

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 5. Geologie a geografie

Mineralogické studium achátů z Doubravice s využitím Ramanovy spektroskopie

Monika Kubernátová

Kraj: Zlínský kraj

Uherské Hradiště 2016

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 5. Geologie a geografie

Mineralogické studium achátů z Doubravice s využitím Ramanovy spektroskopie

Mineralogical study of agates from Doubravice using the Raman spectroscopy

Autor: Monika Kubernátová
Škola: Gymnázium Uherské Hradiště
Velehradská třída 218
68617 Uherské Hradiště
Kraj: Zlínský kraj
Konzultant: Mgr. Jan Dušek

Uherské Hradiště 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

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

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

V..... dne

Monika Kubernátová

Poděkování

Ráda bych tímto chtěla poděkovat svému konzultantovi Mgr. Janovi Duškovi, z Gymnázia v Uherském Hradišti, za podporu, věcné rady a adekvátní připomínky. Doc. RNDr. Zdeňku Lososovi, CSc. z Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně děkuji za umožnění analýz na Ramanově spektrometru, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. Dále děkuji Mgr. Adamu Culkovi, Ph.D. z Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze, který mi taktéž umožnil analyzovat vzorky Ramanovým spektrometrem. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině za velkou podporu v mém osobním vzdělávání a absolvování náročných výzkumných prací v terénu se mnou.

Anotace

Tato práce SOČ shrnuje výsledky unikátního mineralogického studia achátů z Doubravice. Cílem je především určení přesného chemického složení jednotlivých vrstev achátů z Doubravice (oblast Podkrkonoší) pomocí Ramanovy spektroskopie.

Klíčová slova: mineralogie, achát, Doubravice, Ramanova spektroskopie;

Annotation

This paper summarises results of unique mineralogical study of agates from Doubravice quarry (Krkonoše piedmont area). The main aim of this study is applying the Raman spectroscopy to determining an exact chemical composition of the bands inside the agates.

Key words: mineralogy, agate, Doubravice, Raman spectroscopy;

Obsah

1	Metodika práce	7
2	Charakteristika lokality.....	10
3	Minerály mandlovcových dutin.....	16
4	Mineralogická charakteristika nerostů achátových geod	18
4.1	Achát.....	18
4.2	Chalcedon (SiO_2)	18
4.3	Křemen (SiO_2).....	19
4.4	Opál ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).....	20
4.5	Hematit (Fe_2O_3).....	21
4.6	Kalcit (CaCO_3).....	21
5	Mineralogické studium achátů	23
6	Měření Ramanovými spektrometry	24
6.1	Měření 1 na PŘF UK	26
6.2	Měření 2 na ÚGV MUNI	28
6.3	Spektra z PŘF UK.....	30
6.4	Spektra z ÚGV PŘF MUNI	35
7	Výsledky měření	42
8	Diskuze.....	44
	Závěr.....	50
	Seznam použité literatury.....	51
	Seznam použitých internetových zdrojů (IZ)	52

Úvod

Jsem nadšenou sběratelkou kamenů, žijící geologií od dětství. Úzce se specializuji především na mineralogii a gemologii. Svou sbírku minerálů rozšiřuji neustále o vlastní nálezy z mnoha lokalit z celé České republiky. Mezi nimi nechybějí ani různobarevné acháty z proslulých českých nalezišť. Díky přirozené zvědavosti, touze po nových nálezech a odhalování tajemství přírody, mě v souvislosti s nimi napadlo mnoho otázek: Jak asi mohl vzniknout „můj“ achát? Z jakých minerálů může být asi složen? V jakém prostředí byl vytvořen a jaké endogenní a exogenní vlivy se na jeho vzniku podílely? A mnoho dalších. Zaměřila jsem se především na acháty z lokality Kracíkův lom u Doubravice a začala jsem hledat odpovědi na své otázky. Po zjištění, že podrobným studiem doubravických achátů se doposud nikdo nezabýval, jsem se rozhodla tuto problematiku zpracovat ve své práci SOČ. Mineralogické studium achátů metodou Ramanovy spektroskopie je zcela unikátní a přináší nové informace pro obor mineralogie. Ramanova spektroskopie je jednou z nedestruktivních metod, která umožňuje přesnou chemickou analýzu sledovaných vzorků nerostů (téměř) bez poškození, to znamená, že lidské oko změny nezaznamená. „Šetrný“ laserový paprsek proniká dovnitř a my tak můžeme pozorovat na monitoru jednotlivé barevné pigmenty minerálů, z nichž je vzorek složen. Cílem této práce je především určení a popis chemického složení jednotlivých vrstev achátu.

1 Metodika práce

V první fázi jsem se zaměřila na studium dostupných informací o geologické stavbě zájmového území a shromáždila jsem literaturu, týkající se achátů z Kracíkova lomu u Doubravice a jejího širšího okolí.

Vzorky achátů jsme s mým otcem sbírali na lokalitě Kracíkův lom v letech 2008 –2015. Vzorky byly odebírány především ze suti pod lomovou stěnou. Pro vlastní studium jsem nakonec vybrala dva z nich. Během terénního výzkumu jsem také vyfotografovala vybrané objekty mého zájmu.

Řez, nábrus a leštění studovaných geod achátů byl proveden na Hornicko-geologické fakultě Vysoké školy báňské Technické univerzity Ostrava.

Skenování nábrusu achátů jsem prováděla na Gymnáziu Uherské Hradiště na skeneru Canon Lide 210.

V letech 2015 - 2016 jsem navštívila Muzeum Českého ráje v Turnově a Klenotnici Městského muzea v Nové Pace, kde jsem po předchozí domluvě mohla konzultovat studovanou problematiku s regionálními odbornými pracovníky.

Vlastní měření Ramanovým spektrometrem byla prováděna na Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně a na Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

Použité přístroje:

Laboratorní přístroj: Renishaw InVia Raman Microscope s červeným laserem o excitaci 785 nm a zeleným laserem o excitaci 532 nm.

Čas analýzy: 20 sekund/ 1 sken/ 5 akumulací

Zvětšení: až 500x

Pracoviště: Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze (analytik: Mgr. Adam Culka, Ph.D.)

Datum měření: 5. 11. 2015



Obrázek 1: Laboratorní přístroj Renishaw InVia Raman Microscope¹

¹ www.gloucestercitizen.co.uk/images/localworld/ugc-images/276271/Article/images/20556982/5768904-large.jpg

Laboratorní přístroj: HORIBA LabRAM HR Evolution Raman Spectrometer se zeleným laserem o excitaci 532 nm a červeným laserem o excitaci 785 nm.

Čas analýzy: 5 sekund/ 1 sken/ 2 akumulace

Zvětšení: až 500x

Pracoviště: Ústav geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně (analytik: doc. RNDr. Zdeněk Losos, CSc.)

Datum měření: 27. 2. 2015



Obrázek 2: Laboratorní přístroj HORIBA LabRam HR Evolution Raman Microspectrometer²

²www.labmate-online.com/assets/file_store/pr_files/21626/images/thumbnails/800w-labram_evolution.jpg

2 Charakteristika lokality

Zájmovou lokalitou pro můj mineralogický výzkum achátů je Kracíkův lom, nacházející se v silničním zářezu mezi obcemi Kyje a Doubravice (místní část města Železnice) v okrese Jičín (Obrázek 3). Jedná se o činný stěnový kamenolom, jehož současným majitelem a provozovatelem je firma STAVOKA KOSICE, a. s. Hlavním hospodářským účelem kamenolomu je těžba kameniva pro stavební účely, především používané jako drcené kamenivo do betonu, dále k výrobě nestmelených směsí a směsí stmelených hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace.



Obrázek 3: Vstupní brána do lomu

Výška východní stěny dvouetážového kamenolomu se pohybuje mezi 40 až 50 m, výška západní stěny v rozmezí od 25 do 35 m. Šířka kamenolomu dosahuje až 200 m. Celková plošná výměra kamenolomu je 0,75 ha s odhadem bilančních a volných zásob ložiska 210 000 m³. (IZ 1, online 24. 2. 2016)

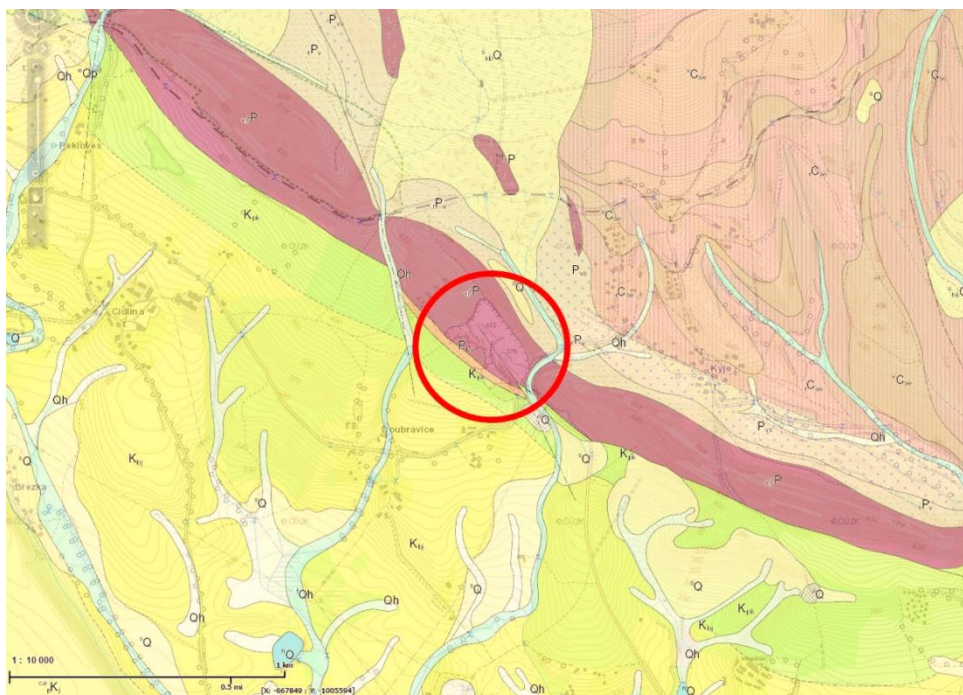


Obrázek 4: Činný kamenolom



Obrázek 5: Sut' bazaltických hornin s amygdaloidními melafyry

Z hlediska regionální geologie je lokalita součástí Lomnického vulkanického komplexu (Stárková in Chlupáč 2011) na rozhraní vrchlabského a prosečenského souvrství (autun) Podkrkonošské pánve Českého masivu. Kracíkův lom odkrývá typické prvohorní vulkanity, tradičně označované jako melafyry. Sopečná činnost v západní části Podkrkonošské pánve probíhala především ve spodním permu, stáří zdejších melafyrů bylo stanoveno na 299 - 294 miliónů let. Vulkanická aktivita se projevovala především efuzivními erupcemi tekutých láv ze sopek s velmi plochým kuželem a jen velmi omezenou produkcí pyroklastického materiálu. Efuze lávových proudů ze štítových sopek byly podobné těm, jaké dnes známe např. z Havajských ostrovů. V okrajových částech vulkanických těles docházelo k výlevům silně proplyněných láv, z nichž vznikly melafyry s charakteristickou mandlovcovou texturou. V četných dutinách došlo následnými autometamorfními a hydrotermálními procesy k jejich vyplnění bohatými a sběratelsky atraktivními minerálními asociacemi.



Obrázek 6: Geologické poměry zájmového území³

³ Upraveno podle http://mapy.geology.cz/geocr_25/

Tektonická linie

—	zlom ověřený
--	zlom předpokládaný
---	zlom zakrytý

Geologická jednotka

	jK _t	vápnité jílovce, slínovce
	^{al} h	alterovaný bazanit
	^f Qh	fluviální sedimenty: hlíny, jíly, písky a štěrky
	Qh	splachové sedimenty: hlíny, jíly, písky, ojediněle se štěrky
	^h K _t	vápnité prachovce, vápnité jílovce až slínovce s polohami jemně zrnitých vápnitých pískovců (flyšoidní facie)
	^{tr} tb	středně až hrubě zrnitá pyroklastika freatomagmatických erupcí alkalických bazaltoidů
	h	bazanit
	ⁿ Q	sedimenty vodních nádrží, vodní plochy
	^e Qp ³	spraše a sprašové hlíny
	^h K _{sz}	vápnité jílovce s vložkami pískovců (flyšoidní facie)
	^a Q	antropogenní uloženiny nerozlišené
	^e Q	svahové hlinité, písčité a jílovité sedimenty
	^{tr} _p K _t ²	bělošedé křemenné pískovce, šikmo planárně zvrstvené
	K _{sl}	slínovce, vápnité prachovce, na bázi biomikritické vápence
	K _{pk}	jílovce a prachovce, uhelnaté prachovce, písky, pískovce a slepence
	^{gr} _p K _t	žluté, zrnitostně gradované, jemně až hrubě zrnité křemenné pískovce
	^{ca} _p K _j	jemně až středně zrnité vápnité pískovce s polohami písčitých vápenců
	^e _{rk} Q	svahové kamenitohlinité až hlinitokamenité sedimenty
	njo	olivinický nefelinit, olivinický analcimit
	P _{ps}	hnědočervené jílovce, prachovce, s polohami pískovců, místy vápnité
	vP _{pk}	vápence, místy vápnité jílovce a prachovce, bituminózní jílovce
	abP	olivinický bazalt až bazaltický andezit
	rP _v	červenohnědé a šedohnědé prachovce, jílovce, slídnaté jemnozrné pískovce
	^e _{kd} Q	svahové kamenité až blokové sedimenty

Obrázek 7: Legenda ke geologické mapě 1:25 000⁴

⁴ Upraveno podle http://mapy.geology.cz/geocr_25/

Celková mocnost permských vulkanitů se na lokalitě pohybuje kolem 100 m, z čehož je v obou etážích odkryto celkově cca 70 výškových metrů. Zdejší melafyry náleží převážně mezi bazické až intermediální vulkanity, z petrografického hlediska patřící k olivinickým bazaltům až bazaltandezitům s přechodem k bazaltům, které Schováňková in Chlupáč a kol. (2002) označuje jako andezitoidy. Ve stěně kamenolomu můžeme sledovat nepravidelně se střídající polohy melafyrů načervenalé až tmavě šedé barvy s různou stavbou. Vznik masivní, nebo mandlovcovité textury vulkanitů ovlivňovaly podmínky při jejich tuhnutí, především zda docházelo k výlevům láv na souši nebo ve vodním prostředí. Ziegler (1977) soudí, že v kamenolomu jsou zachyceny celkem tři lávové proudy. V nejnižší části kamenolomu se nachází proud bazaltandezitové lávy s množstvím dutin a puklin. Na jejím nerovném povrchu v nejnižší etáži byla při těžbě dokonce odkryta i tenká asi 45–50 cm mocná vrstva mafických, jemně zrnitých pyroklastik se střepinami sopečného skla a slídou v základní hmotě, uklánějících se pod úhlem 30° k jihozápadu. Tato poloha dokládá probíhající erupce předcházející výlevům láv. Výše následuje druhý proud, tvořený polohou masivních andezitoidů, jejichž řídce se vyskytující dutiny vyplňují především pestrobarevné acháty. Třetí proud je zachován v horní etáži a po stranách lomu. Jedná se o charakteristický mandlovcový typ melafyru s velkým množstvím dutin vyplněných pestrou minerální asociací.

Ve východní stěně se ve vulkanitech nachází poloha vrstevnatých prachovců červenohnědé barvy o mocnosti 1–2 m s nepravidelnými úlomky mandlovcovitých melafyrů decimetrových rozměrů. V jihozápadní stěně kamenolomu je též možné ve vulkanitech pozorovat relativně mohutnou dislokační zónu poklesového charakteru směru ZSZ–VJV s patrným i striacemi (tektonickými ohlasy) a mladší mylonitizované zóny poklesového charakteru SZ–JV (Ziegler, 1977), (IZ 2 online 24. 2. 2016).

Lokalitu jsem poprvé navštívila spolu se svým otcem v roce 2008. V tu dobu byla ve spodní etáži čerstvě odkrytá ametystová žíla o mocnosti až 2 m. Žíla se táhla v horizontálním směru v levé spodní části kamenolomu. Zde jsme později objevili větší ze zkoumaných vzorků achátů.



Obrázek 8: Spodní patro kamenolomu. Místo nálezu vzorku je označeno křížkem.

3 Minerály mandlovcových dutin

Mandlovcové dutiny v nejtýpčtějším vývoji nacházíme právě v permských melafyrech v Podkrkonoší a Podještědí. Za vhodných podmínek do dutin, které v melafyrech vznikly po utužení proplyněných láv, pronikaly horké roztoky SiO_2 a dalších sloučenin a postupně z nich uvnitř krystalovala zajímavá minerální asociace (Mlčoch a kol. 2010). Z rosolovitého roztoku SiO_2 vznikly proslulé nerosty, tvořící v melafyru sběrateli vyhledávané výplně dutin, označované jako „achátové“ či „chalcedonové mandle“ a „pecky“. Při zvětrávání melafyru se výrazně odolnější „mandle“ a „pecky“ uvolňují z horninové masy, a poté se hromadí ve svahových sutích, kde je mineralogové nejčastěji nacházejí. Dalším prostředím, které bývá běžným druhotným nalezištěm jednotlivých „pecek“, je svrchní část ornice polí. Díky orbě a mrazovým pochodům, spojeným s rozdílným vymrzáním jednotlivých úlomků hornin a nerostů v půdě, se geody achátu a dalších nerostů dostávají postupně k povrchu, kde je lze na vhodných lokalitách sbírat, a to zejména na jaře, kdy jsou pole ještě bez vzrostlé vegetace. V neposlední řadě se vyvětralé „pecky“ běžně nacházejí také v náplavech potoků a řek. Tekoucí voda dokáže jejich odolné valouny transportovat na poměrně značné vzdálenosti, takže naleziště se mohou vyskytovat nejen v blízkosti těles melafyrů, ale i celkem daleko od jejich původního místa vzniku (Bouška a Kouřimský 1983).

Nejznámější mineralogickou lokalitou nerostů mandlovcových dutin v oblasti západního Podkrkonoší je bezesporu vrch Kozákov, ležící mezi Turnovem a Semily, s proslulou lokalitou Votrubcův lom. Další známé výskyty se nacházejí např. v okolí Železného Brodu, Nové Paky, Čisté u Horek, Horká u Staré Paky, Levínské Olešnice, Lomnice nad Popelkou, Doubravice, Košova, Kozlova, Morcínova, Rváčova, Kumburského Újezdu či Vidochova. (Bernard a kol. 1981, Bouška a Kouřimský 1983, Rybář a kol. 1989, Chlupáč a kol. 2002). Přirozeně

zbarvené acháty z výše uvedených lokalit patří k nejkrásnějším svého druhu nejen v České republice, ale i celé Evropě. S výskyty minerálů mandlovcových dutin v regionu Podkrkonoší a Českého ráje geneticky souvisí i západněji ležící lokality v Podještědí např. Proseč pod Ještědem, Rašovka, Frýdštejn aj. (Bouška a Kouřimský 1983, Rybář a kol. 1989, Chlupáč a kol. 2002).

Kracíkův lom v současnosti patří mezi nejvýznamnější mineralogické lokality v UNESCO Globálním geoparku Český ráj. Lze zde nalézt četné nerosty mandlovcových dutin, jejichž vznik je závislý na okolní matečné hornině. V nejnižší části kamenolomu jsou dutiny a pukliny v mandlovcovitém melafyru vyplněné především křemenem (a jeho odrůdami) např. mechovými jaspisy hnědožluté barvy. Acháty se vyskytují hlavně ve výše ležící poloze masivních vulkanitů. V nejvýše ležícím lávovém proudu se v dutinách vyskytuje velmi pestrá minerální asociace tvořená především křemenem a jeho barevnými odrůdami, kalcitem, barytem, chalcedonem, zeolity, limonitem, goethitem, palygorskitem aj. Ve svrchní části kamenolomu se nacházejí také sférolitické agregáty červenohnědých pseudomorfóz hematitu po vláknitém kalcitu. (IZ 5 online 26. 2. 2016)

4 Mineralogická charakteristika nerostů achátových geod

(Kapitola je rešerší z prací Bernard a kol. 1981, Bouška a Kouřimský 1983, Kouřimský 1999, Kouřimský 2003, Rybář a kol. 1989, Bernard a kol. 1992, Ďudá a Rejl 2001).

4.1 Achát

Achát patří nejen mezi sběrateli mezi atraktivní nerosty. Z mineralogického hlediska není achát samostatným druhem nerostu, ale pouze odrůdou chalcedonu s charakteristickou stavbou koncentricky uspořádaných vrstev. Navíc jednotlivé vrstvy bývají tvořeny i jinými modifikacemi SiO_2 , ve většině případů se jedná o směs kryptokrystalického chalcedonu, krystalického křemene nebo amorfního opálu, vzácněji se ve výplni achátových geod vyskytují i jiné nerosty. Podle podmínek, za kterých achát vzniká, může mít různé zbarvení. Nejméně pestré, ale běžné zbarvení je šedobílé, jiné exempláře mohou být světle modré, červené, hnědé až černé. Vzácností nejsou ani pestrobarevné geody. Barevné rozložení v achátu je většinou heterogenní, přičemž jednotlivé barvy mohou volně přecházet i jedna v druhou. Na základě charakteristické kresby a zbarvení se rozlišují různé variety achátu (např. **obláčkový achát, krajkový achát, zříceninový achát, mechový achát** apod.). Barva vrypu je bílá až šedá. Achát bývá průsvitný až neprůhledný. Jeho tvrdost se v Mohsově stupnici tvrdosti pohybuje mezi 6 – 7 (záleží na podílu chalcedonu, křemene a opálu ve struktuře achátu). Achátové geody z českých lokalit dosahují maximální velikosti do 15 cm, výjimečně i více. Ze světových nalezišť však známe exempláře i mnohem větších rozměrů. (Kouřimský 2003)

4.2 Chalcedon (SiO_2)

Chalcedon je kryptokrystalický oxid křemičitý s jemně vláknitou strukturou, skrytě krystalující v klencové soustavě. Jednotlivá mikroskopická vlákna jsou

uspořádaná buď paralelně, nebo koncentricky. Chalcedon bývá různě zbarvený. Jeho barva se nejčastěji pohybuje od mléčně bílé přes šedou, bledě modrou, oranžovou, červenou, zelenou, žlutohnědou až po tmavě hnědou. U chalcedonu je mimo jiné známá barvoměna, a to v důsledku zvýšení teploty či dlouhodobého působení slunečního záření. Barva vrypu je bílá až šedá. Chalcedon bývá průsvitný (v tenké vrstvě), nebo častěji neprůhledný. Tvrdost chalcedonu se pohybuje kolem 6,5. Hustota se pohybuje mezi 2,59-2,61 gcm⁻³. Chalcedon vytváří řadu odrůd, které se navzájem liší strukturou a optickými vlastnostmi. Mezi odrůdy chalcedonu patří např. šedavě zbarvený **obecný chalcedon**, oxidy železa do červena zbarvený **karneol**, oranžový **sardit**, dále zelené odrůdy **chryzopras** (zbarvený vodnatými křemičitany niklu), **plazma** (zbarvení díky chloritické příměsi) a **heliotrop** (tmavě zelený skvrnitý chalcedon), nebo křídově bílý **kašolong** (směs chalcedonu a opálu). (Bernard a kol. 1981)

4.3 Křemen (SiO₂)

Křemen je oxid křemičitý, který krystalizuje v klencové nebo v pseudohexagonální krystalové soustavě. Tvrdost podle Mohse je 7. Hustota je 2,65 gcm⁻³. V přírodě známe křemen v nejrůznějších podobách, krystalovaný i v rozličných kusových agregátech. Průhlednou skelně lesklou odrůdou je **křišťál**, fialový je **ametyst**, žlutě zbarvený je **citrín** (příměs oxidů železitých), růžový je **růženín** (příměs oxidů manganu) hnědý je **záhněda**, černá neprůsvitná odrůda záhnědy je nazývána **morion** (zbarvení záhnědy a morionu je způsobeno přemístěním iontů křemíku ze svých pozic ve struktuře krystalu při radioaktivním ozáření). Dalšími odrůdami jsou lahvově zelený **prasem** (příměs hojných jemných jehliček aktinolitu), kusový modrozelený **křemen safírový** (příměs jehlic vláknitého modrého amfibolu-krokydolitu), červeně, hnědě nebo žlutě zbarvený je **železitý křemen**; **mléčný křemen** (bez příměsí), **rohovec**

(směs křemene a chalcedonu), tmavý až černý **pazourek**. **Podle zbarvení rozlišujeme šedozelené kočičí oko, modrošedé sokolí oko a tygří oko** (žlutá vlákna zvětralého krokydolitu); **aventurin** (příměsí slíd a hematitu ve formě šupinek). (Bouška a Kouřimský 1983, Kouřimský 2003, Ďuďa a Rejl 2001)

4.4 Opál ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

Opál je amorfní, z chemického hlediska se jedná o vodnatý oxid křemičitý. Vznik je hydrotermální ve vulkanických horninách a tufitech, dále v různých typech sedimentárních hornin, ve zbytcích organismů a v horských pramenech, vzácně na hydrotermálních žilách; sekundární ve zvětrávací zóně různých typů hornin. Často je doprovázen chalcedonem. Opál je méně rozšířený než křemen a kryptokrystalické odrůdy oxidu křemičitého. Vždy tvoří amorfni kulovité útvary, seskupené hroznovitě, krápníkovitě a ledvinitě. Vryp je bílý až bezbarvý. Lesk je voskový, mastný až perleťový. Tvrdost opálu se pohybuje v rozmezí 5,5-6,5. Hustota kolísá mezi 1,9-2,3 gcm^{-3} . Drahý opál opalizuje v různých barvách, většinou červeně, zeleně a modře. Nejkrásnější barvoměnu mezi kameny způsobuje rozklad a lom světla na jemných, pravidelně uspořádaných kuličkách amorfniho oxidu křemičitého (dokázáno elektronovým mikroskopem). Umocňují ji rozptýlené cizorodé částice a dutinky vyplněné vodou. Tuto optickou vlastnost je možno vhodným opracováním suroviny ještě zvýraznit. Mezi variety opálu patří bezbarvý **hyalit** neboli **opál skelný**, který je nejčistší odrůdou. Bílý **mléčný opál** je směs opálu a krystalických agregátů oxidu křemičitého. Nejdokonalejší barvoměnou vyniká **drahý opál**. Nejkrásnější opálovou odrůdou je průhledný žlutočervený **ohnivý opál**. Nejdražší opál je tzv. **černý opál**, tmavá odrůda drahého opálu s intenzivní barvoměnou. Mineralogicky velmi zajímavým je **hydrofán**, drahý opál, který na vzduchu ztrácí vodu a tím i barvoměnu. Ponořením do vody se barvoměna obnoví. **Jaspoopály** jsou sytě a pestře zbarvené směsi opálu s chalcedonem, s mikrokrystalickým křemenem a s nerostnými barvivy. **Prasopál** je zeleně zbarvený vodnatými křemičitany

nikelnatými. **Kašolong** je křídově zabarvená směs opálu s chalcedonem. **Dřevitý opál** vznikl proniknutím opálové hmoty do dřeva a přitom si zachoval strukturu dřeva. Opál, usazovaný z vřídelních horských pramenů se nazývá **geysirit**. (Kouřimský 2003, Duďa a Rejl 2001)

4.5 Hematit (Fe_2O_3)

Hematit je oxid železitý, který krystalizuje v klencové krystalické soustavě. Tvrdost podle Mohse je 6,5. Hustota dosahuje hodnot mezi 5,2-5,3 gcm^{-3} . Hematit se vyskytuje v přírodě v různých podobách i barvu mívá různou. Charakteristická však zůstává barva vrypu, která je vždy červená. Hematit je odrůda krystalovaná a krystalická, zatímco **krevel** je kusová, zrnitá, vláknitá a zemitá. Dalšími varietami jsou: **železná slída** (lupenitý hematit, vyskytující se ve shlucích); jemně šupinkatý, vrstevnatý **železný svor** neboli **itabirit**; jemnozrný **okr**; usazováním na dně moří vznikl **oolitický hematit**. (Kouřimský 2003)

4.6 Kalcit (CaCO_3)

Kalcit krystalizuje v trigonální krystalové soustavě. Jeho hlavní složkou je uhličitán vápenatý neboli **vápenec**. Tvrdost podle Mohse je 3. Hustota se pohybuje mezi 2,6-2,8 g cm^{-3} . Vryp je obvykle bílý. Barva je proměnlivá od bezbarvé, bílé, hnědé po žlutou a modrou, zřídka tmavá. Lesk je skelný, na plochách štěpnosti perleťový. Krystalický metamorfovaný vápenec je žádaný **mramor**. Kalcit je po křemeni druhým nejrozšířenějším nerostem v zemské kůře a zároveň tvarově nejrozmanitějším nerostem vůbec. Krystalografové doposud popsali přes 500 různých krystalových tvarů kalcitu a přes 1500 jejich spojek. Kalcit krystalizuje nejčastěji v dokonale štěpných nízkých i vysokých klencích, seskupených zpravidla v úhledné drúzy. Známe však i krystaly sloupcovité (kalcit dělový), tenké až tlustě tabulkovité, skalenoedrické a vzácně i pyramidální. Nezřídka dvojčatně srůstají. Kalcit je snadno rozpustný, proto jej často nahrazují

jiné minerály, vznikají tak pseudomorfózy po kalcitu. Nejčastěji jsou to pseudomorfózy křemenné, chalcedonové, limonitové, sádrovcové aj. Sám kalcit nahrazuje hmotu jiných nerostů a vytváří pseudomorfózy po aragonitu, barytu, fluoritu, sádrovci a anhydritu. Čistý kalcit je bezbarvý nebo bílý, ale vlivem přírodních podmínek bývá různě zbarven. Barva závisí především na přítomnosti různých vrostlic a izomorfních příměsí. Např. růžové kalcity mají zvýšený obsah manganu, purpurově fialové kalcity obsah kobaltu. Mnohé kalcity intenzivně luminiskují v ultrafialovém světle. Mnohem více než krystalové kalcity se v přírodě uplatňují kusové odrůdy, vytvářející celé horninové masy, složené z vápence hrubozrnného, jemnozrnného až celistvého, vzácněji ze stébelnatých i vláknitých agregátů, oolitů a konkréci. (Bernard a kol. 1981)

5 Mineralogické studium achátů

Pro mineralogické studium jsem vybrala dva vzorky achátu, které jsem našla v zájmové lokalitě Kracíkův lom u Doubravice.

Příprava vzorku před měřením

1. Řez a výbrus

Řez a výbrus studovaných geod achátů byl proveden na Vysoké škole báňské v Ostravě.

2. Skenování

Skenování do digitální podoby ve vysokém rozlišení (2964x2956 pixelů). Skenování řezů achátů se ukázalo jako efektivní metoda, při které nedochází k takovému zkreslení ploch jako při fotografování vzorku digitálním fotoaparátem. Následné označení měřených míst proběhlo v grafickém programu GIMP2.

6 Měření Ramanovými spektrometry

Podstatou Ramanovy spektroskopie je Ramanův jev, kdy laserový paprsek interaguje se zkoumanou látkou a přitom dochází k neelastickému rozptylu laserového paprsku. U rozptýleného záření pak dochází k posunu vlnové délky vzhledem k excitačnímu záření vysílanému Ramanovým spektrometrem. Protože každá látka vykazuje charakteristický posun vlnové délky, lze tuto spektroskopickou metodu použít mj. k detekci chemického složení a identifikaci minerálu ve zkoumaném vzorku.

Jak jsem již v úvodu zmínila, měření Ramanovými spektrometry je nedestruktivní, tudíž nebylo potřeba složité přípravy vzorků. Nejdříve bylo nutné kalibrovat přístroj změřením standardu o předem definovaném vlnočtu–pro tento případ silikonu. Vlastní měření se provádí tak, že se hlavice přístroje namíří přímo na vzorek achátu a spustí laserový paprsek do předem určeného bodu. Přesnost měření závisí na počtu akumulací. Čím více akumulací, tím lepší výsledek.

Měření Ramanovým spektrometrem

Vlastní měření byla prováděna pomocí dvou různých Ramanových spektrometrů, a to na univerzitních pracovištích v Praze a v Brně.

Použité přístroje:

Laboratorní přístroj: Ranishaw InVia Raman Microscope

Laboratorní přístroj: HORIBA LabRAM HR Evolution Raman Spectrometer

Při měření bylo nutné si zvolit tyto atributy:

- 1) Nastavení integračního času
- 2) Nastavení výkonu laseru
- 3) Zvolení počtu akumulací (opakovaných záznamů)

Měřila jsem pouze jeden vzorek achátu na dvou místech s dvěma různými přístroji, pracujícími na stejném principu.

Výsledkem měření je graf, zobrazující křivku intenzity Ramanových spekter. Křivka se vykresluje směrem zprava doleva, přičemž pro identifikaci minerálu je podstatná zejména osa x, přesněji řečeno vlnočet jednotlivých peaků a jejich šířka ve výsledné křivce. Obecně platí, že čím více je minerál krystalický, tím užší a ostřejší jsou jednotlivé pásy (peaky). Naproti tomu amorfnní látky (např. opál) tvoří široké a zaoblené pásy.

V případě mého výzkumu jsem zkoumala, z jakých minerálů jsou složeny jednotlivé vrstvy achátu. Provedeno bylo celkem 21 měření. Naměřená Ramanova spektra z vybraných částí vzorku byla exportována do opticko – spektroskopických programů Wire, Spekwin32 (UK Praha), nebo LabSpec6 – Horiba Scientific (ÚGV Brno) a odtud upravena v grafickém programu GIMP2 a Malování.

Minerální složení vrstev achátu jsem určila pomocí porovnání naměřených hodnot spekter s databází již uložených spekter v softwaru.

Podle naměřené intenzity Ramanových spekter jsem pásy (peaky) označila zkratkami:

w (weak)= slabá intenzita pásu

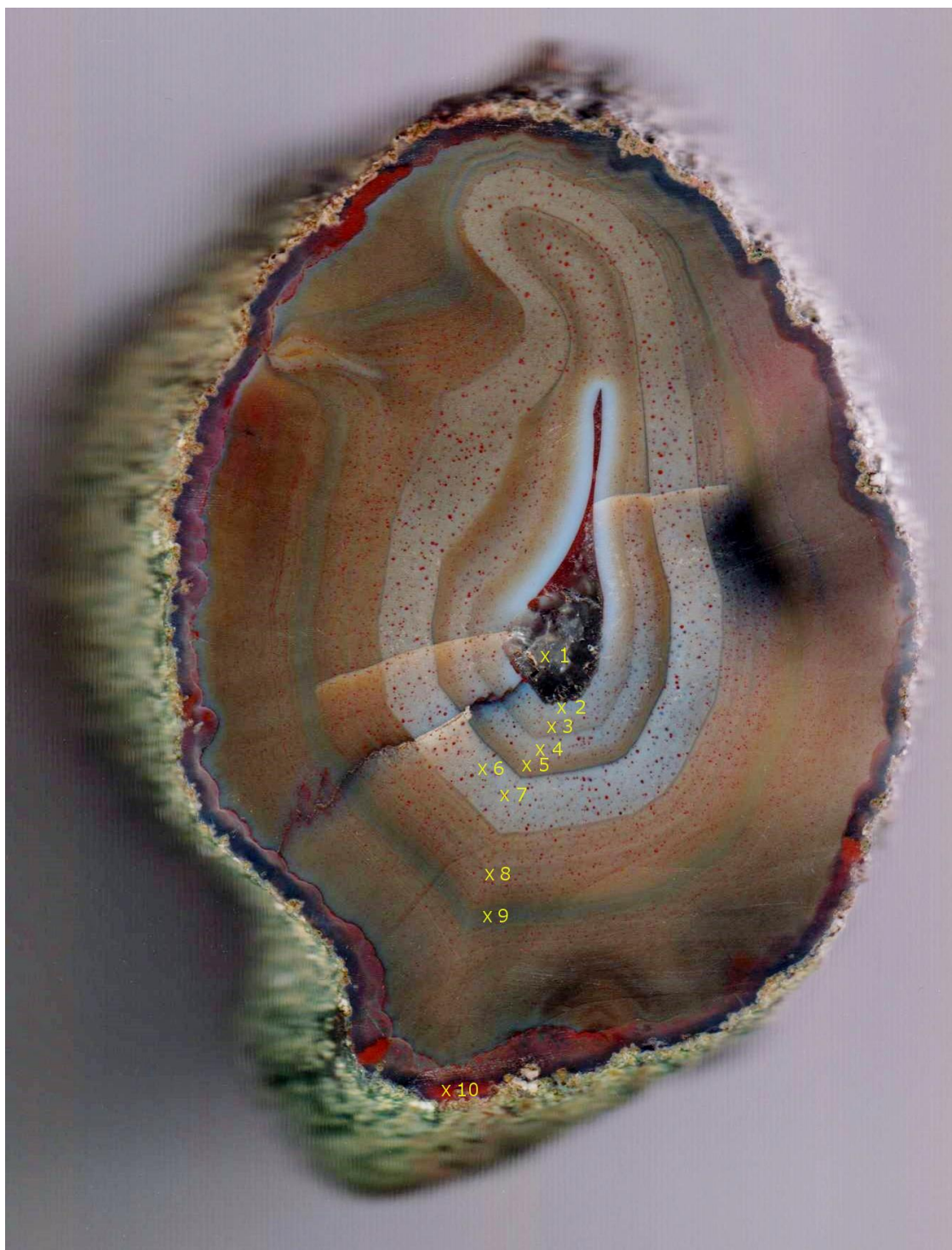
m (medium) = střední intenzita pásu

s (strong) = silná intenzita pásu

sh (shoulder) = pás, tvořící rameno

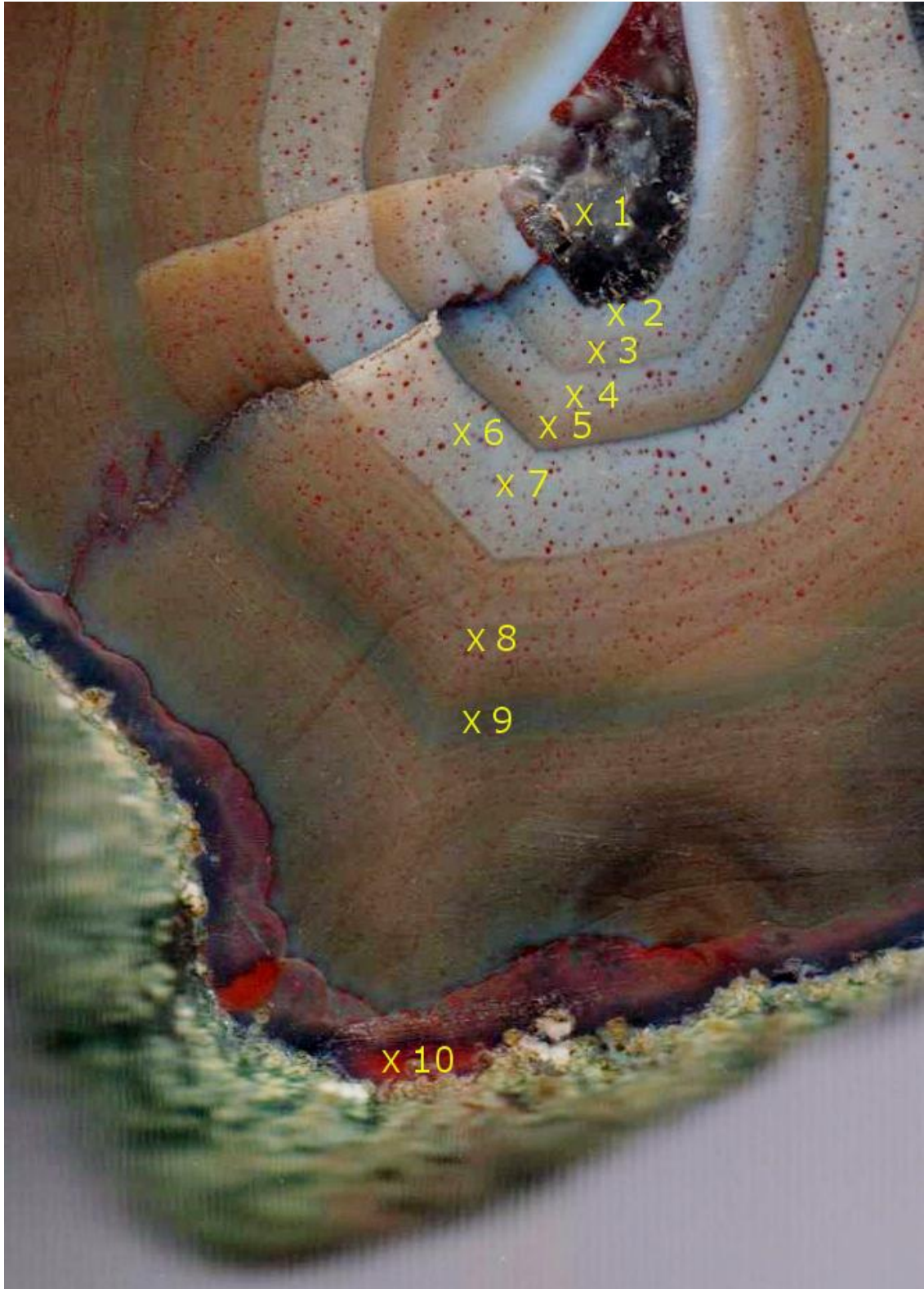
6.1 Měření 1 na PřF UK

Velikost měřeného vzorku 7x5,5x4cm.



Obrázek 9: Měření 1 - body měření⁵

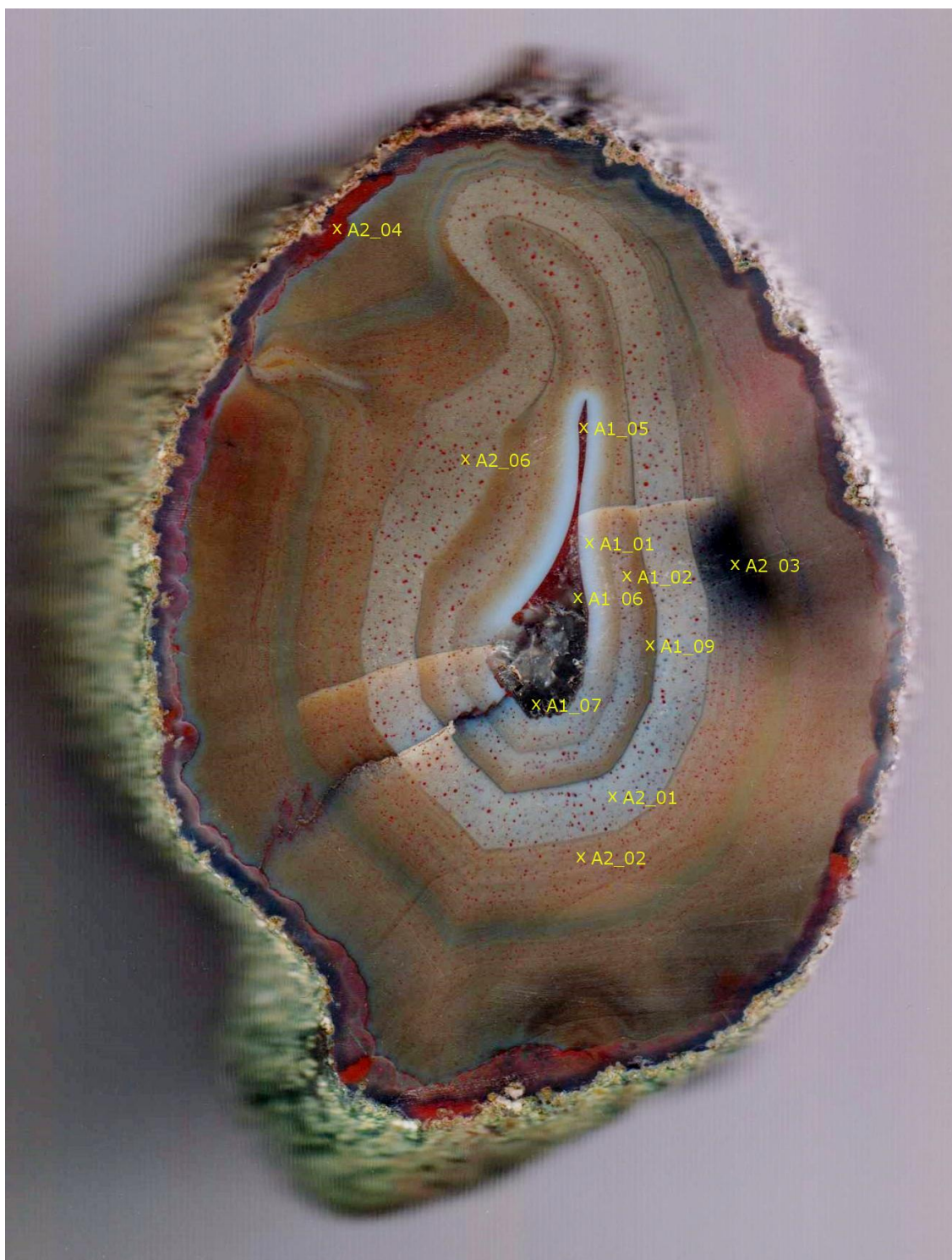
⁵ Rozlišení 1515x1752 pixelů.



Obrázek 10: Měření 1 – body měření - detail⁶

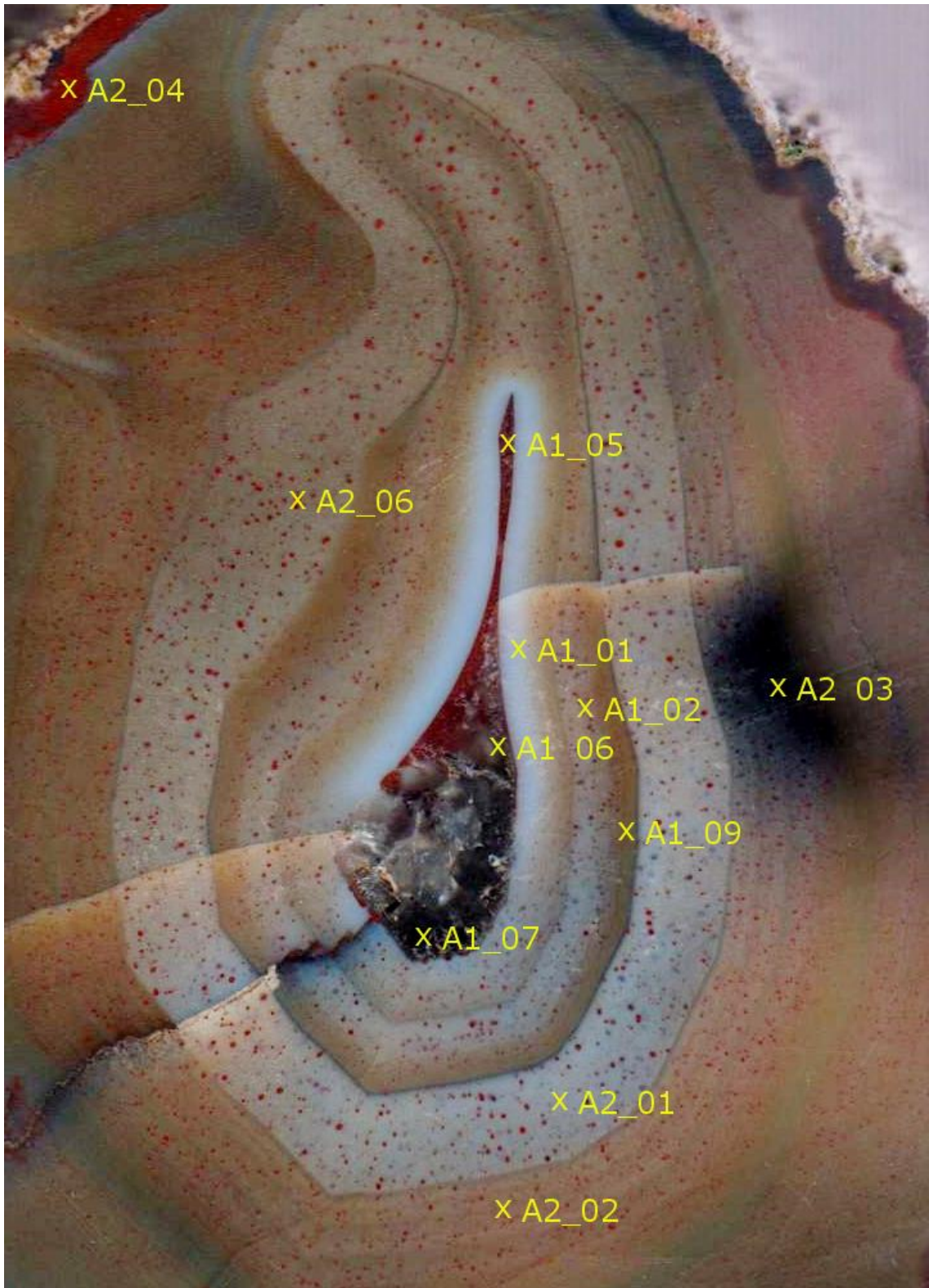
⁶ Rozlišení 1031x929 pixelů.

6.2 Měření 2 na ÚGV MUNI



Obrázek 11: Měření 2 - body měření⁷

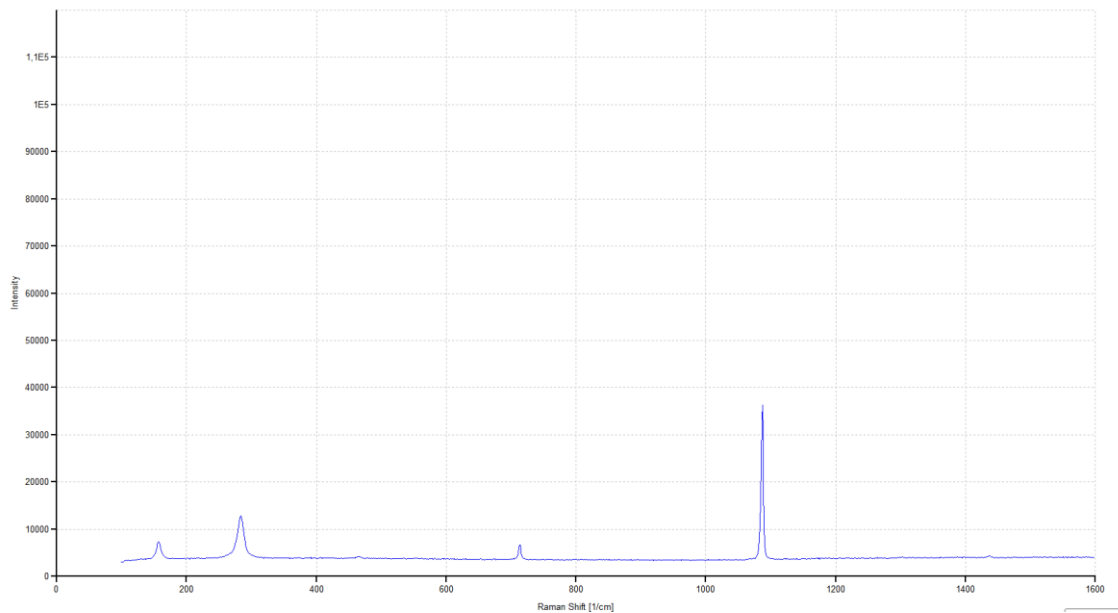
⁷ Rozlišení 1534x1864 pixelů.



Obrázek 12: Měření 2 - body měření - detail⁸

⁸ Rozlišení 720x1002 pixelů.

6.3 Spektra z PŘF UK

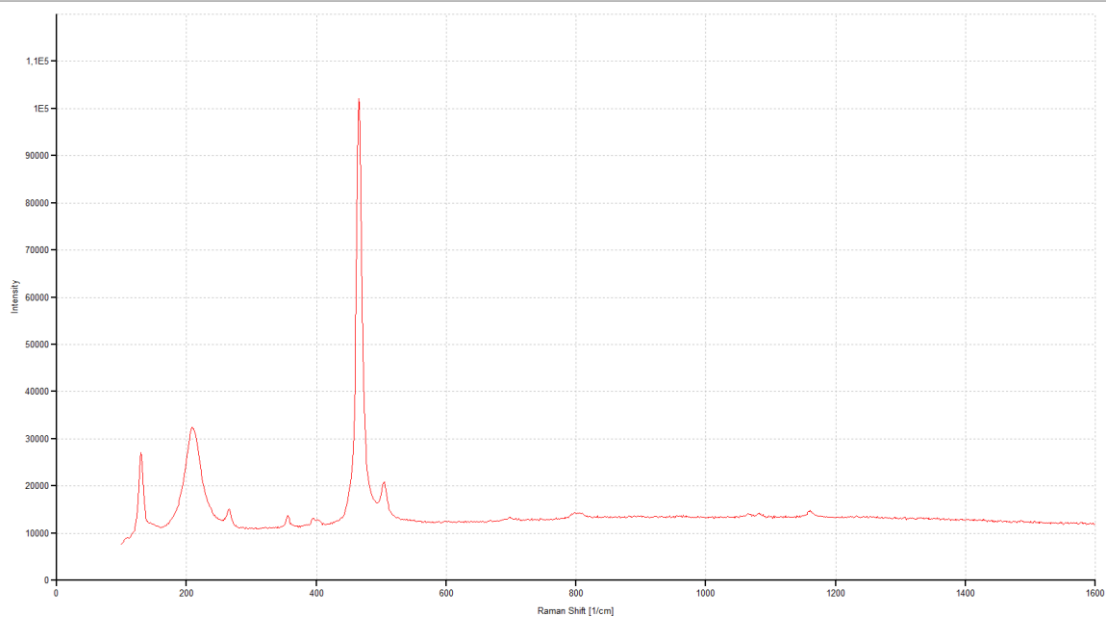


Graf 1: Ramanovo spektrum kalcitu⁹

Tabulka 1: Vlnočty vzorku kalcitu

Kalcit	
Laboratorní přístroj Renishaw Invia (785nm)	Hodnoty v databázi RRUFF R040070
156 w	145
284 m	280
713 w	711
1086 s	1087

⁹ 785nm; bmč. 1



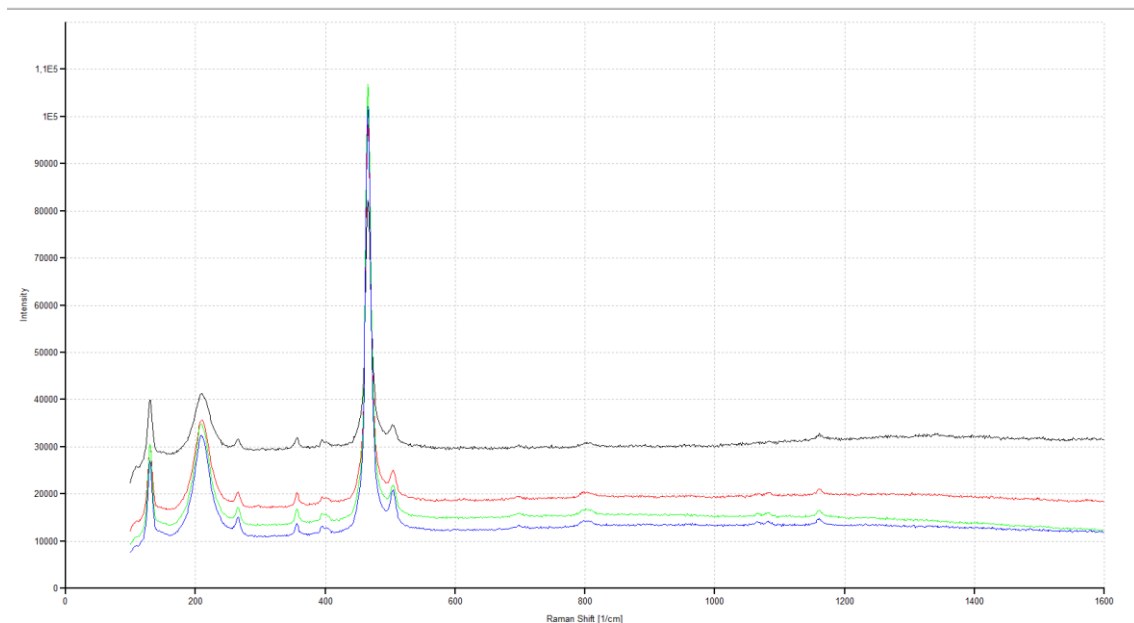
Graf 2: Ramanovo spektrum křemene¹⁰

Tabulka 2: Vlnočty vzorku křemene

Křemen	
Laboratorní přístroj	Hodnoty v databázi
Renishaw Invia	RRUFF
(785nm)	R040031
130 m	128
209 m	200
264 w	261
357 w	357
397 sh	398

¹⁰ 785nm; bmč. 5

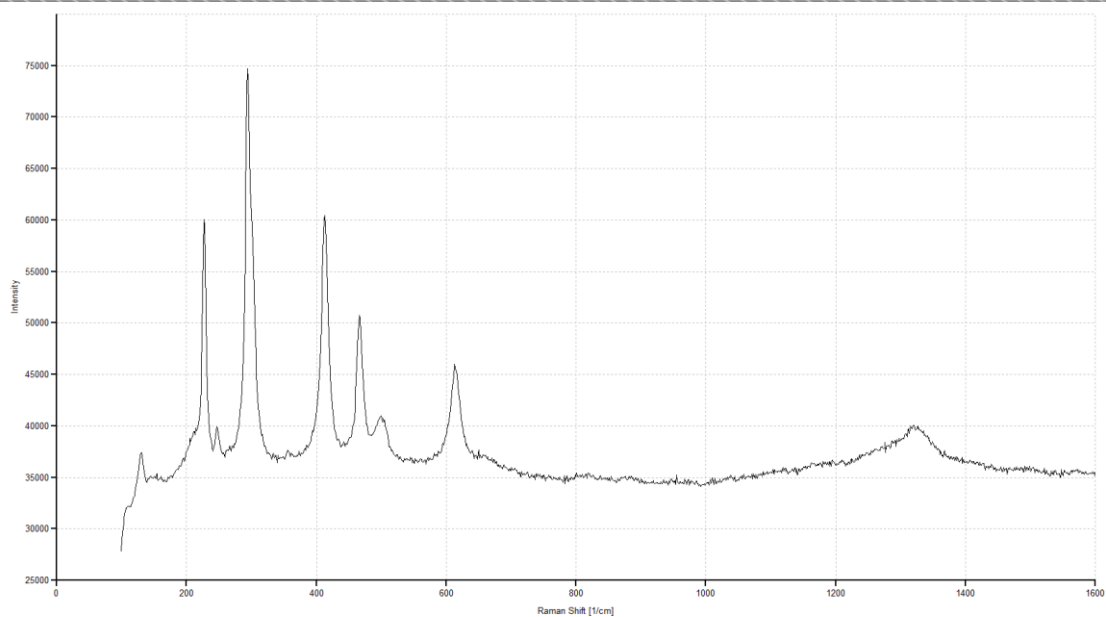
466 s	466
505 w	508
800 w	802
1159 w	1164



Graf 3: Ramanova spektra křemene¹¹

Můžeme si všimnout, že všechny křivky dosahují stejných vlnočtů. Hlavní peak dosahuje hodnot 466nm. V úvahu se berou taktéž vedlejší peaky, které jsou typické pro krystalický SiO₂, tedy křemen.

¹¹ 785 nm; bmč. 2,3,4,5



Graf 4: Ramanovo spektrum hematitu¹²

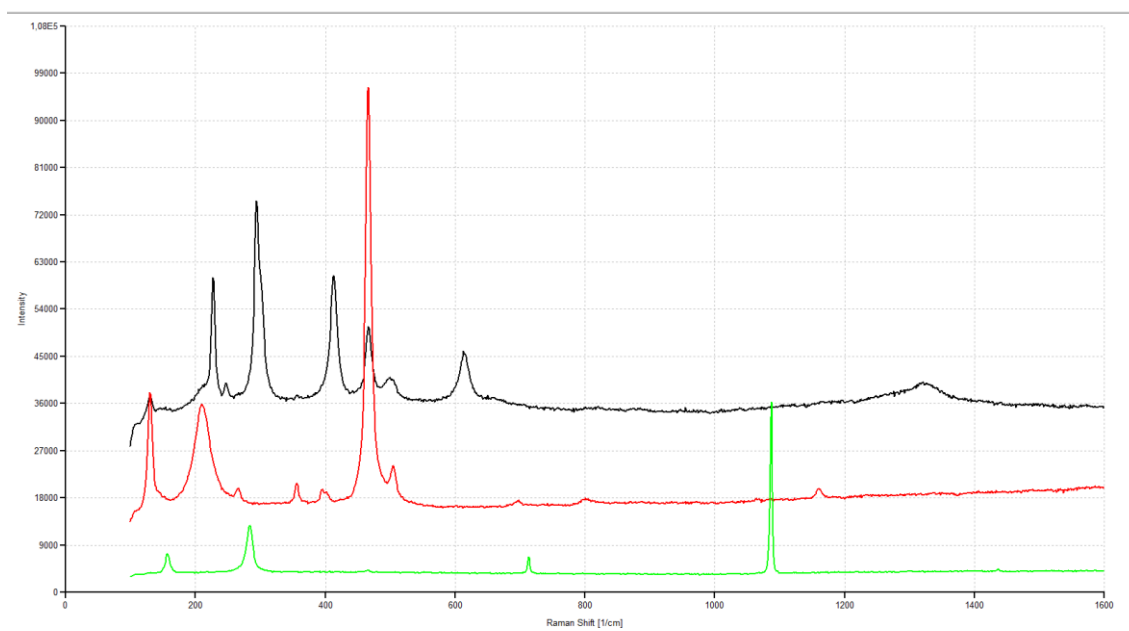
Hodnota nejvyššího vlnočtu je $294,894 \text{ cm}^{-1}$. Graf zobrazuje charakteristické vlnočty pro Fe_2O_3 , čili hematit.

Tabulka 3: Vlnočty vzorku hematitu

hematit	
Laboratorní přístroj Renishaw Invia (785nm)	Hodnoty v databázi RRUFF R060190
129w	130
227 s	227
245w	246

¹² 785nm; bmč. 7

294s	294
412s	412
466m	-----
498sh	497
614 m	614
1322 sh	-----



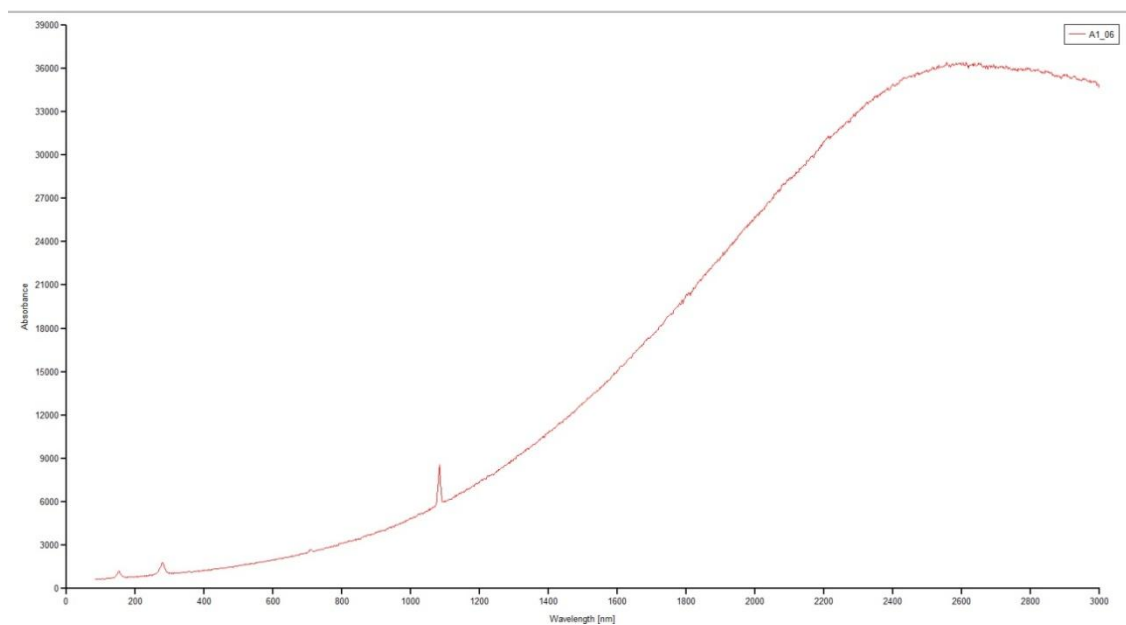
Graf 5: Ramanovo spektrum hematitu, křemene a kalcitu¹³

Zde pozorujeme diferenciaci jednotlivých spekter.

¹³ 785nm; bmč. 7,10,1

6.4 Spektra z ÚGV PŘF MUNI

Spektra byla vyhodnocena za použití softwaru LabSpec6–Horiba Scientific, Spekwinn32 a GIMP 2.

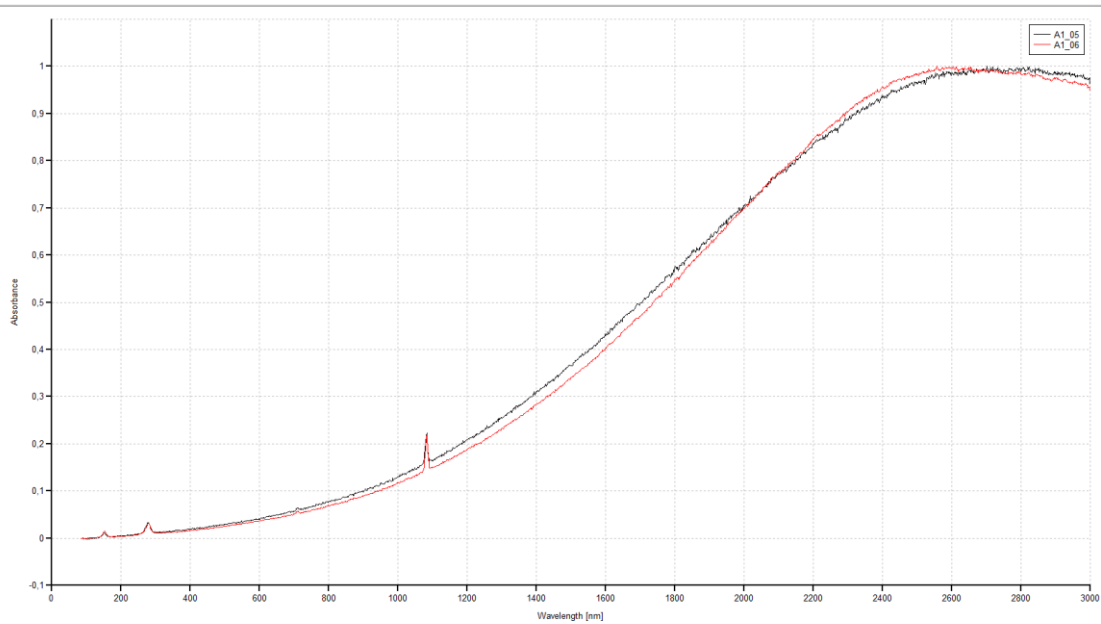


Graf 6: Ramanovo spektrum kalcitu¹⁴

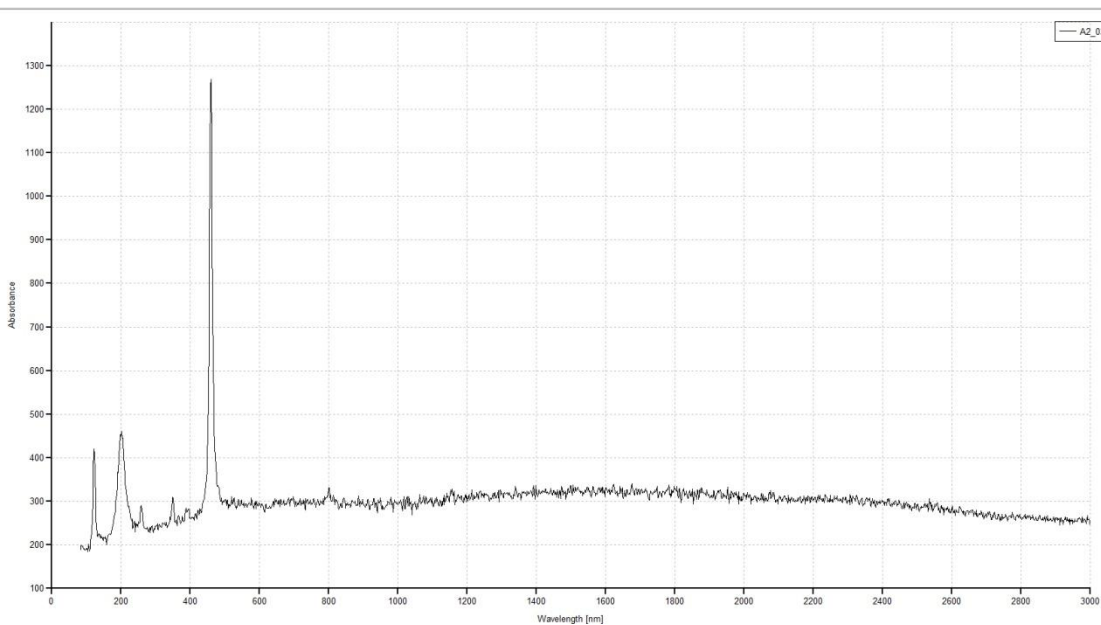
¹⁴ 532nm; bmč. A1_06

Tabulka 4: Vlnočty vzorku kalcitu

Kalcit	
Laboratorní přístroj HORIBA LabRam HR Evolution Raman Microspectrometer (532 nm)	Hodnoty v databázi RRUFF R040070
155 w	145
278 w	280
707 w	711
1082 s	1087
2600 sh	3000?



Graf 7: Ramanovo spektrum kalcitu¹⁵



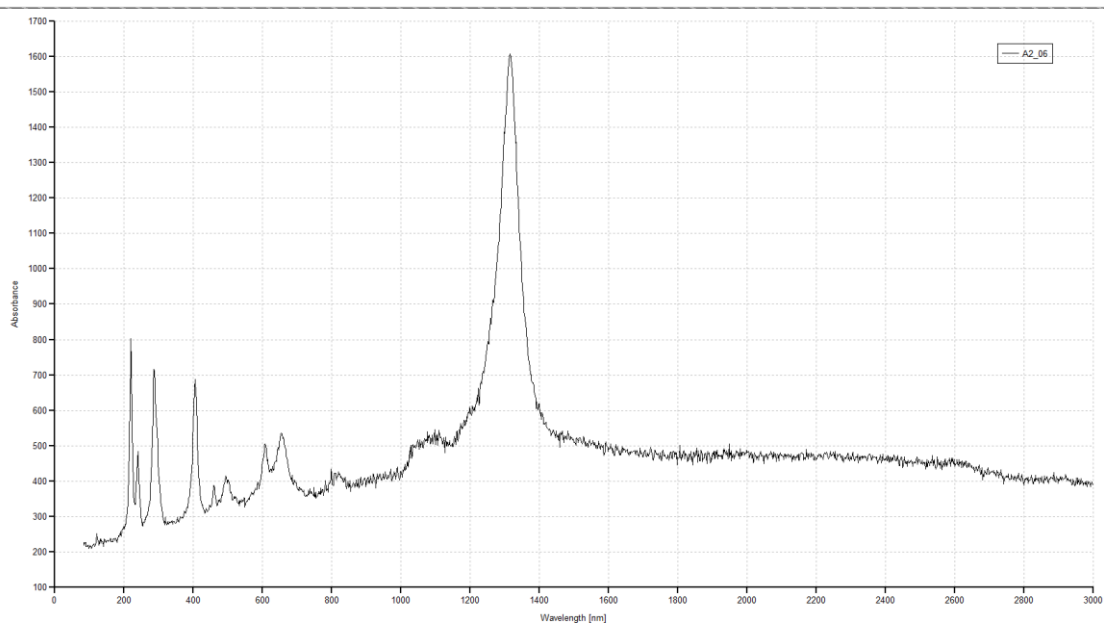
Graf 8: Ramanovo spektrum křemene¹⁶

¹⁵ 532nm; bmč. A1_05, A1_06

¹⁶ 532nm; bmč. A2_03

Tabulka 5: Vlnočty vzorku křemene

Křemen	
Laboratorní přístroj HORIBA LabRam HR Evolution Raman Microspectrometer (532 nm)	Hodnoty v databázi RRUFF R040031
121 m	119
200 m	200
257 w	263
349 w	350
392 sh	394
462 s	460
800 w	810



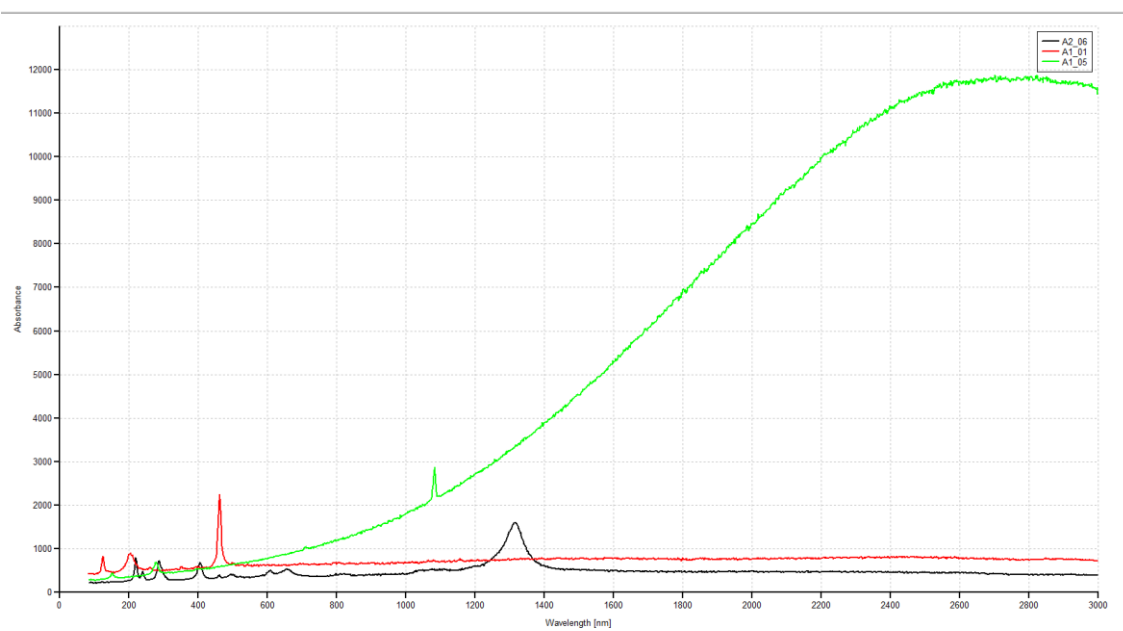
Graf 9: Ramanovo spektrum hematitu¹⁷

Tabulka 6: Vlnočty vzorku hematitu

hematit	
Laboratorní přístroj HORIBA LabRam HR Evolution Raman Microspectrometer (532 nm)	Hodnoty v databázi RRUFF R060190
221 m	218
243 w	260
288 m	302
404 m	403

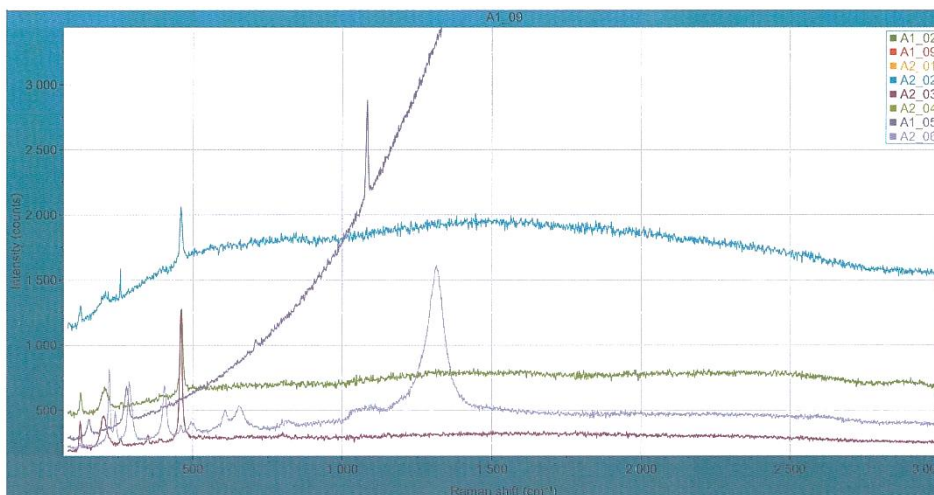
¹⁷ 532nm; bmč. A2_06

494 w	490
503 w	500
536 w	542
807 sh	850
1074 sh	1100
1313 s	1300



Graf 10: Ramanovo spektrum hematitu, křemene a kalcitu¹⁸

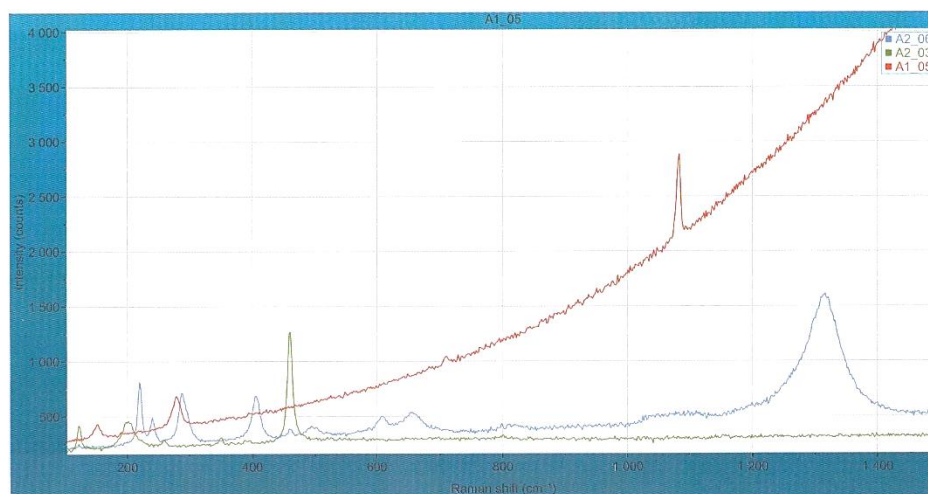
¹⁸ 532nm; bmč. A1_07, A1_01, A1_05



Title	A1	Date	27.02.2015 13:40
Instrument	LabRAM HR Evol	Expo	5
Accum	2	Laser	532
Spectro		Hole	499.984
Slit	100.021	Detector	Sincerity



Graf 11: Spektrum kalcitu, křemene a hematite 1¹⁹



Title	A1	Date	27.02.2015 12:37
Instrument	LabRAM HR Evol	Expo	5
Accum	2	Laser	532
Spectro		Hole	499.984
Slit	100.021	Detector	Sincerity



Graf 12: Spektrum kalcitu, křemene a hematite 2²⁰

¹⁹bmč. A1_05 - kalcit; A2_02, A2_03, A1_02 - křemen; A2_06 - hematit

²⁰bmč. A1_05 - kalcit; A2_03 - křemen; A2_06 – hematit

7 Výsledky měření

Tabulka 7: Výsledky měření 1

Ramanova spektra z PŘF UK		
Bod měření číslo	Chemický vzorec	Minerál
1	CaCO ₃	kalcit
2	SiO ₂	křemen
3	SiO ₂	křemen
4	SiO ₂	křemen
5	SiO ₂	křemen
6	SiO ₂	křemen
7	Fe ₂ O ₃	hematit
8	SiO ₂	křemen
9	SiO ₂	křemen
10	SiO ₂	křemen

Tabulka 8: Výsledky měření 2

Ramanova spektra z PŘF MUNI		
Bod měření číslo	Chemický vzorec	Minerál
A1_01	SiO ₂	Křemen
A1_02	SiO ₂	Křemen
A1_05	CaCO ₃	Kalcit
A1_06	CaCO ₃	Kalcit
A1_07	CaCO ₃	Kalcit
A1_09	SiO ₂	Křemen
A2_01	SiO ₂	Křemen
A2_02	SiO ₂	Křemen
A2_03	SiO ₂	Křemen
A2_04	SiO ₂	Křemen
A2_06	Fe ₂ O ₃	hematit

Provedeno bylo celkem 21 měření.

Na první pohled by se mohlo zdát, že je achát tvořen pouze krystalickým SiO₂, tedy křemenem. Pomocí Ramanovy spektroskopie se mi podařilo dokázat, že je tvořen i dalšími minerály. Identifikován byl Fe₂O₃ v podobě hematitových zrn a ve středu vzorku CaCO₃ ve formě vykrystalizovaného kalcitu. Amorfni opál se ve zkoumaném vzorku nevyskytoval.

Na základě získaných výsledků se pokusím vytvořit genezi vzniku achátů v Kracíkově lomu u Doubravice.

8 Diskuze



Obrázek 13: Geoda achátu²¹

Vyslovit hypotézu vzniku achátů na lokalitě Kracíkův lom u Doubravice není jednoduché. Předně je nutné zdůraznit, že každý exemplář achátu je zcela unikátní, má různou velikost, tvar, zvrstvení i zbarvení. Za další, acháty i na jedné lokalitě mohly klidně vznikat naprosto různými způsoby (autometamorfně, hydrotermálně) a v různých fázích tuhnutí magmatu. Z těchto důvodů nelze na základě znalosti krystalizace jednoho nalezeného kusu automaticky uplatňovat teorii i na ostatní exempláře. Bližším prozkoumáním obou mých studovaných geod však lze s jistými ohledy aplikovat zjištěné údaje na oba vzorky.

²¹ Vzorek č.2.

V zájmové lokalitě Kracíkův lom došlo vlivem sopečné činnosti k efuzi pravděpodobně tří lávových proudů (Ziegler 1977). Z lávy se po utužení vytvořily melafyry, náležející převážně mezi bazické až intermediální vulkanity. (IZ 2, online 12.3. 2016) Petrograficky se řadí k olivinickým bazaltům až bazaltandezitům s přechodem k bazaltům, které Schováňková in Chlupáč a kol. (2002) označuje jako andezitoidy. Podle petrografického zařazení zdejších melafyrů usuzují, že původní magma bylo bazické povahy. Obsah SiO_2 v bazické lávě se uvádí mezi 44–52%. (IZ 3, online 12. 3. 2016)

Magma obsahuje i lehké těkavé složky včetně vody, která se mění na vodní páru a je hlavní složkou sopečných plynů. Díky obsahu sopečných plynů vznikají v lávových proudech dutiny nepravidelného tvaru. Acháty s typickou koncentrickou stavbou vznikají v dutinách až ve ztuhlé magmatické hornině, možná již během několika hodin po efuzi a ztuhnutí lávového proudu. (Mlčoch a kol. 2010) uvádějí teplotu hydrotermálních roztoků, ze kterých acháty vznikají, kolem 350 °C. Dále uvádí, že některé acháty mohou vznikat i za podstatně nižších teplot (kolem 50 °C) za účasti srážkové vody, a to i desítky miliónů let po vytvoření dutin v magmatitech (Mlčoch a kol. 2010).

V případě zkoumaných achátů je více než pravděpodobný vícefázový vznik, což vyplývá z mnou ověřených poznatků bližšího prozkoumání vzorků. Oba zkoumané acháty mají z mineralogického hlediska podobnou stavbu, a tudíž je velmi pravděpodobný obdobný způsob vzniku. Zde uvádím popis geneze většího, kresbou zajímavějšího exempláře.

V první fázi se nejprve v melafyru vytvořila dutina nepravidelného tvaru, komunikující s okolím minimálně dvěma otvory. Otvorů mohlo být na okraji dutiny i více, ale nebyly zachycené v rovině řezu geodou.

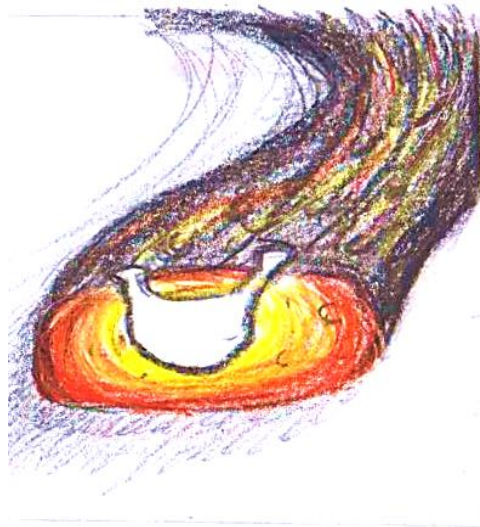
Po utužení lávového proudu do dutiny mohly těmito otvory, sloužícími jako

přívodní kanálky, sekundárně přitékat hydrotermální roztoky bohaté na SiO_2 .

Následná krystalizace minerálů z chladnoucích křemičitých roztoků probíhala směrem od okrajů do středu dutiny. Na stěnách dutiny se z hydrotermálního roztoku nejprve vysrážely vrstvy SiO_2 s vyšším obsahem Fe, které jednotlivé vrstvy charakteristicky zbarvuje. Zdrojem vyššího obsahu Fe v geodě achátu byla okolní vulkanická hornina, v níž se migrující hydrotermální roztoky o Fe obohatily. Na řezu lze pozorovat, že jednotlivé vrstvy začaly krystalovat v okolí několika krystalizačních jader, díky tomu achát od počátku získal svůj krajkový charakter.



Obrázek 14: Erupce a efuze magmatu

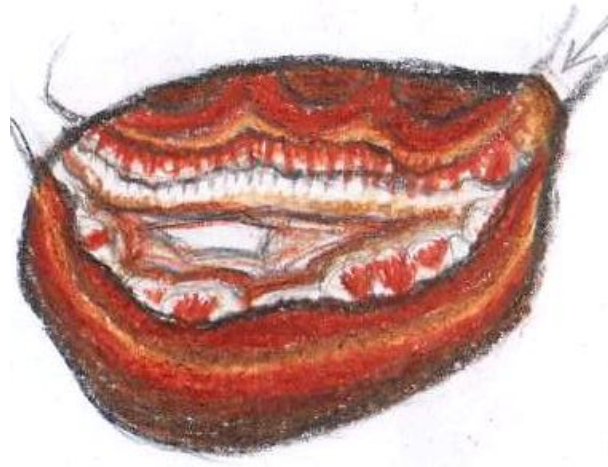


Obrázek 15: Vytvoření dutiny v lávovém proudu



Obrázek 16: Utuhnutí dutiny

Zároveň jsou na nejstarších vrstvách patrné četné, hnědočerveně zbarvené sférolitické agregáty pseudomorfóz hematitu, které jsou pro acháty z Kracíkova lomu charakteristické. Ve spodní části geody lze pozorovat gravitační páskování dokonale kopírující tvar dutiny, způsobené poklesem částic na dno dutiny vlivem gravitačních sil. V horní části je naproti tomu patrné adhezivní páskování jednotlivých vrstviček. Vlivem rozdílného obsahu oxidů železa v hydrotermálních roztocích pronikajících do melafyrové dutiny došlo k vytvoření odlišně zbarvených vrstev od tmavohnědé, přes okrovou až po oranžově hnědou.

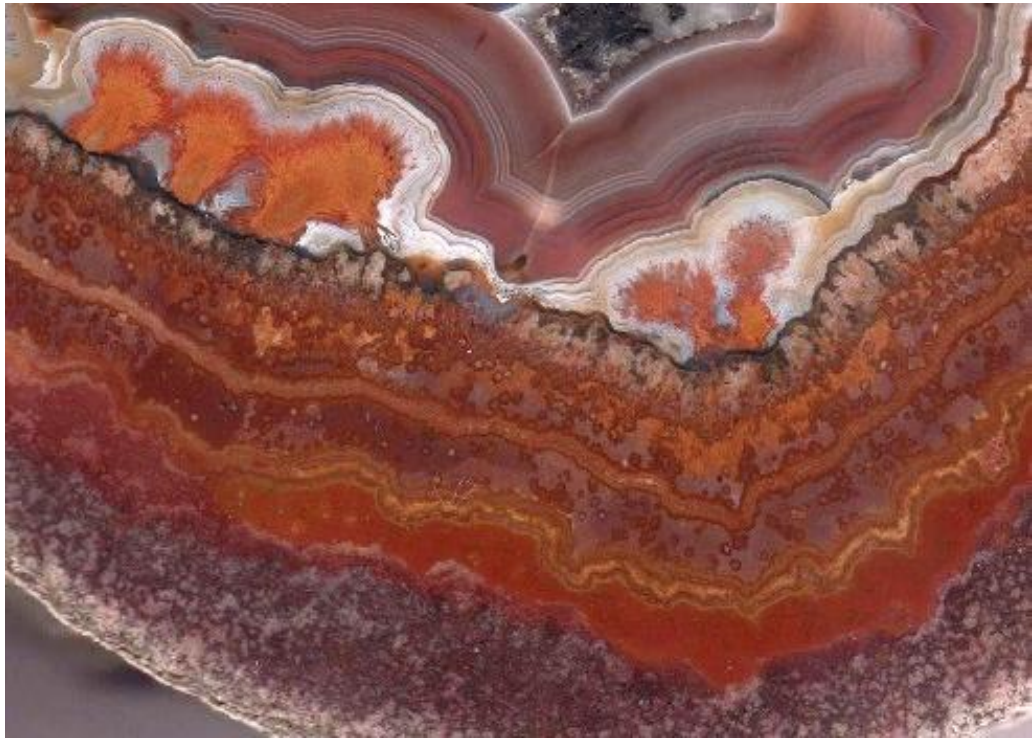


Obrázek 17: Krystalizace achátu v dutině melafyru



Obrázek 18: Závěrečná fáze krystalizace

V další fázi, poté došlo k poklesu teploty, mohl v dutině vykristalizovat z roztoku SiO_2 nízkoteplotní křemen či kryptokrystalický chalcedon (tyto minerály nelze Ramanovou spektroskopií odlišit). V horní části geody je také patrné, že následně docházelo k pseudomorfnímu zatlačování chalcedonu hematitem.



Obrázek 19: Detail pseudomorfózy hematitu po chalcedonu

V závěrečné fázi mineralizace proběhla krystalizace v centrální části geody. Mikro dutinu vyplnil sukcesně nejmladší nerost - kalcit (CaCO_3). Ten byl u větší geody doložen orientační zkouškou pomocí reakce s miniaturní kapkou HCl. Kalcit byl prokázán i uprostřed druhé zkoumané geody Ramanovou spektroskopií.



Obrázek 20: Sukcesně nejmladší kalcit vyplňující centrální dutinu achátu

Závěr

V předložené práci SOČ jsou shrnuty výsledky mineralogického studia achátu Ramanovou spektroskopií. Jedná se o nedestruktivní metodu mineralogického studia, pomocí níž lze prokázat minerální složení jednotlivých vrstev achátu. Vzhledem k tomu, že dosud pravděpodobně nikdo v ČR acháty touto metodou nezkoumal či prokazatelně práci na podobné téma nepublikoval, je moje SOČ svým způsobem unikátní a přínosná pro obor mineralogie.

Studované vzorky achátu pocházely z Kracíkova lomu u Doubravice, jenž v současnosti patří mezi nejvýznamnější mineralogické lokality v UNESCO Globálním geoparku Český ráj. Achátové geody se zde primárně nacházejí v dutinách permských melafyrů, odkud se mohou dostávat do sutě či dalších sekundárních nalezišť.

Z provedených analýz jednotlivých vrstev achátu vyplývá, že v jeho stavbě se v největší míře uplatňuje křemen (SiO_2). Dále byl prokázán hematit (Fe_2O_3), způsobující charakteristické zbarvení místních achátů, a v centrální části geody také kalcit (CaCO_3). Analýzy mj. prokázaly, že amorfni opál ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) se na stavbě studovaného achátu vůbec nepodílí.

V závěru práce jsem se na základě výsledků Ramanovy spektroskopie pokusila o popis geneze studovaných achátů v tělese melafyrů na studované lokalitě. V případě mnou zkoumaných achátů je více než pravděpodobný vícefázový vznik v hydrotermálním stádiu mineralizace mandlovcových dutin.

Seznam použité literatury

BERNARD, Jan Hus. Mineralogie Československa. Vyd. 2 Praha: Academia, 1981, 648 s.

BERNARD, Jan Hus a ROST, Rudolf. Encyklopedický přehled minerálů. Vyd. 1. Praha: Academia, 1992, 701 s. ISBN 80-200-0360-6.

BOUŠKA, Vladimír a KOUŘIMSKÝ, Jiří. Drahé kameny kolem nás: pomocná kniha pro doplňkovou četbu žáků k učebnicím mineralogie na školách 1. a 2. cyklu. 3., dopl. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983, 399 s. ISBN 014-651-83.

CHLUPÁČ, Ivo. Geologická minulost České republiky. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.

ĎUĎA, Rudolf a REJL, Luboš. Drahé kameny kolem nás. Vyd.1. Praha: Aventinum, 2001, 407 s. ISBN 80-715-1116-1.

KOUŘIMSKÝ, Jiří. Minerály. Vyd. 1. Praha: Aventinum, 2003, 256 s. ISBN 80-715-1213-3.

KOUŘIMSKÝ, Jiří. Užité nerosty a horniny. Vyd. 1. Praha: Aventinum, 1999, 248 s. ISBN 80-715-1072-6.

MLČOCH, Lubomír a CÍLEK, Václav a PETRÁNEK, Jan. České a moravské acháty a jiné křemité hmoty. Vyd. 1. Praha: Granit, 2010, 191 s. ISBN 978-80-7296-075-0.

RYBÁŘ, Petr. Přírodou od Krkonoš po Vysočinu: regionální encyklopedie. Hradec Králové: Kruh, 1989, 392 s.

ZIEGLER, Václav. Geologické poměry chráněné krajinné oblasti Český ráj. Bohemia centralis, 1977, 6:7- 42.

Seznam použitých internetových zdrojů (IZ)

1. <http://www.stavokakosice.cz/>
2. <http://lokality.geology.cz/276>
3. http://images.slideplayer.cz/18/5691460/slides/slide_15.jpg
4. <http://lokality.geology.cz/d.pl?item=7&id=276&Okres=JC&vyb=1&text=Lokalit y%20v%20okresu>
5. http://mapy.geology.cz/geocr_25/
6. <http://rruff.info/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Laboratorní přístroj Renishaw InVia Raman Microscope	8
Obrázek 2: Laboratorní přístroj HORIBA LabRam HR Evolution Raman Microspectrometer	9
Obrázek 3: Vstupní brána do lomu.....	10
Obrázek 4: Činný kamenolom	11
Obrázek 5: Suť bazaltických hornin s amygdaloidními melafyry	11
Obrázek 6: geologické poměry zájmového území.....	12
Obrázek 7: Legenda ke geologické mapě 1:25 000	13
Obrázek 8: Spodní patro kamenolomu.....	15
Obrázek 9: Měření 1 - body měření	26
Obrázek 10: Měření 1 – body měření - detail.....	27
Obrázek 11: Měření 2 - body měření.....	28
Obrázek 12: Měření 2 - body měření - detail.....	29
Obrázek 13: Geoda achátu	44
Obrázek 14: Erupce a efuze magmatu.....	46
Obrázek 15: Vytvoření dutiny v lávovém proudu	47
Obrázek 16: Utuhnutí dutiny.....	47
Obrázek 17: Krystalizace achátu v dutině melafyru	48

Obrázek 18: Závěrečná fáze krystalizace	48
Obrázek 19: Detail pseudomorfózy hematitu po chalcedonu	49
Obrázek 20: Sukcesně nejmladší kalcit vyplňující centrální dutinu achátu	49

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlnočty vzorku kalcitu	30
Tabulka 2: Vlnočty vzorku křemene.....	31
Tabulka 3: Vlnočty vzorku hematitu.....	33
Tabulka 4: Vlnočty vzorku kalcitu	36
Tabulka 5: Vlnočty vzorku křemene.....	38
Tabulka 6: Vlnočty vzorku hematitu.....	39
Tabulka 7: Výsledky měření 1	42
Tabulka 8: Výsledky měření 2	43

Seznam grafů

Graf 1: Ramanovo spektrum kalcitu	30
Graf 2: Ramanovo spektrum křemene	31
Graf 3: Ramanova spektra křemene	32
Graf 4: Ramanovo spektrum hematitu	33
Graf 5: Ramanovo spektrum hematitu, křemene a kalcitu	34
Graf 6: Ramanovo spektrum kalcitu	35
Graf 7: Ramanovo spektrum kalcitu	37
Graf 8: Ramanovo spektrum křemene	37
Graf 9: Ramanovo spektrum hematitu	39
Graf 10: Ramanovo spektrum hematitu, křemene a kalcitu	40
Graf 11: Spektrum kalcitu, křemene a hematite 1	41
Graf 12: Spektrum kalcitu, křemene a hematite 2	41

Seznam zkratek

bmč = bod měření číslo

w (weak) = slabá intenzita pásu

m (medium) = střední intenzita pásu

s (strong) = silná intenzita pásu

sh (shoulder) = pás, tvořící rameno

nm = nanometr, jednotka vlnové délky

PřF UK = Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze

ÚGV MUNI = Ústav geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně