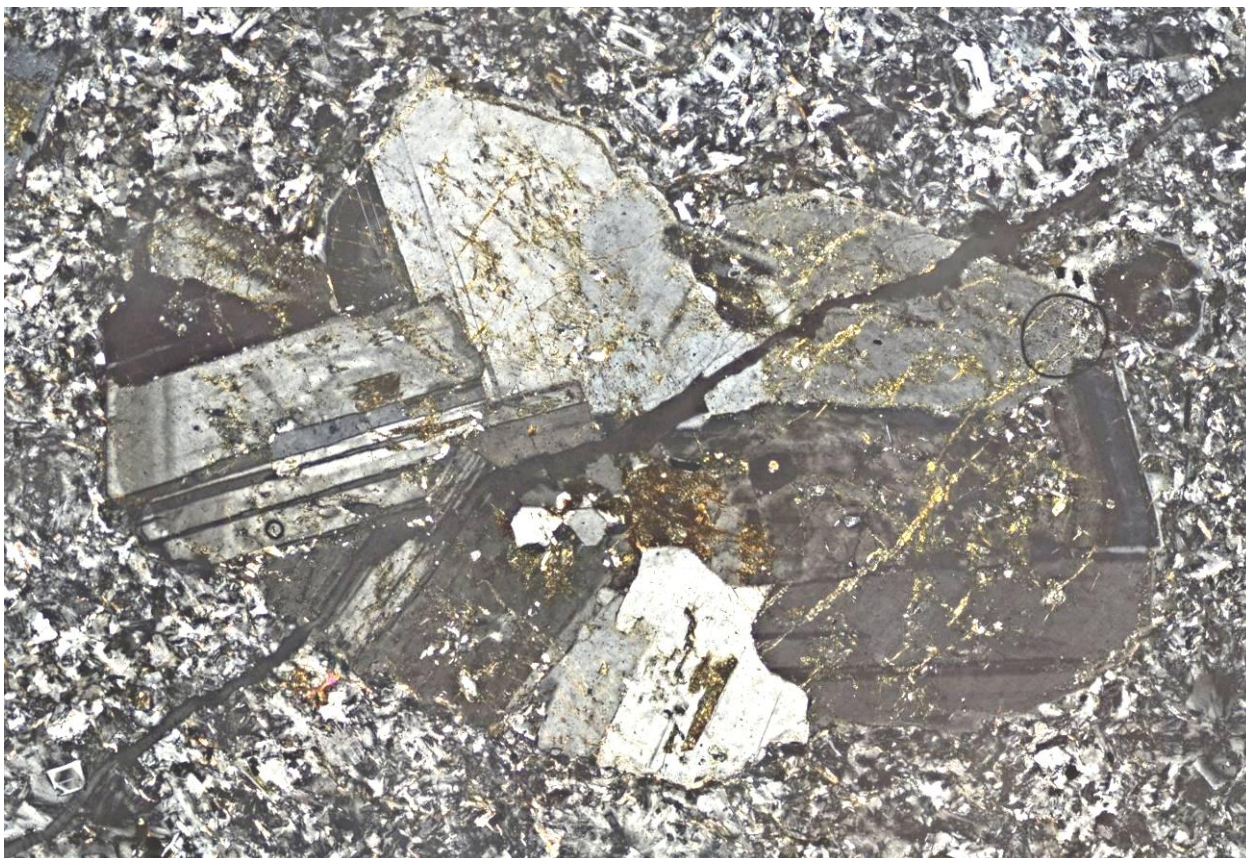
3.2.2. Živec

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. Oba typy živců podléhají kaolinizaci, kdy kaolinit proniká do živce podél štěpnosti.

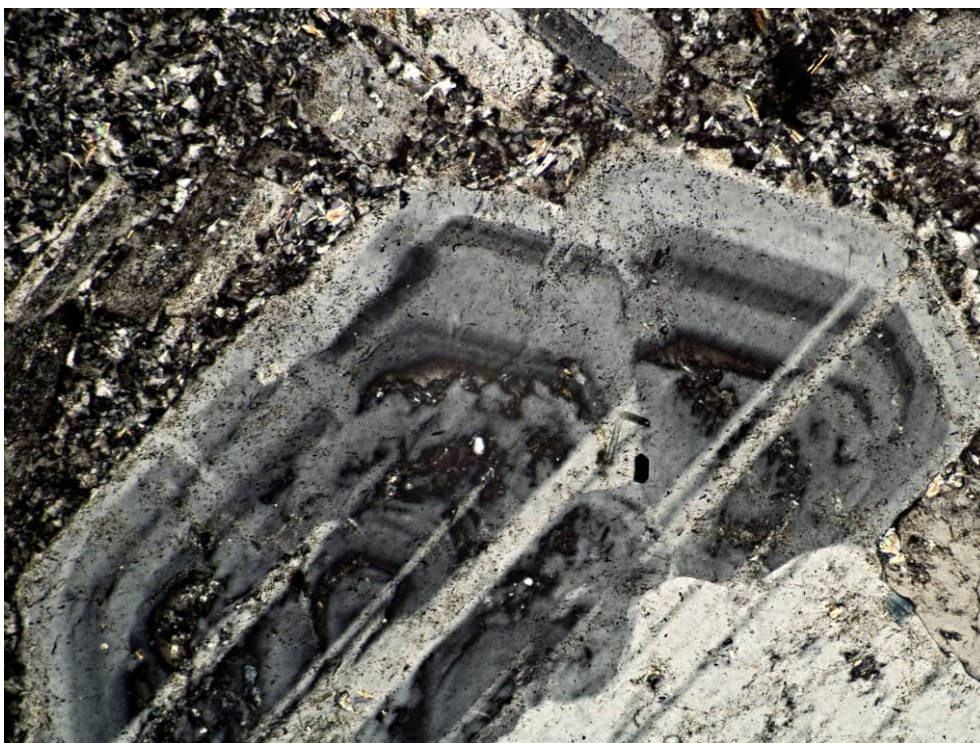
Analyzované porfyry obsahují živce se značnou typovou a velikostní diverzitou danou, chemickým složením a rychlostí tuhnutí konkrétního magmatu. Hrubozrnnější porfyry Helfenburku a Malenic obsahují hlavně velké vyrostlice plagioklasů obzvláště albitů. Objevují se i perthity a myrmekity. Felsitičtější porfyry a ryolity z okolí Benešova nad Černou obsahují větší variaci živců, draselné živce jsou v různých podobách, včetně sférolitických ortoklasů a sodno-vápenné živce jsou v podobě plagioklasových srostlic.

3.2.2.1. Plagioklas

Plagioklasy jsou sodné nebo vápenné živce, které mohou srůstat podle mnoha zákonů, jsou polysyntetické a podléhají kaolinizaci. V polarizačním světle mikroskopu jsou výrazně zonální a undulózní. Ve studovaných vzorcích je jejich stavba mnohdy narušená kaolinitem vznikajícím jejich větráním. Počátky kaolinizace probíhají hlavně podél prasklin. Kaolinizace je častějším jevem u porfyrů z Benešova nad Černou, je zde znatelná i makroskopicky, kdy je hornina místy světlejší a méně houževnatá (kompaktní). U vzorků z Helfenburku jsou plagioklasové vyrostlice výrazně větší a jedná se zejména o albit a mnohdy o kombinaci draselného a sodného živce.



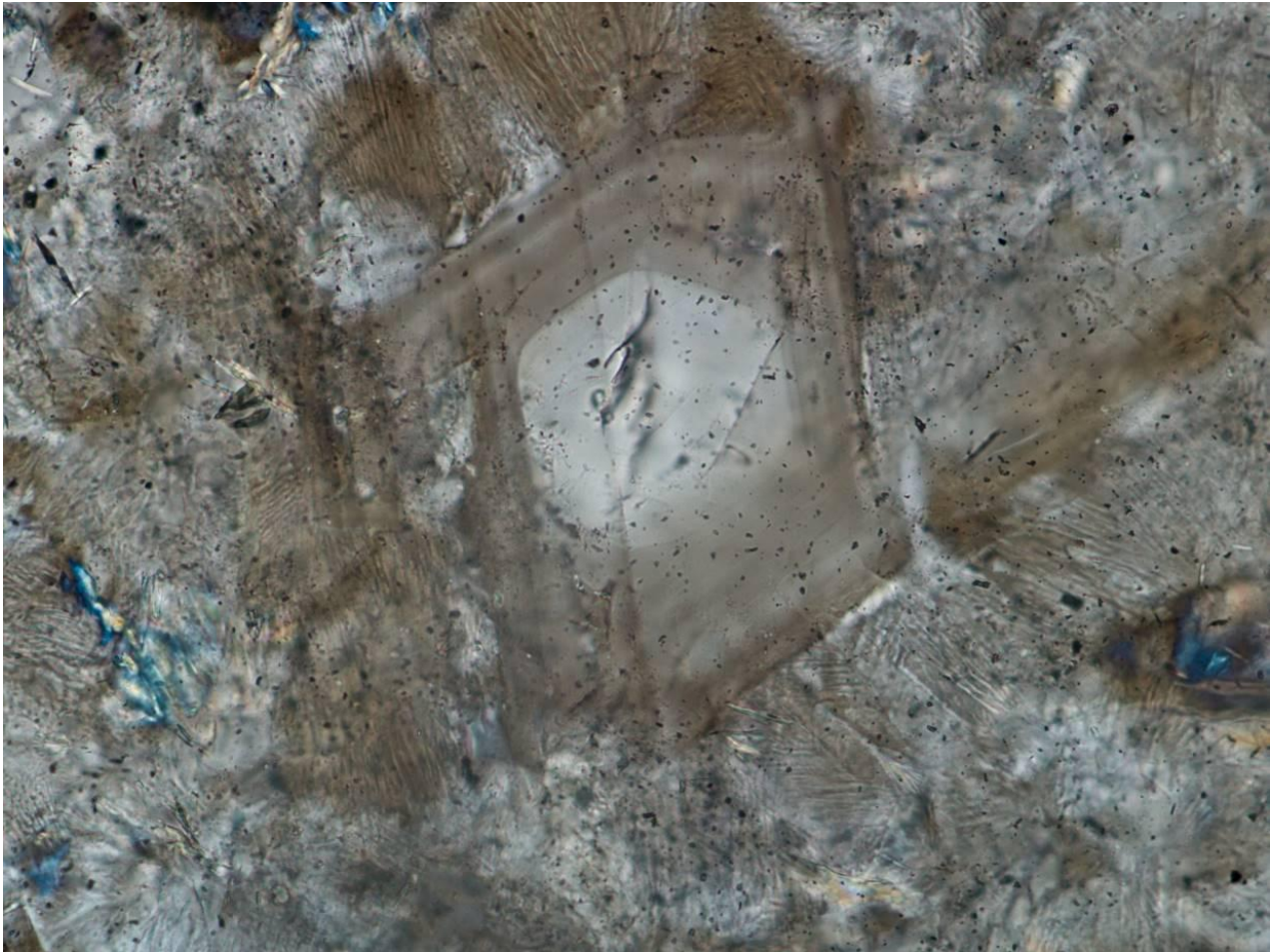
Obr. 94 Srostlice plagioklasů se nachází v proželezněné vrstvě pronikající cca 1 až 2 cm do hloubky vzorku (oranžové obarvení sklovitého ryolitu), fotografie výbrusu z tohoto vzorku je z proželezněné části a je vidět, že se oranžové zbarvení, které je způsobeno železitými roztoky, šíří podél prasklin oslabených a změkčených kaolinizací. Vzorek C6 při zvětšení 100x a světle xpl (složené panoráma z 9 snímků). (BnČ)



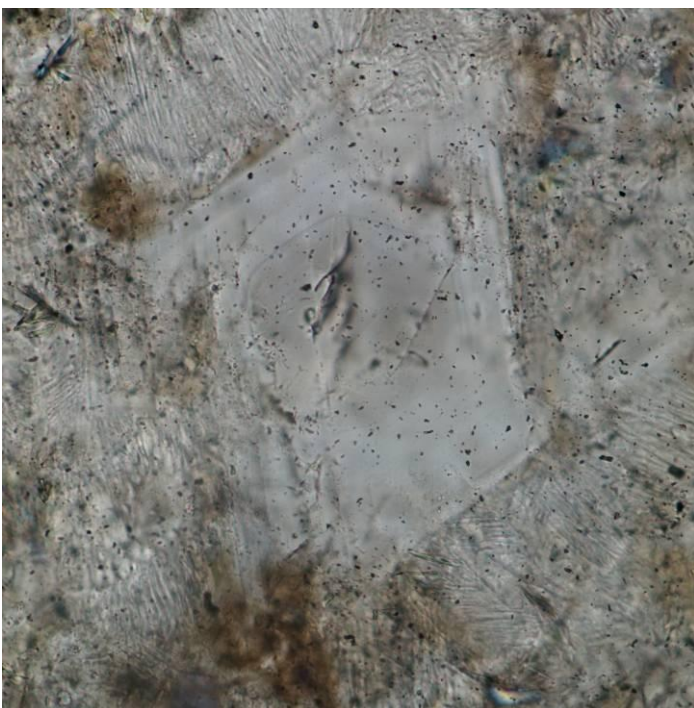
Obr. 95 Srostlice plagioklasů vykazuje značnou zonálnost a undulozitu danou srůsty, nachází se v jemnozrnějším matrixu. Pravděpodobně se jedná o pohlcenou vyrostlici. Vzorek 19 při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)

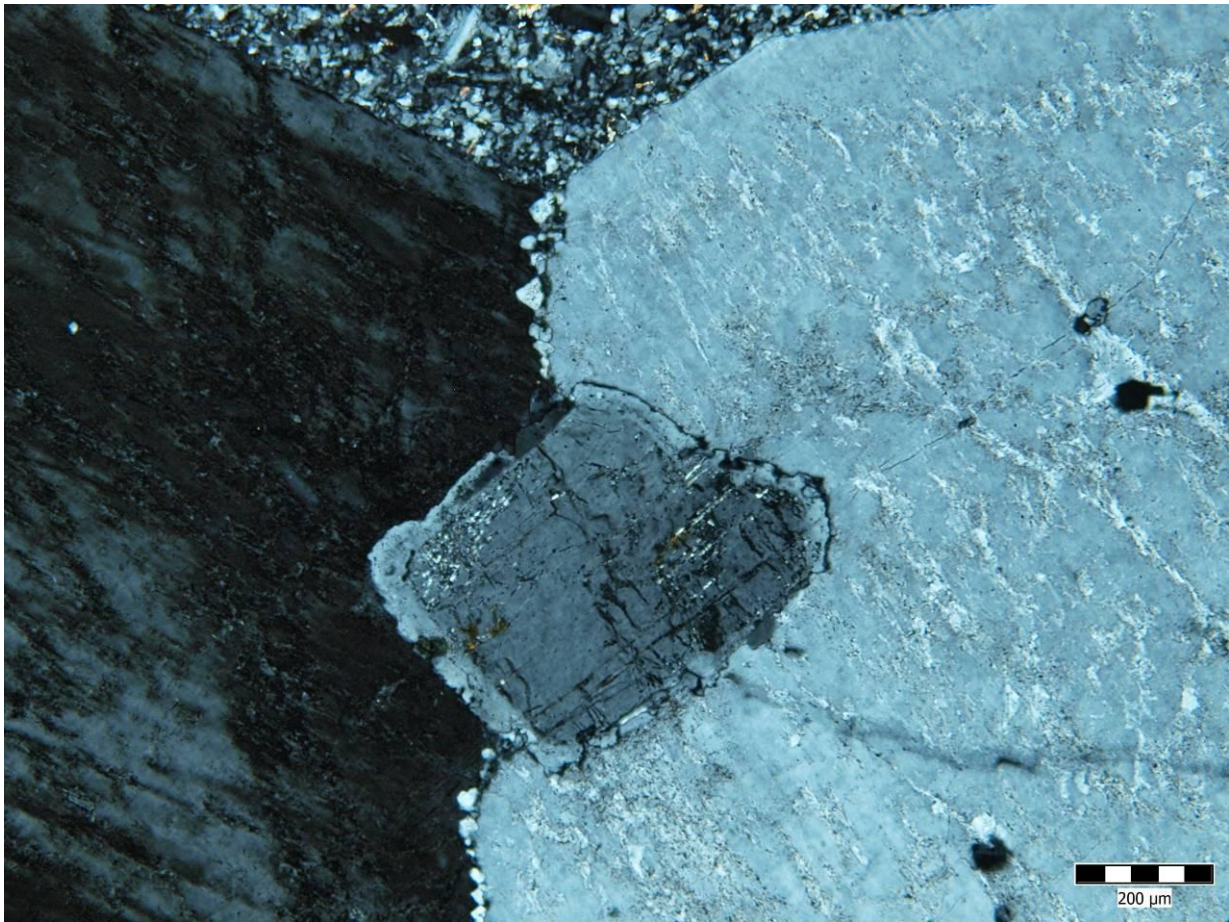


Obr. 96 Plagioklasová srostlice obsahuje podél křížících se krystalů novou rekrystalizaci v podobě zárodků živců. Dále vykazuje undulozitu a albitické lamelování. Vzorek H3 při zvětšení 50x a světle xpl (panorama ze 40 snímků, délka vyrostlice je cca 1,5 cm). (Hf)



Obr. 97a, b, c Vyrostlice plagioklasu je zonální a undulózni, v jejím středu se nachází dutinka vyplněná křemenem, který se barevně liší od živce v polarizovaném světle. Vzorek A při zvětšení 400x a světle xpl, levý dolní obr. 97b je pootočený o 90° v polarizovaném světle a pravý dolní obr. 97c je pootočený o 270°.



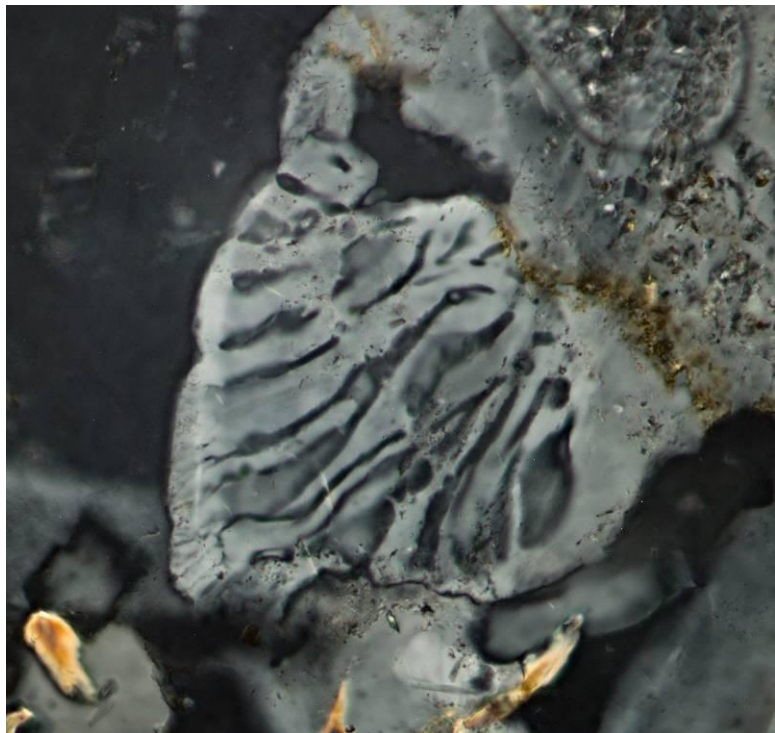


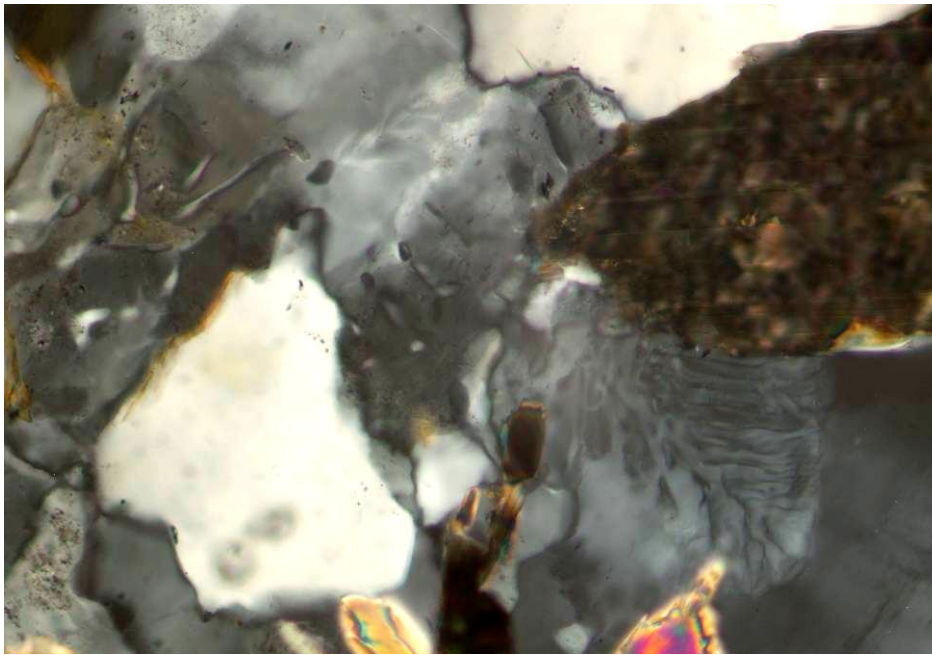
Obr. 98 Rekrystalizace podél srůstu dvou krystalů, tvořená zárodky živce. Vzorek H3 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)

3.2.2.2. Myrmekit

Myrmekit je minerál vzniklý prorůstáním plagioklasu a křemene, při přeměně draselného živce na plagioklas.

Obr. 99 Myrmekit ve vzorku H5 při zvětšení 400x a světle xpl. (Hf)





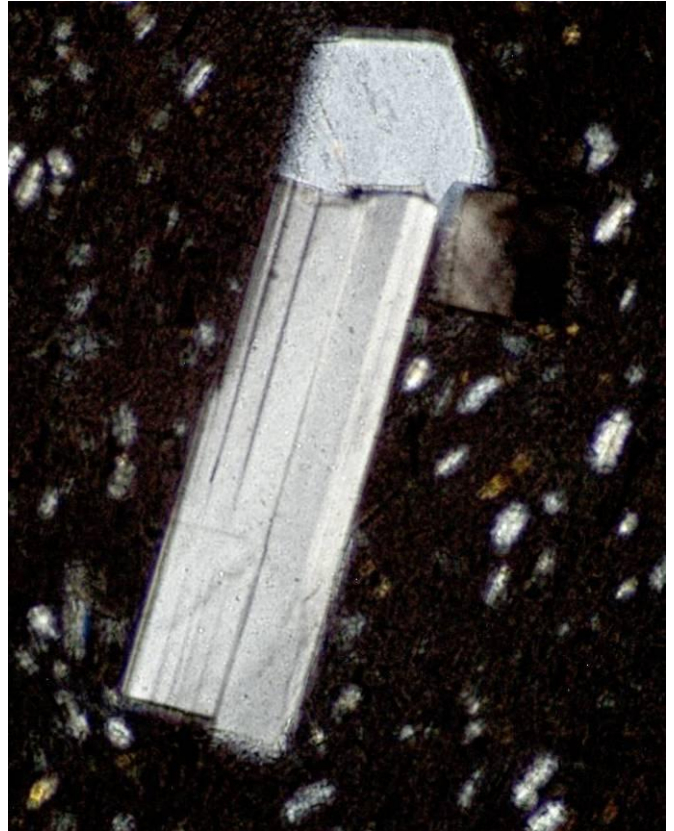
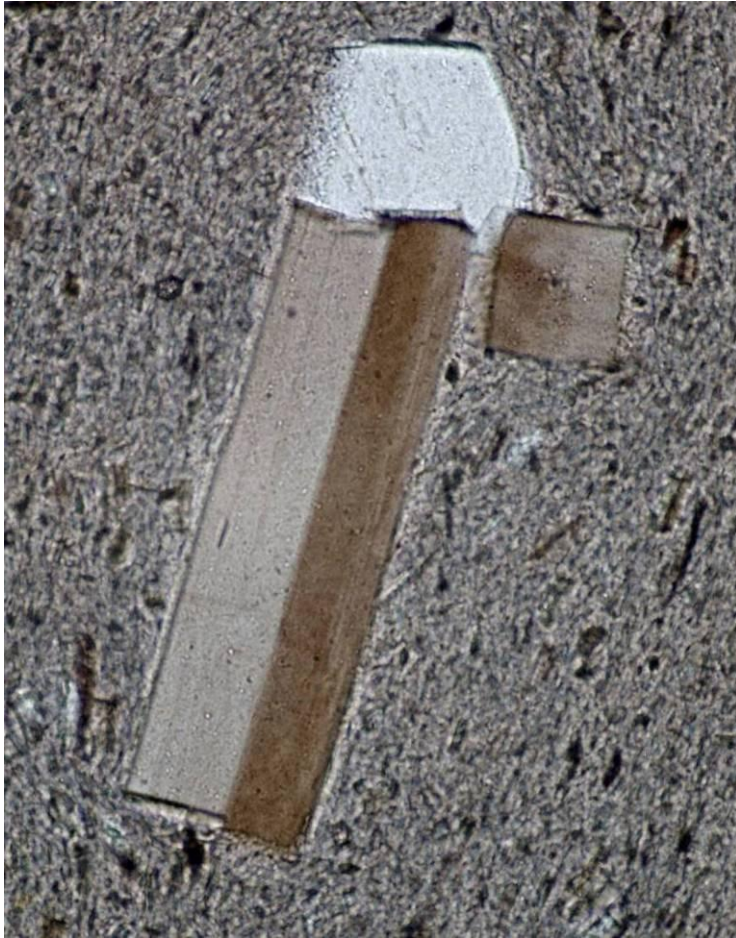
Obr. 100 Myrmekit ve vzorku H17 při zvětšení 400x a světle xpl. (Hf)

3.2.2.3. Sanidin

Sanidin je draselný živec, který neobsahuje znaky zonálnosti a lamelování, není polykrystalický a zdvojitění bývá pouze ze dvou krystalů. Oba 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 v Benešově nad Černou musely utuhnout ve velice chladném prostředí v blízkosti povrchu. Stejně jevy, spolu se sférolity, se vyskytují v porovnávacím vzorku obsidiánu z lokality Obsidian Dome, Kalifornie, USA, který vznikl při prudkém ochlazení magmatu v blízkosti povrchu (Bršlicová, 2015).



Obr. 101 Velice čistý srůst ze dvou krystalů nezonálního sanidinu. Vzorek D při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)



Obr. 102a, b Srostlice sanidinu v obsidiánu z lokality Obsidian Dome, USA. Vzorek C20 při zvětšení 200x a světle xpl.



Obr. 103 Srostlice sanidinu v porovnávacím vzorku obsidiánu. Undulozita v prostřední části srostlice je důkaz pozvolného měnění sanidinu na jiný draselný živec. Vzorek C20 při zvětšení 200x a světle xpl (panorama z 9 snímků).

3.2.2.4. Ortoklas

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



Obr. 104
Jednotlivé části ortoklasových srostlic zháší v polarizačním světle odlišně od sebe a je zde vidět kaolinizace podél prasklin. Vzorek D při zvětšení 100x a světle ppl. (BnČ)

Obr. 105 Ortoklas obsahuje průniky železitanů uvnitř své struktury. Vzorek H5 při zvětšení 100x a světle ppl. (Hf)

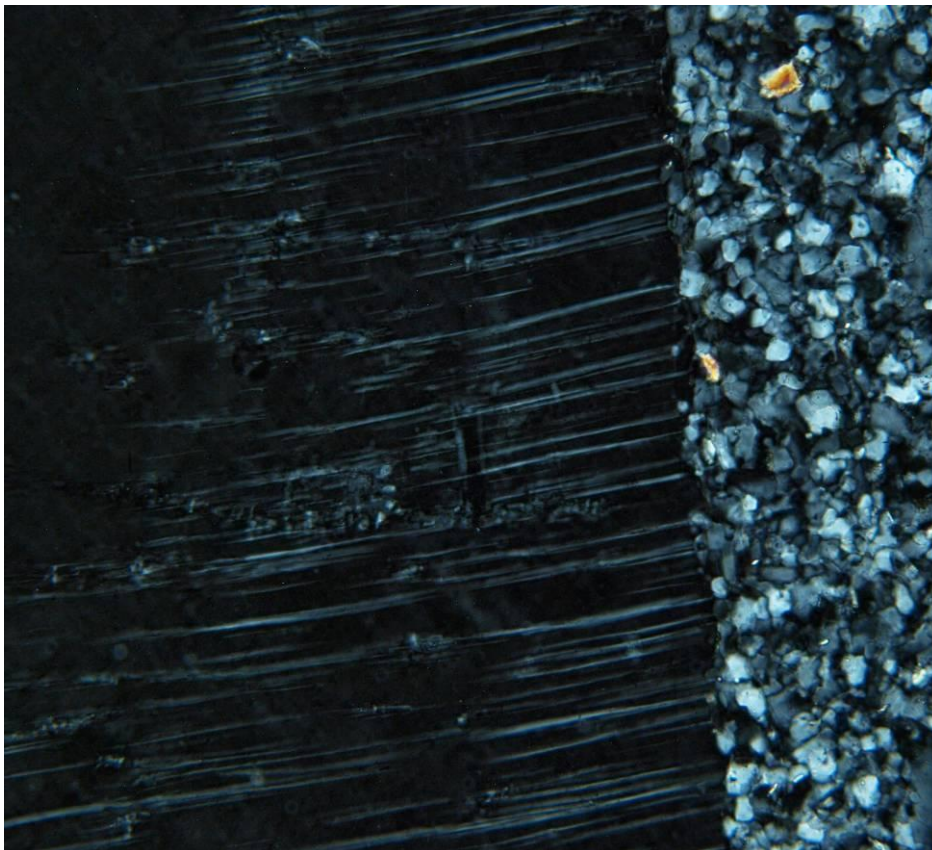


Obr. 106 Sanidin v pokročilejším stádiu přeměny na ortoklas. Vzorek H8 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)



3.2.2.5. Perthit

U alkalických živců dochází při vysokých teplotách k volné mísivosti draselných a albitových složek při krystalizaci. Tato schopnost ale s poklesem teploty zaniká a dochází k tvorbě vřetének nebo tenkých jehliček uvnitř vyrostlice (Gregorová, 2002).



Obr. 107 Perthit při okraji plagioklasové vyrostlice s drobnozrnnou základní hmotou. Vzorek H3 při zvětšení 200x a světle xpl. (Hf)

3.2.2.6. Sférolitický ortoklas

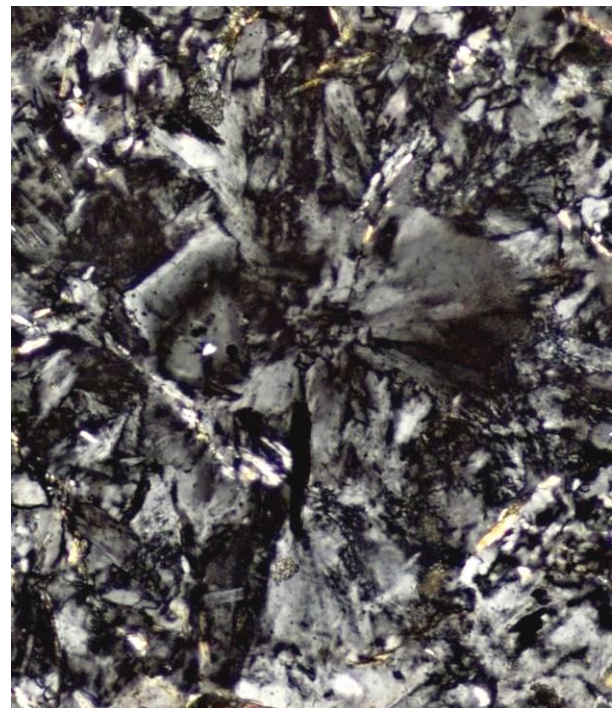
Malé vějířkovité útvary viditelné pouze pod mikroskopem, jsou sférolitické ortoklasy (Gregorová, 2002). Každý paprsek tvořící sférolit je jeden krystal, zárodky vyrůstají ze stejného bodu, a když mají prostor, tak se rozšiřují do těchto vějířků. Sférolity se vyskytují ve felsitech, což jsou v tomto případě ryolity, subvulkanické horniny krystalizující v blízkosti povrchu, v kterých proběhlo rychlé tuhnutí, a jsou jemnozrnné, mohou se proto vyskytovat i v obsidiánech.

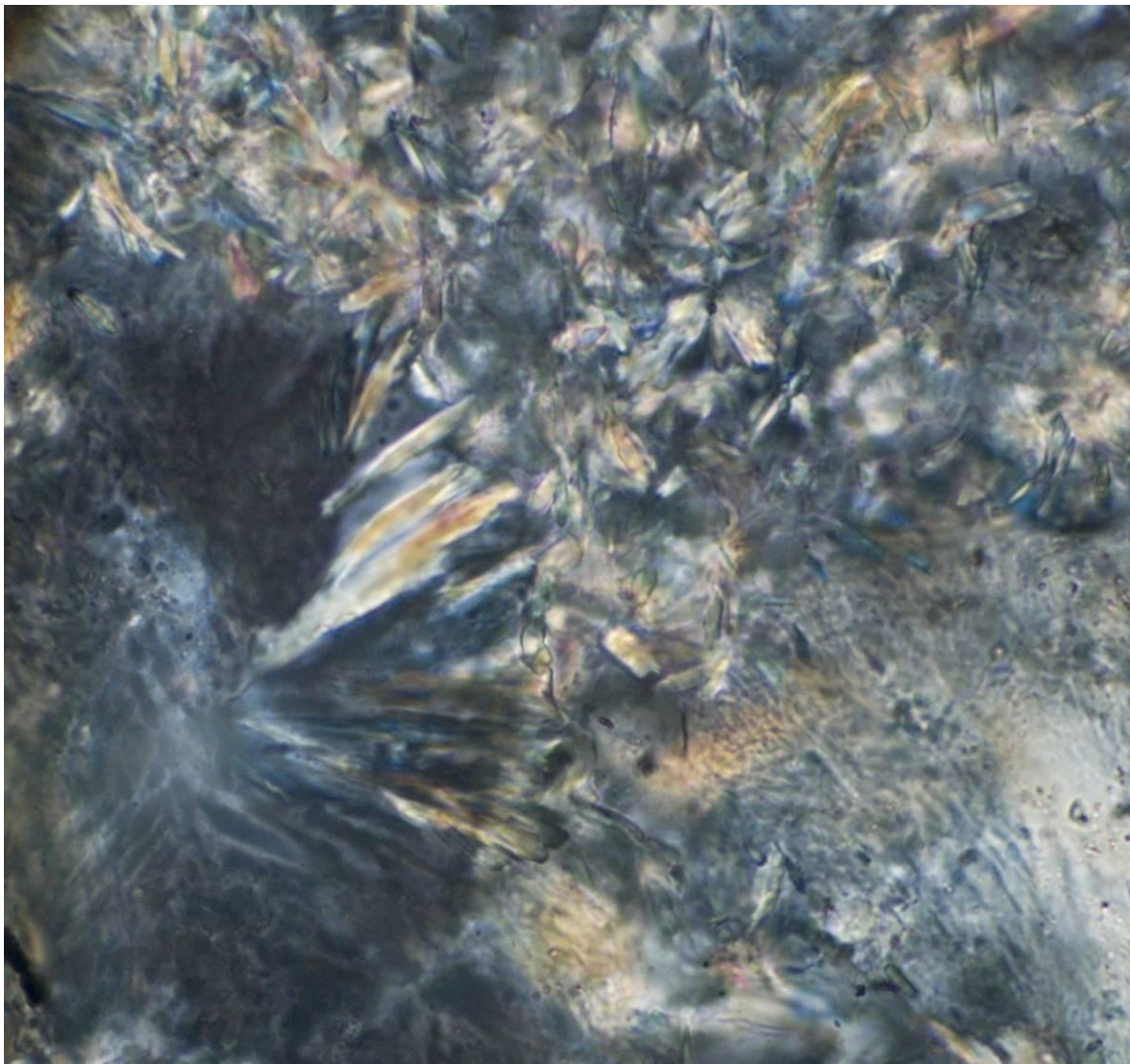
Sférolity jsou dokladem prudkého utužení intruzí z Benešova nad Černou v chladném prostředí v blízkosti povrchu. Přesná hloubka výskytu intruzí při jejich vzniku není známa, protože nelze upřesnit geometrický stupeň okolní horniny z té doby, tj. nelze určit, do jaké hloubky byl okolní masív natolik chladný, aby vznikly zmiňované jevy. Podobné jevy jsem nepozorovala ve vzorcích z Helfenburku.



Obr. 108 Sférolitický ortoklas v matrixu ryolitu, skupina „vějířků“ má stejný střed, ze kterého vyrůstají zárodky. Vzorek 01 při zvětšení 200x a světle xpl. (BnČ)

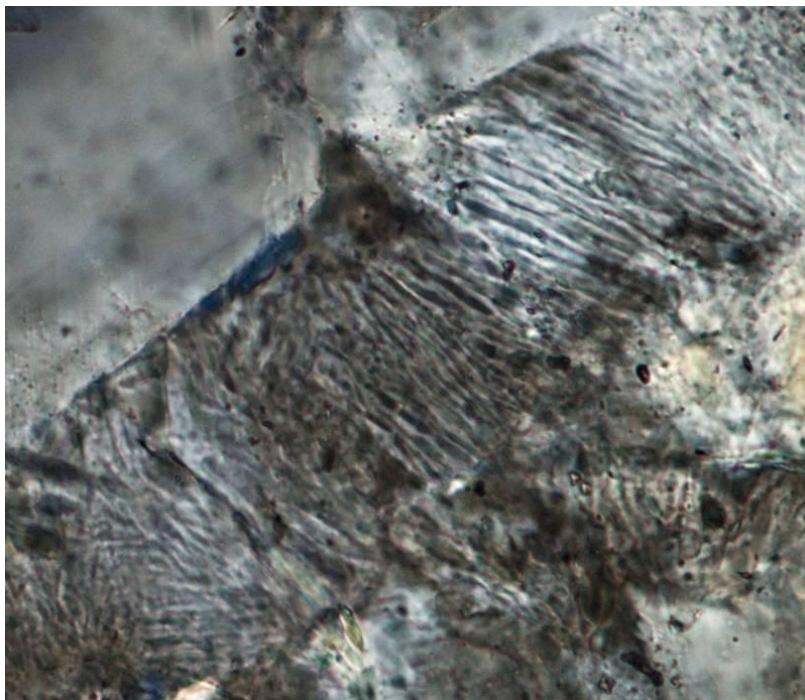
Obr. 109 Sférolity v základní hmotě vzorku C6 při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)





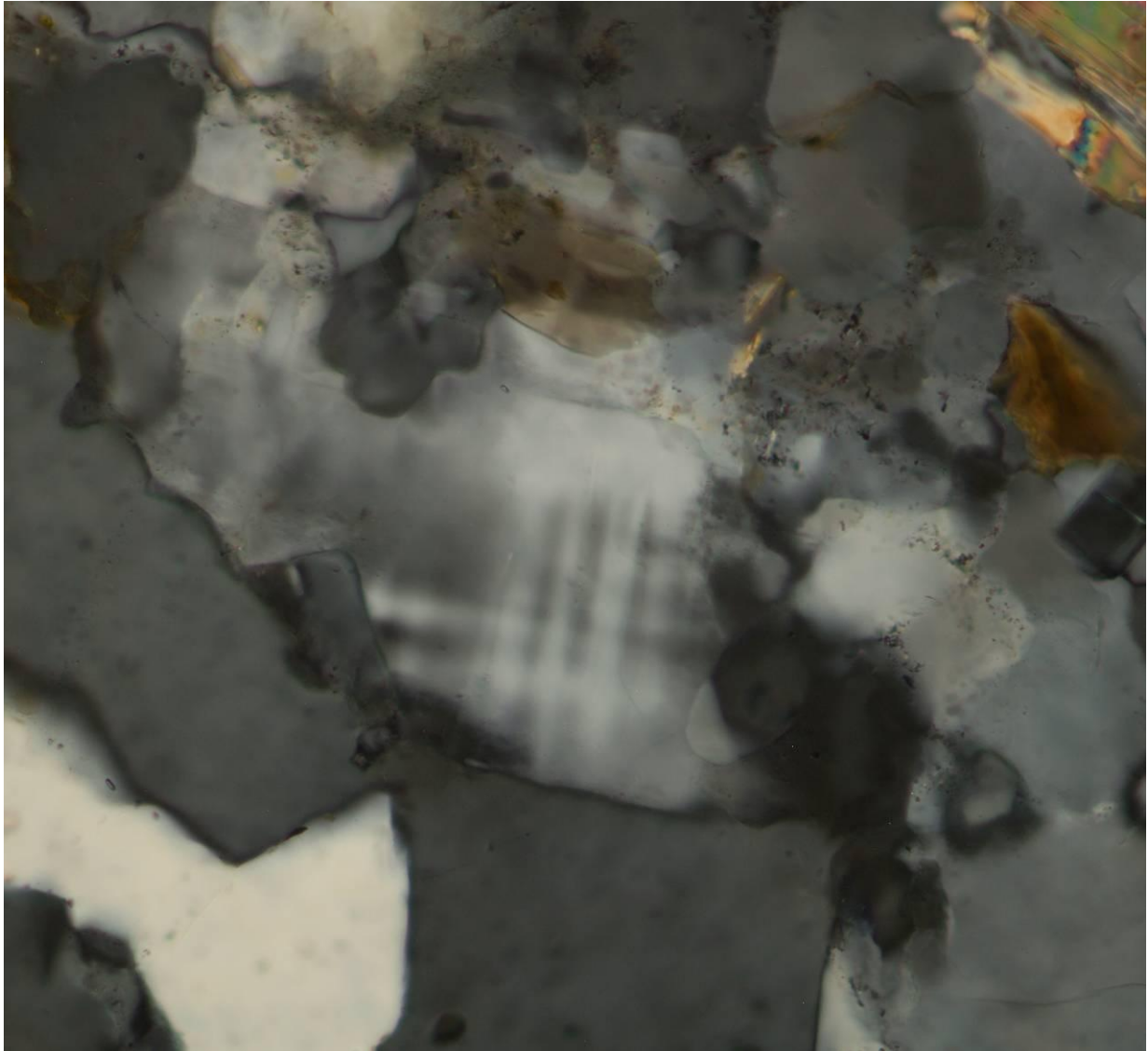
Obr. 110 Jemnozrné sférolity v matrixu sklovitého vzorku A při zvětšení 600x a světle xpl. (BnČ)

Obr. 111 Sférolity lemující
pohlčenou vyrostlící živce.
Vzorek A při zvětšení 400x a
světle xpl. (BnČ)



3.2.2.7. Mikroklin

Mikroklin je draselný živec, který vzniká jako třetí v řadě po ortoklasu a sanidinu. V mikroskopu jej poznáme podle pravoúhlého lamelování, které je pro něj typické.



Obr. 112 Mikroklin ve vzorku H17 při zvětšení 400x a světle xpl. (Hf)

3.2.2.8. Kaolinizace živců

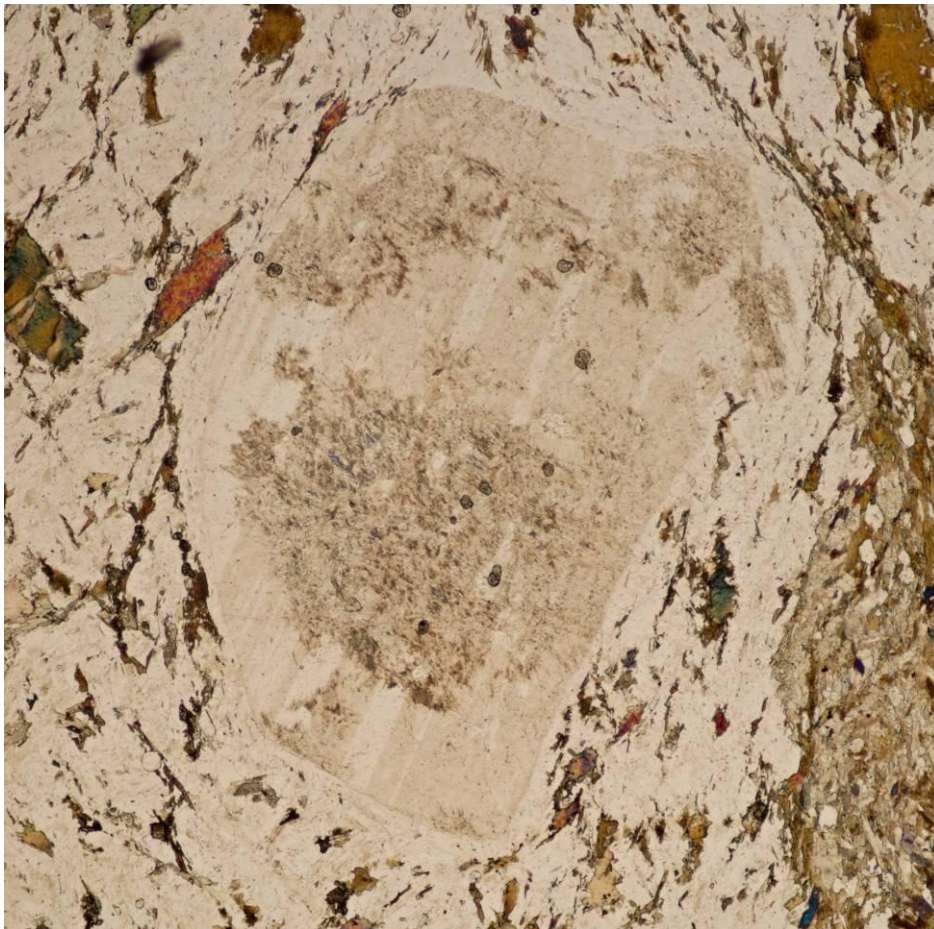
Kaolinizace je druh zvětrání, při kterém se živec přemění na jílový minerál kaolinit. Probíhá u všech živců, ale zejména u draselných. Pod mikroskopem je vidět narušení stavby vyrostlice živce a kaolinit je žluto-duhový. Počátky kaolinizace vznikají v oslabených místech živcových vyrostlic a podél prasklin.

Obr. 113 Plagioklas přeměněný částečně na kaolin. Vzorek B9 při zvětšení 50x a světla xpl. (BnČ)



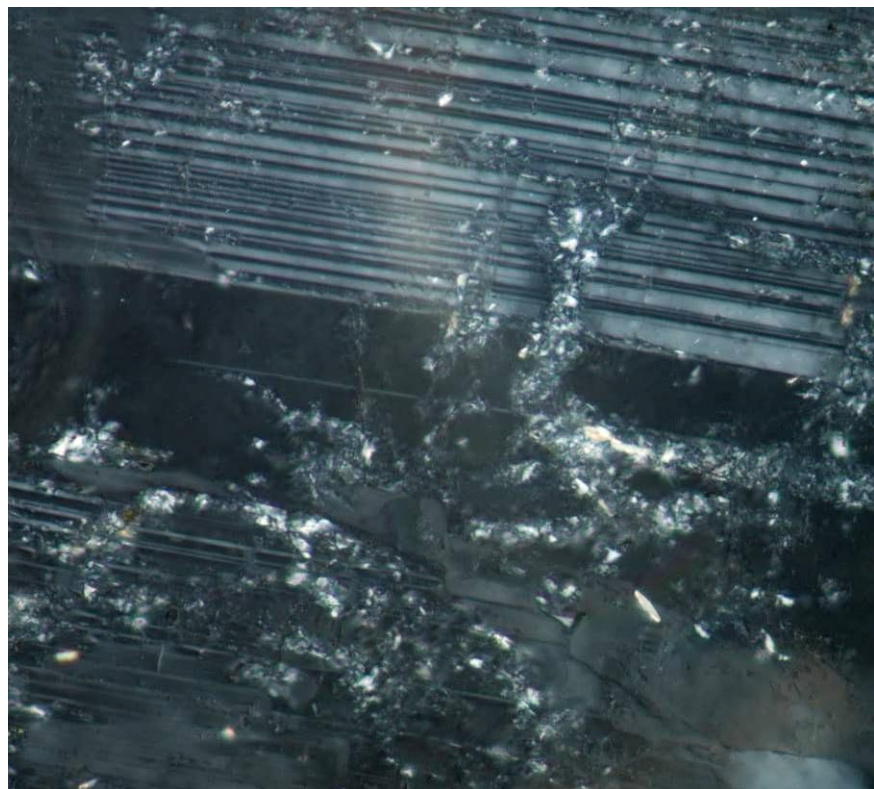
Obr. 114
Kaolinizace
mění strukturu
a stavbu
vyrostlice živce.
Vzorek B při
zvětšení 200x a
světla xpl. (BnČ)





Obr. 115 Kaolinické navětrání vyrostlice ortoklasu. Vzorek H4 při zvětšení 50x a světla xpl. (Hf)

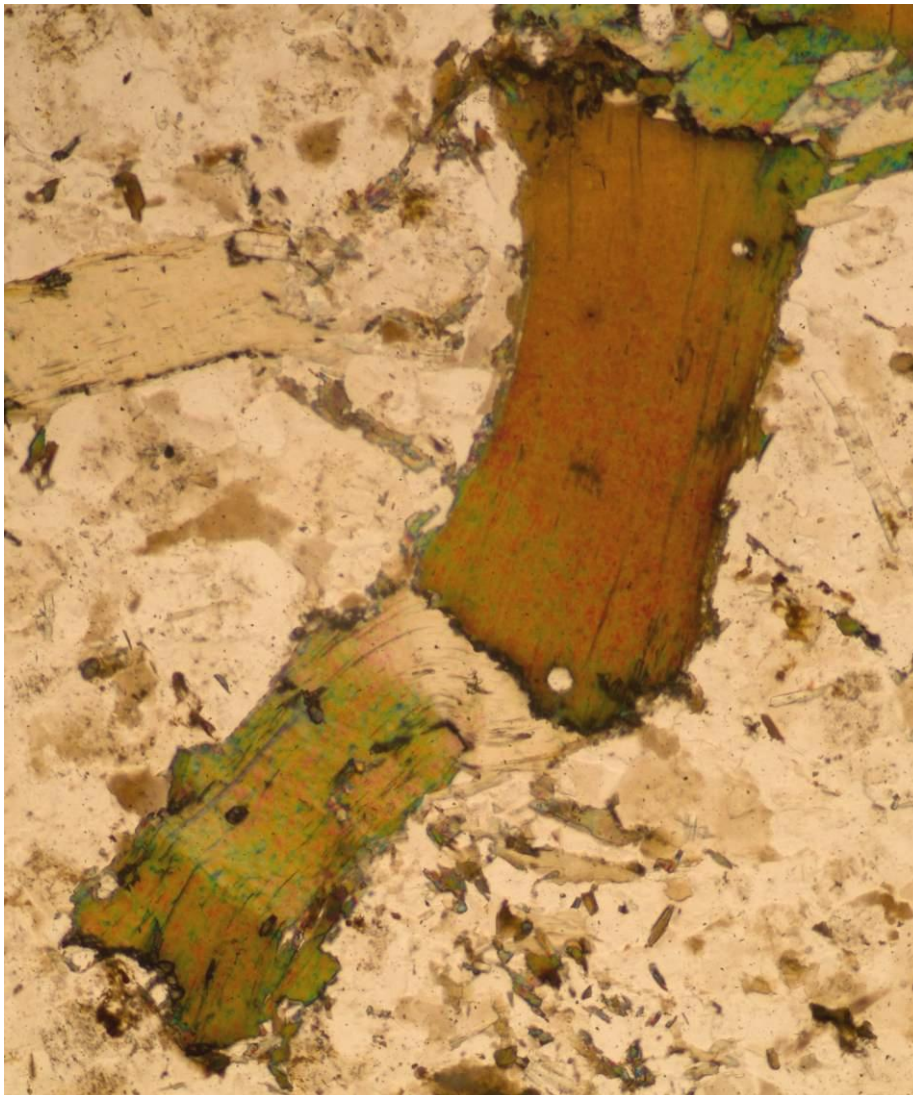
Obr. 116 Síťivo kaolinizace přerušuje ablitické lamelování živce. Vzorek H17 při zvětšení 400x a světla xpl. (Hf)



3.2.3. Biotit

Vyrostlice biotitu se ve studovaných porfyrech vyskytují v několika formách, a to v pseudohehexagonálních krystalech jednoklonné soustavy, v lištách a v podobě zárodků krystalizace v základní hmotě. Ty pak dodávají vzorku tmavší barvu. Na petrografických výbrusech v polarizovaném světle zháší biotit do zelené, modré a hnědé. V nepolarizovaném světle má různé odstíny hnědé barvy a je často vidět vláknitá struktura, obzvláště při deformaci.

Biotity uvnitř porfyrů z Benešova nad Černou jsou většinou plně chloritizované, zbarvené zeleně a mnohdy jsou v jejich struktuře vidět tmavé opakní oblasti, pravděpodobně ilmenit vzniklý z vyloučeného železa a titanu. V opačném případě jsou v nepřeměněném stavu se svou charakteristickou hnědou barvou a jen mírně poškozené pohybem v magmatu. V mikroskopických preparátech z Helfenburku jsou biotity dramaticky potrhány, deformované a v některých případech i roztažené podél vyrostlic živců v podobě foliačních ryb (Hanmer, 1986). Dále, některé biotity z Helfenburku obsahují drobné jehličky sagenitu (Gregorová, 2002).



Obr. 117 Biotit v drobnozrnném porfyru vykazuje značnou deformaci a zakřivení způsobené patrně během přenosu magmatem. Vzorek H6 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)



Obr. 118
Detail
deformace
biotitu
z předchozí
fotografie.
Vzorek H6 při
zvětšení 400x
a světle ppl.
(Hf)

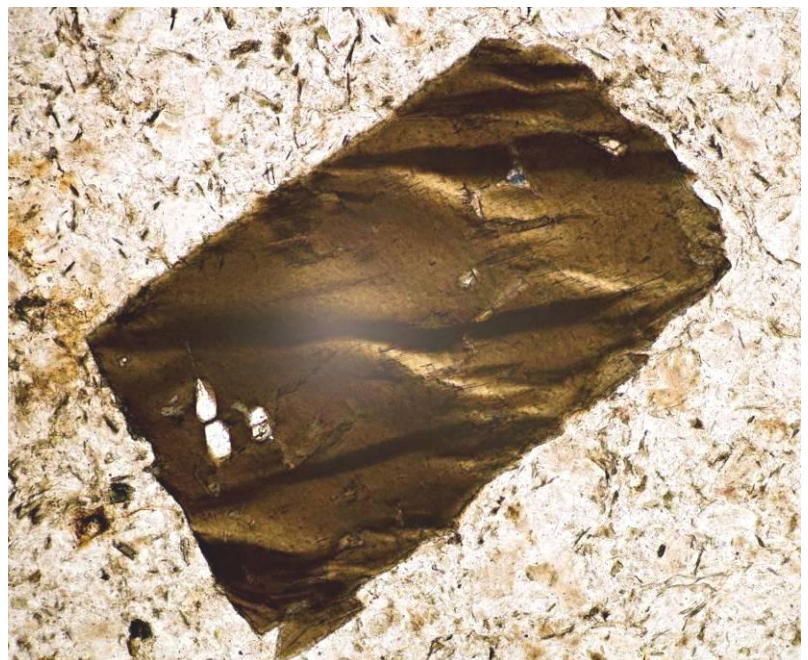


Obr. 119 Méně deformované biotity, vyrostlice uprostřed má částečně zachovaný původní šestiboký řez. Vzorek H5 při zvětšení 100x a světle ppl. (Hf)



Obr. 120a, b V biotitu se vytvořila pásma zalomení (kink bands) během pohybu magmatu. Vzorek H4 při zvětšení 50x a světle xpl na levém obrázku a ppl na pravém. (Hf)

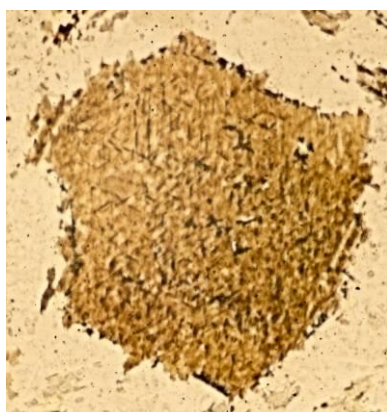
Obr. 121 Deformovaný biotit v drobnozrnné základní hmotě. Vzorek F při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)





Obr. 122 Biotitová vyrostlice se značným undulozním zhážením, které je způsobené jejím provrásněním. Vzorek H3 při zvětšení 200x a světle xpl. (Hf)

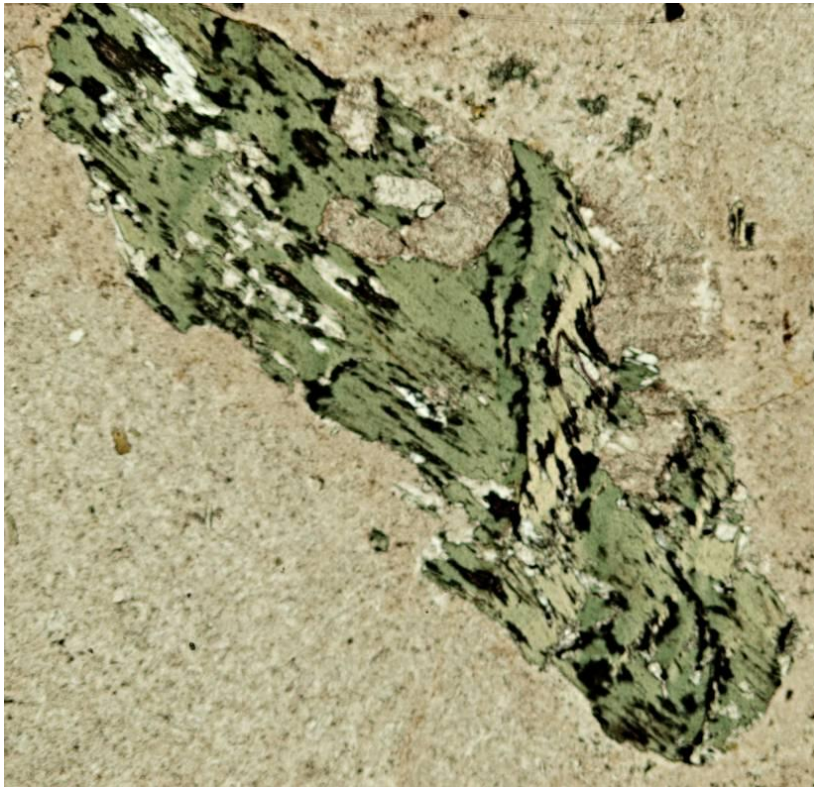
Obr. 123 Stejná vyrostlice v nepolarizovaném světle, je zde vidět protažení struktury biotitu uvnitř pásů zalomení. Vzorek H3 při zvětšení 200x a světle ppl. (Hf)



Obr. 124 Pole výbrusu je kolmé na střed krystalu a vynikne tak hexagonální tvar biotitu. V levé horní části pozorujeme sagenit. Je to nejzachovalejší pozorovaný biotit z mnoha zkoumaných porfyrů. Vzorek H19 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)

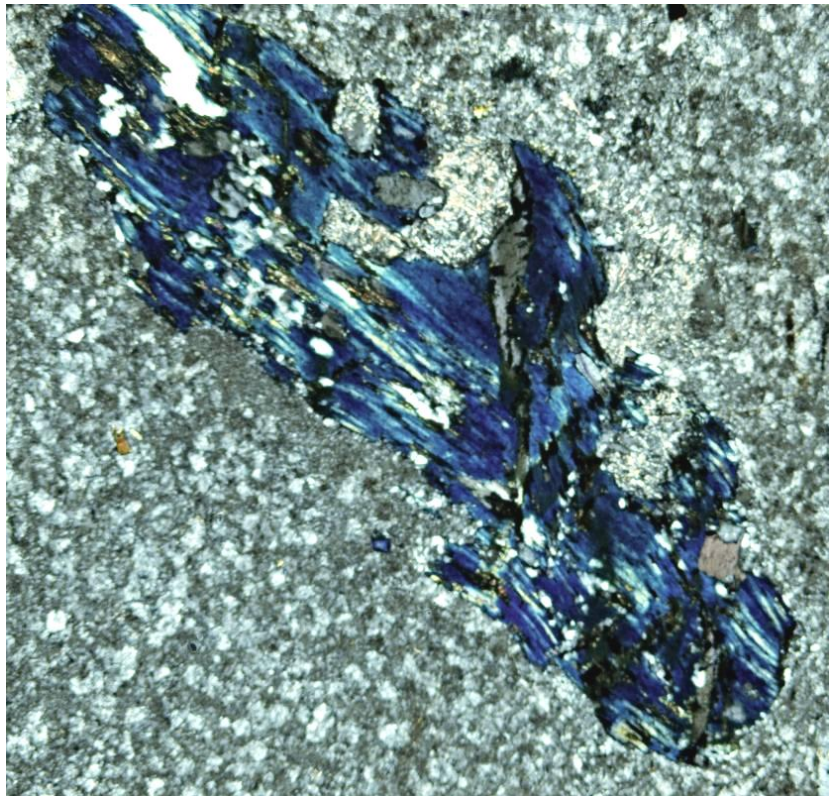
3.2.3.1. Chloritizovaný biotit

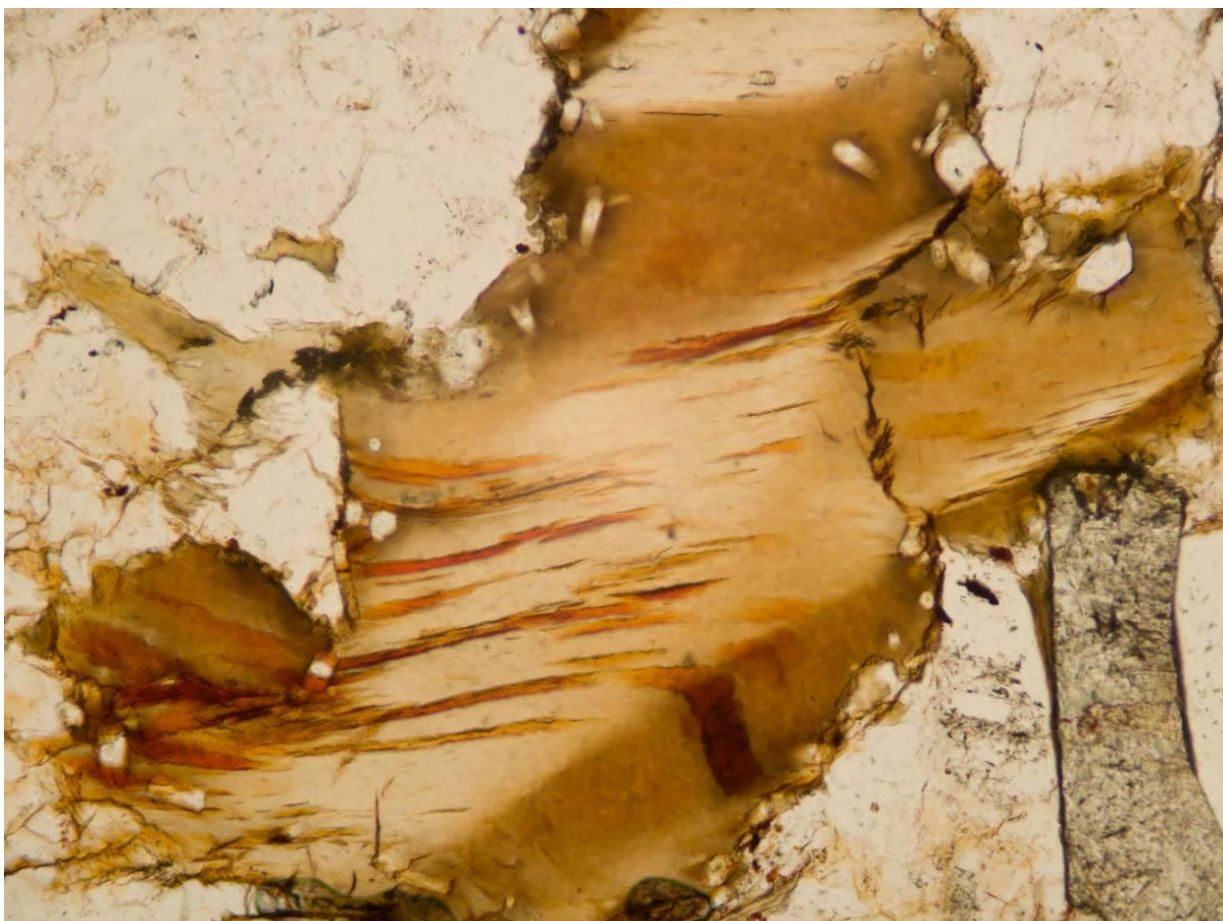
Ztrátou železa z biotitu v závěru magmatické fáze vzniká zelená slída chlorit, který nejprve tvoří pásy napříč vyrostlící a v pokročilejším stádiu přeměny zaujme místo i podobu původní vyrostlice biotitu.



Obr. 125 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 a světle ppl. (BnČ)

Obr. 126 Stejný minerál, ale v polarizovaném světle zháší undulózně do modré barvy a místy do hnědé. Vzorek B9 při zvětšení 50x a světle xpl. (BnČ)

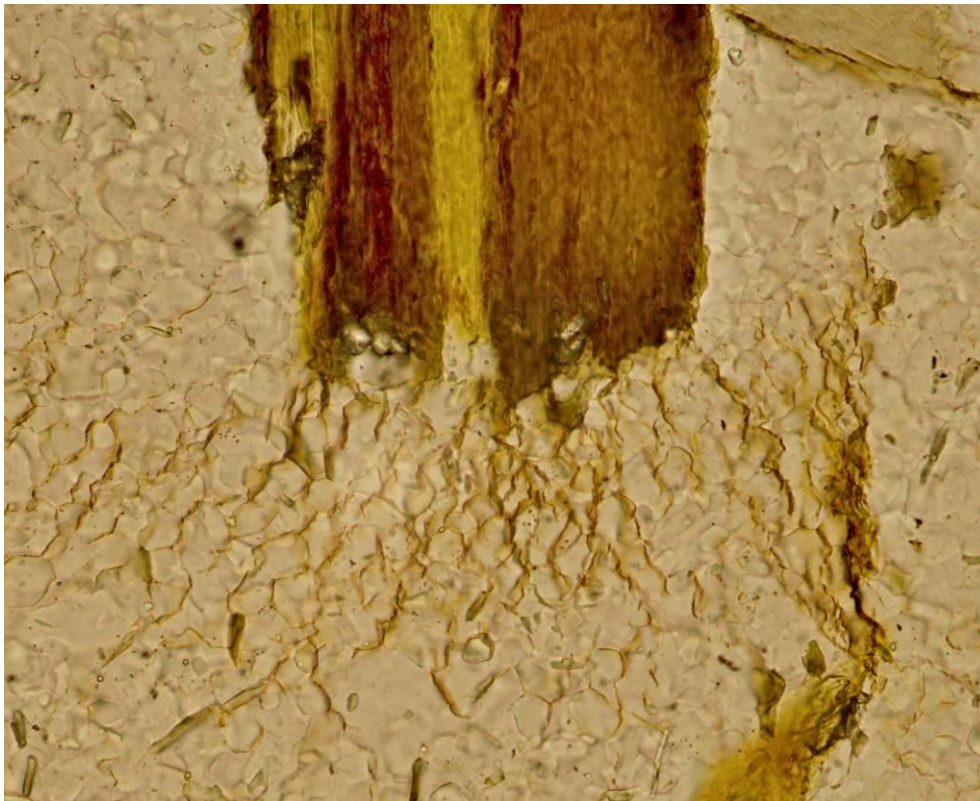




Obr. 127 Chloritizace, která proběhla na zdeformovaném biotitu, se vyznačuje světlými pásy. Železo uvolněné při tomto procesu proniká do porušeného matrixu. Vzorek H10 při zvětšení 100x a světle ppl. (Hf)



Obr. 128 Biotit s mírnými pásky chloritizace, šířící se podél jeho vláknité struktury. Vzorek H8 při zvětšení 200x a světle ppl. (Hf)



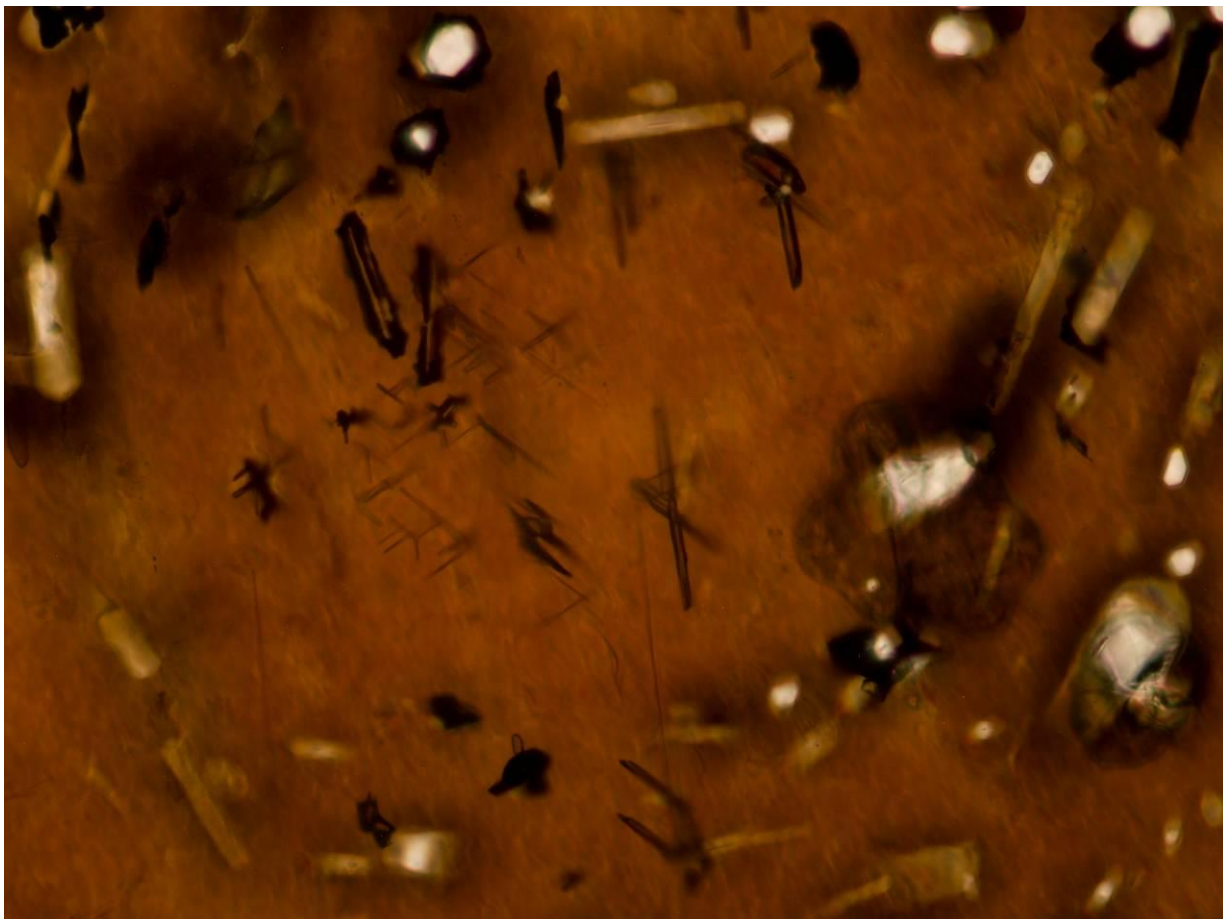
Obr. 129
 Základní hmota
 kolem biotitu je
 porušená a
 dovoluje
 uvolněnému
 železu průnik do
 okolí podél
 prostupných
 hranic zrn.
 Vzorek H8 při
 zvětšení 400x a
 světle xpl. (Hf)

3.2.3.2. Sagenitový biotit

Sagenitový biotit obsahuje drobné jehličky rutilu nebo titanitu, které se kříží pod úhlem 60° . Drobné krystalky tzv. sagenitu se tvoří uvnitř biotitu, který má nadměrné množství Ti.

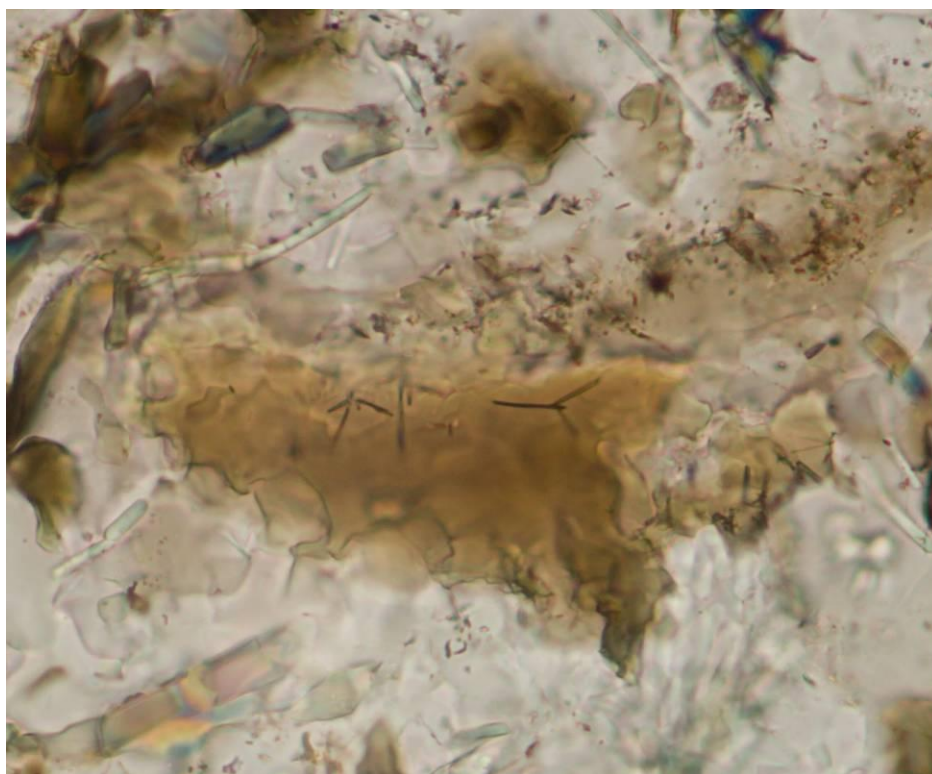
Obr. 130 Sagenitové
 jehličky uvnitř biotitu
 tvoří rovnostranné
 trojúhelníčky. Vzorek
 H19 při zvětšení 400x
 a světle xpl. (Hf)

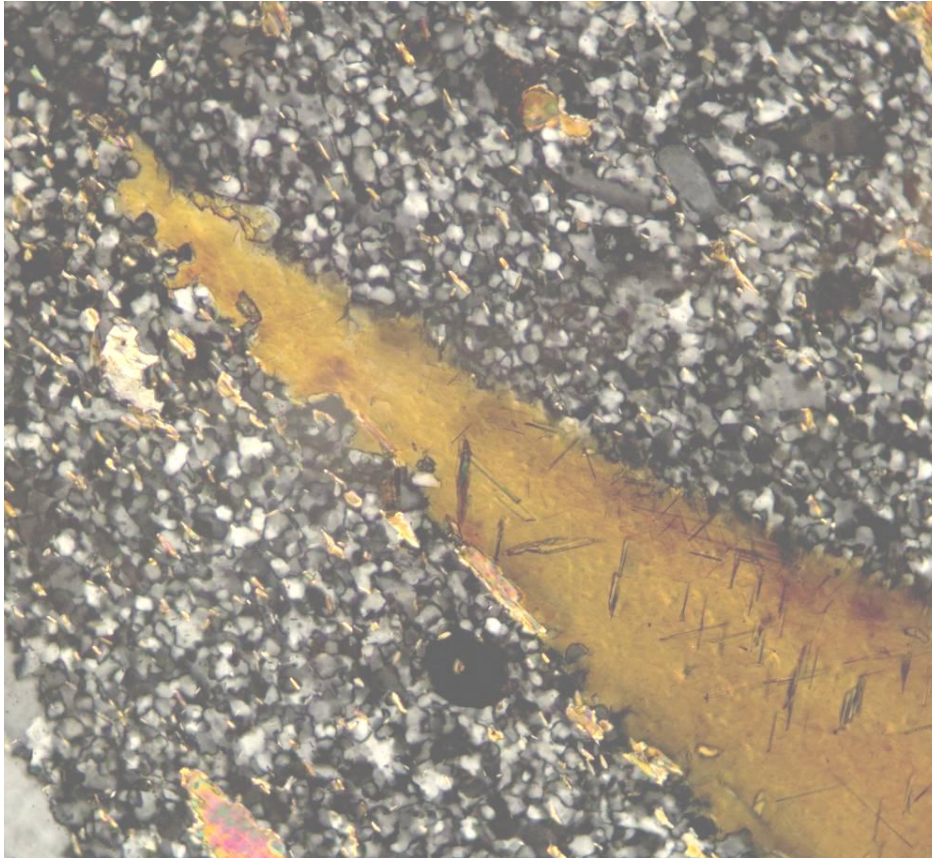




Obr. 131 Drobné sagenity uvnitř biotitu spolu s apatity. Vzorek H17 při zvětšení 400x a světle xpl. (Hf)

Obr. 132 Sagenitový biotit uvnitř felsitické struktury porfyru. Vzorek H1 při zvětšení 400x a světle xpl. (Hf)





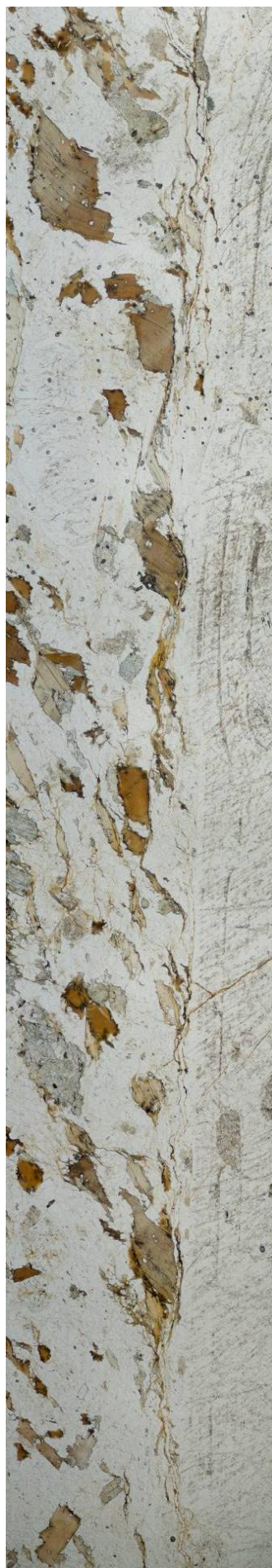
Obr. 133 Přechod sagenitového biotitu do sklovitého matrixu. Vzorek H8 při zvětšení 200x a světle ppl. (Hf)

3.2.3.3. Biotitové foliační ryby

Foliační ryba je strukturální fenomén, který se může vytvořit v břidličnatých či usměrněných horninách v mikroskopickém, ale i makroskopickém měřítku. Jev se vytvoří v momentu, kdy hornina, již jako pevné těleso, se posune oproti jiné části horniny podél smyku kosého k foliaci nebo usměrnění (Hanmer, 1986). V případě biotitových vyrostlic z Helfenburku došlo k vytvoření foliačních ryb až poté, co porfyry z větší části utuhly a následně došlo ještě k dalšímu pohybu.



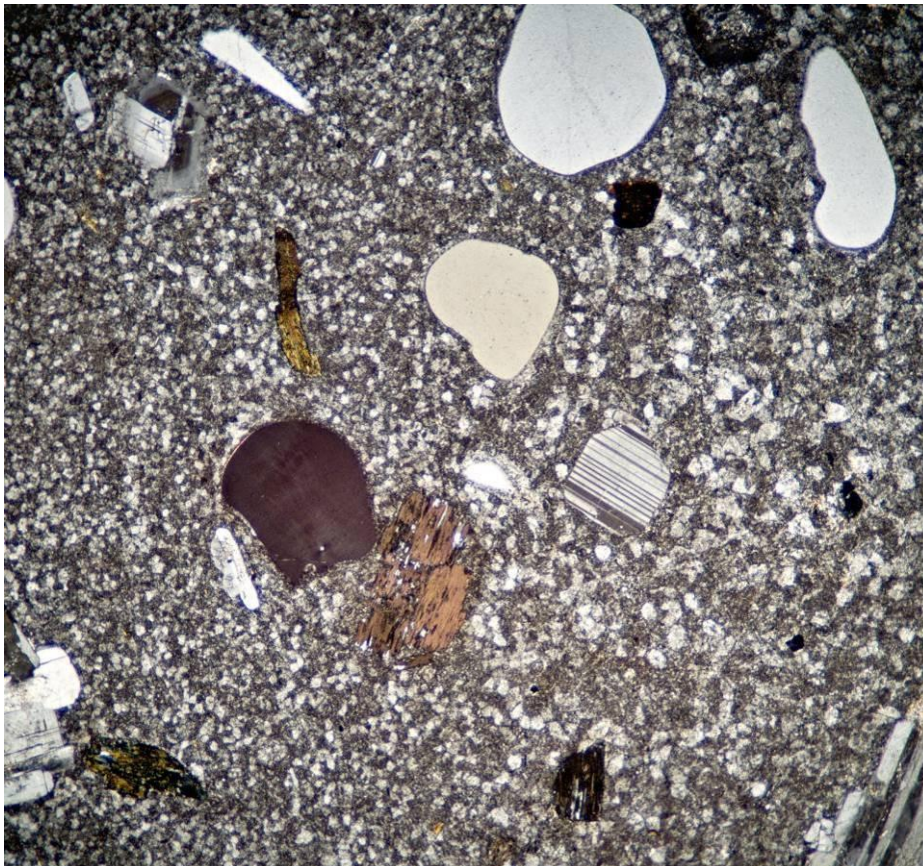
Obr. 134 Foliační ryba tvořená biotitem. Vzorek H13 při zvětšení 100x a světle ppl. (Hf)



Obr. 135a, b Řetěz foliačních ryb z biotitů vyznačuje smykovou zónu. Porfyry byly pravděpodobně v pokročilejším stádiu tuhnutí, když uvnitř horniny pokračoval další pohyb, během kterého došlo ke smyku s deformací vyrostlic biotitu a dalších minerálů podél okraje velké živcové vyrostlice. Vzorek H13 při zvětšení 50x a světle xpl u levé fotografie a ppl u pravé. (každá fotografie složená z 9 snímků, délka zóny je 1,5 cm, Hf)

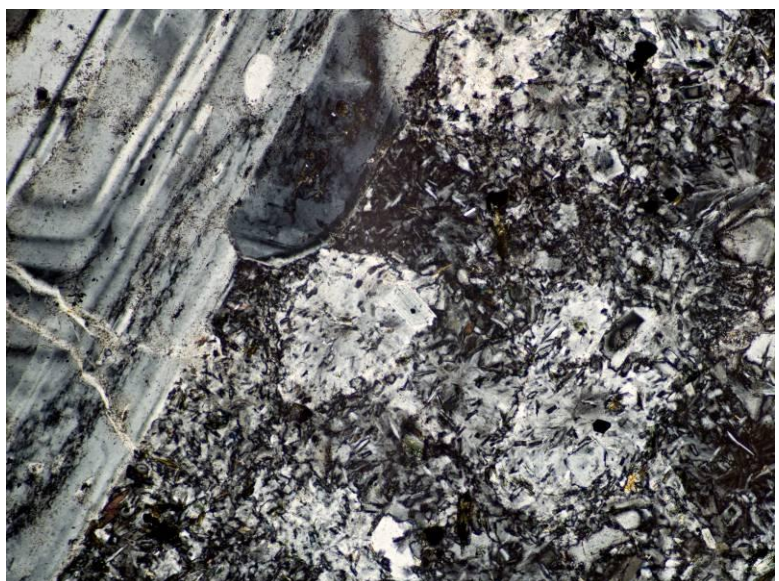
3.2.4. Základní hmota

Základní hmota neboli matrix, je hmota mezi vyrostlicemi v porfyrech, obvykle bývá výrazně jemnozrnější než porfyrové vyrostlice a obsahuje zárodky zamrzlé krystalizace. Mnohé krystalové vyrostlice v matrixu pochází z okolních hornin a byly sopečnou aktivitou utrženy, pohlceny a následně zataveny do hmoty tuhnoucího magmatu (viz obr. 136). V některých případech obsahuje poškozené krystaly, které vznikly během první vlny magmatu a byly poškozené během následující vlny nového magmatu.

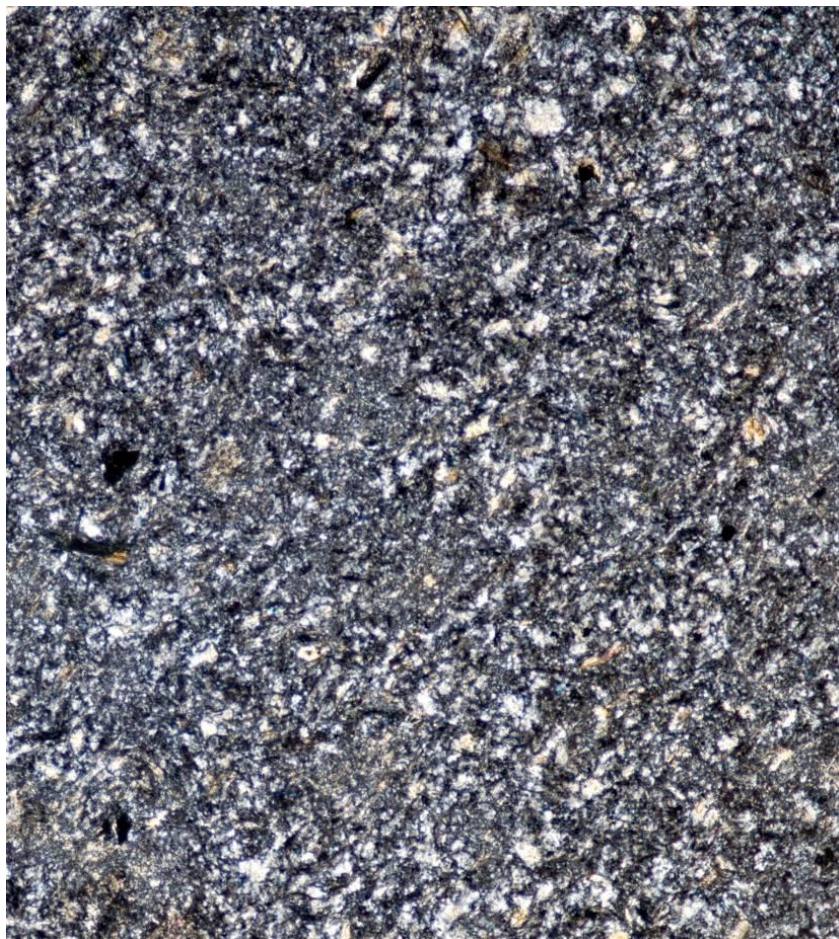
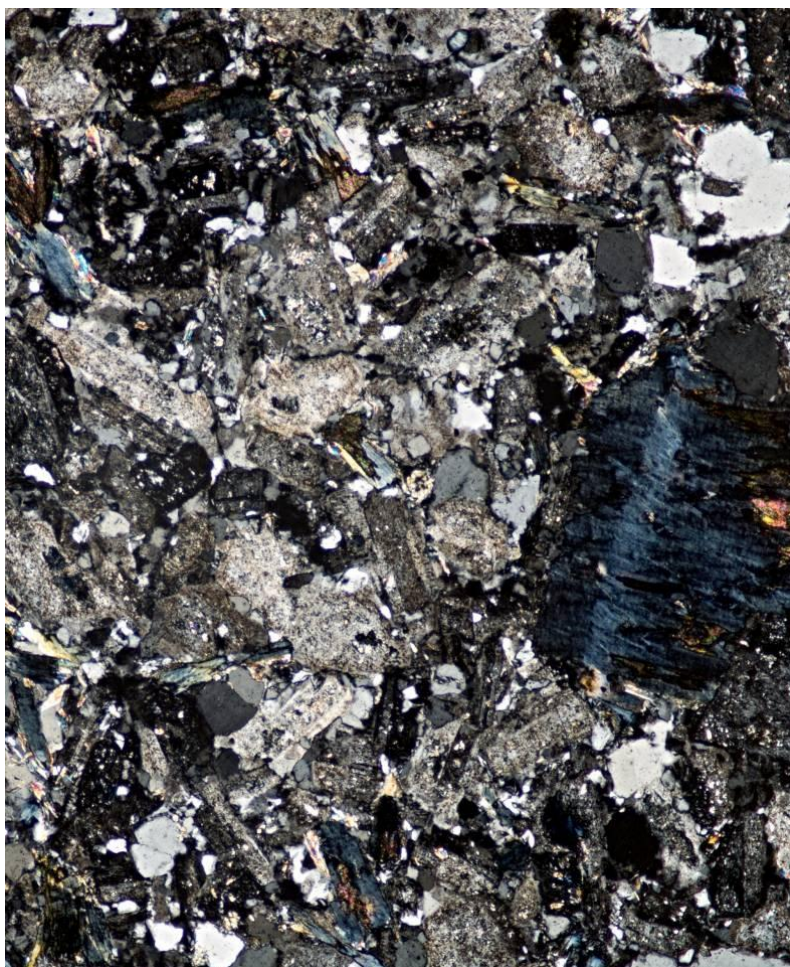


Obr. 136 Základní hmota v některých případech obsahuje zárodky krystalů o různé velikosti. Vlevo na fotografii je jemnozrnější než vpravo, pravděpodobně se zde nachází rozhraní nerovnoměrného chladnutí magmatu. Vpravo se magma ochlazovalo pomaleji, a proto byl delší čas na krystalizaci, což umožnilo vznik větších zárodků vyrostlic. Vzorek B9 při zvětšení 25x a světle xpl. (BnČ)

Obr. 137 Matrix se zárodky krystalizace sklovitého porfyru se zonální vyrostlicí plagioklasu. Vzorek E při zvětšení 100x a světle xpl. (BnČ)



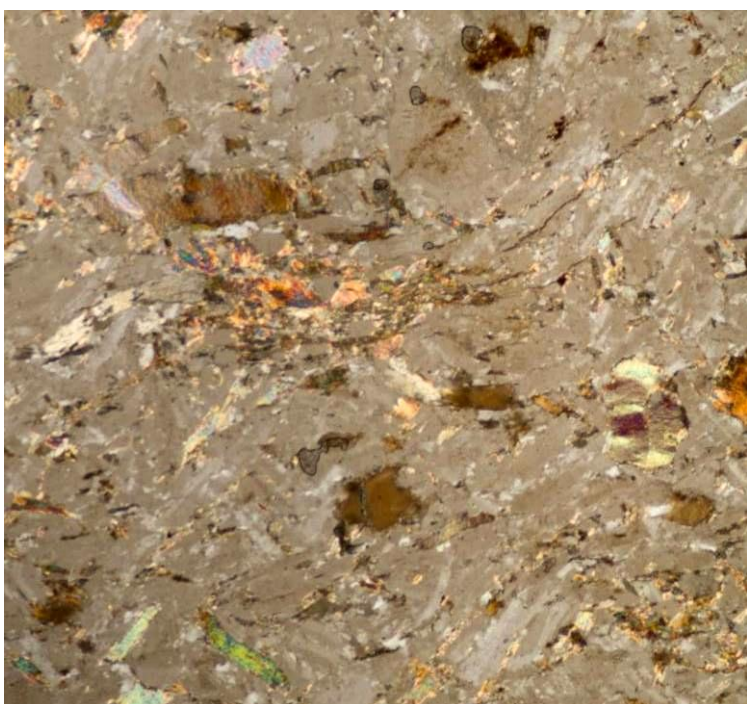
Obr. 138 Hrubozrnná základní hmota v porfyru. Vzorek C5 při zvětšení 50x a světle xpl. (BnČ)



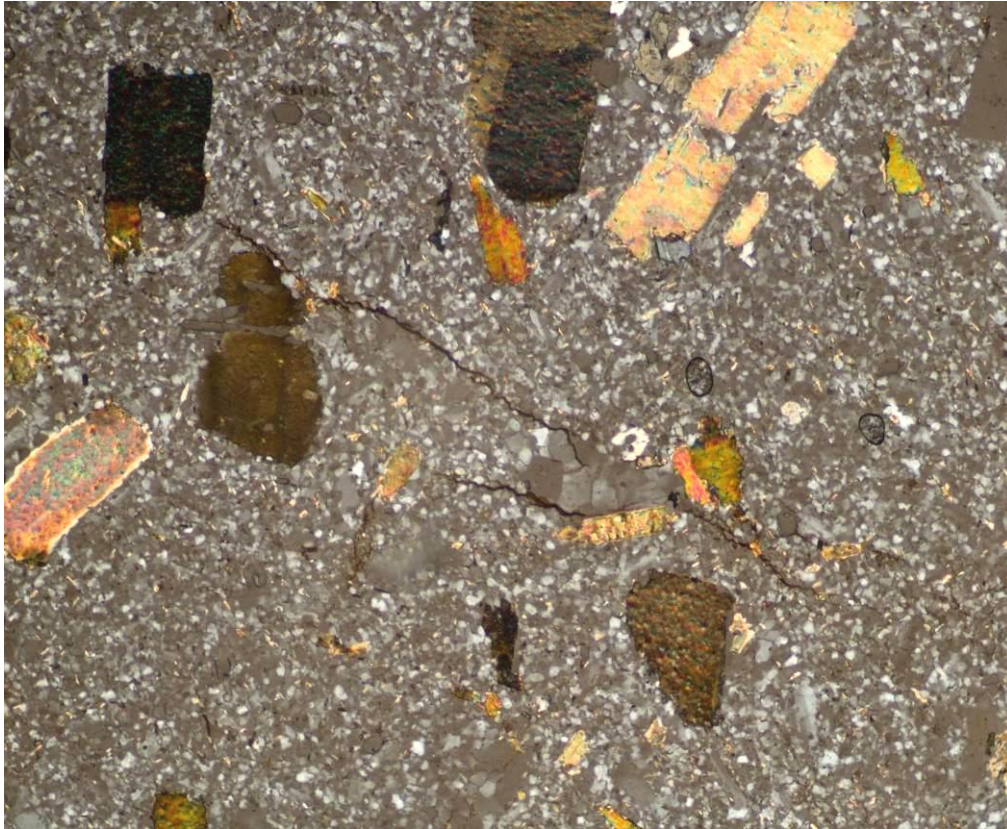
Obr. 139 Jemnozrnná základní hmota sklovitého porfyru. Vzorek B při zvětšení 50x a světle xpl. (BnČ)



Obr. 140 Porovnávací vzorek obsidiánu z Obsidian Dome, Kalifornie, USA, má velmi jemnozrnnou sklovitou základní hmotu, s drobnými zárodky krystalů, které nestačily vykrytalizovat, 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 C20 při zvětšení 100x a světle xpl.

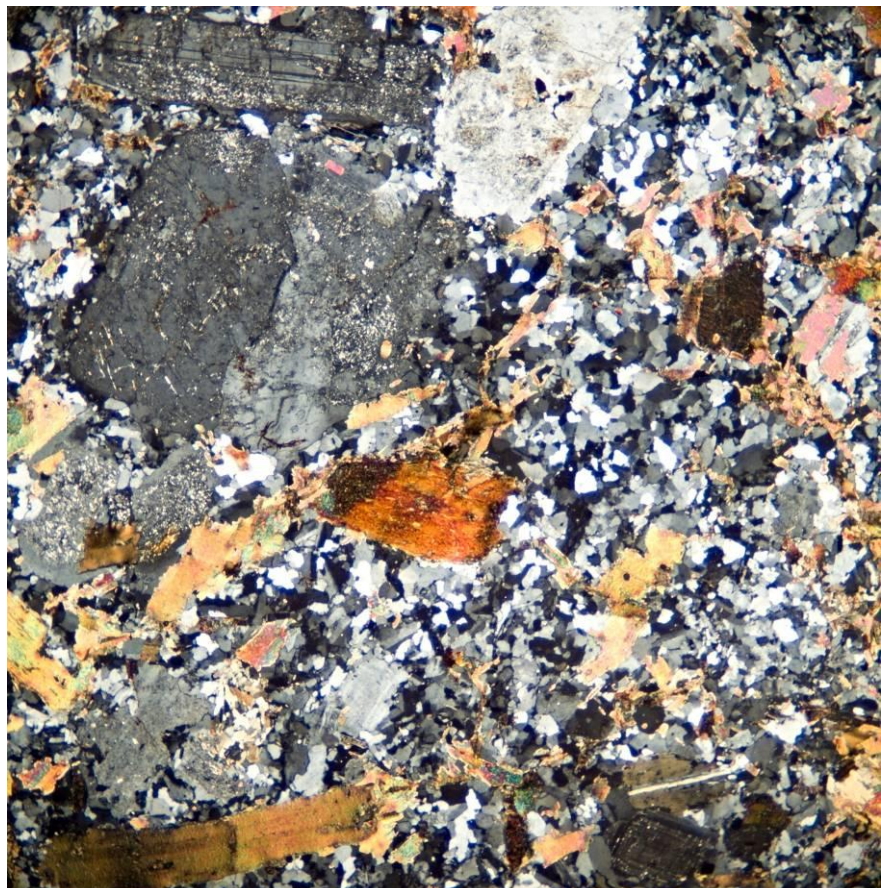


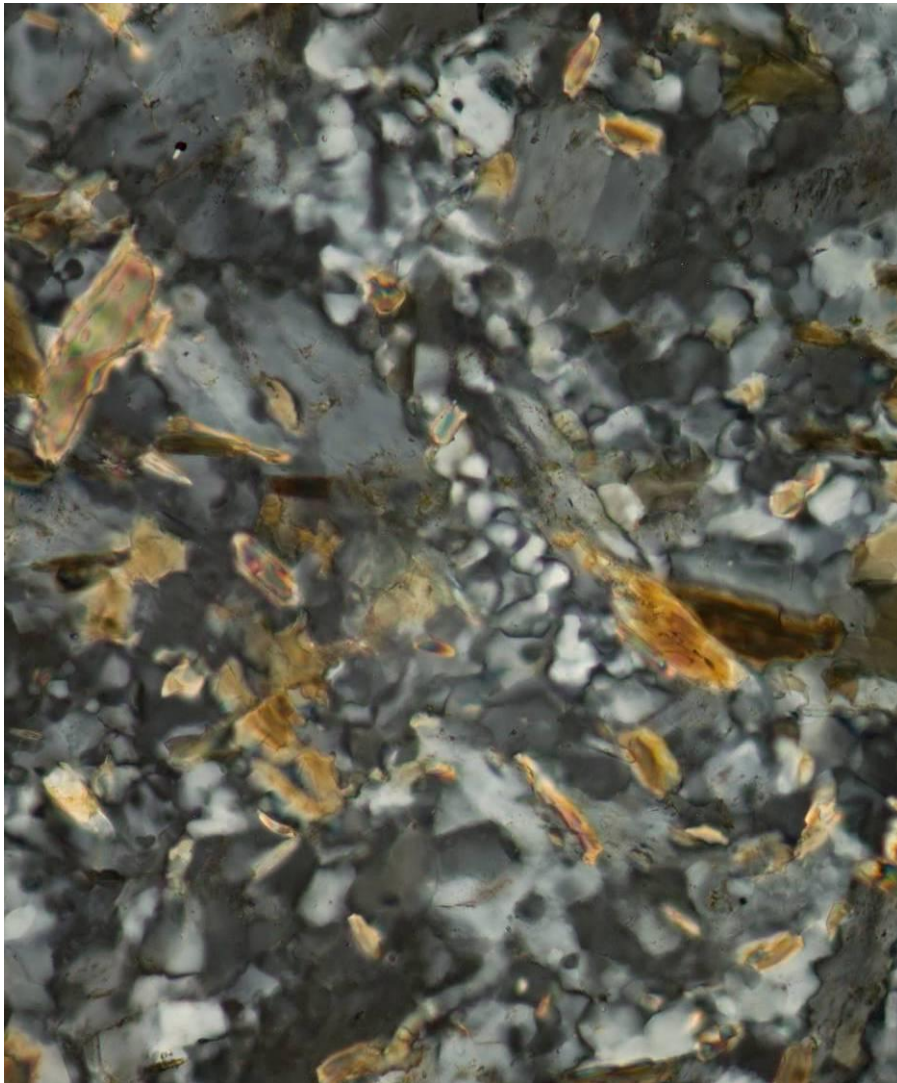
Obr. 141 Matrix jemnozrnnějšího porfyru, který zobrazuje zamrzlý pohyb potrháných vyrostlic. Vzorek H16 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)



Obr. 142
 Velice jemnozrnný matrix porfyru s vyrostlicemi, není zde viditelný konkrétní směr pohybu. Vzorek H8 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)

Obr. 143 Hrubozrnná základní hmota porfyru, je zde mírně vidět pohyb, hlavně potrhané biotitové složky a undulózní živce, pravděpodobně způsobené pohybem horniny v pokročilejším stádiu utuhnutí. Vzorek H5 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)





Obr. 144 Jemnozrná základní hmota felsitického porfyru obsahující allotriomorfní složky. Vzorek H1 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)

Obr. 145 Matrix větší uzavřeniny ruly v porfyru, obsahuje hlavně slídy biotit a muskovit. Vzorek H17 při zvětšení 50x a světle ppl. (Hf)



3.2.5. Apatit

Apatity byly pozorovány především v biotitech, kde jsou obklopené tmavě hnědě zbarvenou kruhovitou skvrnou a mají hexagonální tvar, pokud je řez kolmý k vertikále krystalu. Okolní skvrna dokládá výraznou změnu pleochroismu rozrušené krystalové mřížky okolního biotitu jako reakci na dlouhodobé α 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, 2002). Apatity spolu s pleochroickými dvůrkami jsou přítomné pouze v porfyrech z Helfenburku a Malenic, v Benešově nad Černou se apatity pravděpodobně nenachází.

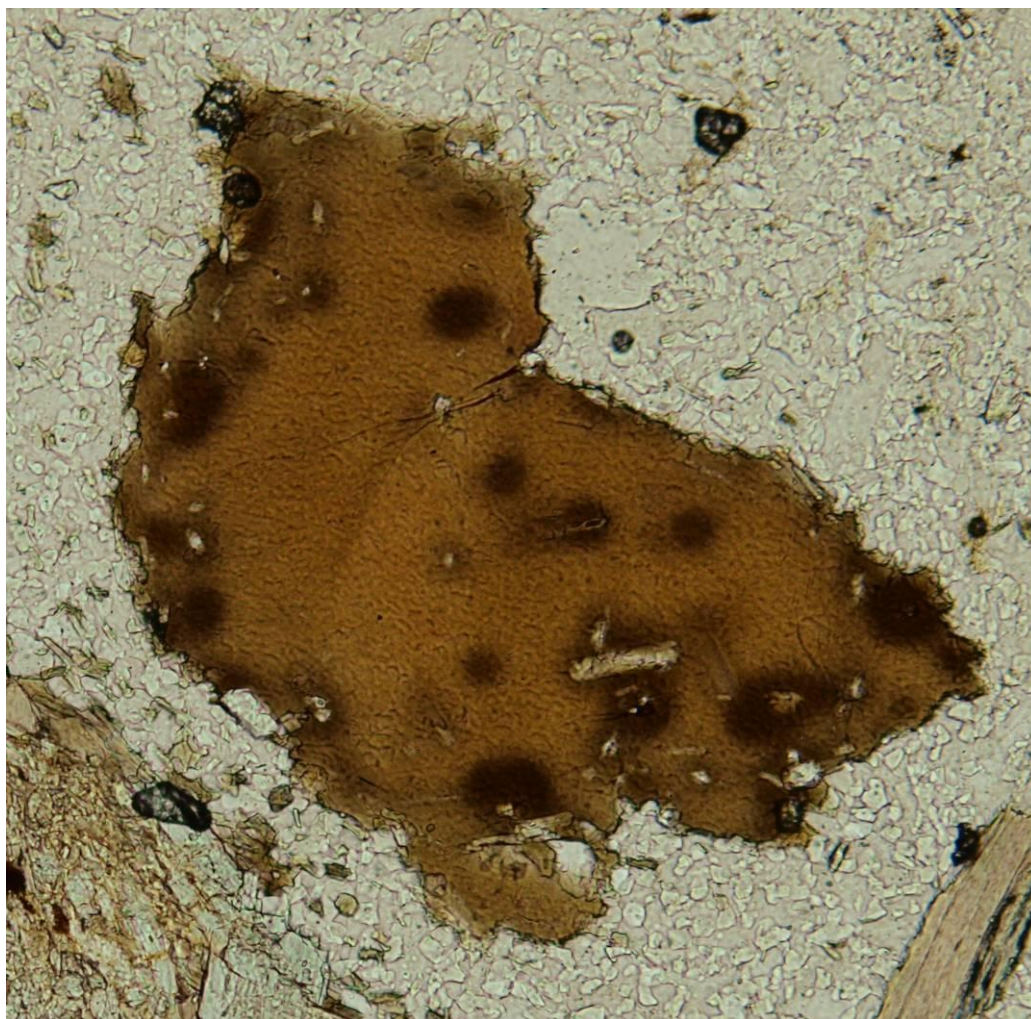
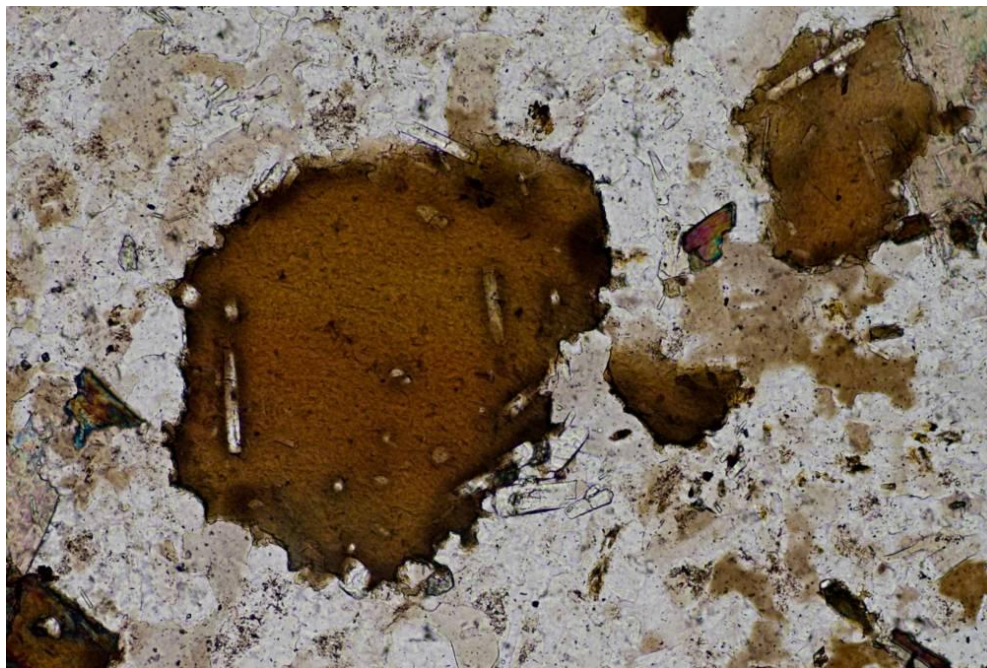


Obr. 146 Biotit s apatity obklopenými pleochroickými dvůrkami v porfyru z Malenic. Vzorek C při zvětšení 100x a světla xpl.

Obr. 147 Hexagonální průřez apatitu uvnitř biotitové vyrostlice. Vzorek H6 při zvětšení 400x a světla xpl. (Hf)



Obr. 148 Biotitové
vyrostlice s apatity
v porfyru z Malenic.
Vzorek C při
zvětšení 100x a
světle xpl.



Obr. 149
Biotit
s výrazným
pleiochrois-
mem a
krystalky
apatitů.
Vzorek H3
při zvětšení
100x a
světle ppl.
(Hf)



Obr. 150 Tmavé skvrny způsobené pleochroismem na biotitu. Vzorek H17 při zvětšení 200x a světle ppl. (Hf)

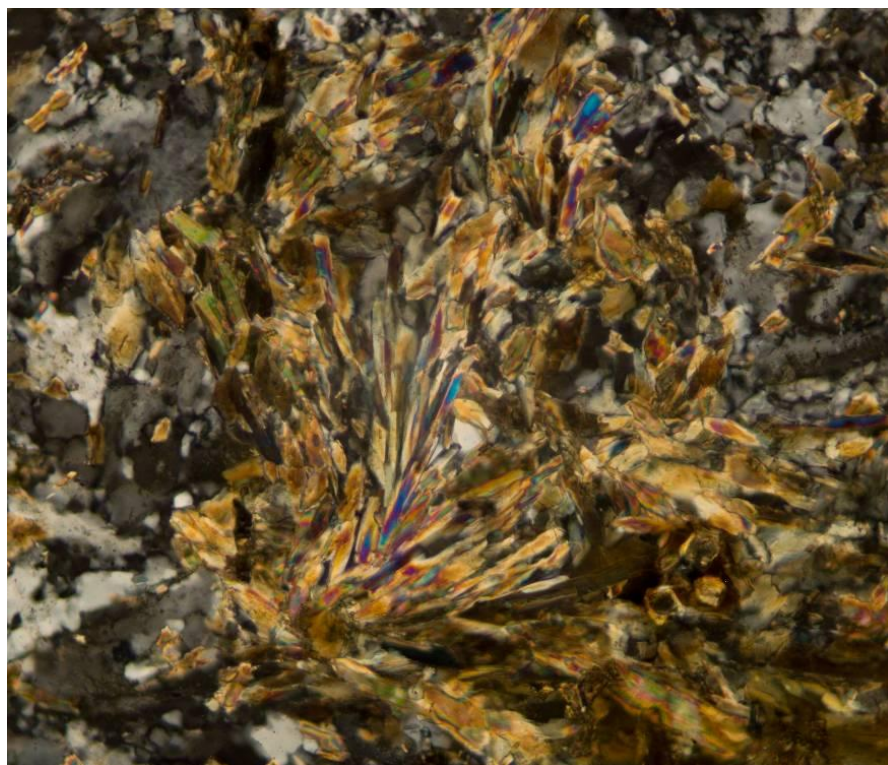
3.2.6. Muskovit

Slída muskovit byla pozorována pouze u porfyrů z Helfenburku a z Malenic, to je nejspíš dané okolními horninami (rula, migmatit). V nepolarizovaném světle mikroskopu je muskovit bezbarvý a v polarizovaném zháší duhovými barvami. Ve zkoumaných porfyrech se vyskytuje ve dvou formách, jako shluky pohlcených slíd a v podobě muskovitizace živce. Shluky slíd jsou pravděpodobně uzavřeniny pohlcené magmatem z okolních rul. Tvoří kulovité útvary, které jsou v případě pohybu porfyru protáhlé, uvnitř jsem pozorovala různé vějířky a radiální stavbu slíd duhového muskovitu a hnědého biotitu. Muskovitizace je druh hydrotermální živcové přeměny.

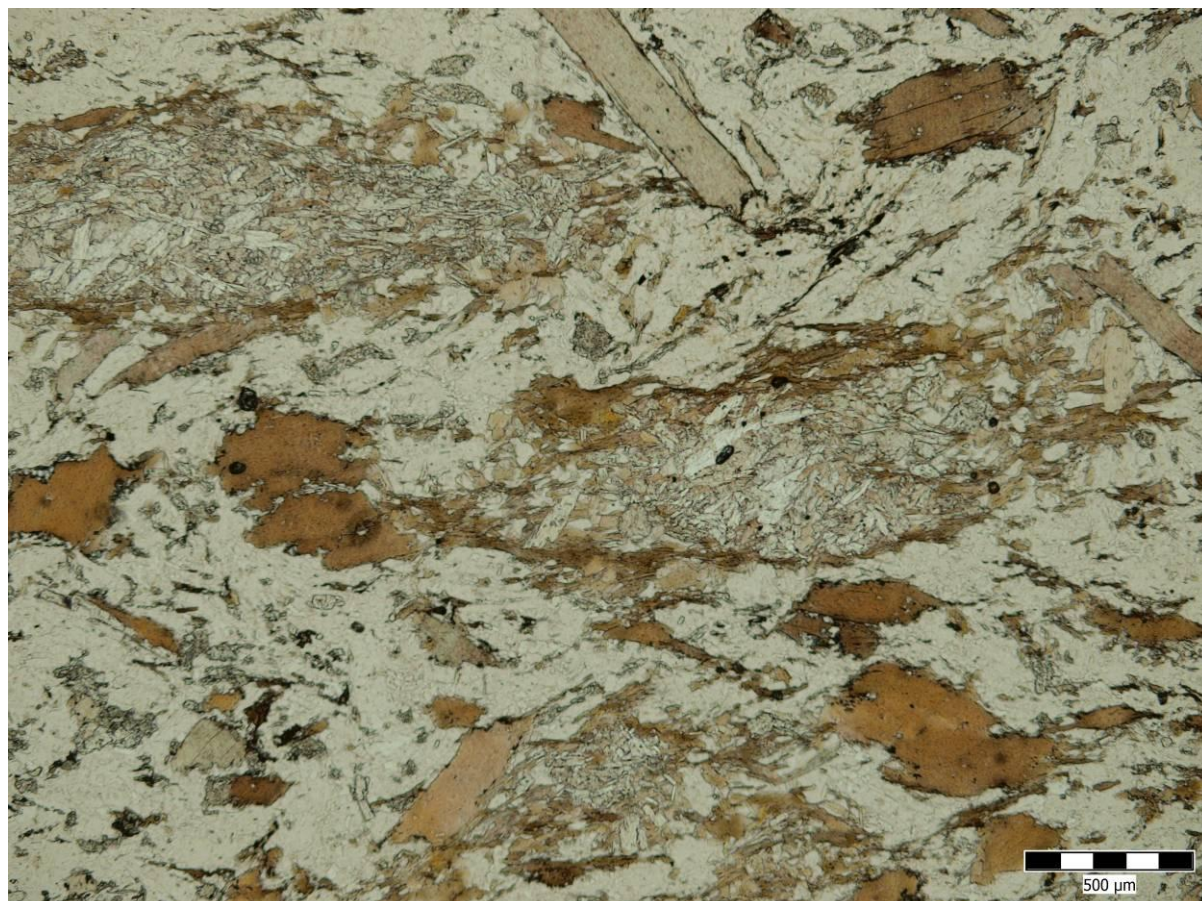


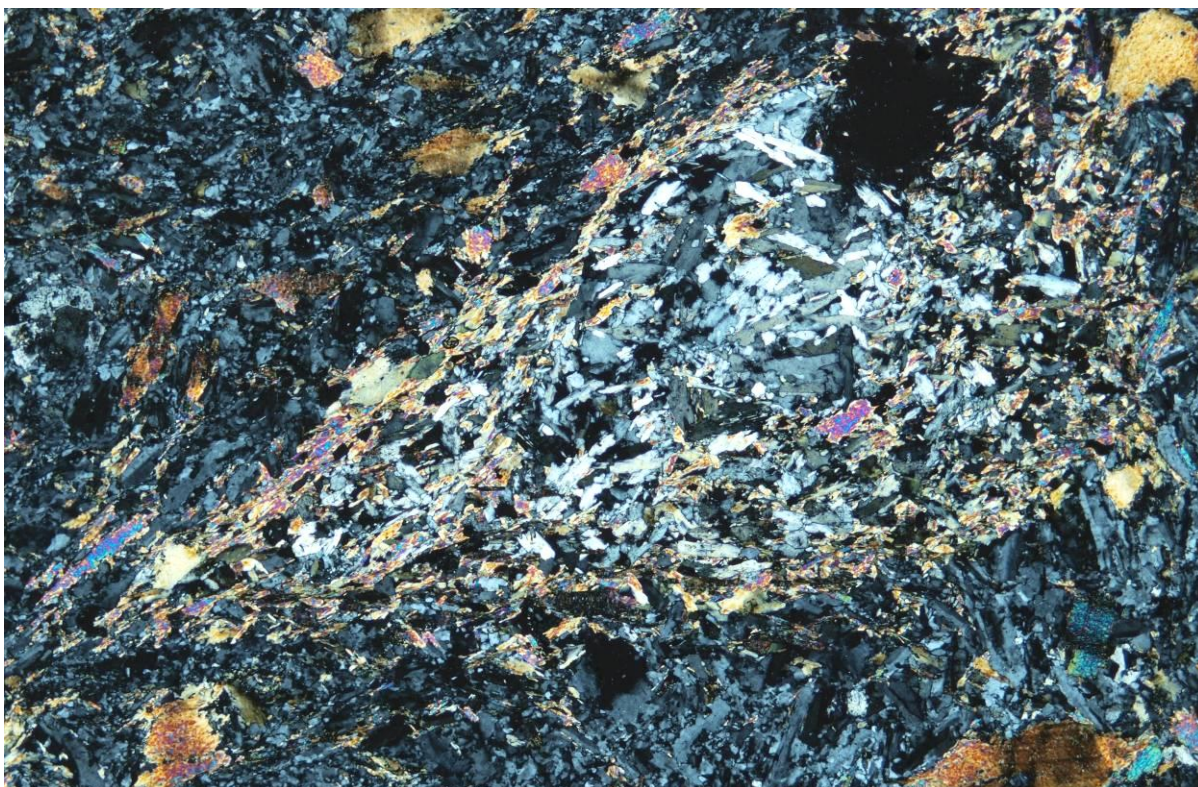
Obr. 151 Vnitřní stavba uzavřeniny, tvořená lupínky muskovitu v porfyru z Malenic. Vzorek C při zvětšení 100x a světle ppl.

Obr. 152 Shluk muskovitu uvnitř felsitické základní hmoty jemnozrnného porfyru. Vzorek H1 při zvětšení 200x a světle xpl. (Hf)

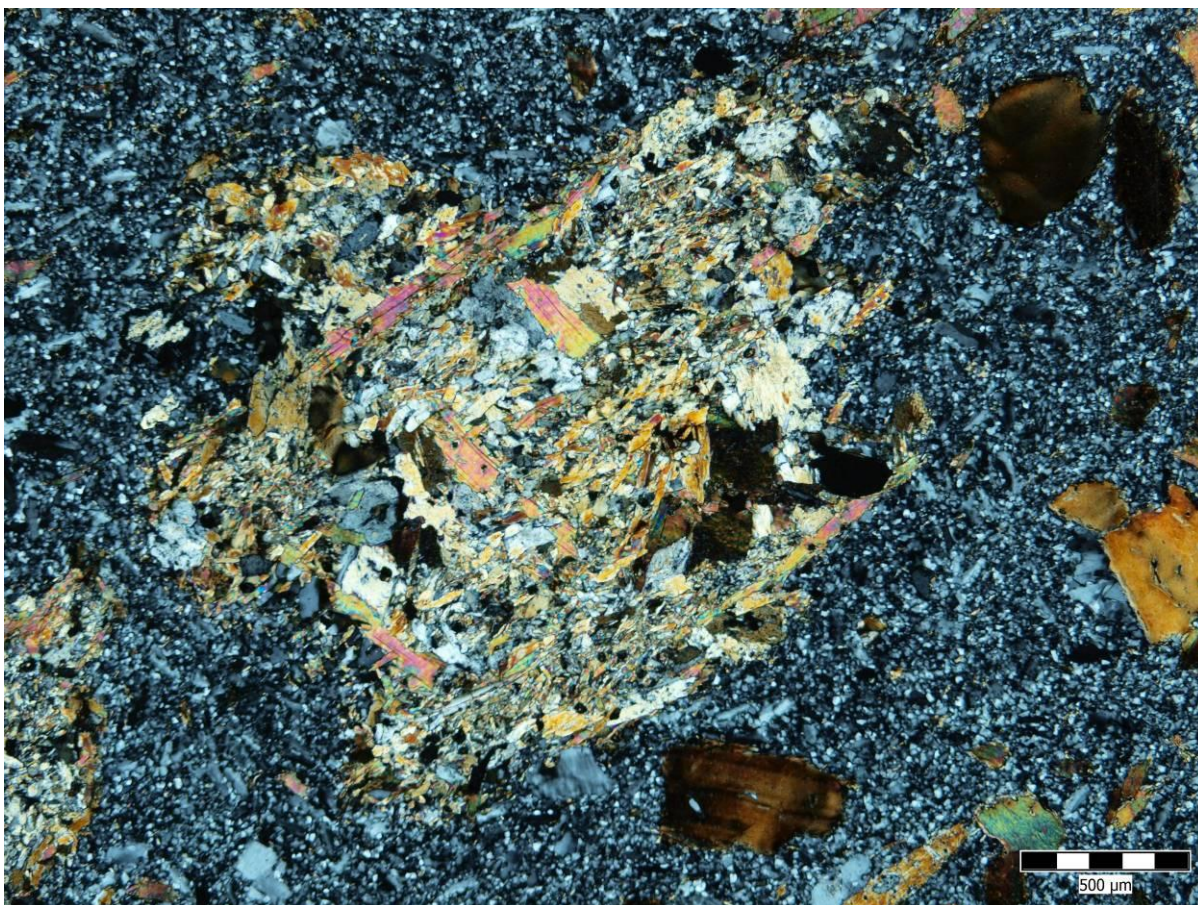


Obr. 153 Uzavřeniny tvoří oka způsobená jejich protažením při pohybu tuhajícího magmatu. Vzorek H4 při zvětšení 50x a světle ppl. (Hf)

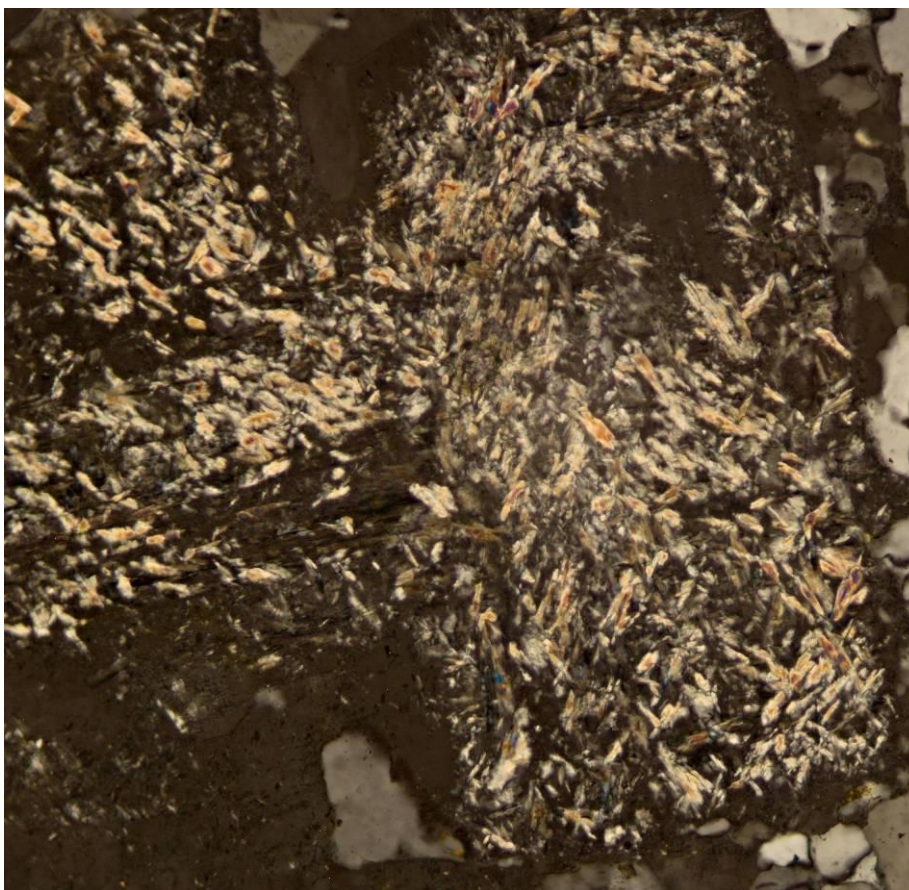




Obr. 154 Protáhlá uzavřenina muskovitu. Vzorek H4 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)

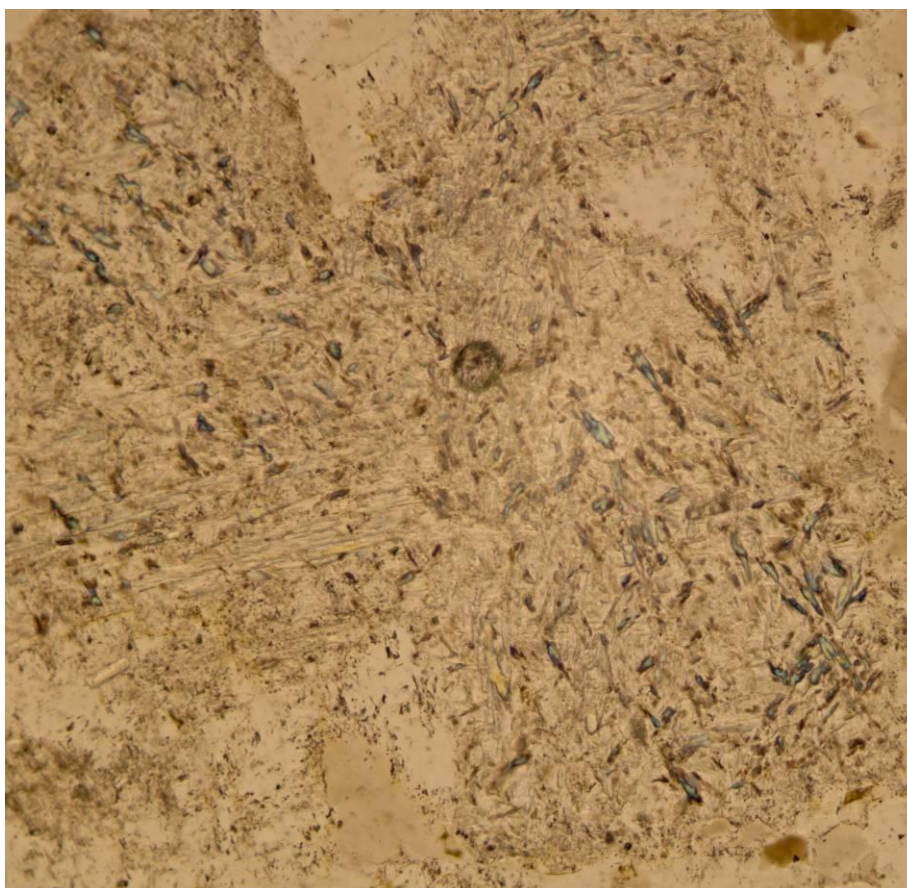


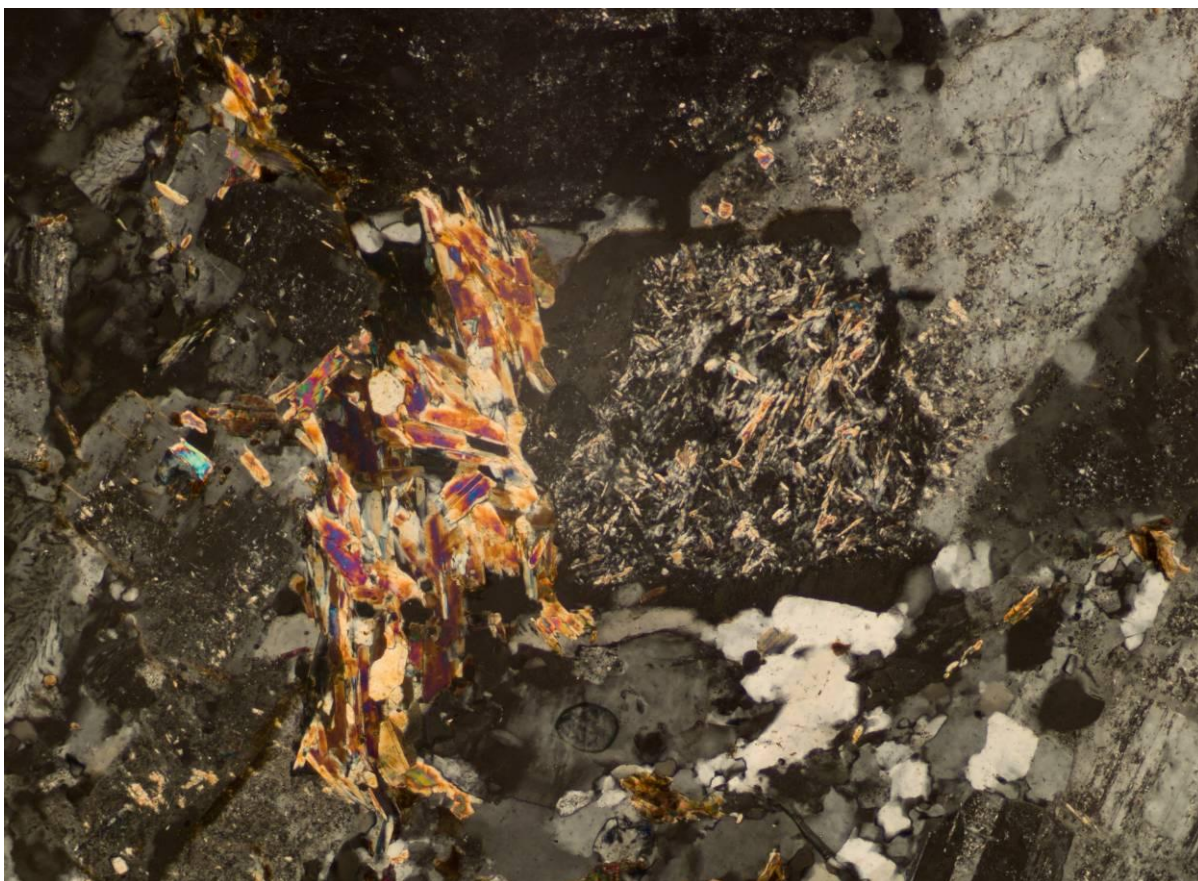
Obr. 155 Pohlcený shluk muskovitu. Vzorek H3 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)



Obr. 156
Muskovitizace uvnitř
živcové vyrostlice.
Vzorek H17 při
zvětšení 200x a světle
xpl. (Hf)

Obr. 157 Snímek stejné
oblasti, ale polarizátor je
otočený o 90°. Vzorek H17
při zvětšení 200x a světle
xpl. (Hf)

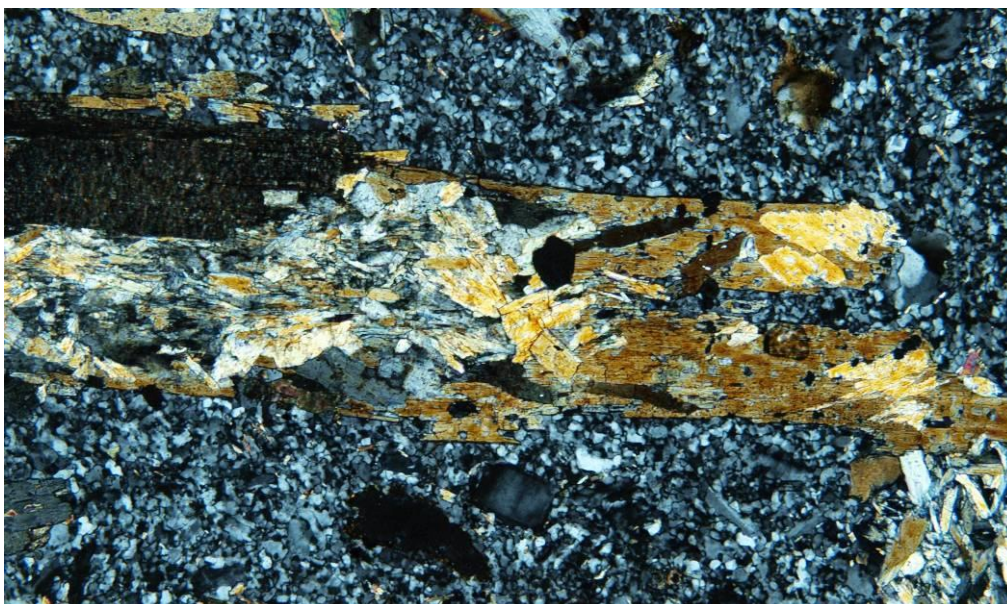




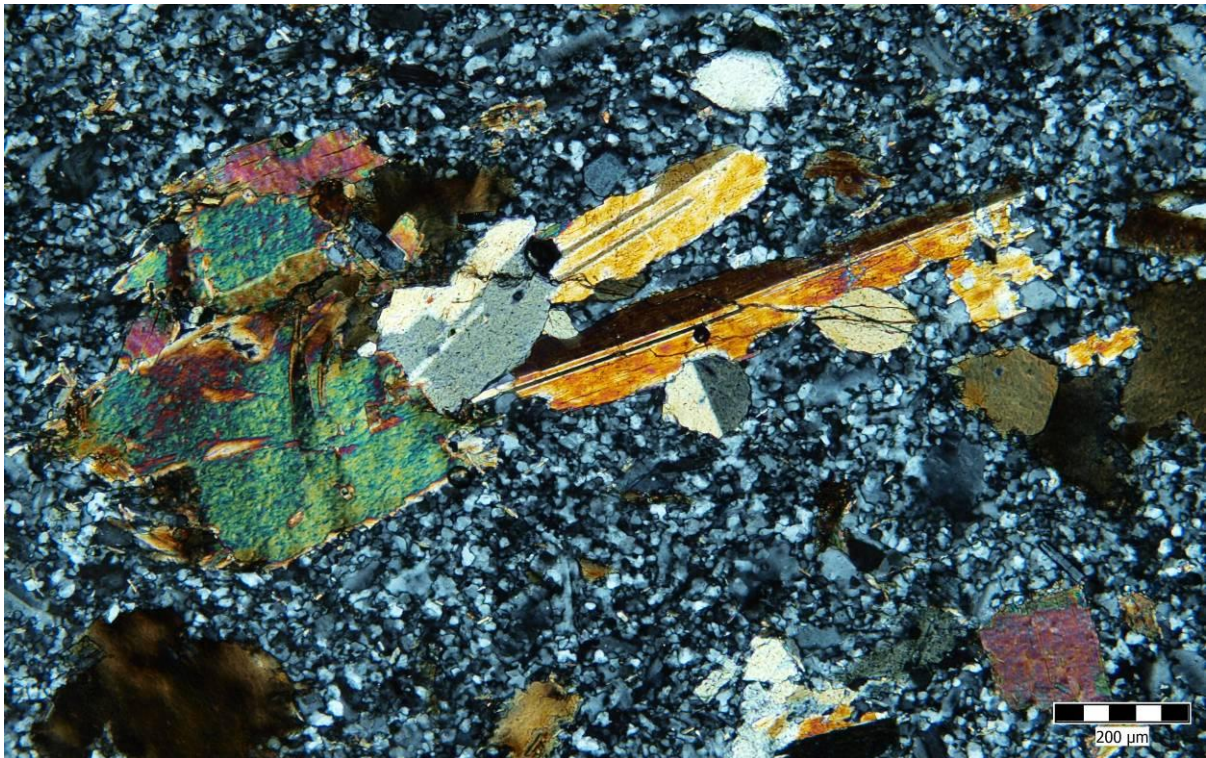
Obr. 158 Napravo je muskovitizace uvnitř biotitu a nalevo jsou vyrostlice muskovitu včleněné do porfyru z okolní horniny. Vzorek H17 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)

3.2.7. Amfibol

V mikroskopickém preparátu amfibol připomíná biotit, v některých případech má podobnou vláknitou strukturu, ale má méně dokonalou štěpnost a hlavně v nepolarizovaném světle je světlý. V porfyrech podléhá amfibol biotitizaci při krystalizaci magmatu (Hejtman, Konta, 1953).



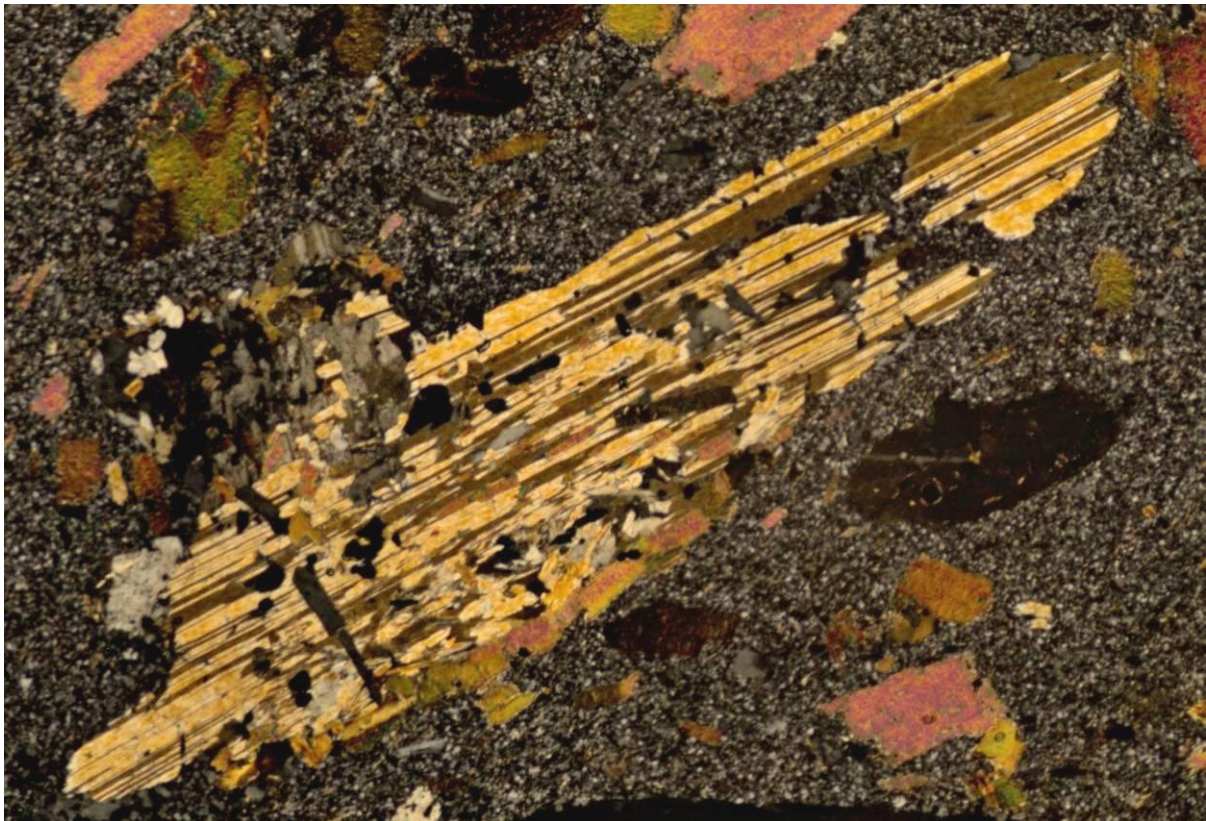
Obr. 159
Poškozená
vyrostlice
amfibolu
s biotitem
(tmavý).
Vzorek H3 při
zvětšení 100x
a světle xpl.
(Hf)



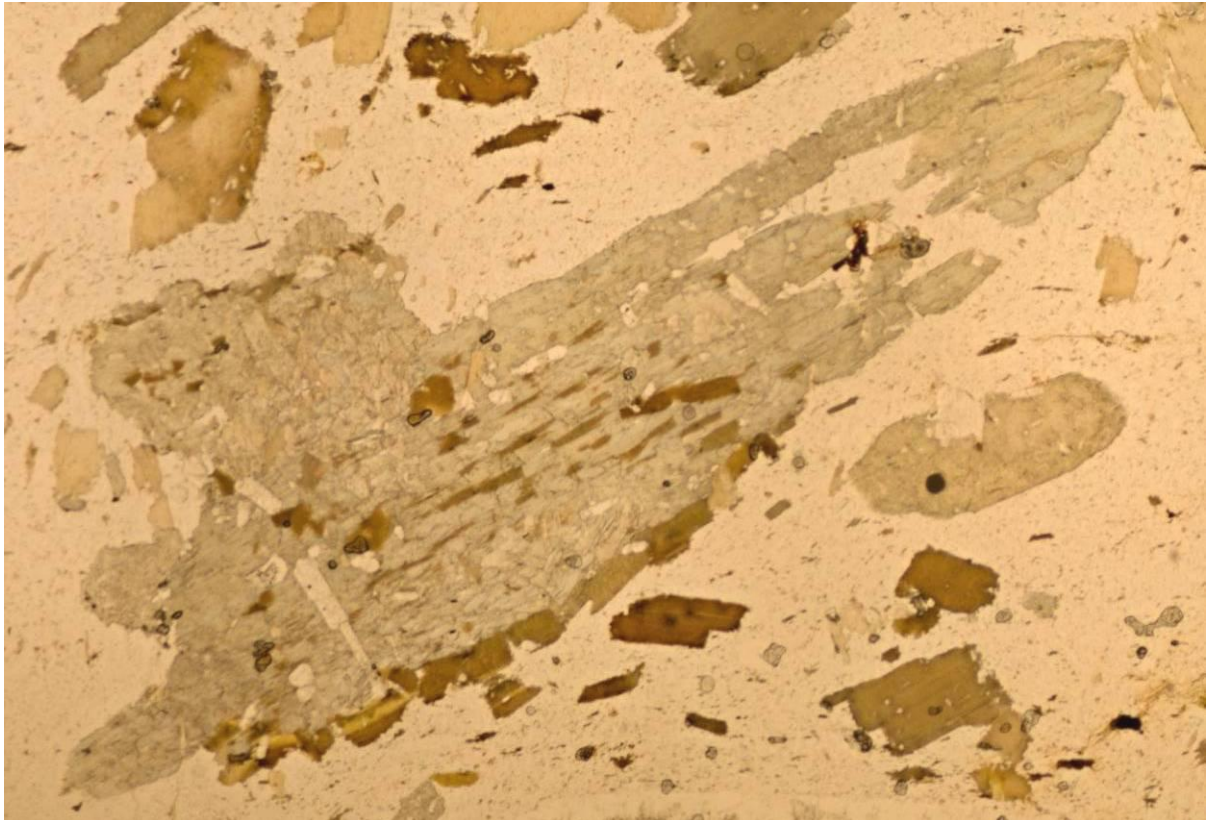
Obr. 160 Amfibolové vyrostlice zháší do žlutohnědě, živce zháší z šedé do bílé a biotit je hnědý, někdy s mírným zabarvením. Vzorek H3 při zvětšení 100x a světle xpl. (Hf)



Obr. 161 Amfibolové vyrostlice jsou v nepolarizovaném světle a biotity jsou hnědé s pleichorickými dvůrkami. Vzorek H3 při zvětšení 100x a světle ppl. (Hf)



Obr. 162 Potrhaná vyrostlice amfibolu uvnitř jemnozrnějšího porfyru, pravděpodobně byla pohlcená. Vzorek H5 při zvětšení 50x a světle xpl. (Hf)



Obr. 163 Na vyrostlici amfibolu probíhá místy biotitizace (tmavší hnědé oblasti), proces probíhá při tuhnutí magmatu. Vzorek H5 při zvětšení 50x a světle ppl. (Hf)

3.3. Chemické analýzy

Grafy korespondeční analýzy vytvořené z hodnot měřených XRF přístrojem Delta a spektrometrem, znázorňují vztah vzorků mezi sebou a jejich vazby na prvky. Z grafů je možné rozpoznat různé tendence vzorků a jejich sdružené skupiny v prostoru určeném obsahem makroprvků. Porovnávala jsem hodnoty XRF a XRS a také chemické složení porfyrů z Benešova nad Černou a Helfenburku.

3.3.1. Výsledky rentgenfluorescenční analýzy

Grafy 1, 2 a 3 se skládají ze tří kolmých os a každá čerpá různé procento z celkového rozptylu. Osa 1 obsahuje 53%, osa 2 obsahuje 28% a osa 3 obsahuje 14%, dohromady čerpají 95% rozptylu hodnot, takže znázorňují velice přesné tendence vzorků.

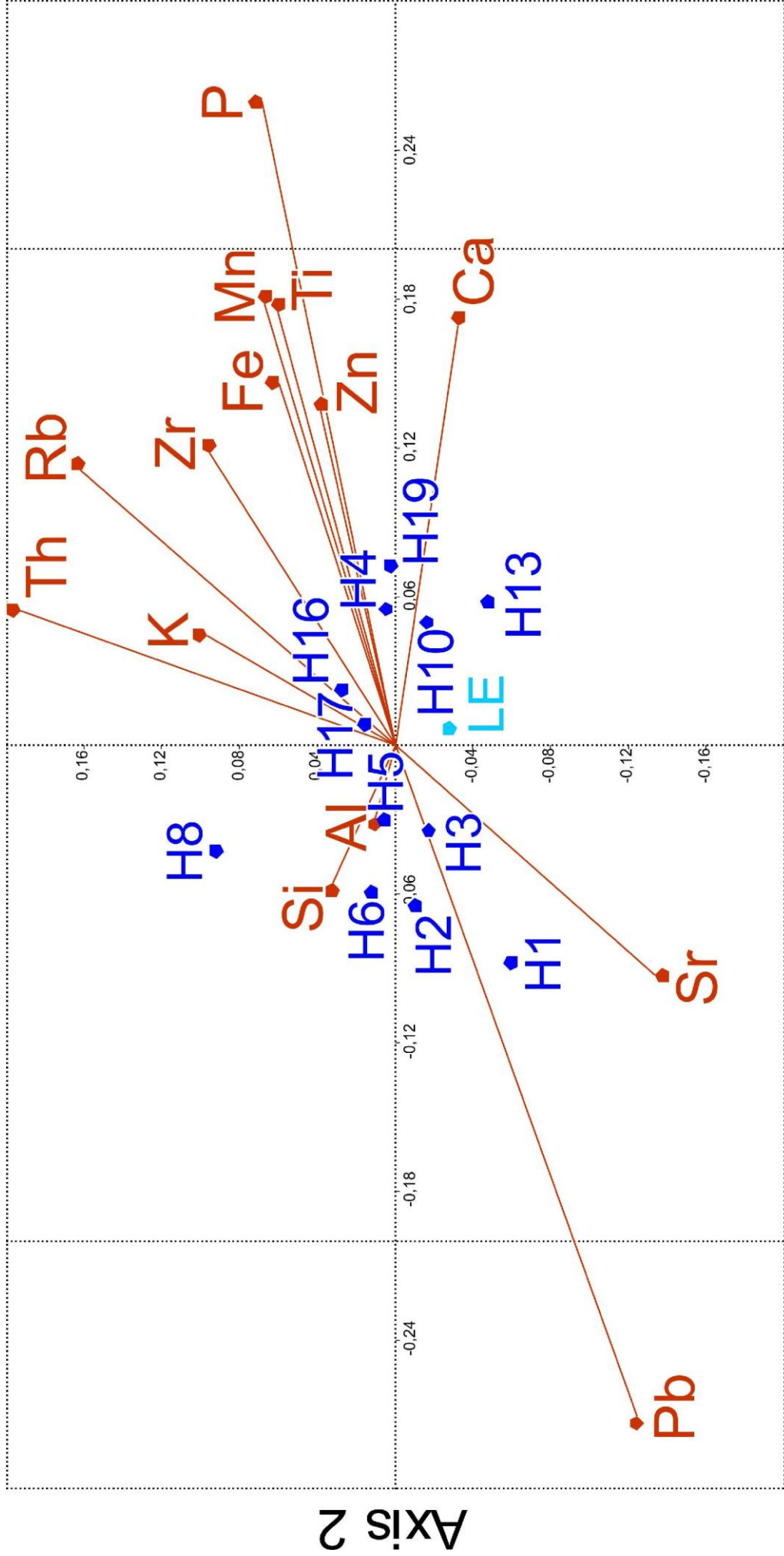
Osa (axis)	% čerpaných hodnot
1	53,026
2	27,993
3	13,635
4	3,039
5	1,1152
6	0,97232
7	0,12706

Tabule 2 Znázorňuje čerpání rozptylu jednotlivých os korespondenční analýzy. Grafy jsou tvořeny třemi prvními osami, které jsou z hlediska čerpání celkového rozptylu dostačující k zobrazení tendencí vzorků.

V grafech XRF tvoří většina vzorků společnou skupinu uprostřed grafu, vzorky se výrazně od sebe navzájem neliší (není zde odstředivá tendence (vychýlení) některých vzorků směrem k určitému/určitým prvkům. Skupina se nachází mezi K a Ca, takže obsah živců se skládá ze sodnovápených i draselných ve víceméně stejném poměru.

Vzorek H1 se vychyluje z hlavní skupiny a orientuje se na Si a Sr. Vzorek H8 se také vychyluje od hlavní skupiny, ale má orientaci na K a Si. Vzorky H10, H13, H19 a H4 se v hlavní skupině sdružují, pravděpodobně proto, že se nachází ve stejné oblasti.

Graf 1 (grafy 2 a 3 viz příloha)



Axis 1

3.3.2. Výsledky rentgenové spektrometrie

Grafy 4, 5 a 6 se skládají ze tří os, které jsou na sebe kolmé, a každá z nich čerpá různé procento z celkového rozptylu. Osa 1 obsahuje 78%, osa 2 obsahuje 14% a osa 3 obsahuje 5%, dohromady čerpají 97% rozptylu hodnot, takže znázorňují dostatečně přesně uspořádání vzorků.

Osa (Axis)	% čerpaných hodnot
1	77,779
2	13,692
3	4,5717
4	2,3514
5	1,1564
6	0,22437
7	0,14741

Tabule 3 Znázorňuje podíl rozptylu na jednotlivých osách korespondenční analýzy. Pro tvorby grafů byly použity první tři osy, které jsou dostačující ke zjištění tendencí vzorků.

V grafech z XRS se vzorky rozdělují do 3 skupin. Skupina H1 má pouze samostatný vzorek, do skupiny vzorku H4 patří H13, H16 a H19, a skupina reprezentována vzorkem H5 obsahuje vzorky H2, H3, H6, H8, H10 a H17.

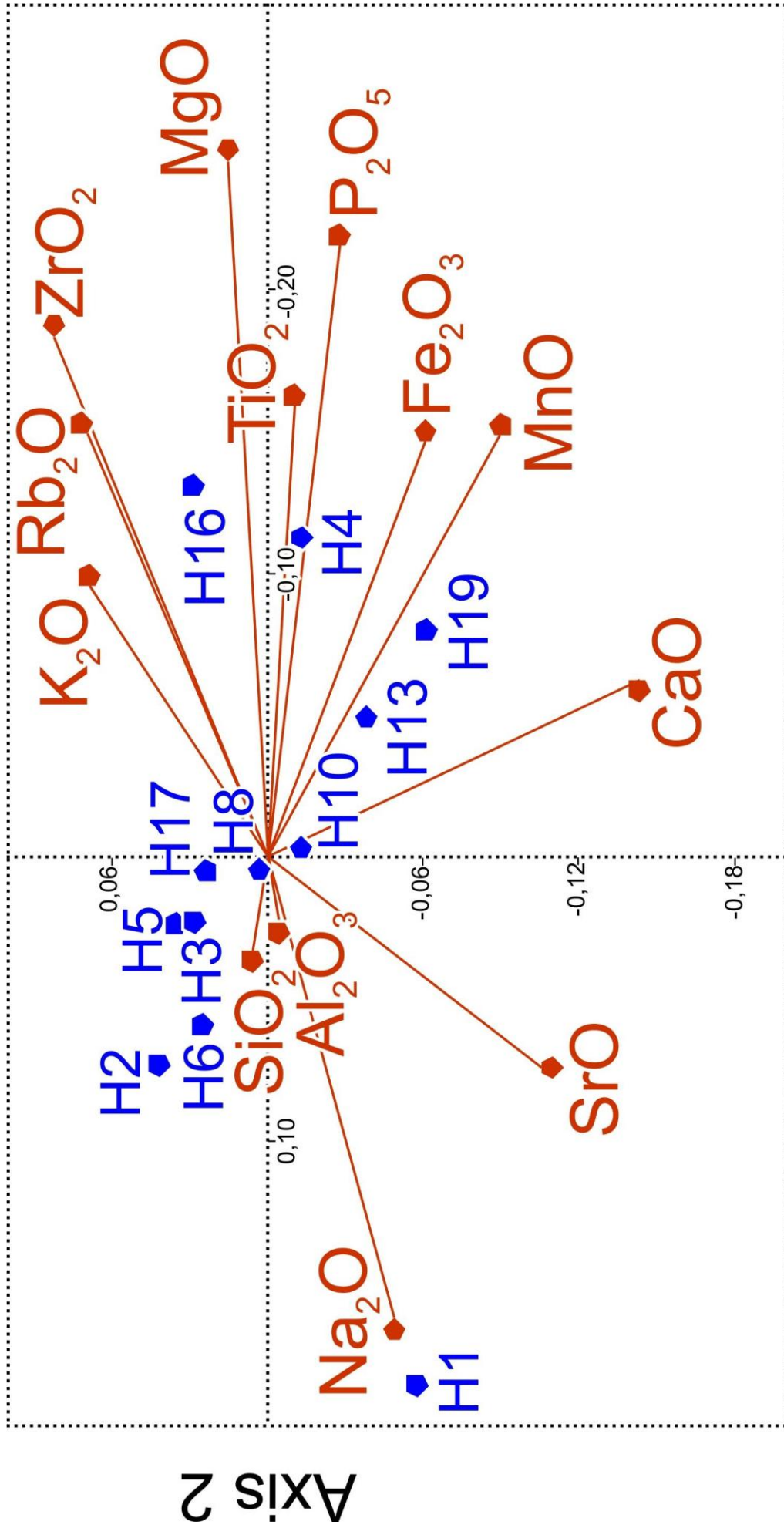
Do skupiny vzorku H1 mohou popřípadě patřit i vzorky H2 a H6, kvůli amorfnosti matrixu a sklovitějšímu charakteru. H1 má výraznou vazbu na Na, způsobenou přítomností oligoklasů a sanidinů, které dokazují krystalizaci magmatu v blízkosti zemského povrchu (Bršlicová, 2015). Dále má také vazbu na Si, způsobenou křemeným sklovitým charakterem matrixu.

Skupina H4 v grafu vykazuje vazbu na Fe a Mg, tento jev způsobený zvýšeným obsahem biotitu. Vzorky obsahují biotit hlavně v matrixu, a to způsobuje jejich tmavší vzhled, proto se někdy mylně označují jako minety.

Skupina H5 je středová skupina, která nemá konkrétní orientaci a je texturně tvořena směsí krajních členů. Vzorky jsou nejvíce porfyrické a obsahují mikroklíny, aktinolity, živce, biotity a další slídy. Vzorky se nacházejí uprostřed grafu v rovnovážném vztahu vzhledem k obsahu K, Si, Al a Mg.

Tři grafy zobrazují stejné trendy, to dokazuje na stejnorodost vzorků, nejsou zde znatelné změny způsobené kaolinizací jako u vzorků z Benešova nad Černou.

Graf 4 (grafy 5 a 6 viz příloha)



3.3.3. Porovnání chemického složení lokalit

Analýzy XRS a XRF provedené na vzorcích jsou téměř totožné, ale porovnání vykazuje odlišnosti u lehčích prvků přibližně od vápníku nahoru. Odlišnosti jsou způsobené větší přesností spektrometru (XRS) napříč celou škálou prvků oproti přístroji Delta, který se specializuje zejména na těžší prvky a kovy. Proto se také hodnoty z obou měření shodují v těžších prvcích (viz Tabule 5 a 6). Zjištěné výsledky jsou natolik totožné, že k orientačnímu zjištění lehčích dostačuje přístroj Delta a v těžkých prvcích se přístroje vyrovnávají.

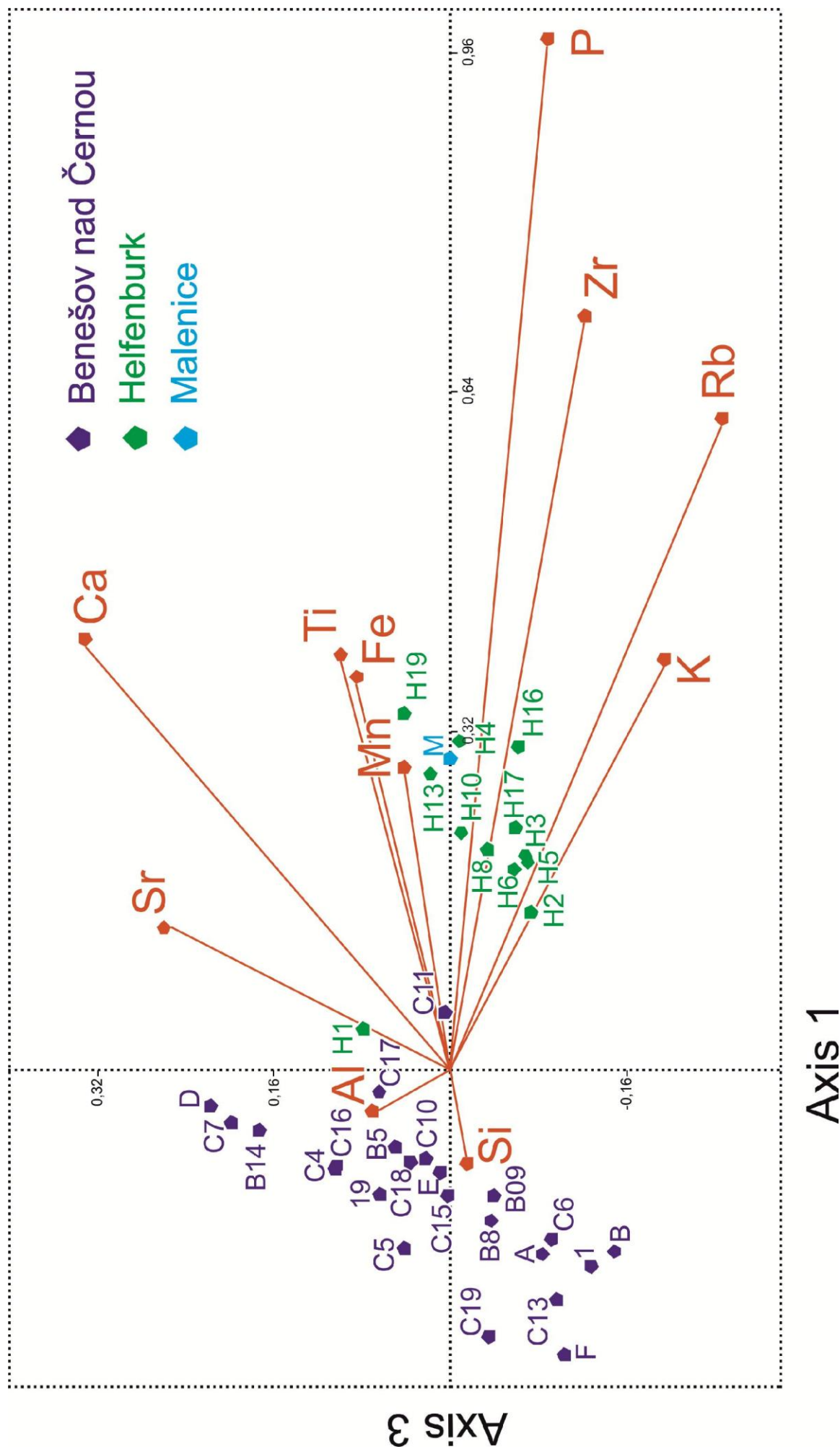
Hodnoty chemických analýz z lokalit Benešova nad Černou, Malenic a Helfenburku jsem porovnávala v grafu korespondenční analýzy. V poli grafu 7 se vydělily dvě hlavní skupiny vzorků, skládající se ze všech tří lokalit. Grafy s osami 1/2 a 2/3 nejsou přiloženy, protože zobrazovaly vzorky v jedné rovině a neudávaly tendence vzorků.

Axis	% čerpaných hodnot
1	48,177
2	35,812
3	11,251
4	3,0879
5	1,2007
6	0,24555
7	0,1518

Tabule 4 Znázorňuje podíl rozptylu na jednotlivých osách korespondenční analýzy. Pro tvorbu grafu byly použity dvě osy, osa 1 a osa 3. Dohromady čerpají cca 60% hodnot, což je dostačující k určení hlavních tendencí vzorků a vzájemných charakteristik lokalit.

Vzorky se ve spojeném grafu podle analýz z přístroje Delta rozdělují do dvou hlavních skupin. První je tvořena hlavně vzorky z Benešova nad Černou, ale obsahuje i jemnozrnný vzorek H1 z Helfenburku. Druhá skupina je tvořena zbylými vzorky z Helfenburku a porfyrem z Malenic. Vzorky jsou si chemicky velmi podobné a všechny jsou tvořeny kyselými vulkanity v podobě ryolitu nebo porfyru. Může se tedy jednat o lokality, které měly stejné primární magma, které bylo distribuované ve dvou vlnách. První vlna utvořila jemnozrnné porfyry a ryolity, a druhá hrubozrnné porfyry s velkými vyrostlicemi živce.

Graf 7



3.3.4. Výsledky rentgenové difrakce

Zjištěné výsledky difrakce jsou zanesené v grafech 8, 9 a 10 (viz příloha). Výsledky jsou spíše orientační, protože amorfnní složky horniny způsobují nepřesnost měření a nebyl použit standardizovaný porovnávací vzorek. Zjištěné procentuální zastoupení nerostů bylo použito k bližšímu určení trendů v grafech XRF a XRS.

3.4. Souhrnná diskuze výsledků

Rozdíly vzorků z Helfenburku a z Benešova nad Černou jsou zejména způsobené vlivem okolního prostředí a rychlostí absorpce. Okolní hornina v Benešově nad Černou je hlavně žula, která je hrubozrnná a má pomalejší schopnost absorpce do magmatu, vzorky proto obsahují velké množství reliktní křemene. Horniny v oblasti Helfenburku jsou nejčastěji nanejvýš středně zrnité migmatity a ruly. Absorpce do magmatu byla pravděpodobně silnější.

Podle nalezených foliačních ryb v matrixu ve vzorcích z Helfenburku se místy jednalo o posuny hmoty při téměř vychlazeném stavu žíly. Vzorky také obsahují pohlcené shluky slídivých uzavřenin, které pravděpodobně pochází z rul. Dále porfyry z Helfenburka mají větší vyrostlice živců a mírně se liší složením vyrostlic. Oproti tomu porfyry z Benešova nad Černou jsou výrazně sklovitější (místy až ryolity) a mají menší vyrostlice. Tento trend je znatelný napříč vzorky z obou lokalit, jediná výjimka je vzorek H1, který se ve společném grafu složením přiřazuje k porfyrům z Benešova nad Černou. Porfyry z okolí Benešova nad Černou spolu se vzorkem H1 mohou být součástí první vlny magmatu v jihočeské oblasti a zbylé vzorky z Helfenburku a porfyry z Malenic patří k druhé vlně magmatu.

Magma první vlny má mírně odlišné složení a hlavně utuhlo blíže k zemskému povrchu, což je pozorovatelné na jemnozrnnějším a sklovitějším charakteru vzorků. Magma druhé vlny má podstatně větší vyrostlice, zejména živců a nachází se ve větších výchozech, chladlo ve větším objemu a pomaleji v hlubinnějším prostředí zemské kůry. Oblast Benešova nad Černou prodělala menší odnos, proto jsou znatelné jen žíly s primárním magmatem. Oblast Helfenburku prodělala větší odnos, a proto výskyt primárního magmatu je spíše ojedinělý a jsou zde odkryty mocné žíly druhé vlny.

4. Závěr

Terénní, mikroskopický a analytický výzkum obsidiánových a porfyrových žil z okolí Helfenburku a Benešova nad Černou dovoluje sloučit oba výskyty do identické magmatické/sopečné události. Hlavními nerosty porfyrických a sklovitých či jemnozrnných žil jsou draselné živce ve formě ortoklasu, mikroklinu a reliktního sanidinu. V horninách s většími porfyrickými vyrostlicemi se nachází perthity. Křemen byl zjištěn jako pohlcená otavená zrna a beta křemen vykrytalovaný z magmatu v okolí Benešova nad Černou. Na Helfenburku se nachází pouze jako allotriomorfní zrna v základní hmotě. Plagioklasy v okolí Benešova nad Černou a méně na Helfenburku obsahují výrazné polysyntetické lamelování. Vytváří srostlice a prorostlice. Ve vzorcích z okolí Benešova nad Černou je jejich stavba mnohdy narušená kaolinitem vznikajícím jejich větráním. U vzorků z Helfenburku jsou plagioklasové vyrostlice výrazně větší oproti porfyřům z okolí Benešova nad Černou. Jedná se zejména o albit a mnohdy o kombinaci draselného a sodného živce neboli perthit. Vyrostlice plagioklasu jsou zonální a undulózní. Vyskytuje se zde myrmekit.

Vyrostlice biotitu se ve studovaných porfyřech vyskytují v několika formách, a to v pseudohexagonálních krystalech jednoklonné soustavy, v lištách a v podobě zárodků krystalizace v základní hmotě. Ty pak dodávají vzorku tmavší barvu, proto se někdy mylně označují jako minety. Biotity uvnitř porfyřů z Benešova nad Černou jsou většinou plně chloritizované, zbarvené zeleně a mnohdy jsou v jejich struktuře vidět tmavé opakní oblasti, pravděpodobně ilmenit vzniklý z vyloučeného železa a titanu. Biotity z Helfenburku bývají potrhane, deformované a v některých případech i roztažené podél vyrostlic živců v podobě foliačních ryb. Některé biotity z Helfenburku obsahují drobné jehličky sagenitu v typickém srůstu. Apatity v biotitech jsou obklopené pleochroickými dvůrky. Apatity spolu s pleochroickými dvůrky jsou přítomné pouze v porfyřech z Helfenburku a Malenic, v Benešově nad Černou se pravděpodobně nenachází. V porfyřech z Helfenburku podléhá sporadický amfibol biotitizaci při krystalizaci magmatu.

Chemicky se vzorky z Helfenburku oddělují do třech výrazných skupin. Nejvýrazněji se odděluje jeden vzorek s vyšším obsahem Na v podstatě shodný se žilami z Benešova nad Černou, druhou skupinu představují vzorky s vyšším obsahem Ti, Fe a Mg, tato skupina se od žil z Benešova nejvíce odlišuje. Třetí skupina je zastoupeny vzorky s průměrným složením první a druhé skupiny, ale celkově obsahem Ti, Fe, Mg a K odlišná od Benešova nad Černou.

Mapování žil na Helfenburku jsem vymezila odlišné hranice porfyrových žil od stávajících geologických map a výzkum naznačuje, že se jedná o jedno veliké, tektonicky rozčleněné těleso směru S – J s menšími postranními žilami.

4.1. Soupis použité literatury

BINELI BETSI, T. a D.R. LENTZ. The nature of “quartz eyes” hosted by dykes associated with Au-Bi-As-Cu, Mo-Cu, and Base-metal-Au-Ag mineral occurrences in the Mountain Freegold

region (Dawson Range), Yukon, Canada. *Journal of Geosciences*. 2010, **55**, 347-368. DOI: 10.3190/jgeosci.082. ISBN 10.3190/jgeosci.082. Dostupné také z: <http://www.jgeosci.org/detail/jgeosci.082>

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

BRŠLICOVÁ, Eliška. *Výzkum subvulkanických žil v okolí Benešova nad Černou* [online]. České Budějovice, 2015 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <https://socv2.nidv.cz/archiv37/getWork/hash/2b1fb140-da26-11e4-98b3-faa932cbcfda>. Středoškolská odborná činnost. Gymnázium, České Budějovice, Česká 64. Vedoucí práce RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.

Dioktaedrické slídy (muskovit) - optické vlastnosti. *Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium* [online]. Brno: Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita: Václav VÁVRA a Zdeněk LOSOS, 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_4_3_optika/muskovit.htm

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

Earth & Environmental Sciences 2110: Mineralogy [online]. New Orleans: Tulane University, Department of Earth & Environmental Sciences: Prof. Stephen A. Nelson, 2015 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/index.html#Lecture%20Notes>

FINGER, Fritz, Axel GERDES, Miloš RENÉ a Gudrun RIEGLER. The Saxo-Danubian Granite Belt: magmatic response to post-collisional delamination of mantle lithosphere below the southwestern sector of the Bohemian Massif (Variscan orogen). *Geologica Carpathica*. 2009, 60(3), 205-212. DOI: 10.2478/v10096-009-0014-3. ISBN 10.2478/v10096-009-0014-3. Dostupné také z: <http://www.degruyter.com/view/j/geoca.2009.60.issue-3/v10096-009-0014-3/v10096-009-0014-3.xml>

Geologické a geovědní mapy: Geologie, radon a geologická mapa Benešov nad Černou. BOKR, Pavel. Geologické a geovědní mapy [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-602388/>

Geologické encyklopedie on-line. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba* [online]. 2007 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>

Geologický slovník anglicko-český a česko-anglický. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba* [online]. 2001 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/gsllov.pl>

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

HANMER, Simon. Asymmetrical pull-aparts and foliation fish as kinematic indicators. *Journal of Structural Geology*. 1986, **8**(2), 117-122. DOI: 10.1016/0191-8141(86)90102-1. ISBN 10.1016/0191-8141(86)90102-1. Dostupné také z: www.sciencedirect.com/science/article/pii/0191814186901021

HEJTMAN, Bohuslav a Jiří KONTA. *Horninotvorné minerály*. 1. Praha: Přírodovědecké vydavatelství, 1953.

Imperial College Rock Library [online]. London: Imperial College London, 2013 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <https://wwwf.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/rocklibrary/index.php>

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

Krzemiany przestrzenne: (sanidyn, ortoklaz, mikroklin, plagioklasy, pertyt, nefelin, kwarc β , 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>

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>

ORSÁGOVÁ, Lucie. *Mechanismy umístění a magnetické stavby žil syenitových porfyrů (západní části Moldanubika)*. Praha, 2010. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav petrologie a strukturní geologie. Vedoucí práce RNDr. Kryštof Verner, Ph.D.

Plutonic Rocks: Fundamental Minerals. Alex Strekeisen [online]. Italy: Alessandro Da Mommio, 2015 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: <http://www.alexstrekeisen.it/english/pluto/index.php>

POUGH, Frederick H. a Jeffrey SCOVIL. *A Field Guide to Rocks and Minerals*. 5. Boston: Houghton Mifflin, 1996. ISBN 978-0-395-91096-2.

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.

SHETH, Hetu C. 'Large Igneous Provinces (LIPs)': Definition, recommended terminology, and a hierarchical classification. *Earth-Science Reviews*. 2007, **85**(3-4), 117-124, 117-124. DOI: 10.1016/j.earscirev.2007.07.005. ISSN 00128252. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012825207000980>

SIEBEL, Wolfgang a Fukun CHEN. Zircon Hf isotope perspective on the origin of granitic rocks from eastern Bavaria, SW Bohemian Massif. *International Journal of Earth Sciences*. 2010, **99**(5), 993-1005. DOI: 10.1007/s00531-009-0442-4. ISBN 10.1007/s00531-009-0442-4. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00531-009-0442-4>

SIEBEL, Wolfgang, Horst Peter HANN, Cosmas Kongnyuy SHANG, Johann ROHRMÜLLER a Fukun CHEN. Coeval late-Variscan emplacement of granitic rocks: an example from the Regensburg Forest, NE Bavaria. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* [online]. 2006, **183**(1), 13-26 [cit. 2016-04-07]. DOI: 10.1127/0077-7757/2006/0058. ISSN 00777757. Dostupné z: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0077-7757&volume=183&issue=1&spage=13>

SIEBEL, W., M. THIEL a F. CHEN. Zircon geochronology and compositional record of late- to post-kinematic granitoids associated with the Bavarian Pfahl zone (Bavarian Forest). *Mineralogy and Petrology*. 2006, **86**, 45-62. DOI: 10.1007/s00710-005-0091-7. ISBN 10.1007/s00710-005-0091-7. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00710-005-0091-7>

SIEBEL, Wolfgang, Ulrich BLAHA, Fukun CHEN a Johann ROHRMÜLLER. Geochronology and geochemistry of a dyke-host rock association and implications for the formation of the Bavarian Pfahl shear zone, Bohemian Massif. *International Journal of Earth Sciences*. 2005, **94**(1), 8-23. DOI: 10.1007/s00531-004-0445-0. ISBN 10.1007/s00531-004-0445-0. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00531-004-0445-0>

VERNON, R.H. Review of Microstructural Evidence of Magmatic and Solid-State Flow. *Visual Geosciences*. 2000, **5**(2), 1-23. DOI: 10.1007/s10069-000-0002-3. ISBN 10.1007/s10069-000-0002-3. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10069-000-0002-3>

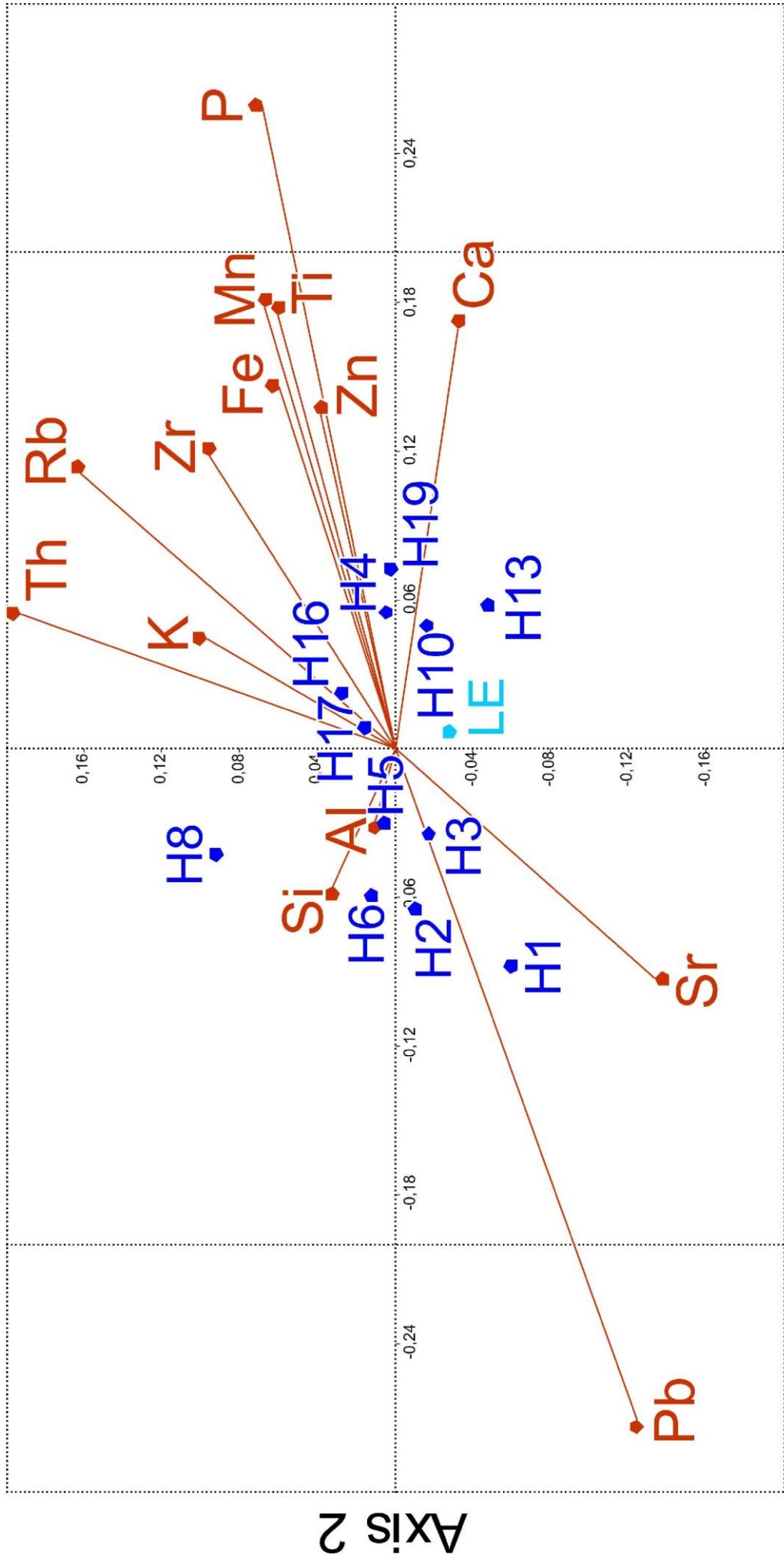
VRÁNA, Stanislav, Jaromír SLABÝ a Jiří BENDL. The Kaplice dyke swarm of biotite granodiorite porphyry and its relationship to the Freistadt granodiorite, Moldanubian Batholith. *Journal of the Czech Geological Society*. 2005, **50**(1-2), 9-17.

4.2. Seznam Příloh

1. Graf 1 – XRF osy 1 a 2
2. Graf 2 – XRF osy 1 a 3
3. Graf 3 – XRF osy 2 a 3

4. Graf 4 – XRS osy 1 a 2
5. Graf 5 – XRS osy 1 a 3
6. Graf 6 – XRS osy 2 a 3
7. Graf 7 – porovnání chemického složení Benešova nad Černou, Helfenburku a Malenic
8. Tabule 5 – Srovnání analýz XRF a XRS
9. Tabule 6 – Srovnání analýz XRF a XRS
10. Graf 8 – XRD vzorku H1
11. Graf 9 – XRD vzorku H4
12. Graf 10 – XRD vzorku H5
13. Tabule 7 – Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Helfenburku
14. Tabule 8 – Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Helfenburku
15. Tabule 9 – Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Benešova nad Černou

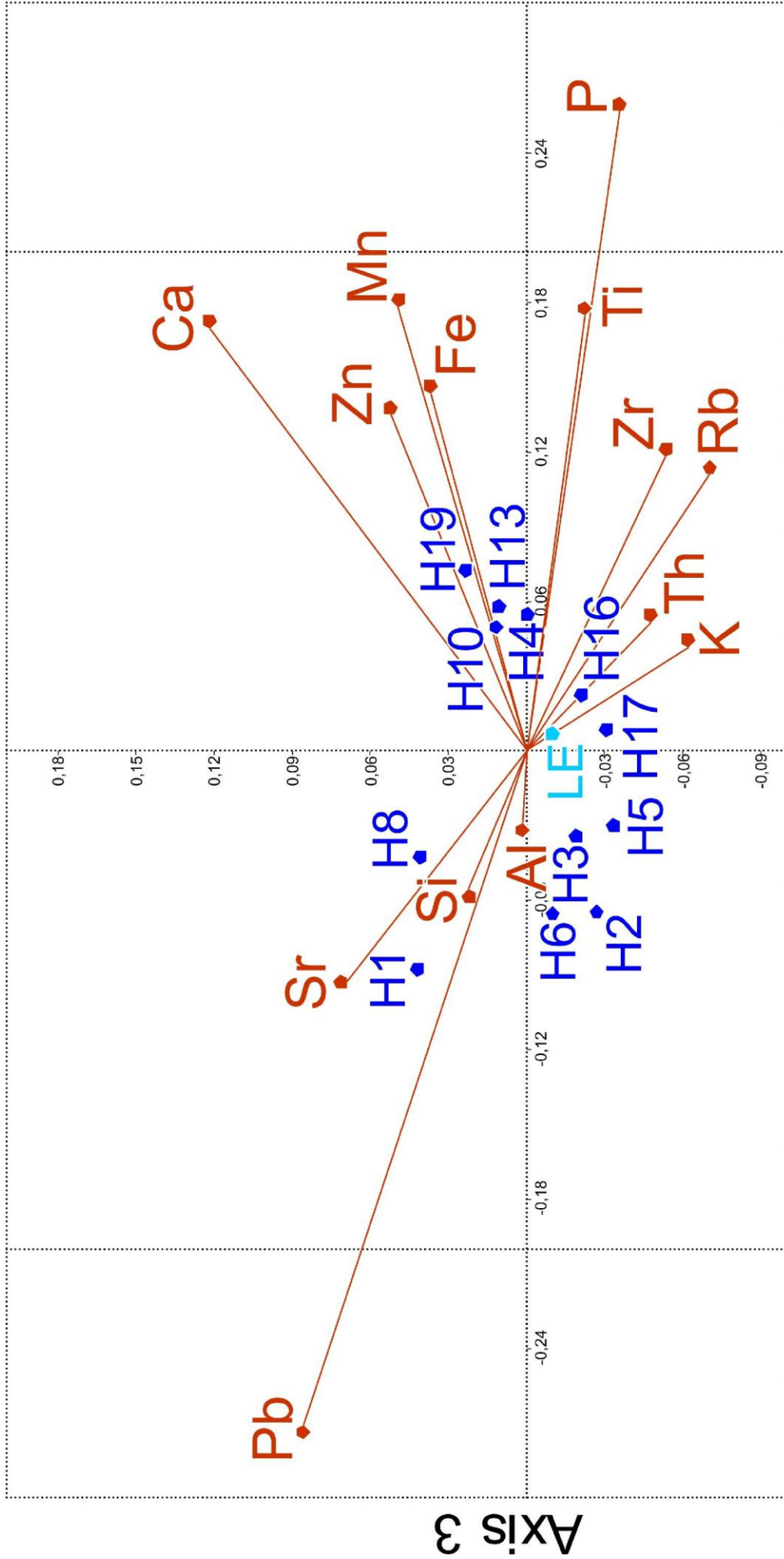
Graf 1



Axis 1

Axis 2

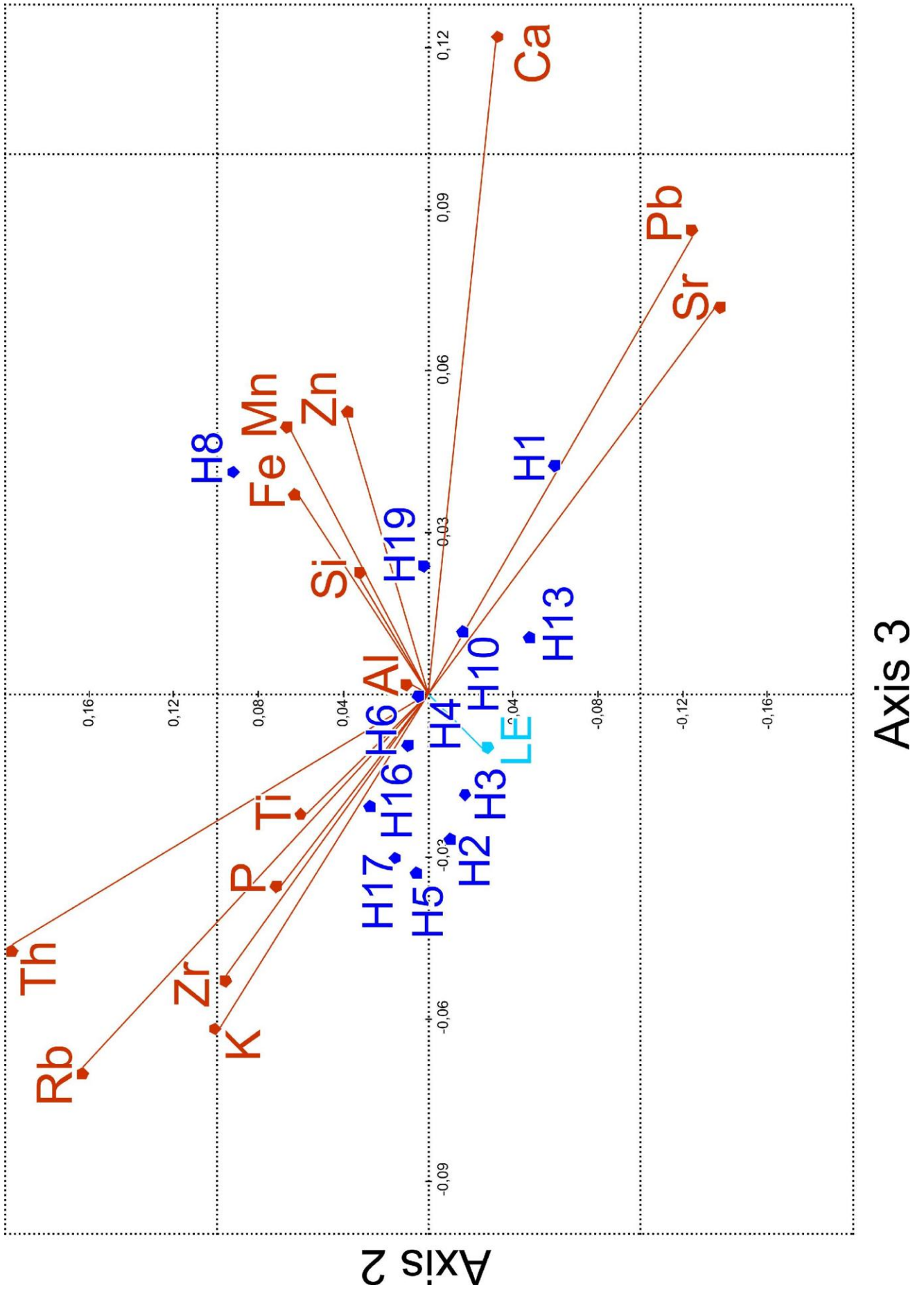
Graf 2



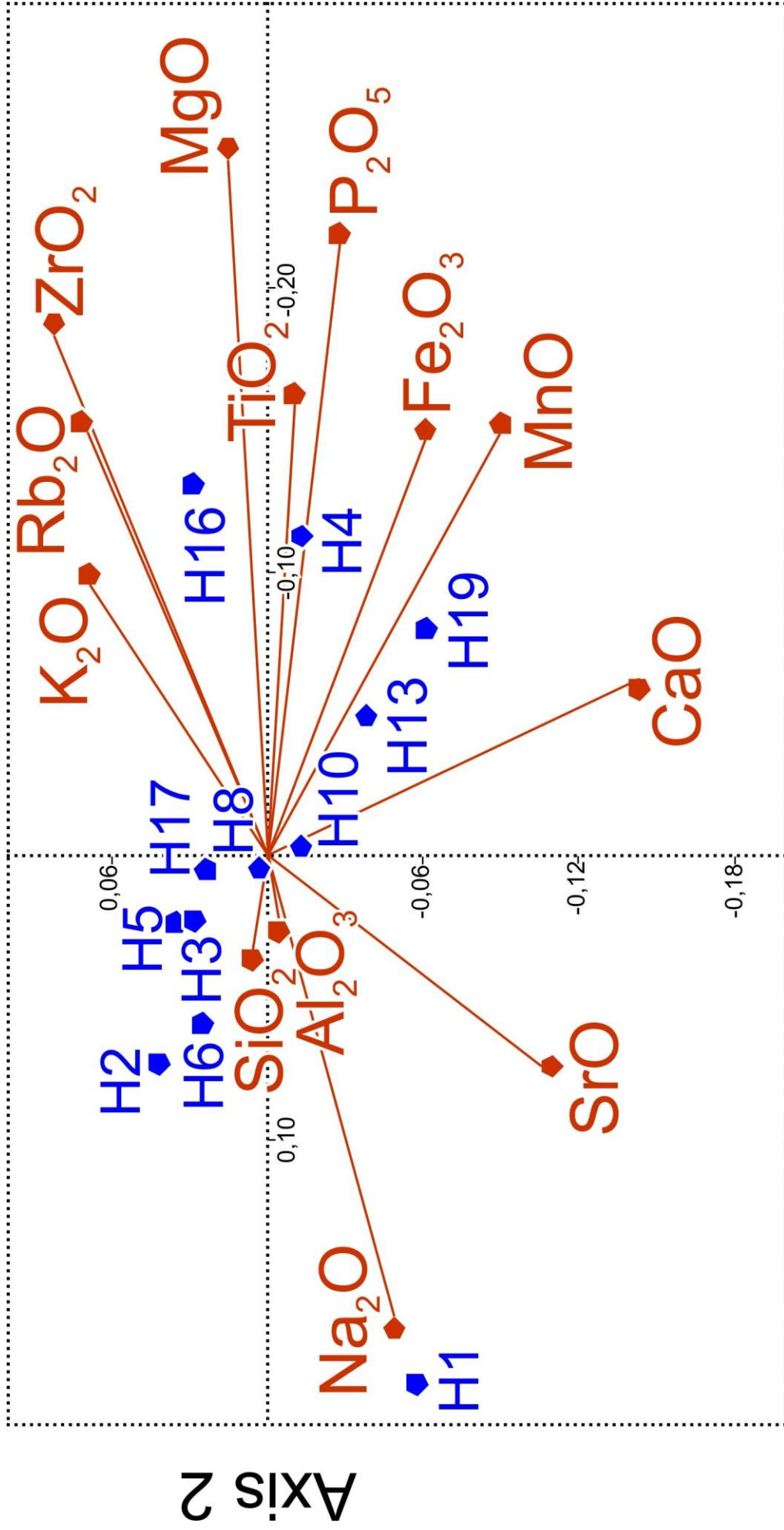
Axis 1

Axis 3

Graf 3



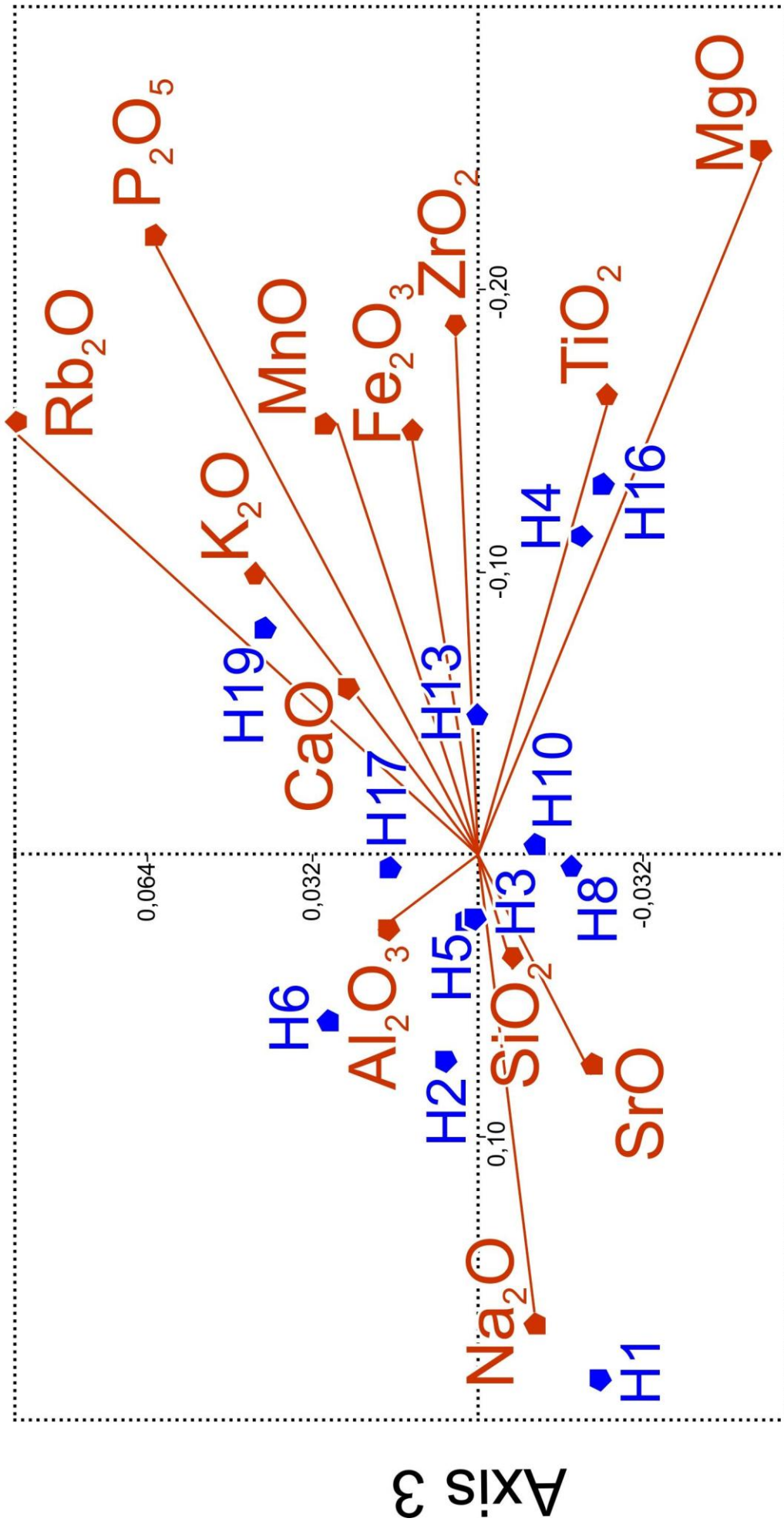
Graf 4



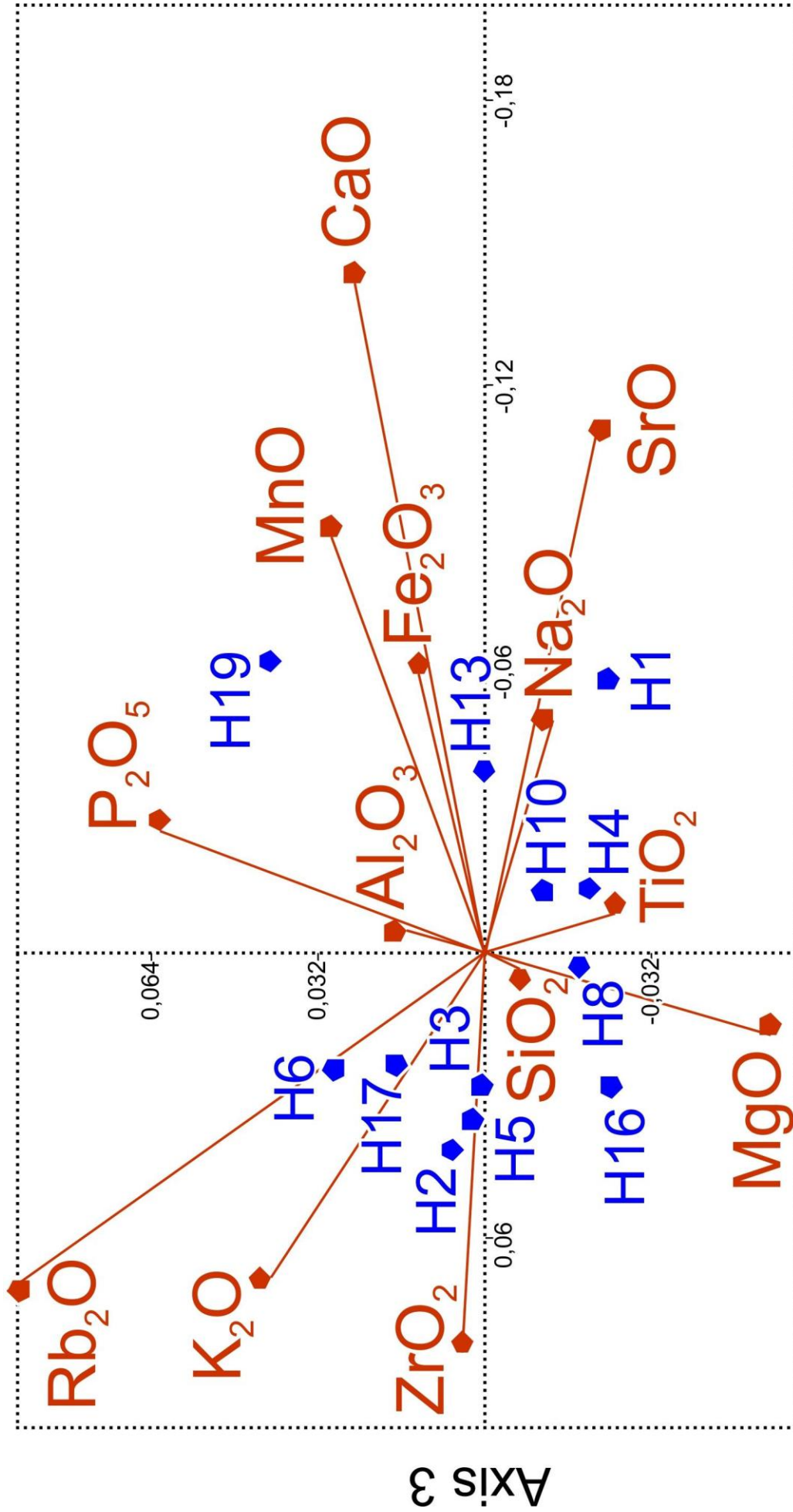
Axis 1

Axis 2

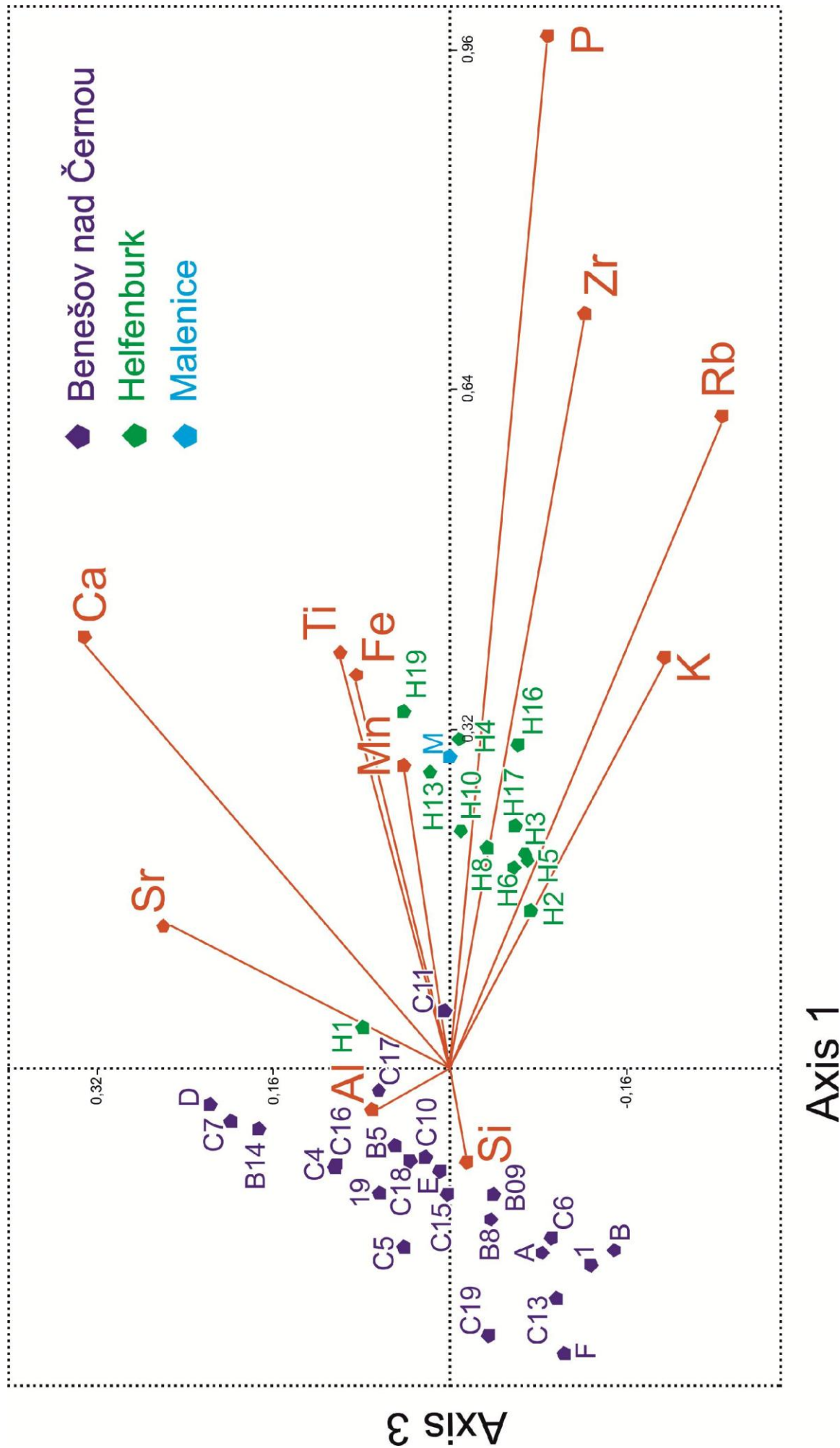
Graf 5



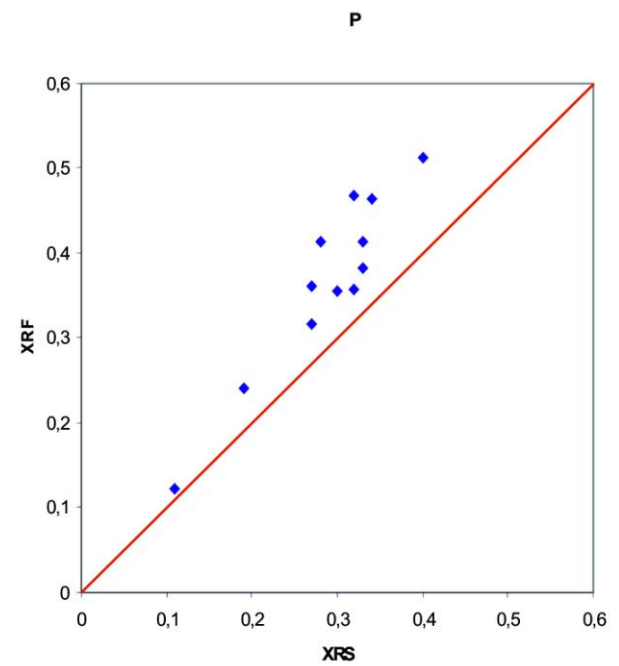
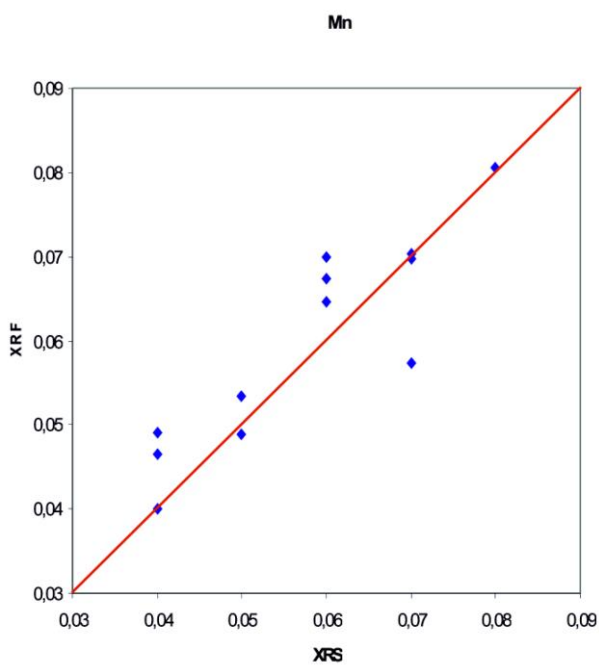
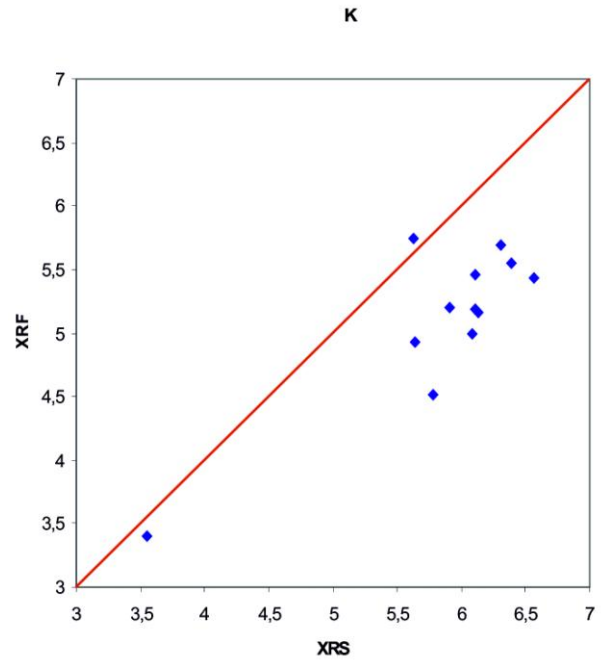
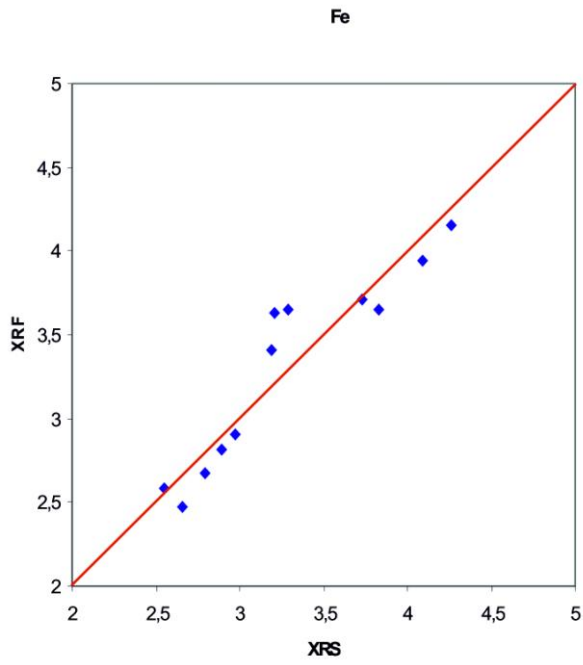
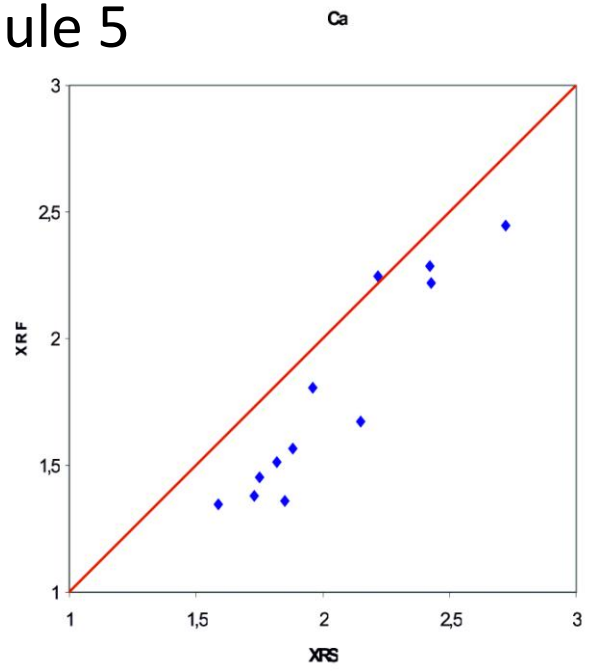
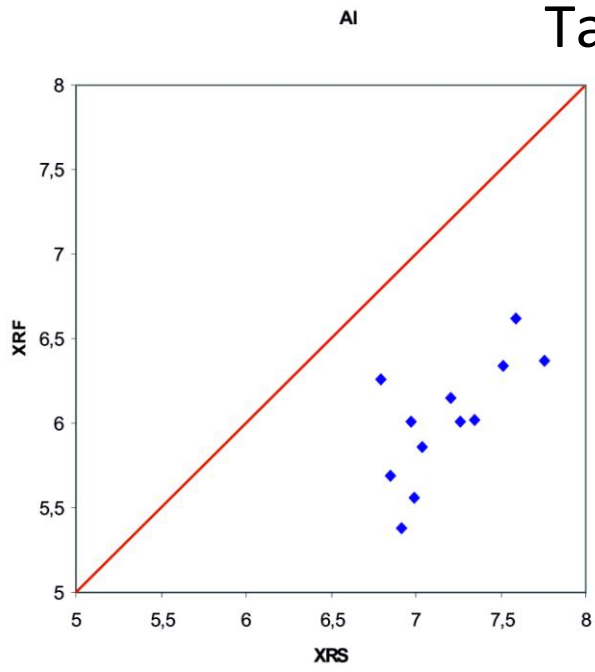
Graf 6



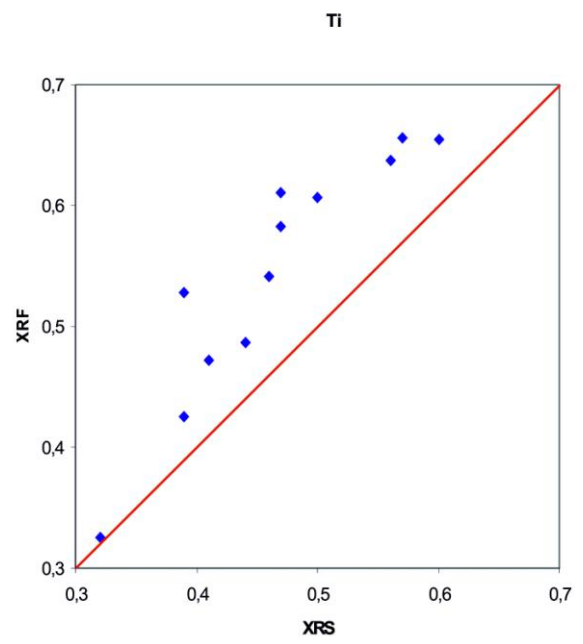
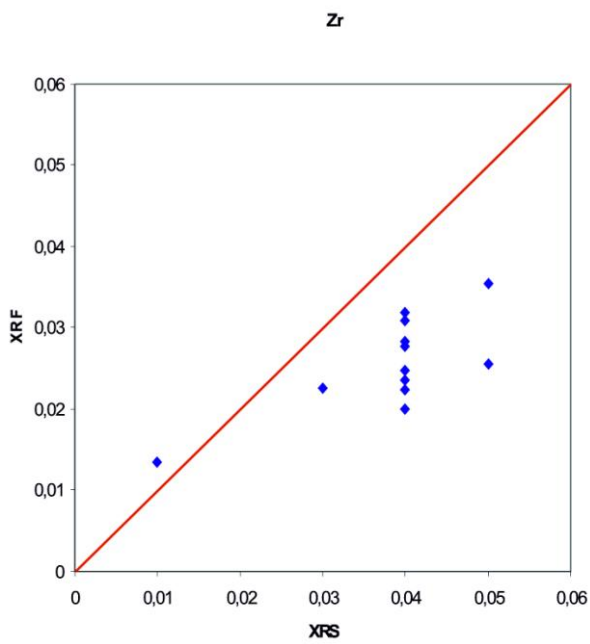
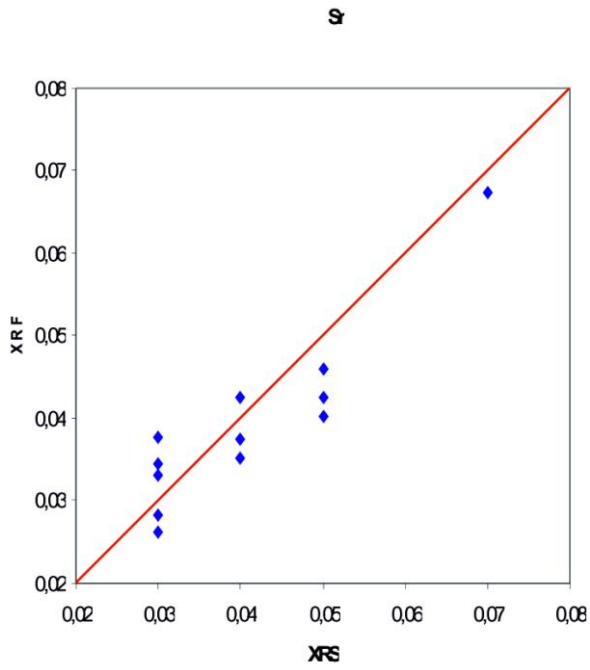
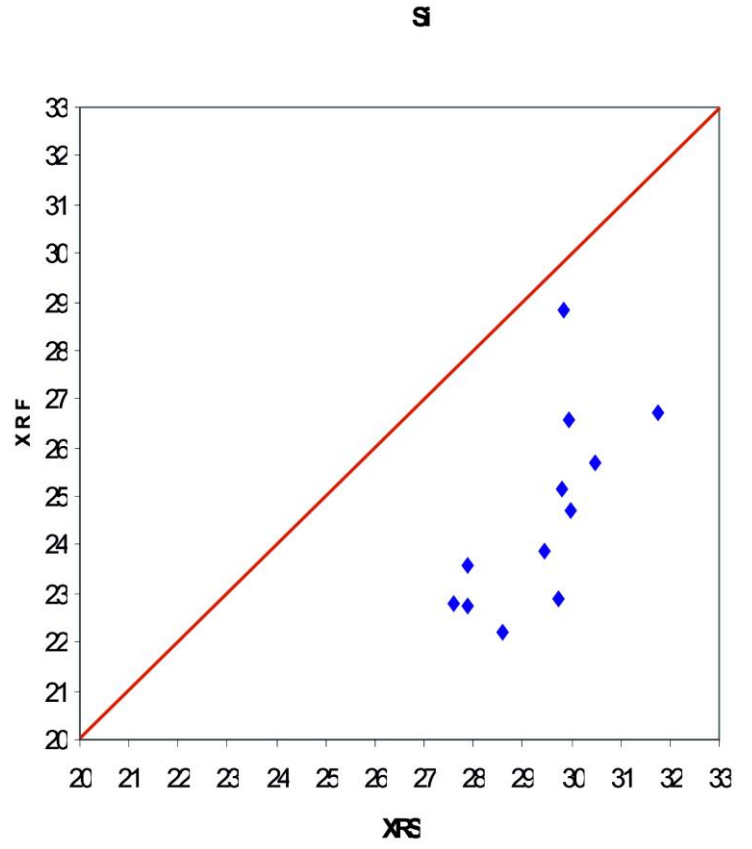
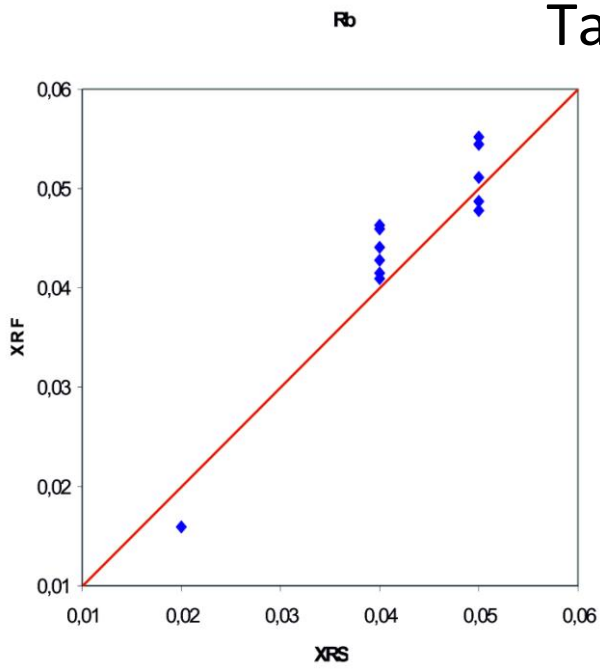
Graf 7



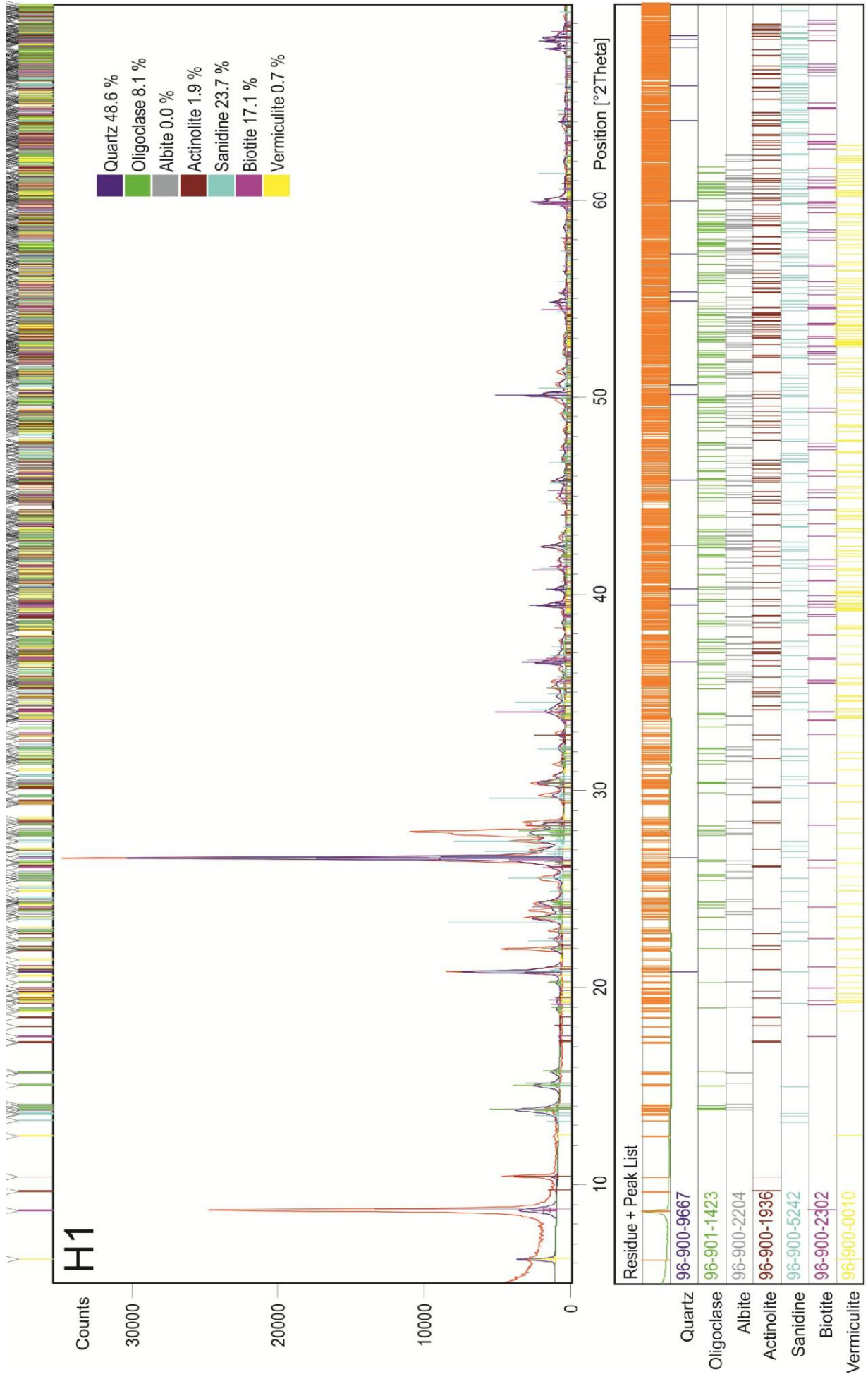
Tabule 5



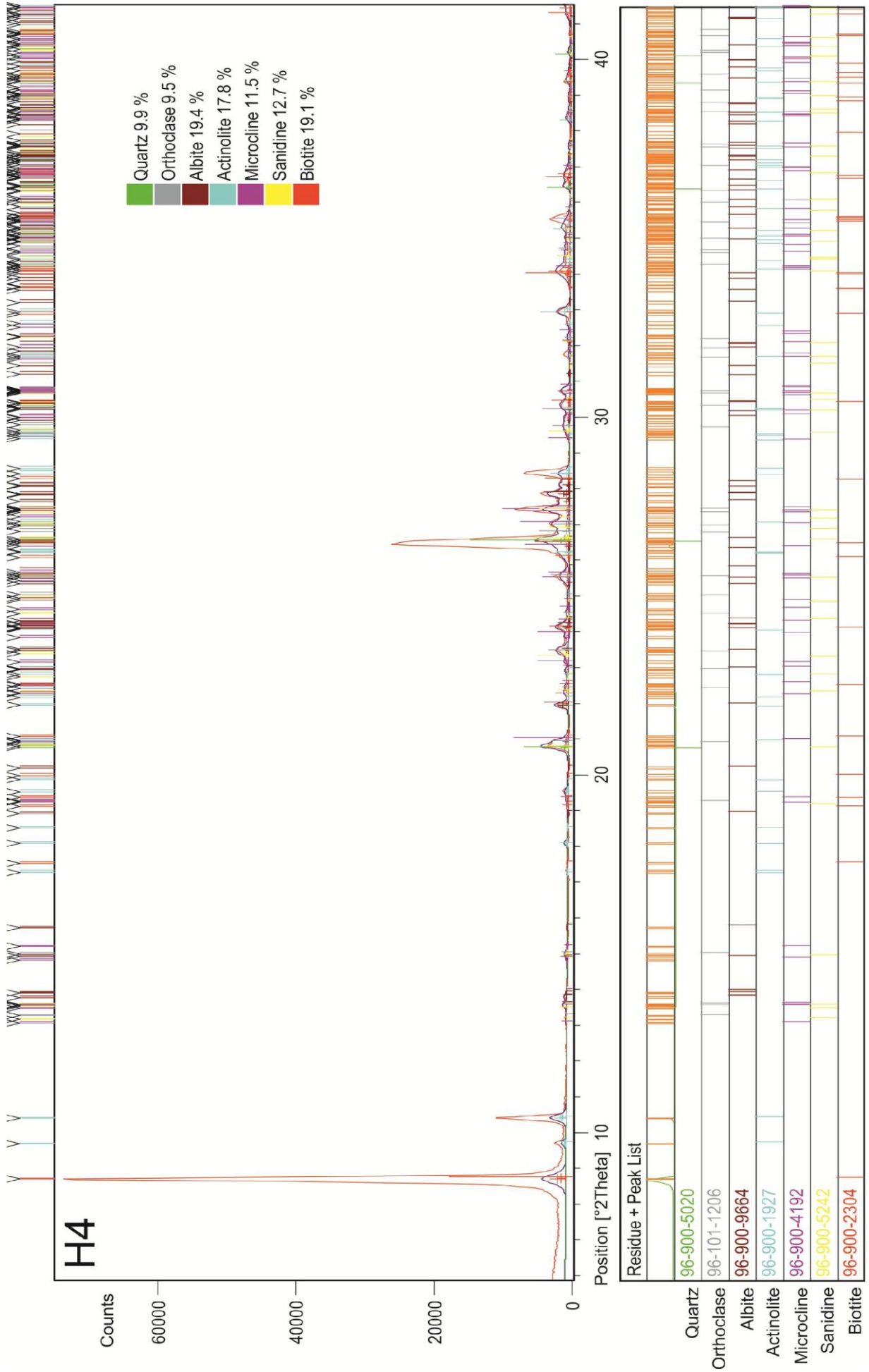
Tabule 6



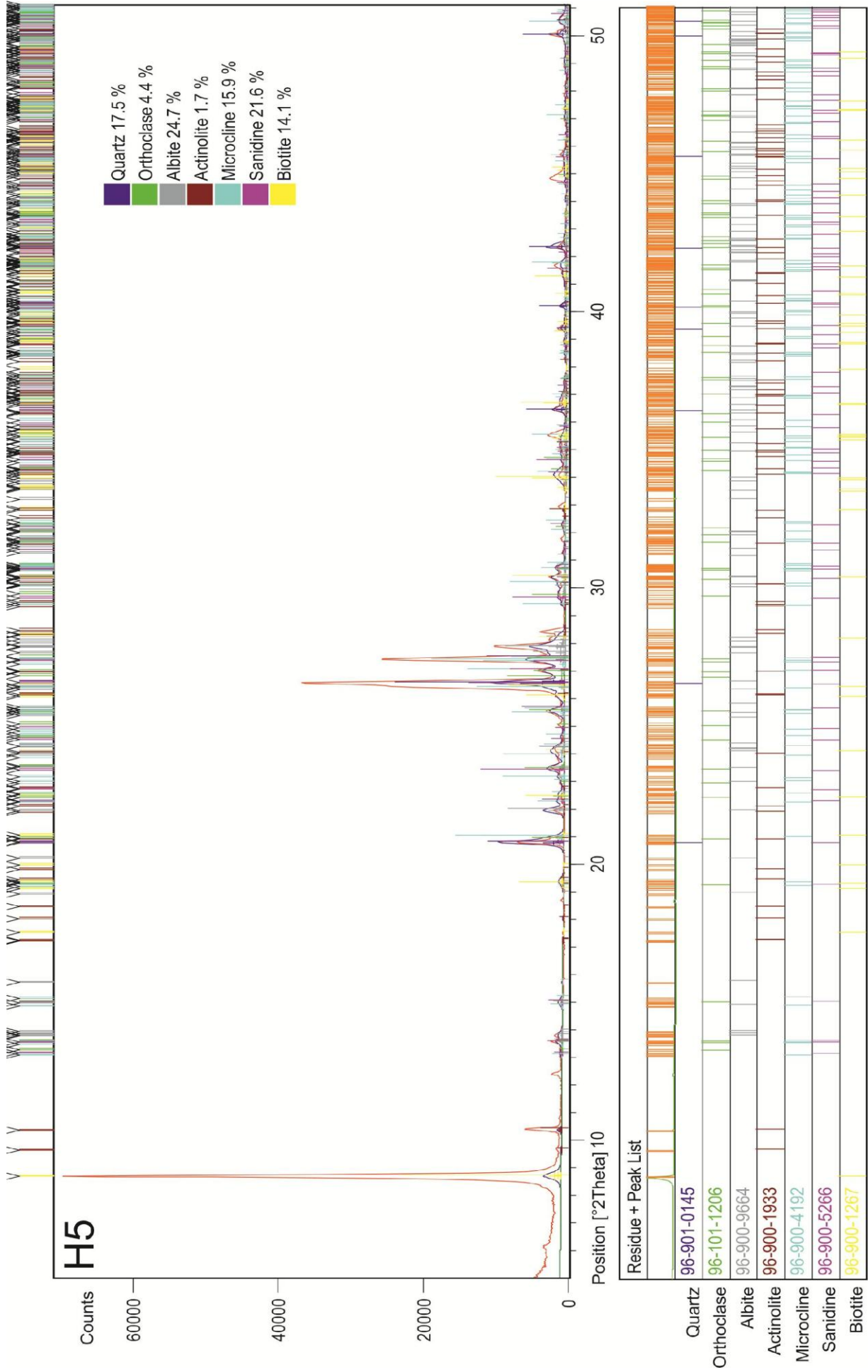
Graf 8



Graf 9



Graf 10



Tabule 7 Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Helfenburku :

Klíč: hodnoty jsou udávány v %

(XRS)	ZrO2 (%)	TiO2 (%)	SrO (%)	SiO2 (%)	Rb2O (%)	P2O5 (%)	Na2O (%)	MnO (%)	MgO (%)	K2O (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	Al2O3 (%)
H1	0,0185	0,5435	0,0775	67,582	0,0175	0,2605	3,287	0,056	2,2815	4,2765	3,699	3,027	14,6505
H2	0,0435	0,6745	0,0525	64,855	0,045	0,4535	2,4285	0,056	3,6745	7,1165	3,859	2,251	14,1635
H3	0,0535	0,7	0,0405	63,4265	0,0525	0,693	2,433	0,065	4,4435	7,3225	4,1935	2,5585	13,282
H4	0,0605	0,9725	0,054	59,353	0,046	0,7605	1,9255	0,0875	6,659	7,7035	5,4085	3,419	13,0585
H5	0,0525	0,7535	0,0405	63,806	0,046	0,608	2,193	0,0615	4,3505	7,3635	4,3105	2,439	13,6025
H6	0,0525	0,6665	0,0455	63,6815	0,048	0,6035	2,493	0,055	3,6035	7,3715	4,054	2,6015	14,3145
H8	0,055	0,7815	0,031	63,492	0,0525	0,729	2,365	0,082	4,774	6,7805	4,655	2,763	12,809
H10	0,054	0,789	0,035	63,2315	0,0475	0,7325	2,2915	0,073	4,7965	6,8005	4,77	3,1265	12,9295
H13	0,0615	0,944	0,041	60,8135	0,045	0,775	2,2245	0,0875	5,197	6,963	5,55	3,4085	13,1895
H16	0,0645	1,0135	0,053	59,315	0,054	0,758	1,487	0,0785	6,769	7,917	5,923	2,4585	13,159
H17	0,0525	0,7905	0,045	62,6465	0,0505	0,632	2,142	0,0855	4,3845	7,6055	4,629	2,642	13,7015
H19	0,048	0,855	0,0565	58,7055	0,059	0,9125	1,995	0,101	5,1125	7,3915	6,1755	3,8295	13,8765

Tabule 8 Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Helfenburku :

Klíč: hodnoty jsou udávány v %

(XRF)	LE	Th	Pb	Zr	Sr	Rb	Zn	Fe	Mn	Ti	Ca	K	P	Si	Al
H1	58,59	0,0013	0,0099	0,0135	0,0674	0,0159	0,0058	2,5799	0,04	0,325	1,6755	3,4032	0,1222	26,74	6,37
H2	58,09	0,003	0,0067	0,0226	0,0426	0,0428	0,0046	2,4695	0,0466	0,4252	1,3482	5,1966	0,241	25,69	6,34
H3	58,62	0,0041	0,0047	0,0309	0,0376	0,0477	0,0048	2,8106	0,0488	0,4714	1,5158	4,9898	0,3552	25,17	5,86
H4	56,36	0,0036	0,0042	0,0319	0,046	0,0441	0,0064	3,7094	0,0704	0,6564	2,22	5,5556	0,3822	22,77	5,38
H5	57,13	0,0031	0,0054	0,02	0,0332	0,0463	0,0052	2,9061	0,0535	0,4866	1,3822	5,4626	0,3606	24,69	6,15
H6	56,57	0,0034	0,0046	0,0247	0,0375	0,0415	0,0049	2,6723	0,0491	0,5274	1,3573	5,1816	0,3172	26,55	6,62
H8	52,61	0,0051	0,0054	0,0277	0,0282	0,0552	0,0064	3,6307	0,0673	0,5414	1,8097	5,7481	0,3571	28,82	6,26
H10	57,19	0,0035	0,0038	0,0284	0,0263	0,0459	0,0065	3,6524	0,07	0,6112	2,2475	4,9232	0,4684	22,87	5,69
H13	59,11	0,0035	0,0046	0,0255	0,0344	0,041	0,0071	3,6529	0,0698	0,6379	2,2897	4,5167	0,4648	22,23	5,56
H16	55,65	0,0038	0,0034	0,0354	0,0402	0,0512	0,0086	3,9431	0,0646	0,6547	1,4556	5,4357	0,4141	23,6	6,01
H17	56,87	0,0036	0,0054	0,0223	0,0352	0,0487	0,0062	3,4134	0,0574	0,5831	1,5661	5,6875	0,4128	23,87	6,01
H19	56,66	0,0025	0,0033	0,0235	0,0426	0,0544	0,0081	4,1534	0,0805	0,6071	2,444	5,1593	0,5132	22,8	6,02

Tabule 9 Výchozí tabule měření chemického složení vzorků z Benešova nad Černou:

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

(XRF)	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