

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOLOGIE



Luminiscence kalcitu z krasových dutin v krystalických vápencích skupiny Branné

Bakalářská práce

Tomáš Machač

Environmentální geologie

prezenční studium

Vedoucí práce: RNDr. Kamil Kropáč, Ph.D.

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod odborným dohledem vedoucího práce a za použití citované literatury.

V Olomouci dne:

.....

Tomáš Machač

Poděkování

Rád bych poděkoval RNDr. Kamilu Kropáčovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, za podporu a inspiraci při zpracovávání dané problematiky. Mgr. Jaroslavu Kapustovi za jeho ochotu, čas a cenné rady při přípravě vzorků. Mgr. Ondřeji Koukalovi za pomoc a obětavost při gamaspektrometrické a XRF analýze. Dále bych rád poděkoval prof. Ing. Ondřeji Šráčkovi, Ph.D., M.Sc. za zapůjčení literatury a konzultace, RNDr. Josefu Večeřovi z ČGS za poskytnutí literatury a návrhy lokalit pro terénní výzkum. Poděkování patří také vedoucímu lomu v Bohdíkově Rostislavu Drongovi a závodnímu lomu na Smrčníku Ing. Pavlu Kurkovi, kteří mi umožnili vstup do činných lomu a také Ing. Janu Kotrisovi za přístup do archívu ve statním podniku DIAMO, Zlaté Hory.

Bibliografická identifikace

Jméno: Tomáš Machač

Název práce: Luminiscence kalcitu z krasových dutin v krystalických vápencích skupiny Branné

Typ práce: bakalářská

Studijní obor: environmentální geologie

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

Vedoucí práce: RNDr. Kamil Kropáč, Ph.D.

Rok obhajoby: 2023

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá luminiscencí hrubozrnných kalcitů v krystalických vápencích skupiny Branné. Cílem bylo zjistit příčinu luminiscence ve speleotémech v této oblasti. V rešeršní části byly shromážděny informace o geologii studovaného území, výskytech hrubozrnných krystalických agregátů kalcitu a možných zdrojích luminiscence. Speleotémy byly prozkoumány různými metodami, a to pomocí UV mikroskopie, gamaspektrometrie, XRF spektroskopie, Ramanovy spektroskopie a termické metody. Výzkum nepřinesl jednoznačné výsledky, ale s největší pravděpodobností luminiscenci u hrubozrnných kalcitů v této oblasti způsobují huminové látky, které jsou v majoritním postavení. Nelze však vyloučit i přítomnost UO_2^{2+} iontů, které mohou koexistovat spolu s organickými látkami obzvláště v severní části studovaného území.

Klíčová slova: huminové látky, kalcit, kras, luminiscence, skupina Branné, UO_2^{2+} ionty

Počet stran: 72

Jazyk: český

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Tomáš Machač

Title: The Luminescence of the Calcite Fillings in the Karst Cavities in the Marbles of the Branná Group

Type of thesis: bachelor

Field of study: environmental geology

Institution: Palacký University Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Supervisor: RNDr. Kamil Kropáč, Ph.D.

The year of presentation: 2022

Abstract: This bachelor thesis deals with the luminescence of coarse-grained calcites in crystalline limestones of the Branná Group. The aim was to determine the cause of luminescence in speleothems in this area. In the research part, information about the geology of the study area, occurrences of coarse-grained crystalline calcite aggregates and possible sources of luminescence were collected. The speleothems were examined by different methods namely UV microscopy, gamma spectrometry, XRF spectroscopy, Raman spectroscopy and thermal method. The research did not yield conclusive results, but most likely the luminescence in the coarse-grained calcites in this area is caused by humic substances, which are in the majority. However, the presence of UO_2^{2+} ions, which may coexist with organic matter especially in the northern part of the study area, cannot be excluded.

Keywords: humic substances, calcite, karst, luminescence, Branná group, UO_2^{2+} ions

Number of pages: 72

Language: Czech

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Vymezení a geografická poloha zájmového území	8
3. Stručná geologická charakteristika	9
3.1 Staroměstská skupina.....	11
3.2 Velkovrbenská skupina.....	11
3.3 Keprnický příkrov	12
3.4 Žulovský pluton.....	15
4. Krystalické vápence skupiny Branné	16
5. Kras v krystalických vápencích skupiny Branné	19
5.1 Obecná charakteristika krasu.....	19
5.2 Kras skupiny Branné.....	21
6. Vznik speleotémových struktur a krystalizace kalcitu	22
7. Luminiscence	25
7.1 Principy luminiscence minerálu	25
7.2 Luminiscence kalcitu	26
8. Studované lokality.....	28
8.1 Bohdíkov	28
8.2 Branná	30
8.3 Lipová-lázně.....	30
8.4 Vápenná – lom.....	31
8.5 Vitošov	31
9. Metodika.....	33
10. Výsledky	35
10.1 Terénní výzkum.....	35
10.2 Laboratorní výzkum.....	48
10.2.1 UV mikroskopie štěpných úlomků a výbrusů.....	48
10.2.2 Katodová luminiscence.....	56
10.2.3 Ramanova spektroskopie	57
10.2.4 Gamaspektrometrie a XRF spektroskopie	58
10.2.5 Termická zkouška.....	60
11. Diskuse	64
12. Závěr.....	66
14. Seznam použité literatury a internetové zdroje.....	67

1. Úvod

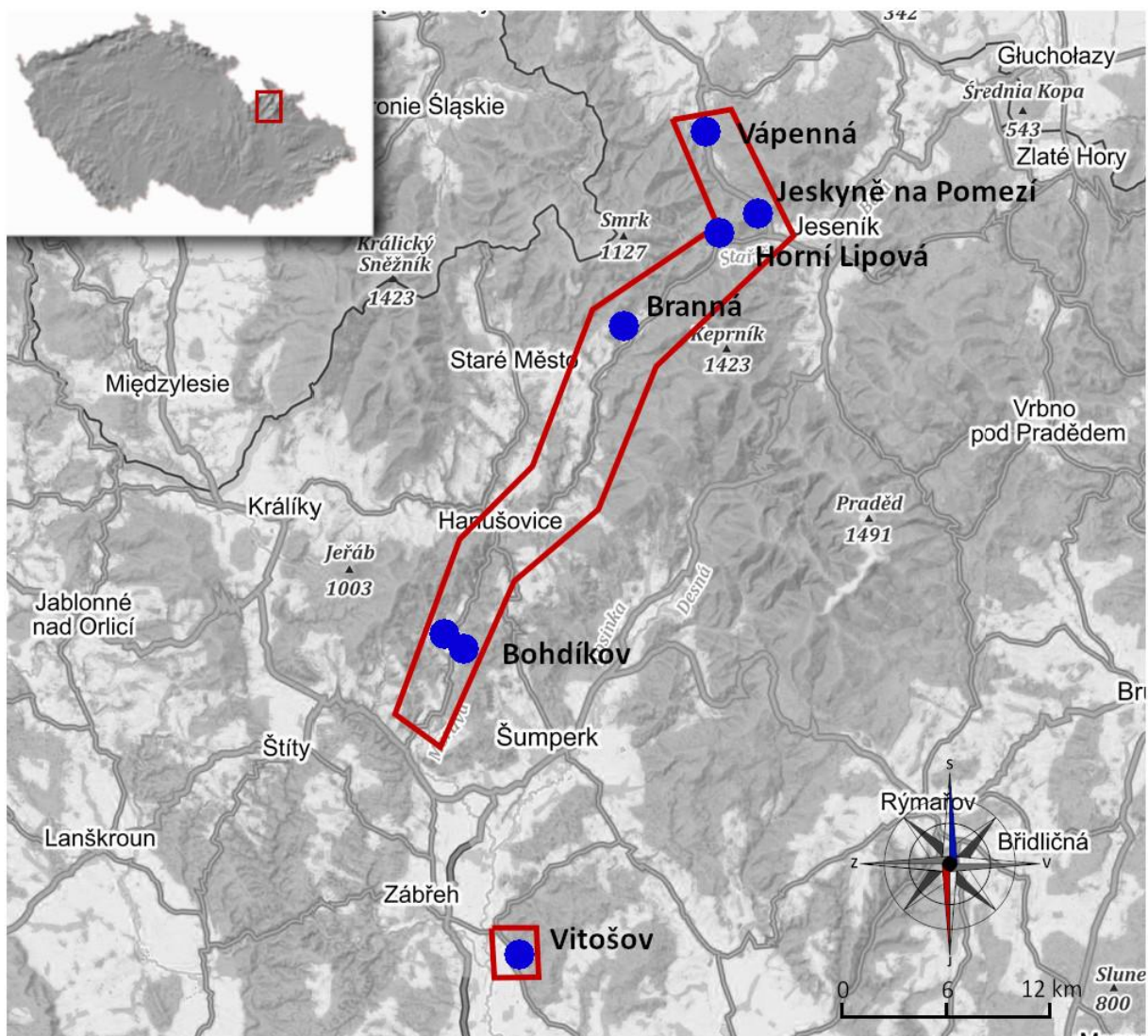
Ve skupině Branné se nachází polohy krystalických vápenců, které tvoří ekonomicky významná ložiska v Olomouckém kraji. Při jejich exploataci si nešlo nepovšimnout dutin vytvořených krasovou činností. Mnohé z nich byly vyplněny různými druhy speleotém. Již v první polovině 20. století je popisují Stejskal (1925) nebo Kretschmer (1927). Hovoří o krápnících a také o krystalických kalcitech ukončených romboedry. Roku 1937 byly objeveny Jeskyně na Pomezí, které mají bohatou krápníkovou výzdobu a jsou největším zmapovaným krasovým systémem v krystalických vápencích skupiny Branné. Novodobé nálezy krasových dutin se speleotémy jsou známy především z činných lomů Vitošov a Smrčnick. V severní části oblasti výskytů krystalických vápenců se setkáváme s masivními hrubozrnnými kalcity, které vznikaly krystalizací z hydrotermálních roztoků. V některých případech jsou tyto žíly postiženy krasovou činností a mohou vyvolat dojem, že se jedná o speleotémový kalcit.

Jedna z fyzikálních vlastností kalcitu je luminiscence. Není však pravidlem, že všechny kalcity mají tuto schopnost. Při makroskopickém pozorování v UV světle mohou některé kalcity vydávat například narůžovělou, červenou nebo žlutozelenou luminiscenci. Luminiscence kalcitu může mít několik příčin. Ve většině případů je způsobena buď ionty prvků substituovaných v krystalické mřížce kalcitu, nebo se jedná o cizorodé látky, které se zachytily při růstu krystalu. (Puščarovskij 1975, Shopov 2004).

Při orientačním nasvícení UV světlem u hrubozrnných speleotémových kalcitů skupiny Branné byla zjištěna slabá žlutozelená luminiscence. Bakalářská práce se zabývá možnými příčinami vzniku této luminiscence a snaží se o její vysvětlení.

2. Vymezení a geografická poloha zájmového území

Zájmová oblast byla vymezena na základě výskytů krystalických vápenců skupiny Branné, která se nachází v sz. části Moravy a Slezska. Tvoří úzký pruh, který je dlouhý přibližně 40 km a je orientovaný ssv.–jjz. směrem. Na severu zájmové území začíná u obce Vápenná a pokračuje jjv. směrem k obci Lipová-lázně. Od obce Lipová-lázně se stáčí na JJZ a lemuje údolí Ramzovského potoka. Dále pokračuje přes Ramzovské sedlo a údolím řeky Branné až k Hanušovicím. Od Hanušovic pokračuje jz. směrem a lemuje údolí, kterým protéká řeka Morava, až k obci Ruda nad Moravou. Do zájmového území také spadá malá odloučená oblast u obce Vitošov, kde se nacházejí nejjižněji položená tělesa krystalických vápenců skupiny Branné (Obr. 1).



Obr. 1 Vymezení oblasti s výskytem hornin skupiny Branné s vyznačenými polohami studovaných lokalit (upraveno podle www1).

3. Stručná geologická charakteristika

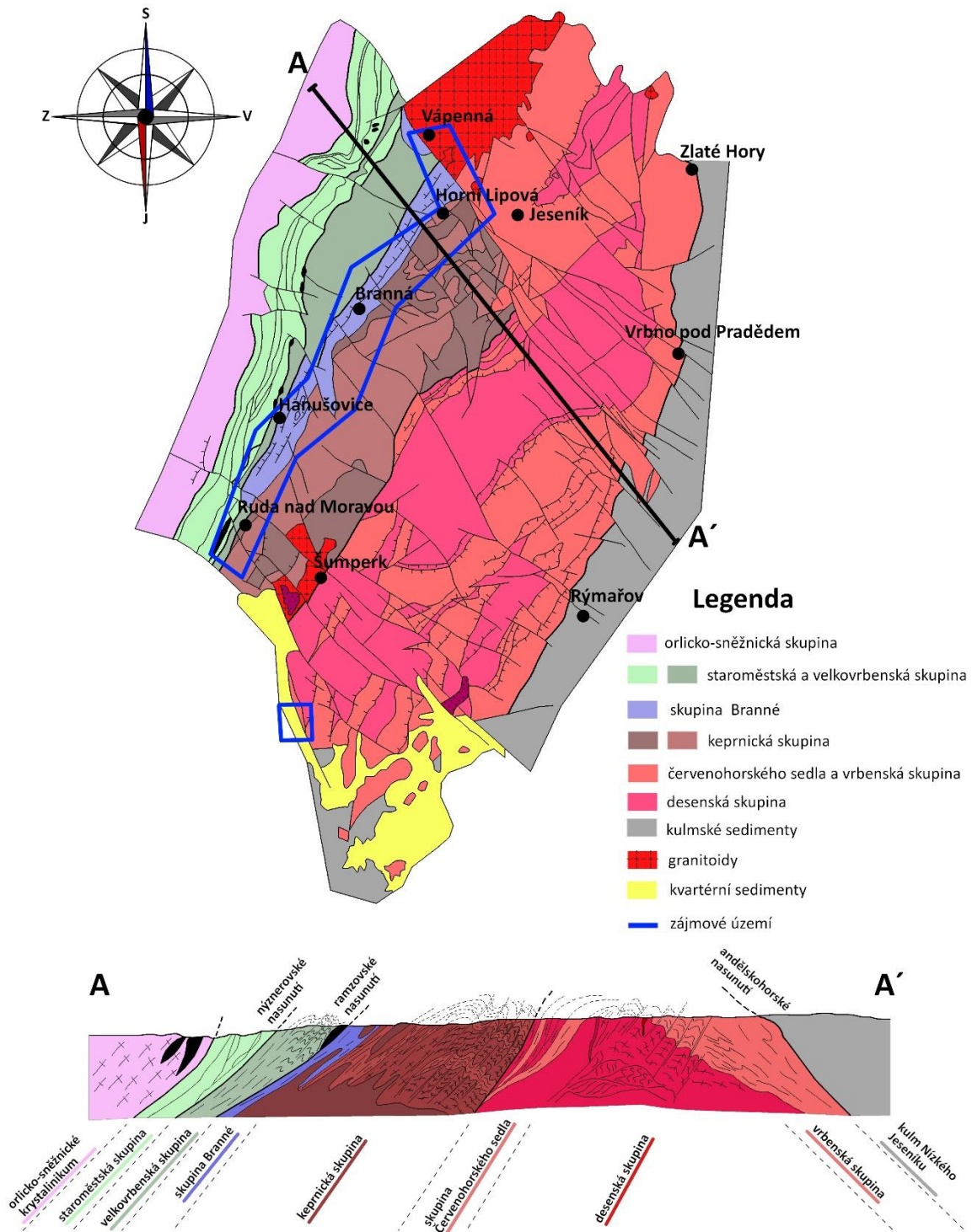
Vzhledem ke své velikosti a poloze má studované území velmi komplikovanou geologickou stavbu. Zájmové území se nachází v sv. části Českého masivu na styku lugika a moravoslezika. Z lužické oblasti se zde setkáváme s horninami staroměstské skupiny a velkovrbenské skupiny. Staroměstská skupina je součástí orlicko-sněžnického krystalinika. Na zařazení velkovrbenské skupiny k lugiku panují rozdílné názory (viz kapitola 3.2).

Orlicko-sněžnické krystalinikum se dříve označovalo také jako orlicko-kladská klenba. Do této jednotky zařazujeme novoměstskou, zábřežskou, staroměstskou, stroňskou a orlicko-gieraltowskou skupinu. Podle jejich pozic můžeme vyčlenit dvě hlavní skupiny: obalovou (novoměstská, zábřežská a staroměstská skupina) a jadernou (stroňská a orlicko-gieraltovská skupina) (Barnet et al. 1999). Nedaleko od studovaného území v oblasti Javornicka bylo na několika místech objeveno uranové zrudnění. Největší akumulace byla zjištěna v Zálesí, ložisko bylo exploatováno v 50. a 60. letech 20. stol. Zrudnění bylo vyvinuto v horninách spodního oddílu stroňské skupiny, které zde reprezentují amfibolity, amfibolové a amfibol-biotitové břidlice, mramory a v menší míře také erlány, svory, ruly, kvarcity a žíly lamprofyrů. Na ložisku se nachází zrudnění jak hydrotermálního, tak i metasomatického původu (Sejkora et al. 2016).

Silesikum je v zájmovém území zastoupeno keprnickým příkrovem, jehož součástí je skupina Branné (Cháb et al. 2008) a žulovským masivem, který vystupuje na severu studovaného území na malé ploše u obce Vápenná. V rámci silesika dále na východ byly vymezeny další skupiny. Jak uvádí Květoň (1951), už roku 1892 byly Beckem vyčleněny dvě základní skupiny: desenská a keprnická klenba. Členění rozšířil Květoň (1951), který uvádí sled stratigraficko-tektonických jednotek řazený od západu k východu: kolštejnská zóna (skupina Branné), keprnická oblast, zóna Červenohorského sedla, jádro desenské klenby a vrbenské vrstvy. Jak lze vidět na Obr. 2 Schulmann a Gayer (2000) preferují příkrovovou stavbu Jeseníků. Terminologie užívaná v této práci je sice odlišná (autoři zavádějí skupiny), ale posloupnost a množství jednotek zůstalo stejné tak jak je definoval Květoň (1951). Na východě sled těchto skupin ukončuje andělskohorské nasunutí.

Hlavní tektonickou linií mezi lugikem a silesikem je ramzovské nasunutí, které prochází přibližně středem vymezené oblasti a má směr SSV–JJZ. Zájmovým územím prochází dva výrazné příčné zlomy. Na severu je to okrajový zlom lugika, který omezuje výskyt krystalických vápenců a přibližně uprostřed se nachází plečský zlom, na kterém jsou krystalické vápence výrazně horizontálně posunuty ve směru SSZ–JJV. Dalším výrazným příčným zlomem

je bušínský zlom, který omezuje horniny skupiny Branné na jihu. (Misař 1983, Čech et al. 1997, Barnett et al. 1999) Hlavní tektonické linie jsou zobrazeny na Obr. 4.



Obr. 2 Schematická geologická mapa a profil skupin orlicko-sněžnického krystalinika a silesika v Hrubém Jeseníku (upraveno podle Schulmanna a Gayera 2000).

3.1 Staroměstská skupina

Horniny staroměstské skupiny řadíme do neoproterozoika až spodního paleozoika (radiometrické datování viz Tabulka 1; Kröner et al. 2000). Staroměstská skupina leží západně od ramzovského nasunutím a tvoří pruh metamorfovaných hornin táhnoucí se souběžně s ramzovskou dislokační zónou. Z litologického hlediska lze vyčlenit dvě skupiny: skupinu Hraničné a ofiolitovou skupinu. Ve skupině Hraničné, která se nachází v severní části staroměstské skupiny, jsou převládající horniny biotitické a dvojslídne ruly ve kterých jsou polohy krystalických vápenců, grafitických břidlic a kvarcitů. Zastoupení kyselých, bazických a ultrabazických metavulkanitů je zde oproti ofiolitové skupině minimální (Mísař 1983). V jižní části, která reprezentuje ofiolitovou skupinu, se vyskytují mezozonálně metamorfované horniny jako jsou ruly svory a amfibolity (Chlupáč et al. 2002). Přítomnost ultrabazických hornin, které byly vysunuty podél zlomů z hlubší části zemské kůry, jsou důkazem příkrovového charakter staroměstského pásma (Barnet et al. 1999, Opletal 2003).

Na severu je staroměstská skupina omezena okrajovým zlomem lugika, na jihu je ukončena bušínským zlomem. Na západě staroměstská skupina tvoří nadloží jaderné skupiny orlicko-sněžnické jednotky a na východě je nasunuta na horniny silesika (Mísař 1983). Staroměstská skupina je budována příkrovovými šupinami, které jsou od sebe odděleny směrnými zlomy (Barnet et al. 1999).

3.2 Velkovrbenská skupina

O příslušnosti velkovrbenské skupiny k určité oblasti se stále vede diskuse. Někteří geologové (např. Mísař 1983, Cháb 2008, Schulmann a Gayer 2000) jí přiřazují k silesiku, zatímco Poucha (1964) a Opletal (2009) jí řadí k lugikum. Velkým argumentem pro zařazení velkovrbenské skupiny do lugika jsou ultrabazické horniny a dolomitické mramory, které se v silesiku nevyskytují. Dalším argumentem jsou P/T podmínky vzniku metamorfitů velkovrbenské skupiny (Opletal 2009).

Velkovrbenská skupina se nachází mezi staroměstskou skupinou a skupinou Branné. Podle Mísaře (1983) jsou názory na stáří hornin nejednotné a různí autoři je zařazovali do neoproterozoika až spodního paleozoika. Novější datování zirkonů ortorul $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ potvrdilo neoproterozoické stáří (Tabulka 1; Kröner et al. 2000, Cháb et al. 2008).

Svoboda et al. (1964) uvádí, že se jedná původně o jednotvárný komplex klastických hornin s efúzemí bazických hornin, které různě reagovali na metamorfní pochody. Proto je

z petrografického pohledu tato skupina velmi pestrá. Vyskytují se zde dvojsídné ruly, svory kvarcity, erlány, mramory, grafitické břidlice, amfibolity, ortoruly a migmatity (Mísař 1983). Ve velkovrbenské skupině se také nacházejí ekonomicky významné sloje grafitu, které byly v minulosti těženy jak hlubině, tak i povrchově.

Tabulka 1 – Radiometrické datování rul a granitoidů v rámci geologických skupin vymezeného území.

hornina, lokalita, číslo vzorku	stáří v Ma	metoda	datovaný minerál	zdroj
Keprnický příkrov				
keprnická rula, Kouty nad Desnou Cs 36	583,8 ± 0,9	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
mylonitizovaná granitová ortorula, Ramzová – Horní Lipová, spodní oddíl skupiny Branné, Cs 34	554,6 ± 1,6	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
Velkovrbenská skupina				
tonalitová rula, Horní Lipová Cs 39	574,3 ± 1	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
Staroměstská skupina				
tonalitová rula, Hanušovice CS 30,30A,43	503,3 ± 1,1	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
leukokratní rula, Hanušovice CS 30B	506,7 ± 1,7	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
metapelit, Vlaské, CS 31				1
anortozitická rula, Vlaské, CS 41	509 ± 7	SHRIMP II $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	zirkon	1
metaryodacit, Skorošice, CS 50	504,1 ± 1	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	zirkon	1
	503,4 ± 1	SHRIMP II $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	zirkon	
Žulovský pluton				
granodiorit, žulovský pluton, BO 96	292 ± 3	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	amfibol	2
granodiorit, žulovský pluton, BO 96				2
granit	290 ± 3	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	biotit	3
starostsky granodiorit				3
starostsky granodiorit	335 ± 7,5	Kr/Ar	biotit	3
	341 ± 20	Kr/Ar	–	
	349 ± 10	Kr/Ar	–	
Zdroje: 1 – Kröner et al. (2000), 2 – Maluski et al. (1995), 3 – Klomínský et al. (2010)				

3.3 Keprnický příkrov

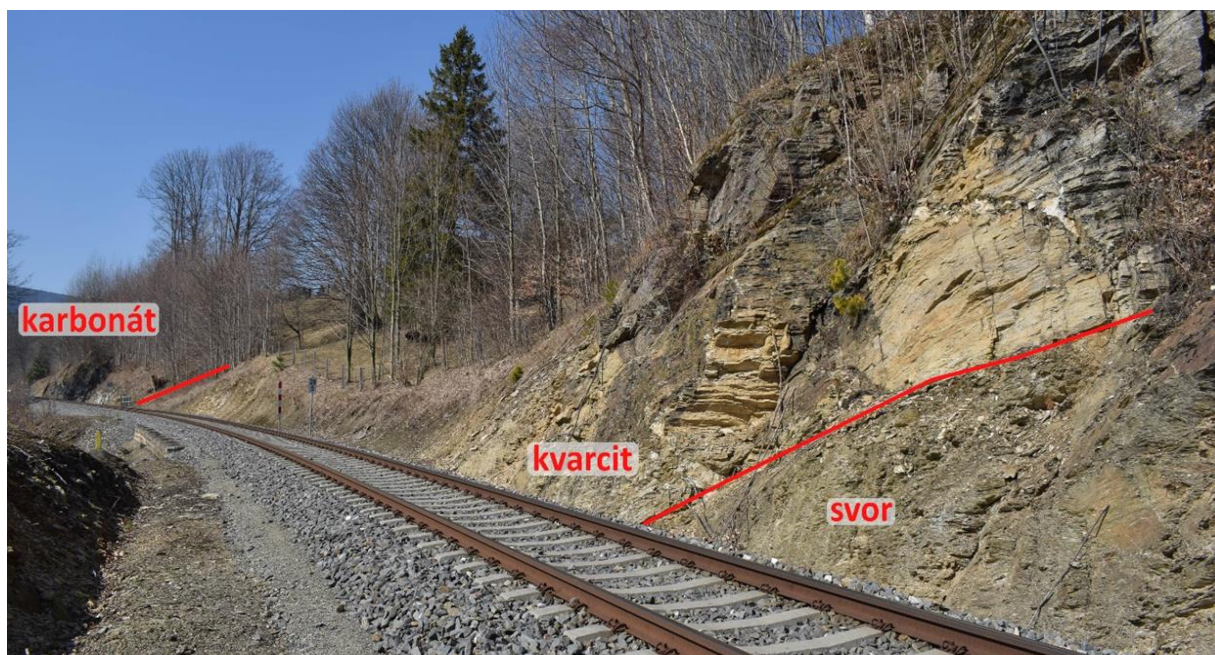
Ve starší literatuře je stavba keprnické skupiny prezentována jako antiklinální vrásová struktura (klenba) např. Svoboda et al. (1964), Mísař (1983). Současný pohled upřednostňuje

především příkrovovou stavbu (Schulmann a Gayer 2000) a mění tak celkové pochopení vzniku celého Jesenického pohoří. Popisy litologických celků používané v novější příkrovové stavbě jsou částečně prokopírované z klenbové terminologie, a proto se setkáváme s termíny např. vnější obalová skupina, která je z pohledu příkrovové stavby chápána jako příkrov (Cháb et al. 2008).

Keprnický příkrov se skládá z velkého tělesa především biotitické ortoruly, které tvoří samostatnou litologickou skupinu v literatuře označovanou jako jaderná skupina (série, jednotka) a z obalových skupin – tj. vnitřního a vnějšího metamorfního obalu (Cháb et al. 1994; Obr. 4).

Na základě radiometrického datování keprnické ortoruly můžeme jadernou skupinu zařadit do neoproterozoika (viz Tabulka 1). Převažující horniny jaderné skupiny jsou ortoruly a migmatity (Svoboda et al. 1964, Mísař 1983). Jadernou skupinu můžeme charakterizovat jako „monotónní sérii“ a vnitřní metamorfní obal jako „pestrou sérii“ (Mísař 1958). Ve vnitřním metamorfním obalu se vyskytují jemnozrné pararuly, dvojslídne svory, grafitické fylity, kvarcity, erlány a vápence. Tuto skupinu lze z litologického pohledu srovnávat se spodním oddílem skupiny Branné (Mísař 1983). Stáří vnitřního metamorfního obalu můžeme zařadit do neoproterozoika až spodního paleozoika (Tabulka 1; Kröner et al. 2000, Cháb et al. 2008).

Vnější metamorfní obal tvoří skupina Branné, která leží východně od ramzovského nasunutí a tvoří pruh slabě metamorfovaných hornin proterozoického až devonského stáří (Čech et al. 1997). Na západě je omezena horninami keprnického příkrovu, severně je ukončena okrajovým zlomem lugika a na jihu bušínským zlomem.

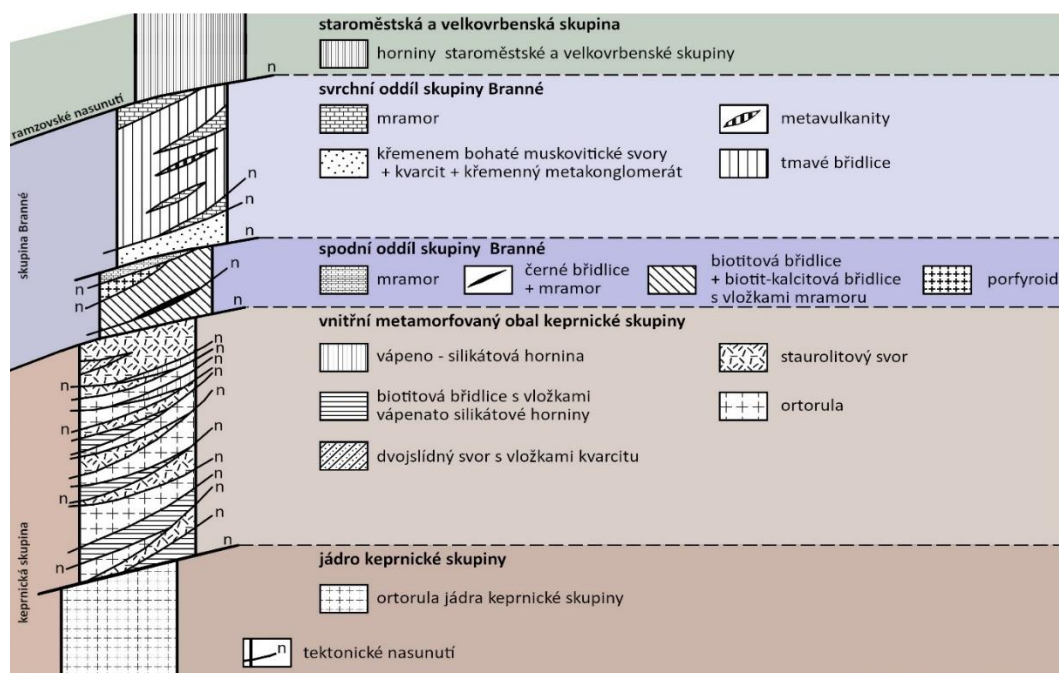


Obr. 3 Zářez železniční tratě ve svrchním oddílu skupiny Branné. Litologická rozhraní mezi různými horninami.

Skupinu Branné dělíme na dva oddíly spodní a svrchní (Květoň 1951). Někteří autoři ve skupině Branné vyčleňují 4 oddíly: 1. horniny vlastní obalové série „keprnické klenby“, 2. spodní oddíl série Branné, 3. horniny kvarcitové zóny, 4. svrchní oddíl – fylitický komplex (Jedlička 1998).

Podle Květoně (1951) spodní oddíl obsahuje metalydity, kvarciticko-karbonátové fylity s vápenci a metavulkanity. Stratigraficky tento oddíl řadí do siluru. Svrchní oddíl je tvořený z kvarcitů a metakonglomerátů, krystalických vápenců a fylity s vložkami krystalických vápenců. Tento oddíl řadí do středního a svrchního devonu. Velmi pěkná prezentace svrchního oddílu je viditelná v zářezu železniční tratě mezi zastávkami Horní Lipová a Lipová-lázně, kde lze na malém úseku pozorovat sled litologicky různých hornin (Obr. 3). Mísař (1958) označuje spodní oddíl jako kvarciticko-karbonátovo-fylitový komplex, ve kterém se střídala sedimentace jílovitého, klastického a karbonátového materiálu. Vymezení mezi spodním a svrchním oddílem v zájmovém území není zcela jednotné. V severní části tvoří hranici bazální kvarcicity svrchního oddílu (Květoň 1951), zatímco v jižní části je tato hranice nezřetelná z důvodů chybějících bazálních kvarcitů a tento přechod lze interpretovat jako násunový tektonický styk (Čech 1997, Barnet 1999). Koverdinský (1993) nazývá bazální kvarcicity „ramzovskými kvarcicity“ a dále uvádí, že se vyskytuje přímá návaznost „ramzovských kvarcitů“ na drakovské kvarcicity vrbenské skupiny v okolí města Jeseníku. Z toho usuzuje, že sedimentace bazálních kvarcitů probíhala ve spodním devonu (stupeň prag).

Litostratigraficky tvoří spodní hranici skupiny Branné metalydity (grafitické křemence) doprovázené grafitickými svry, které Květoň (1951) srovnává se silurskými lydity



Obr. 4 Litostratigrafické schéma severozápadní části sílesika. (upraveno podle Chába et al. 1994)

„subsudetské série“ a „hlinského ostrova“. Názornou litostratigrafickou situaci znázornil v řezu Cháb et al. (1994), která se vztahuje k severní části studovaného území (Obr. 4). Metamorfóza má ve skupině Branné vzestupnou tendenci od Z k V a její izográní linie jsou silně zhuštěné (Rajlich 1993).

3.4 Žulovský pluton

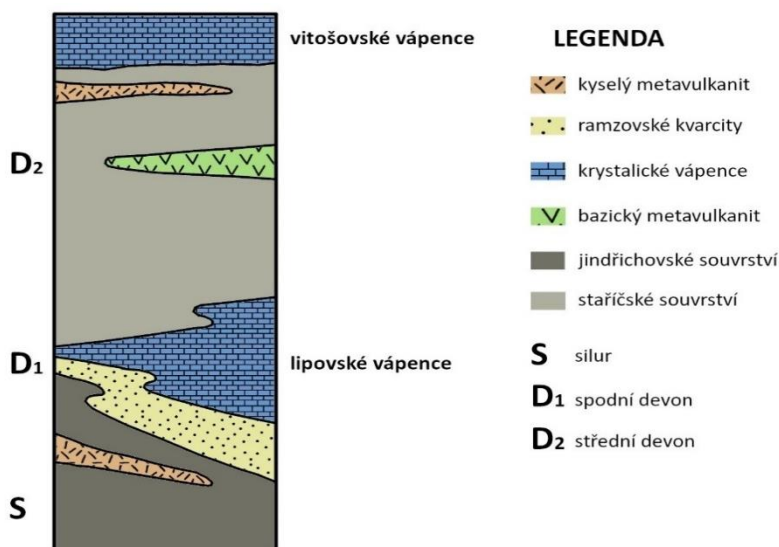
Granitoidní těleso se nachází východně od okrajového zlomu lugika a proniká do metamorfovaných hornin u kterých se předpokládá devonské stáří (Svoboda et al. 1964). Relikty hornin tvořící kontaktní aureolu náleží k velkovrbenské, keprnické skupině a skupině Branné (Mísař 1983). Tvoří je především periplutonické migmatity stromatitového, nebo méně často nebulitového či oftalmitového typu s polohami amfibolitů, kvarcitických, grafitických rul, vápenců a vápenato-silikátových hornin (Žáček 2004). Žulovský pluton je kompozit složený z různých typů granitoidů. Laurent et al. (2014) uvádí čtyři typy hornin: biotický granit, starostský granodiorit, tmavý granodiorit a křemenný monzodiorit. Pomocí radiometrického datování lze odvodit že pluton intrudoval během spodního karbonu (Tabulka 1; Maluski et al. 1995, Klomínský et al. 2010, Cháb et al. 2008). Podle Zachovalové et al. (2002) se žulovský pluton vyvíjel především frakční krystalizací a vzniklou horninu lze klasifikovat jako ilmenit-allanitový I-typový granit.

V zájmovém území se nachází tektonická hranice (okrajový zlom lugika), která výrazně odděluje jednotky obalových skupin keprnického příkrovu a velkovrbenské skupiny od žulovského plutonu. Podle Svobody et al. (1964) bylo plutonické těleso vysunuto podél tohoto zlomu. Také se domnívá, že tento zlom mohl být důležitým faktorem při intruzi tohoto tělesa.

4. Krystalické vápence skupiny Branné

Krystalické vápence vytvářejí šikmo uložená protáhlá tělesa, která jsou orientovaná ve směru SV–JZ a vystupují na povrchu po celé délce pruhu skupiny Branné (Obr. 7). Vzhledem k absenci fosilií a složité tektonické stavbě skupiny Branné jsou některé krystalické vápence velmi těžce zařaditelné. Kontakty s okolními horninami nemusí být zákonitě sedimentárního původu, ale mohou být tektonické. Obecně lze říci, že krystalické vápence ležící v rulách s největší pravděpodobně spadají do spodního oddílu a krystalické vápence nacházející se ve fylitovém komplexu patří k svrchnímu oddílu (Svoboda et al. 1964). Jednou z vypořádaných skutečností je i rozdílnost v čistotě vápenců a obsahu Mg. Květoň (1951) uvádí, že ve vápencích spodního oddílu je hojná klastická příměs a zvýšené množství hořčíku, zatímco litostratigraficky nejvýše položené krystalické vápence ve skupině Branné mají podíl Mg nízký a podobně je na tom i obsah bitumenu a pyritu. Zvýšený obsah Mg nemusí být hlavním kritériem pro posouzení vápenců v rámci litostratigrafického zařazení. Např. vitošovské vápence, jsou řazeny k svrchnímu oddílu (Koverdinský a Hladil 1985) svým obsahem Mg převyšují hodnoty naměřeného Mg v severní části svrchního oddílu skupiny Branné (Mísař 1958). Na Obr. 5 totéž litostratigrafické zařazení vitošovských vápenců podle Koverdinského (1993). Tento autor nazývá spodní oddíl skupiny Branné jako „jindřichovské souvrství“ a svrchní oddíl jako „staříčské souvrství“.

Ve spodní části svrchního oddílu fylitového komplexu jsou krystalické vápence značně nečisté. Směrem do nadloží přibývají bílé a šedobílé slabě lamelované krystalické vápence (Svoboda et al. 1964). Cháb et al. (1994) uvádí že, není výrazného rozdílu u krystalických



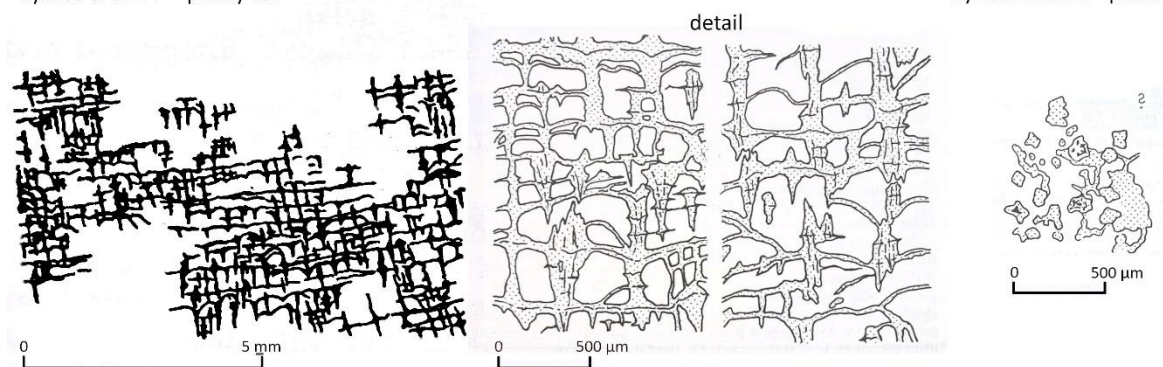
Obr. 5 Schéma litologického vývoje v severní části skupiny Branné se zařazením vitošovských vápenců jako koncového členu (upraveno podle Koverdinského 1993).

vápenců spodního a svrchního oddílu. Dodává však, že z litologického pohledu mohou být důležité polohy bílých středně až hrubě zrnitých krystalických vápenců nacházející se ve svrchním oddílu, zatímco šedé lamelované krystalické vápence jsou běžnější ve spodním oddílu. Střídání světlých a tmavých proužku je způsobeno organickým pigmentem, který by mohlo odrážet původní vrstevnatost sedimentu (Květoň 1951). Bílé čisté krystalické vápence svrchního oddílu nacházející se především u Lipové-lázně jsou pravděpodobně riftového původu a dosahují maximální mocnosti 120–150 m. Jejich stáří je nejspíš spodnodevonské, zatímco krystalické vápence nacházející se nejvýše v litostratigrafii skupiny Branné jsou slabě metamorfované a často páskované a nejspíš vznikaly v příbřežních oblastech v období givet–frasn (Hromas 2009).

Zatím jediným místem s fosilním záznamem ve skupině Branné je lom Vitošov. V jeho horní části roku 1970 našel B. Koverdinský zachovalé coenosteum bochníkovitého tvaru o rozměru 20x30 cm. V roce 1971 vzorek prostudovala V. Zukalová a potvrdila, že se jedná o fosilii ze skupiny *stromatoporoidea*. Později byl vzorek znovu prostudován, byly z něj zhotoveny výbrusy, které byly zkoumány pod mikroskopem. Podařilo se identifikovat *Pseudoactinodictyon Dartingtoniense*, ze kterého lze odvodit svrchnogivetské stáří vápenců v horní části lomu (Koverdinský a Hladil 1985) (Obr. 6). Za zmínku stojí uvést výskyt šedobílých zrn kalcitu roztroušených v šedé základní tkáni krystalických vápenců spodního oddílu, které mohou připomínat rekrystalizované reliktů zkamenělin (Cháb et al. 1994).

výbrus č. 9114 - příčný řez

výbrus č. 9031 - podélný řez

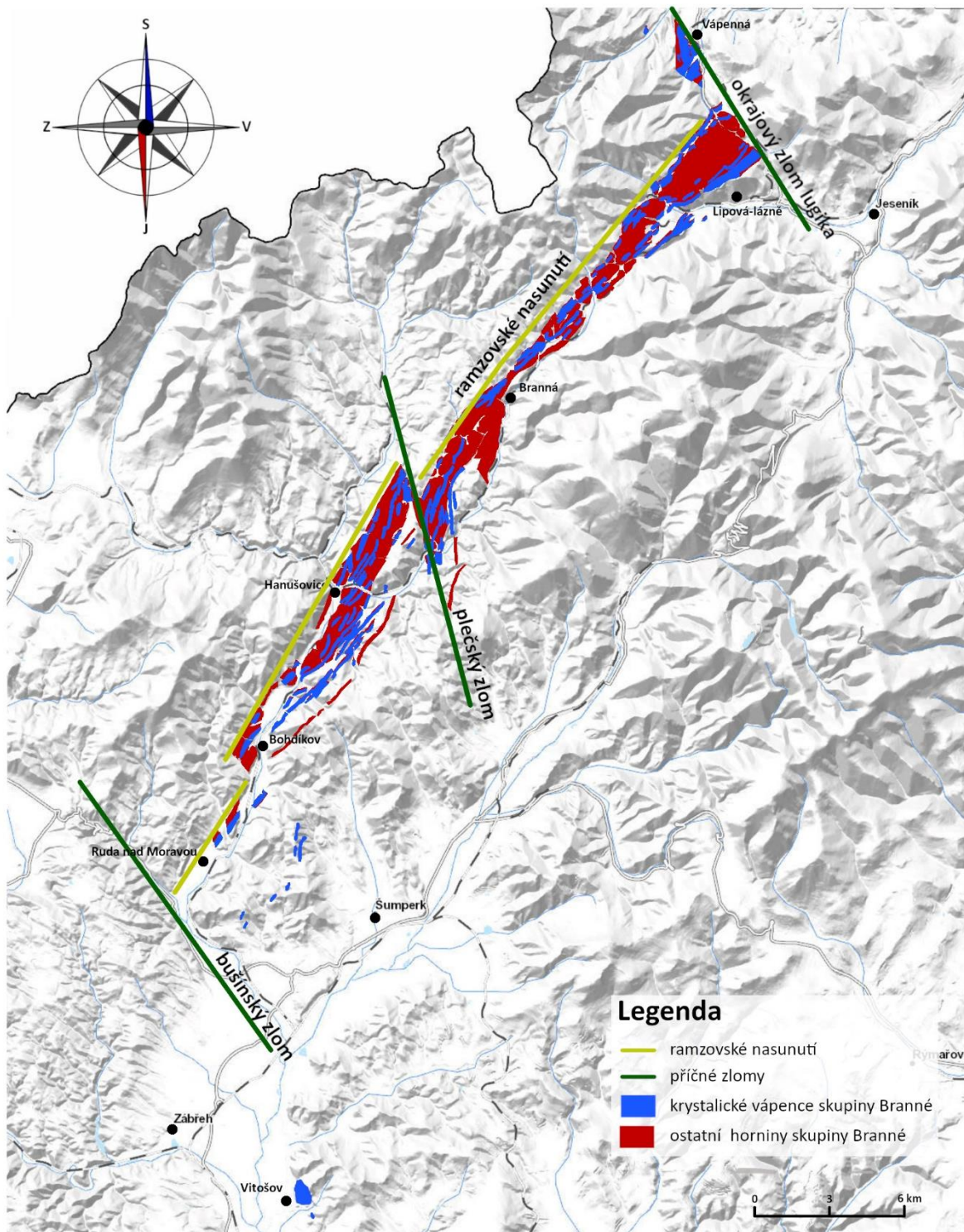


Obr. 6 Mikroskopický pohled příčného a podélného řezu fosilii *Pseudoactinodictyon Dartingtoniense* ve vápenci z lokality Vitošov (upraveno podle Koverdinského a Hladila 1985).

V okolí Lipové-lázně je velmi zajímavý výskyt hydrotermálních křemen-kalcitových žil, které protínají krystalické vápence skupiny Branné. Některé mohou obsahovat Cu-Pb zrudnění (Toegel a Šrom 2006, Pauliš et al. 2009). V minulosti na svahu vrchu Kopřivný (823 m n. m.) byly tyto žíly bohaté na Cu předmětem drobné těžby (Kruťa 1973). Dnes jsou využívány sběrateli minerálů, jelikož obsahují sekundárních minerály Cu a krystalický křemen (ojediněle

se vyskytuje amethyst a křišťál). Žilovinu také tvoří hrubě krystalické formy kalcitu, které se štěpí do romboedrů a některé vykazují slabě růžovočervenou luminiscenci.

Mocnější polohy krystalických vápenců byly v minulosti intenzivně těženy a byly využívány především pro pálení vápna. Dnes jsou vápence skupiny Branné těženy pouze ve čtyřech lomech Vitošov, Bohdíkov, Horní Lipová a Lipová-lázně – Smrčnick.



Obr. 7 Geologická pozice hornin skupiny Branné a hlavní tektonické linie (upraveno podle www1).

5. Kras v krystalických vápencích skupiny Branné

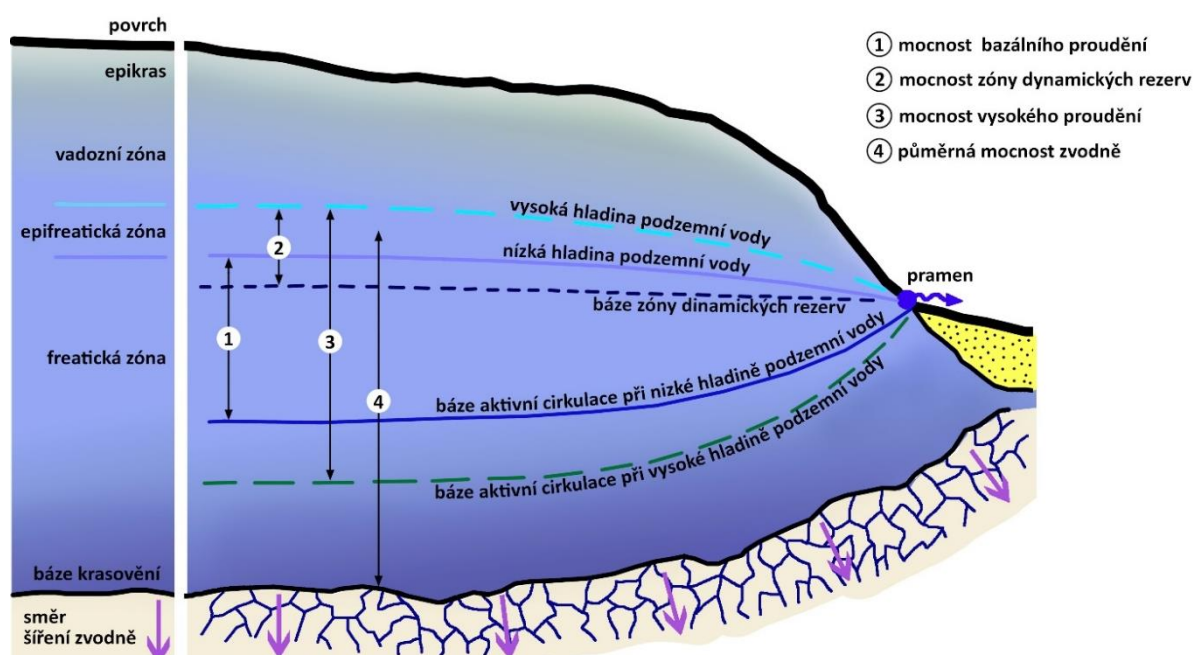
5.1 Obecná charakteristika krasu

Proces, při kterém vznikají krasové struktury se nazývá krasovění. Tento děj můžeme rozdělit do dvou kategorií na primární a sekundární krasovění (vznik primárního a sekundárního krasu). Primární krasovění je proces související s korozí a erozí horniny, který vytváří typické morfologické tvary na povrchu a krasové dutiny uvnitř karbonátového tělesa. Sekundární krasovění je proces, při kterém se sráží ve vodě rozpuštěný $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ a vytváří různé typy speleotém v primárním krasu (www3).

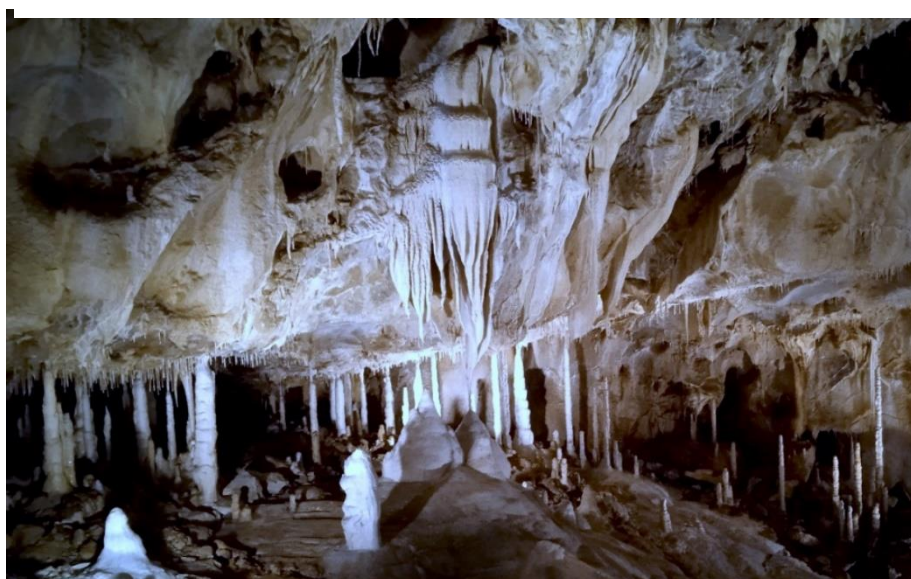
Nedílnou součástí krasovění je voda, ať už jde o vodu meteorickou, nebo podzemní. Většinou se setkáváme s krasem, jehož vývoj směřuje od povrchu směrem dolů a činiteli jsou meteorické vody a povrchové toky. Jako příklad takového vývoje můžeme uvést Javoříčské jeskyně nebo jeskyně Na pomezí. Setkáváme se však i s krasem, jehož vývoj začíná na bázi karbonátového tělesa a vyvíjí se směrem vzhůru k povrchu. V takovémto případě jsou hlavní příčinou hydrotermální roztoky. Příkladem tohoto typu krasovění je Hranická propast.

Voda je důležitým faktorem krasovění, a proto bych zde uvedl základní hydrologické rozdělení krasové oblasti. Dělíme ji na dvě hlavní zóny. Vadózní zónu a freatickou zónu. Rozdělení zón je dáno nasyceností vodou. Mezi půdou a vadózní zónou se může vyvinout epikras. Je to nenasycená zóna, která se vyskytuje ve zvětralinové části karbonátového tělesa a zabírá vrchní část vadózní zóny. Mocnost epikrasu je značně proměnlivá. Většinou se pohybuje v rozmezí 3–10 m. Mohou se však vyskytnout případy, kdy je epikras vyvinut do hloubek až 30 m a více. Příčinou takto hluboké epikrasové zóny může být velmi slabý nebo žádný půdní pokryv v aridních či glaciálních oblastech (Ford a Williams 2007). Vadózní zóna je zónou nenasycenou a sahá až k hladině podzemní vody. Mocnost vadózní zóny může být různá a je závislá na povrchových podmínkách a geomorfologii terénu. Speleologický průzkum v horských oblastech potvrdil, že vadózní zóna může sahat do hloubky až 2 km pod povrchem (Ford a Williams 2007). Freatická zóna se nachází pod vadózní zónou a je to zóna zcela nasycená vodou. Hranici mezi těmito zónami tvoří hladina podzemní vody, která může vlivem vnějších podmínek kolísat. Přechodová zóna, kde dochází ke změně hladiny podzemní vody, se nazývá epifreatická zóna (Obr. 8).

Ve vadózní zóně dochází k sekundárnímu krasovění a v dutinách vznikají speleotémy. Speleotémy jsou sekundární útvary v krasových dutinách, které vznikají krystalizací kalcitu z nabohacené podzemní vody. Mohou nabývat různých tvarů a velikostí, ve větších dutinách (jeskyních) vytvářejí útvary jako jsou ze stropu visící stalaktity, brčka nebo záclony. Na dně jeskyně se setkáváme se stalagmity, různě mocnými náteky a drobnějšími strukturami jako jsou jeskynní perly, nebo shluky krystalů kalcitu (Obr. 9). Masivnější speleotémy mají na řezu páskovanou texturu, která je způsobena různou mírou znečištění podzemní vody v době krystalizace (Obr. 10).



Obr. 8 Hydrologické poměry a členění v krasovém prostředí (upraveno podle Forda a Williamse 2007).



Obr. 9 Různé druhy speleotém reprezentující obvyklou výzdobu jeskyně. Ze stropu visící stalaktity, záclony, brčka, na dně jsou vytvořené nátekové krusty, stalagmity a stalagnáty (propojení stalagmitu a stalaktitu). Lokalita – Javoříčské jeskyně.



Obr. 10 Řež krápníkem na kterém lze pozorovat vývojový růst. Střídání světlých a tmavých pásků odrazuje čistotu podzemní vody v souvislosti s klimatickým poměry na povrchu. Lokalita – Javoříčské jeskyně.

5.2 Kras skupiny Branné

Krystalické vápence skupiny Branné, které se nacházejí blízko povrchu jsou všechny více či méně postiženy krasovou činností. Největší známou krasovou strukturou ve skupině Branné je systém jeskyní Na Pomezí, které se staly předmětem mnoha výzkumů. Z poznatků z výzkumů, týkajících se především vývoje krasu a datování, lze odvodit, že podobné podmínky vývoje mohly probíhat v celé oblasti výskytů krystalických vápenců. Musíme také brát v úvahu, že popisujeme současný stav v erozním řezu. Krasování krystalických vápenců začalo okamžitě po jejich exhumaci při variské orogenezi a pokračuje až do dnešních dnů. Denudací povrchu byl vývojově starší kras zničen a my dnes vidíme zkrasovělou část, která může mít počátek až v miocénu (Bosák 2014). Kras se vytvářel zejména během teplého humidního podnebí v terciéru. V průběhu kvartéru byly vápence vystaveny periglaciálním procesům (Morávek 2009) a krasová činnost se tak velmi zpomalila. Kras je vyvinut na puklinách, které byly

korozivně rozšířené, a proto jeskyně mají především propastovitý a puklinový charakter (Morávek 2009). Při datování sintrových krust pokrývajících jeskynní sedimenty v jeskyni Na pomezí bylo získáno rozsáhlé časové spektrum. Nejstarší krusta byla stará více než 1,2 Ma let, zato nejmladší pouze 6 Ka let, tedy v rozmezí Pleistocén – Holocén (Bosák 2014). Do tohoto období bychom mohli zařadit vznik vzorků speleotémů odebraných v lomech pro tuto bakalářskou práci.

6. Vznik speleotémových struktur a krystalizace kalcitu

Meteorické vody, které pronikají do karbonátového tělesa jsou nasycené oxidem uhličitým, který je absorbován především z atmosféry a půdního horizontu. CO₂ rozpuštěný ve vodě vytváří slabě kyselé prostředí. Při kontaktu s karbonátovou horninou dochází k reakci a hornina koroduje. Karbonátová hornina se rozpouští a vody jsou obohaceny o ionty vápníku. Při průniku takto nabohacených vod do podpovrchově hlubších zón nastává změna v teplotně tlakových podmínkách, a to je hlavní příčina srážení rozpuštěného kalcitu. Celou podstatu věci lze znázornit chemickou reakcí, která probíhá oběma směry. $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$.

Z mineralogického pohledu jsou speleotémy složeny většinou z kalcitu, který vytváří jak jemnozrnné, tak i hrubozrnné agregáty s výraznou laminovanou strukturou. Krystalizace kalcitu z podzemních vod začíná odplyněním roztoku v důsledku snížení parciálního tlaku. Dochází zde k posunutí chemické rovnováhy směrem ve prospěch krystalizace (viz chemická rovnice výše) a může docházet ke spontánní nukleaci. Ta je ale energeticky nevýhodná, pokud se již v systému vyskytují krystaly nebo zrna stejného minerálu, stávají se tyto objekty krystalizačními centry (Zimák 1995). Z malých individuí rostou krystaly, které se časem spojí a vytvoří agregát. Při růstu krystalů v agregátu dochází k interakci mezi jednotlivými krystaly a krystaly „soutěží“ o prostor mezi sebou. V agregátu se mezi sousedními krystaly vyvinou takzvané kontaktní krystalické plochy a v přírůstkové zóně agregátu jsou krystaly ukončeny krystalograficky (Self a Hill 2003) (Obr. 11).

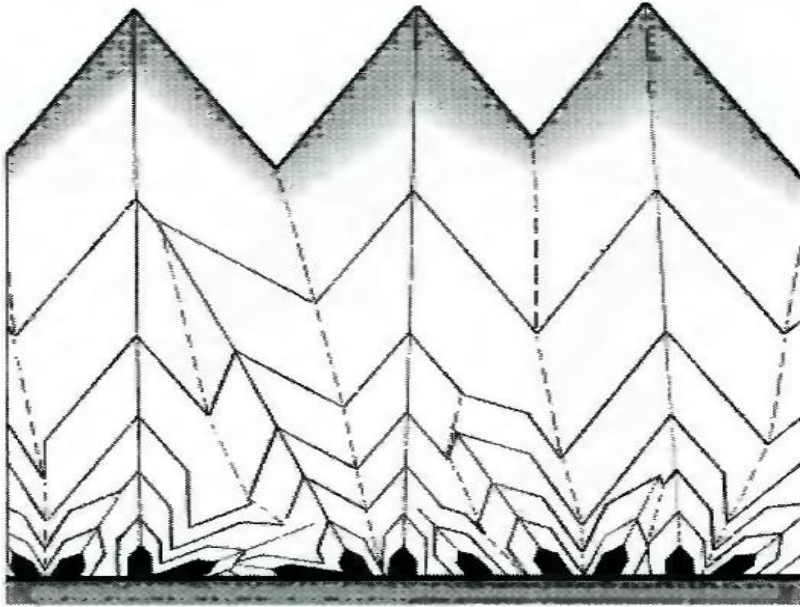


Obr. 11 Sloupcovitý krystalický agregát kalcitu s krystalickými plochami ukončený romboedry s výraznými přírůstkovými zónami.

Při nárůstu agregátu v konkurenčním prostředí dochází k snižování počtu individuí. Tento proces se nazývá selekce. Hlavními selekčními mechanismy jsou:

1. geometrická selekce – je založena na hlavním vektorovém směru v agregátu, a jinak orientovaná individua jsou asimilována.
2. podložní selekce – krystaly rostoucí z konvexních povrchů budou pokračovat v růstu na úkor krystalů rostoucích z rovných, nebo konkávních povrchů.
3. primogeniturní selekce – krystal který vznikne dříve má lepší pozici na pokračování v růstu než krystal, který vznikne později.
4. náhodná selekce – dochází k zastavení růstu, i když není žádná zjevná přirozená nevýhoda ve srovnání se sousedními krystaly.

Při růstu krystalů v raných fázích v agregátu se nejvíce uplatňuje geometrická selekce, a to především vektorová kolmost k podložnímu povrchu ze kterého agregáty narůstají. Toto pravidlo lze aplikovat na většinu minerálních žil a běžných druhů speleotémů, jako jsou krápníky, sintry nebo krystalické kalcity rostoucí v jeskynních jezírcích (Self a Hill 2003) (Obr. 12).



Obr. 13 Vývoj krystalu v agregátu (převzato z Kantor 1997).

7. Luminiscence

7.1 Principy luminiscence minerálu

Luminiscence je určitý druh světelného vyzařování, které je způsobeno dodáním energie iontům, atomům, molekulám, popřípadě složitějším soustavám (Dvořák a Kupka 1980). Principem luminiscence je, že luminofory, tak nazýváme látky, u kterých dochází k luminiscenci, vytvářejí světelné záření, které neuvolňuje, nebo uvolňuje jen zanedbatelné množství tepla, přecházením z energeticky excitovaného stavu do základního stavu. Luminiscence se také liší od jiných druhů světelného záření látek dobou trvání vyzařovaného světla, které bylo způsobeno přechodem do excitovaného stavu. U luminoforů je to doba delší než 10^{-10} sekund, zatímco u ostatních látek je tato doba menší než 10^{-14} sekund. Podle tohoto rozdělení také rozlišujeme luminiscenci u luminoforů. Luminiscenci, která má dobu trvání okolo 10^{-7} sekund nazýváme fluorescence, s dobou trvání mikrosekund až sekund je to fosforescence a v řádech sekund, minut, hodin až dnů ji nazýváme perzistentní luminiscence. (Opava 1986, Valenta 2015). Rozdíl mezi perzistentní luminiscencí a fosforescencí je takový že fosforescence je pomalé dohasínání excitovaných luminoforů skrze „zakázaný přechod“ (triplet-singlet) zatím co u perzistentní luminiscence je dosvit způsoben zachytáváním náboje a jeho pomalým uvolňováním (Valenta 2015, Agamah et al. 2020).

Podle původu excitace luminoforu, která může být vyvolána různými způsoby, zařazujeme luminiscenci do určitých skupin: např. triboluminiscence vzniká při drcení nebo tření krystalů, katodoluminiscence je vyvolána dopadem elektronů na luminofor a fotoluminiscence, která je vyvolána světelným, nebo ultrafialovým zářením.

Luminiscenci minerálů vyvolávají především příměsi kovů jako jsou např. Mn, Cu, Pb, Eu a jiné. Tyto prvky nazýváme aktivátory luminiscence a jsou zakomponované v krystalové mřížce kde vytváří luminiscenční centra (zpravidla poruchy nebo příměsi v krystalu), ve kterých se tvoří emise viditelného světla. Důležitý je poměr prvků obsažený v minerálu. Ne všechny minerály, které jsou označeny za luminofory, musí vykazovat luminiscenci. Jako příklad bych uvedl dobře známý luminofor sulfid zinečnatý (sfalerit) s různými aktivátory, který se vyrábí synteticky pro široké použití v průmyslu. Sfalerit s výraznou oranžovou luminiscencí z ložiska Zlaté Hory východ, má podle chemické analýzy velmi nízké hodnoty železa oproti ostatním sfaleritům z ložiska, které luminiscenci nevykazují. Pravděpodobná příčina luminiscence zlatohorského sfaleritu spočívá ve vstupu stopového množství aktivátorů Mn, Cu, Cd do struktury chemicky téměř čistého sfaleritu (Novotný et al. 2001) (Obr. 14).



Obr. 14 Sfalerit z ložiska Zlaté Hory–východ ve viditelném světle (vlevo) a v UV světle (vpravo).

S perzistentní luminescencí se setkáváme u minerálů jako jsou např. sfalerit, sádrovec, kalcit, aragonit, fluorit nebo sodalit (Agamah et al. 2020). Luminescenci mohou vykazovat i organické látky obsažené v organoidech a kaustobiolitech. Jako příklad lze uvést jantar nebo ropa. Zákonitosti luminescenčních jevů u organických látek jsou podobné jako u anorganických. Principiálně u organických látek dochází především k elektronovým přechodům mezi jednotlivými molekulami tvořící luminescenční látku. Struktura látky také do jisté míry ovlivňuje luminescenci, ale oproti elektronovým přechodům mezi molekulami je to druhořadá záležitost (Dvořák a Kupka 1980). V mineralogii se můžeme setkat s kombinací organických a anorganických látek při vzniku minerálů, jedná se především o drobné inkluze organických látek uzavřené při růstu v krystalu např. inkluze ropy v křišťálu, nebo malé množství organických molekul začleněných v krystalické mřížce (Ford a Williams 1989).

7.2 Luminescence kalcitu

Nelze obecně konstatovat, že všechny kalcity jsou fotoluminescenční. Tato vlastnost je dána anorganickou nebo organickou kontaminací. Kalcity v UV světle vydávají nejčastěji červenou, červenorůžovou, žlutozelenou, bílou až namodralou luminescenci. Červenou až narůžovělou luminescenci vydávají kalcity jejichž geneze je spojená především s hydrotermálními roztoky. Většinou ji způsobují kationty Mn a Pb. Takové kalcity se vyskytují například na hydrotermálních žilách v Příbrami a okolí (Litochleb et al. 2008).

Zatímco žlutozelená a bílá luminescence je spojená především se vznikem speleotémů, kde aktivátory jsou zejména organické molekuly. To bylo potvrzeno i při výzkumu, u kterého se zkoumaly příčiny fluorescence a zbarvení speleotémů (Slačík a Schlemmerová 1974, Shopov

2004, McGarry a Baker 2000). McGarry a Baker (2000) mapovali speleotémy v jeskyních nacházejících se v různých klimatických podmínkách a dospěli k závěru, že pravděpodobně fluorescenci způsobují huminové látky, a ne stopové prvky. Hlavním podílem na fluorescenci u huminových látek měli fulvonové kyseliny, jejichž hodnoty se pohybovaly v průměru 0,893 ppm, zatímco huminové kyseliny byly zastoupeny v průměru pouze 0,064 ppm. Ostatní organický materiál měl hodnotu v průměru 204 ppm (McGarry a Baker 2000).

Šopov (2004) však uvádí, že někteří vědci automaticky připisují luminiscenci u speleotémů pouze organickým látkám. Existují však i jiné možnosti žlutozelené luminiscence, a to např. za účasti anorganických aktivátorů jako jsou ionty UO_2^{2+} . Šopov (2004) tvrdí, že přítomnost těchto iontů ve speleotémech je docela častá. Článek byl publikován, aby upozornil na možné chyby při výzkumu paleoklimatického záznamu ve speleotémech.

Příčiny vzniku luminiscence ve speleotémech podle Šopova (2004) jsou:

1. Luminiscence elektronových defektů krystalové mřížky – pravděpodobně existuje v každém speleotému, ale je zastíněna jiným typem luminiscence.

2. Luminiscence jiných iontů nahrazujících strukturní ionty v krystalové mřížce, např. substituce Mn za Ca, popř. zabudované v dutinách této mřížky.

3. Ionty podporující luminiscenci jiných iontů, které jsou místo strukturních iontů v krystalové mřížce. Například samotné Pb^{2+} v kalcitu je bez emise, ale podporuje Mn^{2+} , a to emituje oranžovočervenou fosforescenci.

4. Luminiscence molekul, iontů nebo radikálů adsorbovaných uvnitř mřížky. Takovou luminiscenci mohou tvořit jak anorganické ionty (UO_2^{2+}) tak i organické molekuly. V některých případech ve speleotému mohou tyto dva typy koexistovat.

5. Luminiscence inkluzí jiných minerálů

6. Luminiscence kapalných nebo plyných inkluzí.

8. Studované lokality

Lokality byly vybrány z důvodu možnosti většího výskytu zkrasovělých poloh, dobré přístupnosti a snadnějšímu odběru vzorků. Většina navštívených lokalit jsou činné nebo opuštěné lomy.

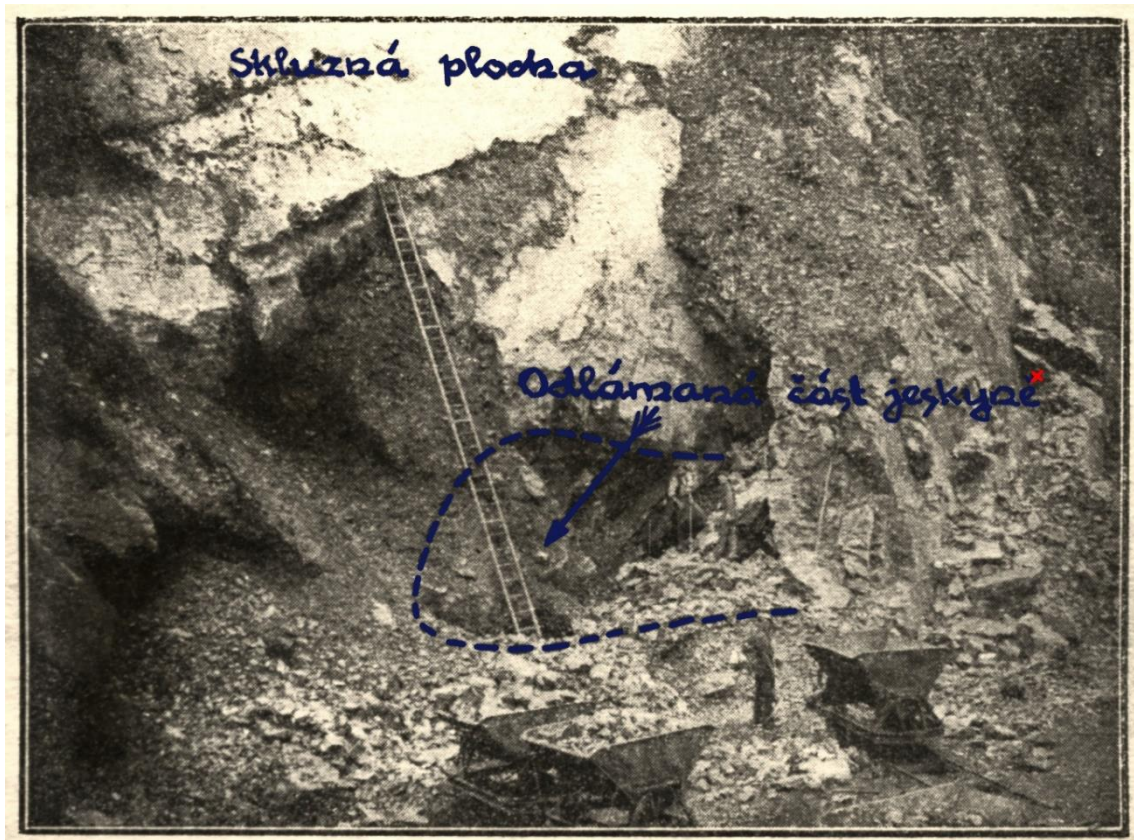
K exploataci krystalických vápenců skupiny Branné docházelo již ve středověku. Surovina sloužila především k výrobě vápna, které se páliło v „polních“ pecích a svým významem měla lokální charakter. Velký rozmach těžby a zpracování krystalických vápenců začal od poloviny 19. století. K rozvoji vápenictví a těžby vápence významně přispěla výstavba železnice, která umožňovala distribuovat velké množství vypáleného vápna i mimo region. Docházelo k modernizaci pecí, menší šachtové pece byly nahrazeny většími kruhovými pecemi. Po druhé světové válce došlo ve vápenictví k úpadku. Svůj podíl na zániku vápenictví a s tím i souvisejícímu útlumu těžební činnosti nesly zastaralé a dosluhující technologie vápenek (Melzer a Schulz 1993). Jak už bylo uvedeno v kapitole 4 v současnosti jsou krystalické vápence skupiny Branné těženy pouze ve 4 lomech, a to v Bohdíkově, Horní Lipové, Lipové-lázně – Smrčnicku a Vitošově.

8.1 Bohdíkov

Zvýšená těžba vápence v Bohdíkově byla iniciována výstavbou nové železniční dráhy procházející obcí Bohdíkov, která byla vybudována roku 1873 a v té době propojovala Šternberk s Dolní Lipkou. Rok po zprovoznění této dráhy byla v Bohdíkově postavena nová velká 34 komorová vápenná pec a roku 1884 je připomínána vlečka s délkou 442 m, která tuto pec obsluhovala (www4). Roku 1898 a 1912 byly přistavěny další dvě pece a tvořili tak malý komplex nazývaný horní bohdíkovská vápenka. Tato významná ložiska vápence v okolí Bohdíkovy byla otevřena v několika lomech, které spojovala s vápenkami úzkorozchodná železnice.

V meziválečném období byla postavena ještě jedna vápenná pec tzv. dolní bohdíkovská vápenka ze které se do dnešních dnů zachoval pouze vysoký osamocený komín uprostřed nivy řeky Moravy. Roku 1932 byl založen nový lom, který se nachází na katastru obce Komňátka a dodnes v něm probíhá těžba vápence firmou EKOZIS s.r.o. Vápenec z tohoto lomu napřed sloužil pro pálení vápna a později jako drcené kamenivo. Výroba vápna v obci byla ukončena roku 1979 (www5).

V Dolním lomu (Knížecí, Lichtenštejnský) byla popsána J. Stejskalem (1925) krápníková jeskyně. Ve zprávě uvádí, že roku 1916 při lámání kamene byla nalezena zkrasovělá puklina propastovitého charakteru, ale tehdejší průzkumníci se do větších prostor nedostaly, jelikož puklina se ve spodní části zúžila natolik, že se stala neprůchodnou. Přibližně za půl roku se práce v lomu zastavila a krasové prostory upadly v zapomnění. Těžba byla obnovena až v roce 1925. V březnu téhož roku byla objevena 5 m dlouhá, 4 m široká a 3 m vysoká prostora s krápníkovou výzdobou. Krápníky byly čistě bílé a měly jak klasický kuželovitý tvar, tak vytvářely i záclony. Krápníky dosahovaly velikosti 0,5–0,75 m. Stěny jeskyně byly pokryty silnou vrstvou náteků, které byly vlivem trhacích prací rozpraskány. Přístupná část systému dosahovala délky 15–20 m a jedna z chodeb byla spojena s komínem, který byl objeven v roce 1916. Další chodba se ukláněla směrem dolů a zužovala až k malému otvoru, který byl už neprůchodný. Vzorky krápníků měli být zaslány do vídeňského muzea a zbytek byl zničen těžbou. Koncem května 1925 po odstřelu se svezla celá lomová stěna po dislokační ploše a jeskyni zasypala (Obr. 15). Stejskal (1925) uvádí, že kvalitu lomového vápence místy narušují paralelní vrstvičky grafitu a v těchto partiích se také vyskytují proužky nazelenalého ofiokalcitu a okem viditelný pyrit. Burkart (1953) uvádí výskyty stopkatých a vláknitých agregátů kalcitu z vápencových dutin.



Obr. 15 Fotografie zachycuje prostor a umístění jeskyně (čárkovaná čára) v Knížecím lomu v Bohdíkově. Jeskyně pokračovala chodbou v místech, kde je červený křížek. Chodba je zavalena a jeskyně zčásti odtěžena.

8.2 Branná

Na katastru obce Branné se těžily krystalické vápence ve třech lomech. První se nachází přímo u obce Branná 400 m sz. od kostela a 2350 m v. od Kančího vrchu (723 m n. m.). Druhý, také nazývaný Nad Vápenkou byl založen ve svahu Holého vrchu (852 m n.m.) nad silnicí 369 Branná – Ostružná v místě křížení s železniční tratí Hanušovice – Jeseník. Lom se nachází 1280 m jv. od Holého Vrchu a 1240 m jz. od viaduktu. Poslední a také nejmenší lom se nachází v 1680 m jz. od kostela v Ostružné a 200 m z. od viaduktu. Ve všech třech lomech je patrná krasová činnost. Z mineralogického hlediska je nejhodnotnější lom Nad vápenkou. Kretschmer (1927) in Burkart (1953) uvádí, že na lokalitě byly nalezeny krápníky, sintry a krystaly kalcitu velké 1–4 cm tvořící drúzy.

Vápenky v Branné byly v provozu ještě v první polovině 40. let 20. století (Melzer a Schulz 1993).

8.3 Lipová-lázně

Krystalické vápence v obci Lipová-lázně byly v minulosti těženy jak pro pálení vápna, tak i pro dekorativní účely, což dokládají zaniklé lomy v okolí obce. Dodnes jsou krystalické vápence dobývány na dvou lokalitách. V Horní Lipové na Mramorovém vrchu (715 m n. m.) a na vrchu Smrčník (799 m n. m.). Vápence z lomu na Mramorovém vrchu jsou lámány pro dekorativní účely firmou Slezské kamenolomy a.s. a jsou prodávány pod označením lipovský mramor. V okolí činného lomu se nacházejí pozůstatky po dřívější těžbě.

Ložisko na vrchu Smrčník bylo zkoumáno Geologickým průzkumem n.p Ostrava v roce 1958 a 1964. Zprávy uvádějí že na povrchu se šířka ložiska pohybuje mezi 130–290 m a směrná délka ložiska je více než 2,5 km. Pravá mocnost krystalických vápenců se však pohybuje přibližně mezi 41 až 71 m. Generální směr tohoto pruhu krystalických vápenců je VSV–ZJZ. Nadloží a podloží ložiska tvoří kvarcity, které jsou ukloněny stejně jako krystalické vápence k SZ pod úhlem 43° až 50°. Na kontaktu kvarcit – vápenec dochází ke krasování a prostory jsou vyplněny písky jíly a sutěmi (Nezval 1965). Dnes ložisko těží společnost Omya CZ s.r.o. která se specializuje na výrobu plniv.

8.4 Vápenná – lom

První zmínky o těžbě krystalických vápenců nacházejících se západně od obce můžeme klást do počátku 17. století. Z této doby jsou zmiňovány dvě vápenné pece. Největšího rozmachu došlo ve druhé polovině 19. století a obec se stala významným centrem vápenického průmyslu. Bylo zde postaveno 10 velkých kruhových pecí, vápenka patřila mezi největší v českých zemích (Obr. 16). Je zajímavé že většina vypáleného vápna šla na export. Až 80 % bylo expedováno do Německa. V období první republiky vlivem Velké hospodářské krize dochází ve Vápenné ke stagnaci vápenického průmyslu. V roce 1978 byly ve Vápenné uzavřeny poslední dvě činné pece a tím skončila historie vápenictví v obci (Melzer a Schulz 1993).

Při těžbě se objevovali krasové prostory, které však byly chudé na krápníkovou výzdobu. Výzkumem v roce 1954 bylo zaznamenáno 21 krasových jeskyní, které se nacházely většinou v lomových stěnách. Největší krasovou prostorou, na ložisku je Velký dóm, jehož rozměry jsou 24 x 14 m s výškou 4–10 m. Těžba v lomech byla ukončena v roce 1973 (www6).



Obr. 16 Vápenka s lomy ve Vápenné v roce 1935 (převzato z www7).

8.5 Vitošov

Drobná těžba výchozů vápence u Vitošova byla zaznamenána už ve středověku, kdy se příležitostně těžil kámen pro stavební účely a pálení vápna. Velký rozmach nastává v druhé

polovině 19. století, kdy začala průmyslová těžba vápence a byla postavena moderní šachtová pec na pálení vápna. Začátkem 20. století ve Vitošově zpracovávaly vápenec již tři vápenné pece. V meziválečných letech se těžba rozšiřovala a modernizovala se technologie zpracování a výroby. V letech 1956–1957 proběhl ložisko-geologický průzkum, který zjistil velké zásoby vápence. V roce 1960 pod byl pod správou Rudných dolů, n.p. Jeseník na ložisku otevřen velkokapacitní lom, který sloužil jako surovinová základna pro ostravské a třinecké hutě. Po sametové revoluci přešel lom na nově založenou společnost Vápenka Vitošov s.r.o. a ta ho spravuje až do dnešních dnů (www8). Lom ve Vitošově jako jediný pokračuje ve vápenické tradici v rámci těžených ložisek vápenců skupiny Branné a své výrobky dodává jak do stavebnictví, tak i do hutního průmyslu. Nálezy drobných krasových dutin popisuje Morávek (1976). V dutinách se vytvořily náteky stigmatitu (krápníková hmota) někdy mocné až 20 cm, obsahovaly také stalagmity a stalaktity. V puklinách uvádí výskyty sněhobílých, růžových až světlehnědých paličkovitých sintrů. V roce 2001–2005 probíhal monitoring krasových jevů v lomu Vitošov a byly zde odebrány reprezentativní vzorky speleotémů, mezi kterými se vyskytovaly také hrubě krystalické stébelnaté agregáty kalcitu. Vzorky jsou dnes uloženy ve Vlastivědném muzeu v Olomouci (Morávek 2006).

9. Metodika

Výběr lokalit pro odebrání vzorků byl zvolen na základě prostudování historických materiálů a ústních sdělení o výskytu hrubě krystalických kalcitů ve skupině Branné. Pro studium a odběr vzorků byly vybrány tyto lokality: Bohdíkov I – Dolní (Knížecí, Lichtenštejnský) lom, Bohdíkov II – činný lom, Branná – Nad vápenkou, opuštěný lom, Horní Lipová – činný lom, Smrčnick – činný lom, Vápenná – opuštěný lom, Vitošov – činný lom. Na lokalitách, kromě lokality Vitošov byla provedena dokumentace výskytu větších krasových poloh a dutiny se speleotémem byly orientačně osvětleny UV světlem. Následně byly odebírány vzorky hrubozrnného kalcitu s luminiscencí i bez. K provedení orientační zkoušky luminiscence byla použita ruční UV svítidla o vlnové délce 395 nm. Fotografie byly pořízeny fotoaparátem NIKON D3300. Při fotografování v UV světle byl použit filtr modrého světla.

Vybrané vzorky byly ručně nadrceny na malé kousky o velikosti do 1 mm a podrobeny zkoumání pod fluorescenčním mikroskopem Olympus BX41-RFA s filtry s excitačním rozsahem 330–385 nm, 460–490 nm, 510–550 nm a zdrojem UV záření Olympus U-RFL-T. Snímky byly pořízeny fotoaparátem Olympus model NO.C-5060 Wide Zoom instalovaným na fluorescenční mikroskop.

Ze vzorků byly zhotoveny leštěné výbrusy. Vzorky byly řezány, tak aby byla pozorovatelná růstová zonálnost krystalů. Vzorky byly naformátovány na diamantové pile na velikost podložního sklíčka o rozměru 48x28 mm. U dvou z nich musel být povrch zpevněn epoxidovou pryskyřicí, aby při následném zarovnání povrchu nedocházelo k odštípávání kalcitu podle kontaktních krystalických ploch. Po zarovnání povrchu byly vzorky očištěny v ultrazvukové čističce, vysušeny a nalepeny za pomoci dvousložkové epoxidové pryskyřice na zdrsňené podložní sklíčko. Po vytvrzení lepidla byl vzorek seříznut a lapován na požadovanou tloušťku 3 μm , aby pod mikroskopem mohlo přes vzorek dobře procházet světlo. Pro lepší pozorovatelnost byly vzorky vyleštěny. Následně byly vzorky studovány pod fluorescenčním mikroskopem Olympus BX41-RFA.

Leštěné výbrusy byly zkoumány také pomocí katodové luminiscence na katodoluminiscenční sestavě, která obsahuje polarizační mikroskop Leica DM 2500 a systém CL 8200 Mk5-1 od výrobce Cambridge Information Technology Ltd., Velká Británie. Snímky byly pořízeny fotoaparátem Olympus model NO.C-5060 Wide Zoom. Vzorky byly studovány za následujících podmínek: proud 790 μA při napětí 5 kV.

Výbrusy byly také podrobeny ramanově spektroskopii na Ramanově mikroskopu DXR Nicolet od společnosti Thermo Scientific, USA, který je vybaven integrovaným optickým

mikroskopem a termoelektricky CCD detektorem chlazeným až na $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. K excitaci byl použit laser o vlnové délce 785 nm.

Část odebraných vzorků z karbonátových hornin, slepeotém a kalcitů z hydrotermální žíly byla namleta na laboratorním vibračním mlýnku na analytickou jemnost a byla podrobena analýze na laboratorním gamaspektrometru GS-320 od společnosti Exploranium Inc., Kanada. Dále byla provedena analýza na ručním XRF spektrometru (VANTA VCA) výrobce Olympus.

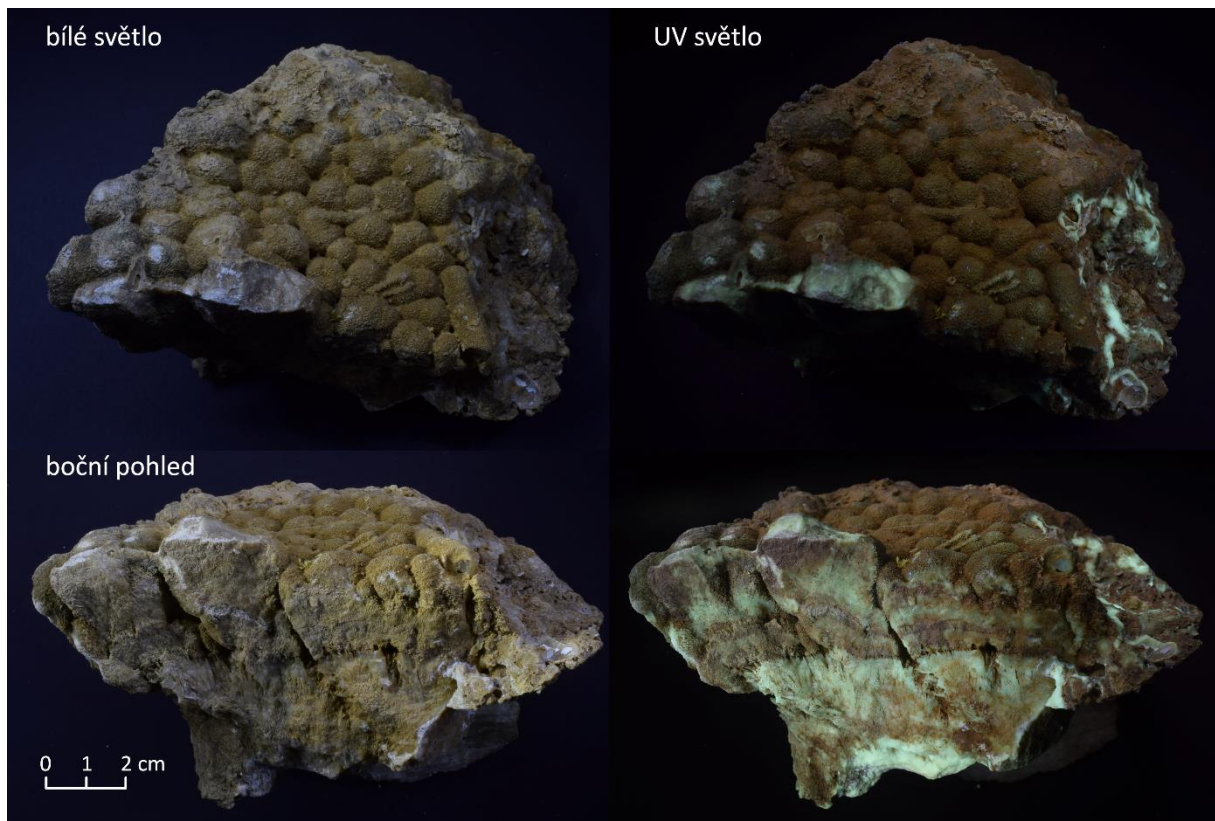
Z jednoho vzorku speleotému s výraznou žlutozelenou luminiscencí byly nařezány destičky o velikosti 25 x 35 x 15 mm (š x v x h). Takto připravené vzorky byly vloženy do laboratorní muflové pece LM 312.11 od výrobce MLM Elektro Bad Frankenhausen s rozsahem teplot $0\text{--}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a byly vystaveny různým teplotám od $200\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 15 minut. Poté byly osvětleny ruční UV svítilnou o vlnové délce 395 nm a pořízeny fotografie fotoaparátem NIKON D3300.

10. Výsledky

10.1 Terénní výzkum

Bohdíkov I – Knížecí lom

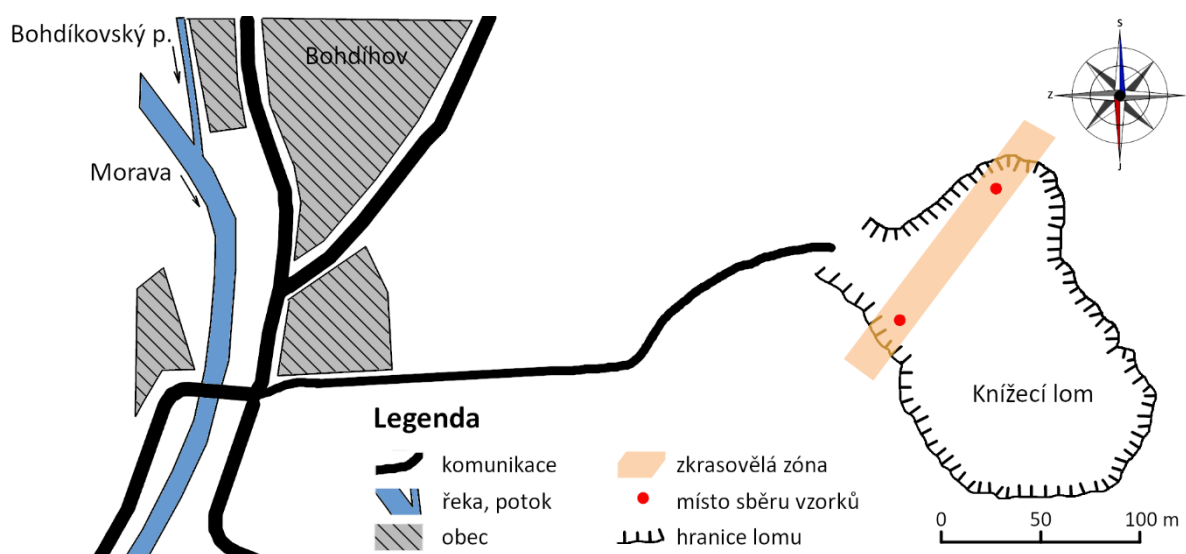
V zaniklém lomu v sutí byly nalezeny především nátekové útvary a speleotémové brekcie. Speleotémový kalcit vyskytující se na této lokalitě může být světle béžový a bílý. Je výrazně laminovaný ale i celistvý. U laminovaného kalcitu se střídají proužky do 1 mm, které jsou světle hnědavé a bílé. Struktura je jemně zrnitá až celistvá. Časté jsou i kulovité agregáty na řezu jemně vláknité radiálně paprscitě ukončené drobnými romboedry, které jsou velmi často korodovány (Obr. 17). Kras je vytvořen na téměř kolmých puklinách, které jsou ve směru SV–JZ v přední (severozapadní) části lomu (Obr. 18, 19).



Obr. 17 Do hněda zbarvené kulovité agregáty z Knížecího lomu v Bohdíkově ukončené drobnými romboedry.



Obr. 18 Panoramatický snímek Knížecího lomu v Bohdíkově s vyznačenou krasovou zónou. V prostřední části je hladká stěna lomu vytvořená na foliační ploše strmě ukloněné vrásové struktury. Stěna se nachází v jv. části lomu.



Obr. 19 Situační plánec Knížecího lomu v Bohdíkově s vyznačenou zkrasovělou zónou a místem sběru vzorků.

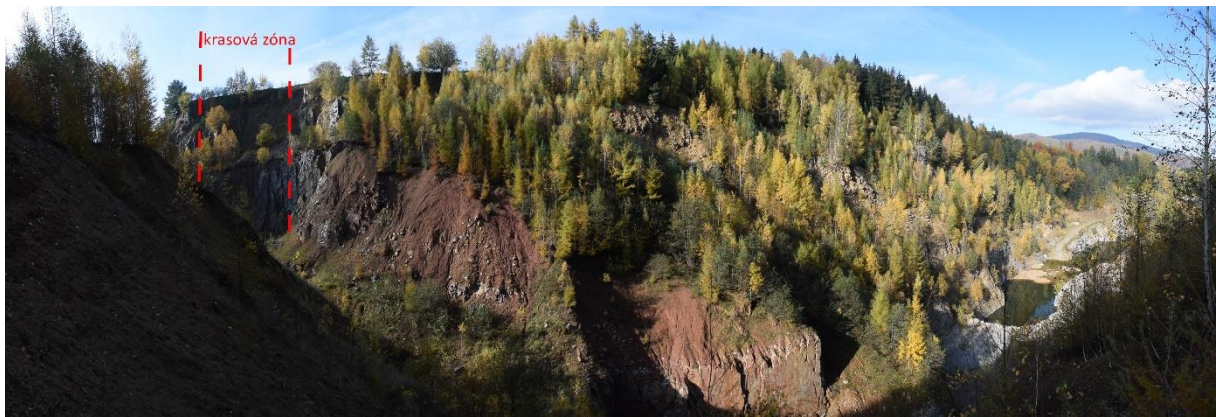
Bohdíhov II – lom EKOZIS

V lomu se nachází většinou hrubozrnný krasový kalcit, tvořící stébelnaté agregáty, které jsou zřídka ukončeny romboedry. Barva kalcitu je převážně bílá, ale může se vyskytovat i světle medově hnědý. Krystaly jsou průhledné i průsvitné. Struktura agregátů je hrubě zrnitá a kalcit se velmi dobře rozpadá na sloupečky podél kontaktních krystalických ploch. Patrná je i zonální přírůstková stavba agregátu, kde se střídají polohy znečištěného a čistého kalcitu. Nalezen byl i hrubozrnný průsvitný kalcit bílé barvy rozpadající se podle romboedru (Obr. 20). Některé krasové kalcity nalezené na lokalitě nevykazovaly žádnou luminiscenci při osvětlení UV světelnou. Většinou se jedná o čiré hrubozrnné sloupcovité agregáty. Nalezené vzorky pocházejí ze sutí pod lomovou stěnou v opuštěné části lomu (Obr. 21). V činné části nebyly nalezeny

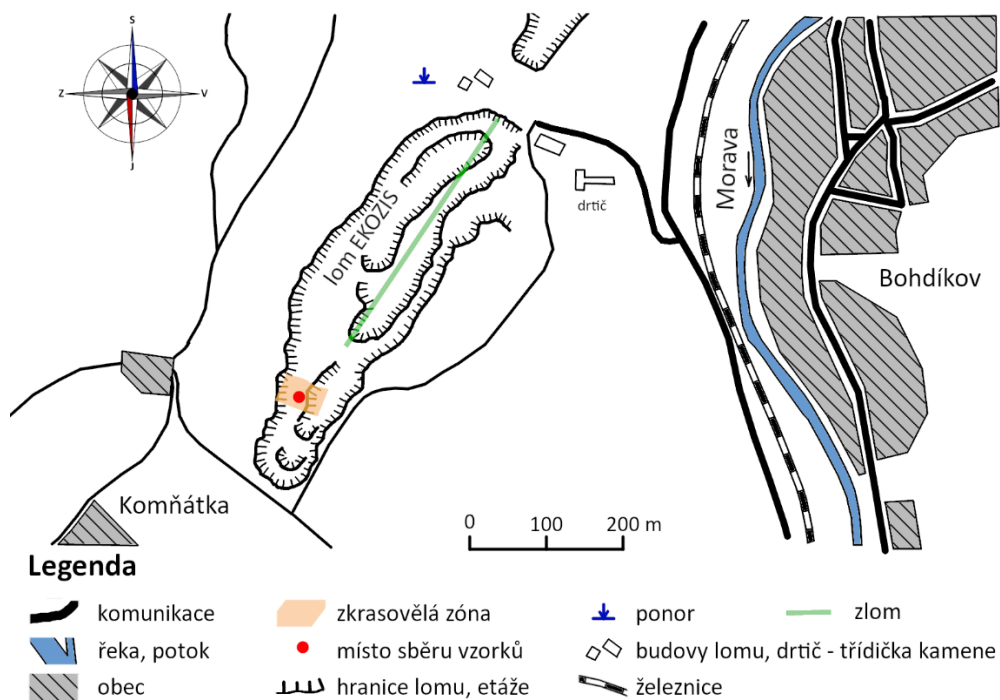
žádné krasové dutiny. Středem lomu prochází zlom, jehož směr je SV–JZ (Obr. 22). Úklon hornin kolem zlomu je téměř 90°.



Obr. 20 Speleotémový kalcit rozpadající se podél romboedru. Vrchní část vzorku nevykazuje žádnou luminiscenci.



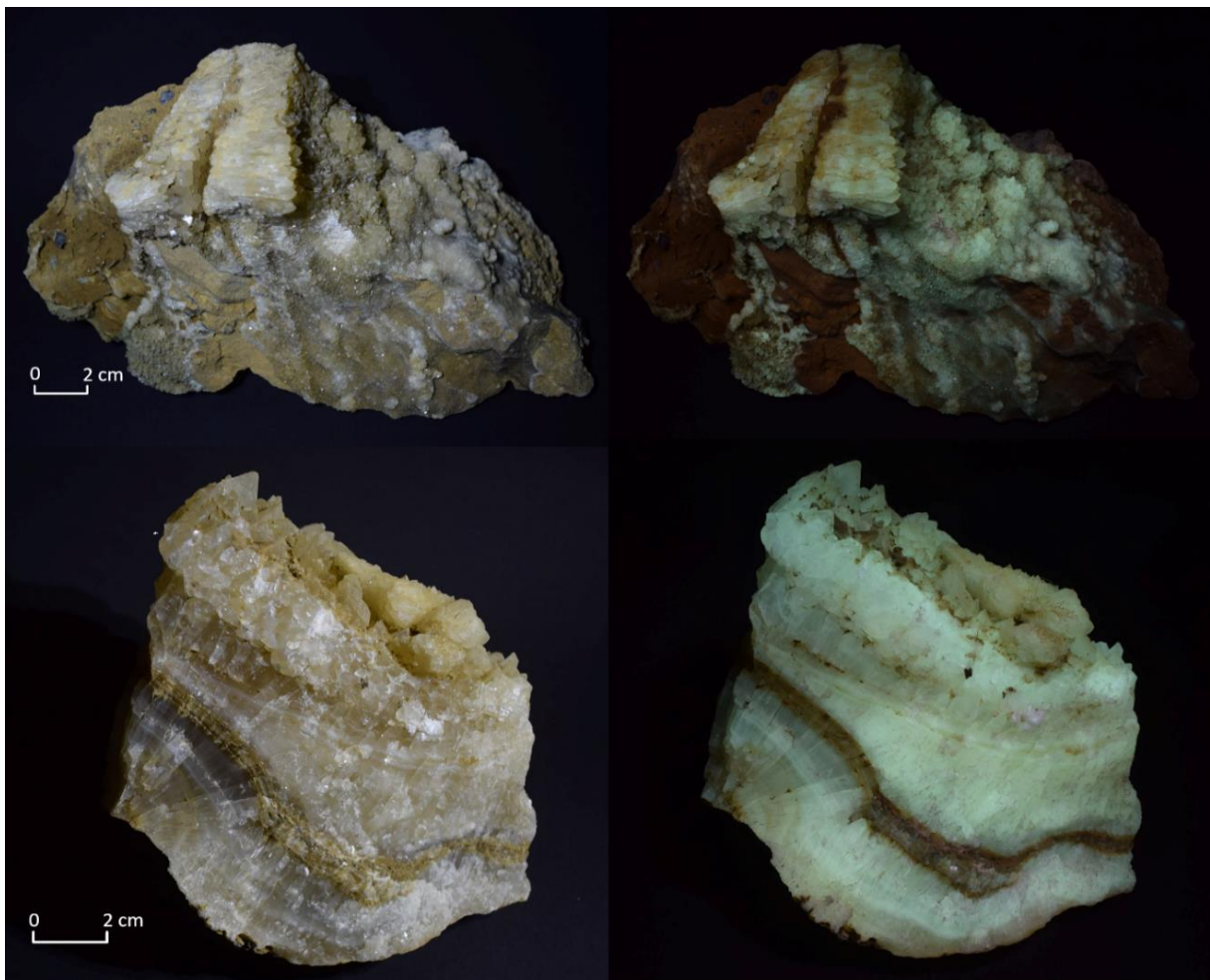
Obr. 21 Panoramaticky snímek lomu EKOZIS – opuštěná jz. část s vyznačenou krasovou zónou.



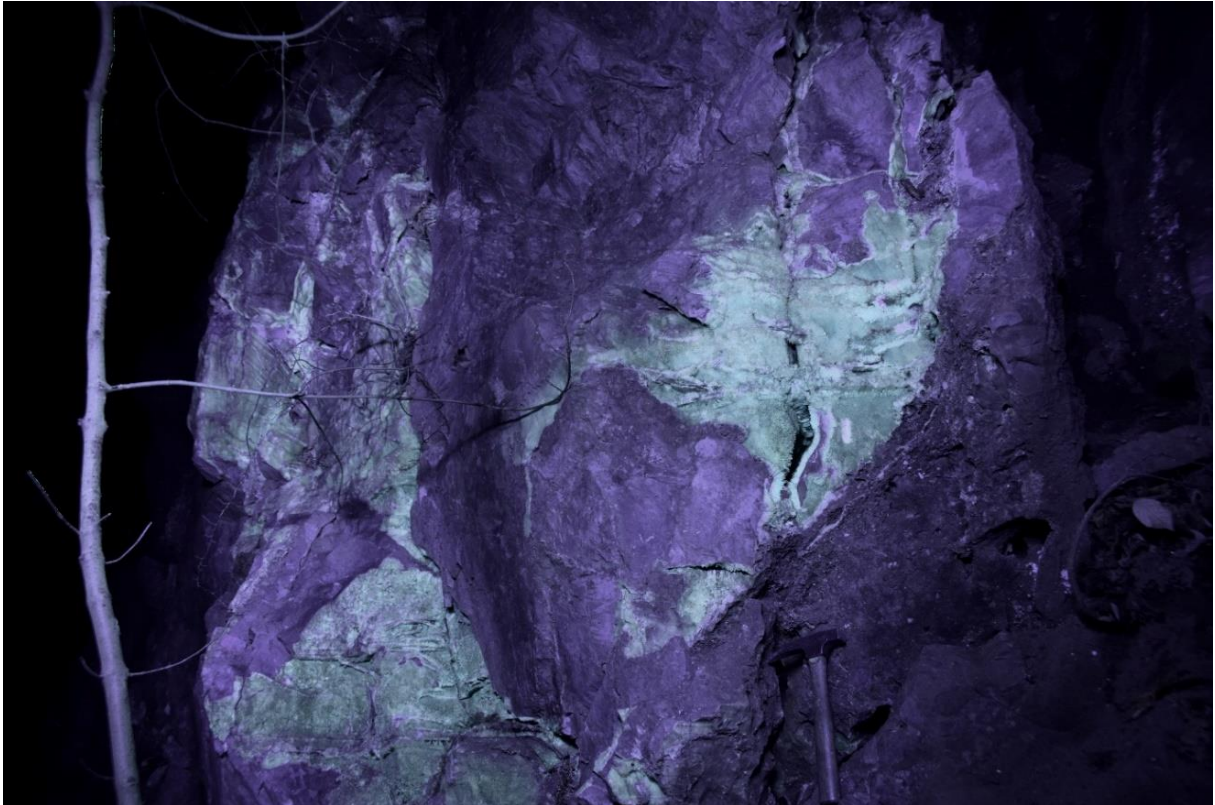
Obr. 22 Situační plán lomu EKOZIS se zakresleným zlomem a místem odběru vzorků.

Branná – lom Nad vápenkou

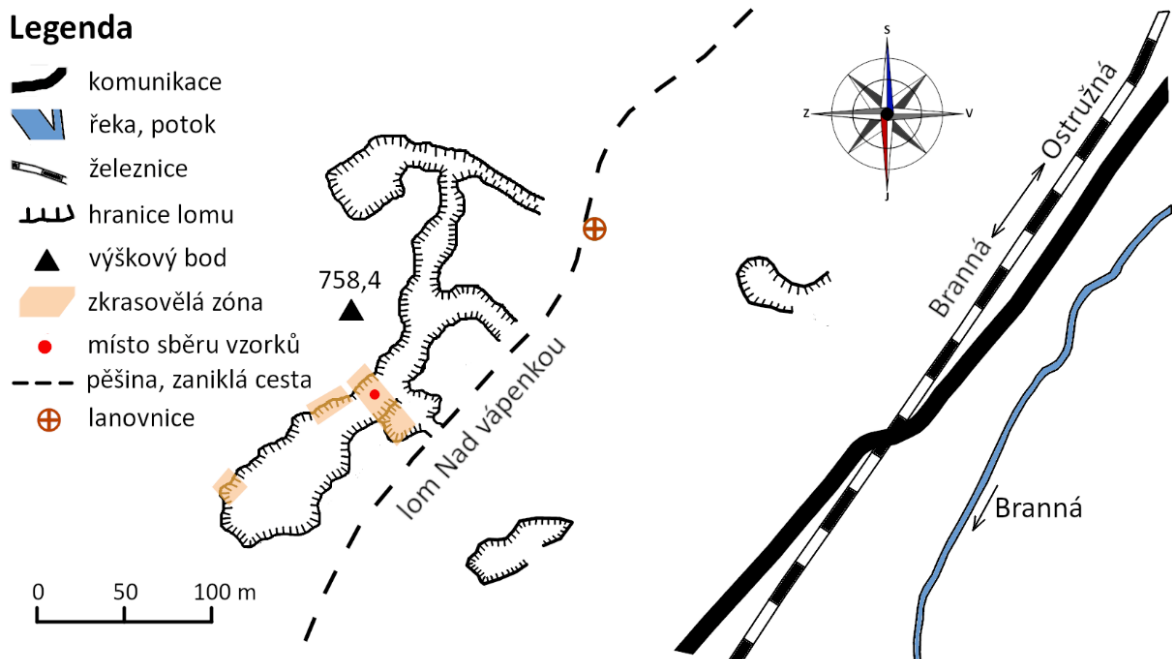
Z této lokality pocházejí velké kusy stébelnatých hrubě krystalických agregátů kalcitu o mocnosti až 10 cm, které jsou ukončeny romboedry o velikosti až 1,5 cm (Obr. 23). Barva je převážně bílá až velmi světle nahnědlá. Agregáty se velmi dobře rozpadají podle kontaktních krystalických ploch. Patrná je i zonální přírůstková stavba agregátu, kde se střídají proužky, bílé nebo světle hnědé. Tento jev je dobře patrný při osvětlení UV světlem. Hrubozrnné speleotémy se nacházejí jak na stěnách lomu, tak i v sutí (Obr. 24 a 25).



Obr. 23 Sloupcovitý Hrubě krystalický agregát ukončený romboedry. Na vrchním snímku narostlý na hornině



Obr. 24 Stěna lomu osvětlená UV světlem. Jako měřítko slouží kladívko v pravé dolní části snímku.

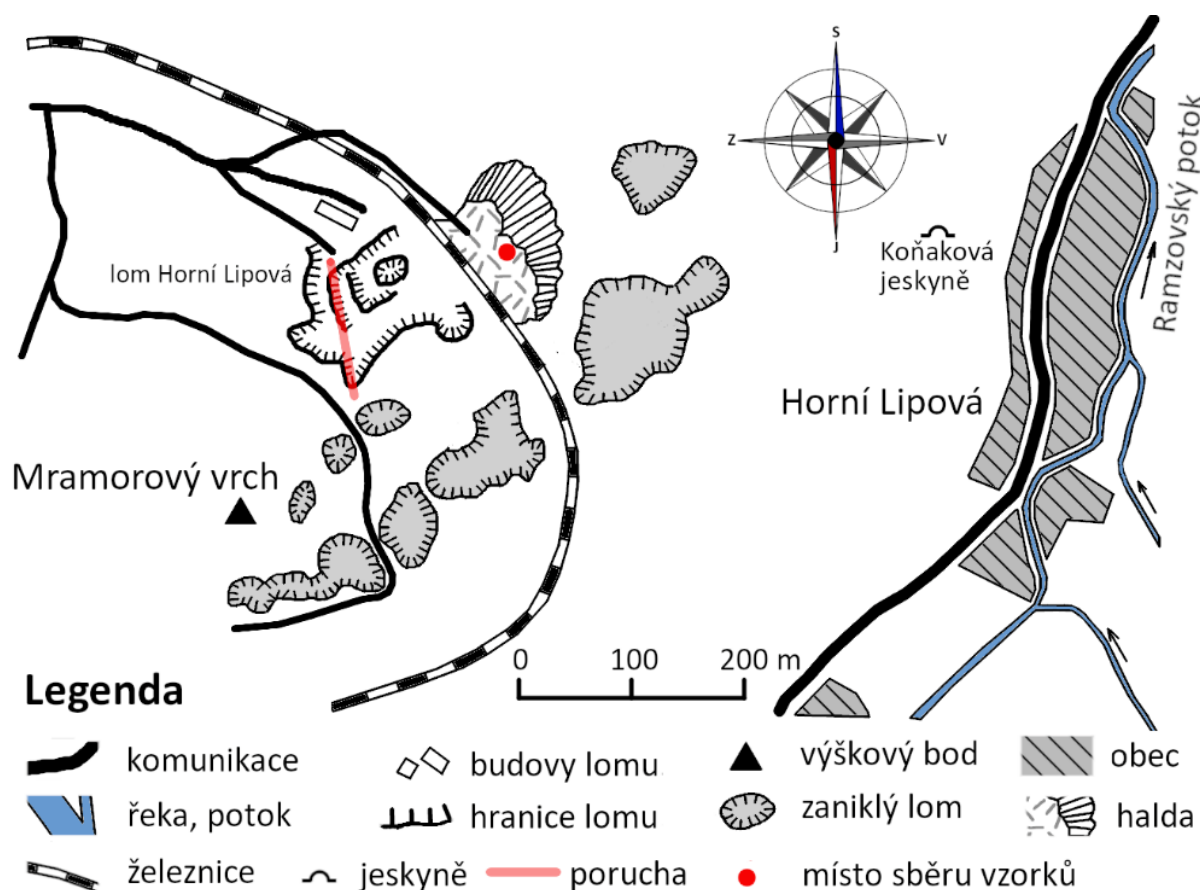


Obr. 25 Situační plánec zaniklého lomu Nad vápenkou v Branné se zakresleným místem odběru vzorků.

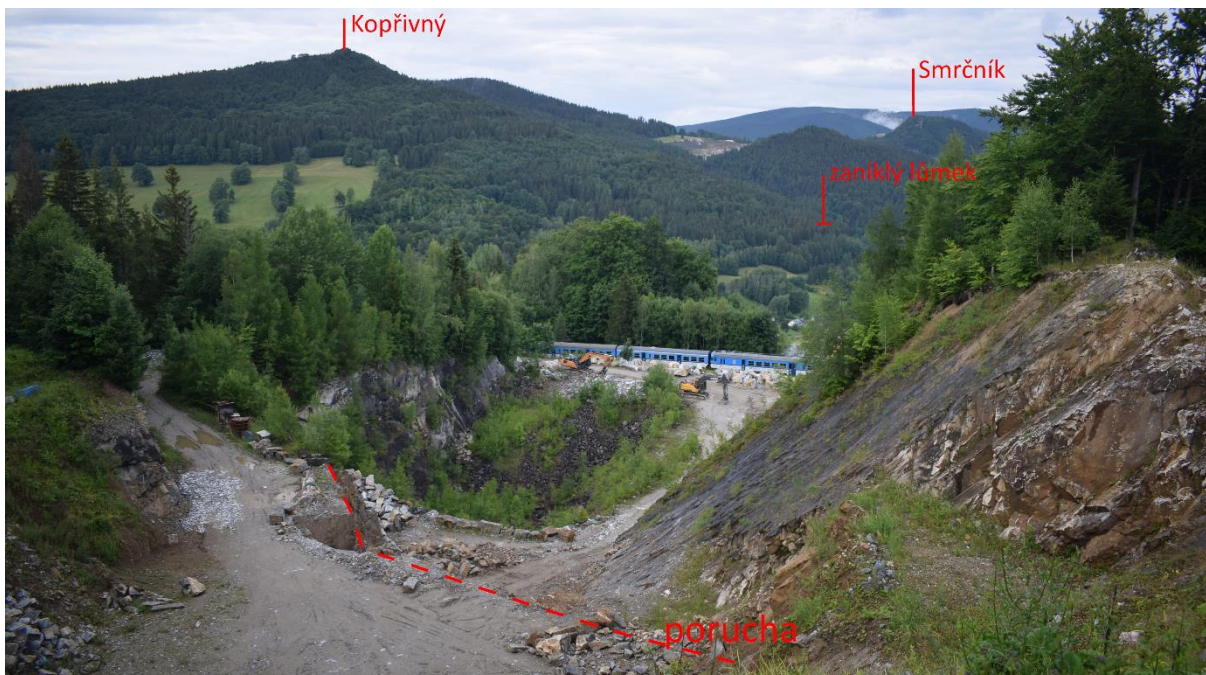
Horní Lipová – činný lom

Na lokalitě Horní Lipová lom byl nalezen pouze jeden vzorek krasového kalcitu, a to v haldovém materiálu (Obr. 26). Vzorek má bílou až nažloutlou barvu a je hrubě krystalický. Vzorek je patrně fragment vyštípnutý z většího celku. Na lokalitě byly také nalezeny hydrotermální kalcity, které jsou hrubě krystalické a štípají se podél romboedru. Barva je nejčastěji bílá a světle hnědožlutá. Byly zde nalezeny i 1,5 cm velké krátce sloupcovité krystaly bez luminiscence, ukončené romboedry. Kalcity jsou součástí křemen-karbonátových žil.

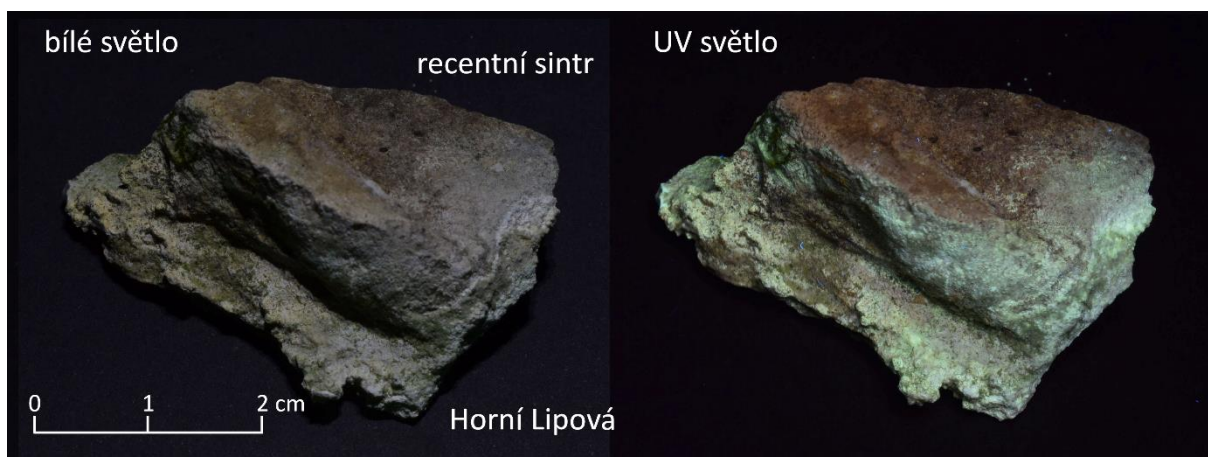
Ve velmi malém zaniklém lomu založeném na výchoze krystalických vápenců o rozměru 5 m (délka) x 2,5 m (výška), který se nachází mezi lomem Smrčnick a činným lomem v Horní Lipové na j. svahu Kopřivného (823 m n. m.) (Obr. 27) byl odebrán vzorek recentního kalcitu v podobě bílého sintru pro makroskopické posouzení na luminiscenci (GPS: N 50°13.71302', E 17°6.11550'). Luminiscence vzorku byla pozitivní. Jelikož sintr vznikal v otevřeném prostředí na puklině nabízí se možnost bakteriální kontaminace a s ní spojená možná luminiscence (Obr. 28).



Obr. 26 Situační plán činného lomu Horní Lipová se zakresleným místem odběru vzorků.



Obr. 27 Pohled z vrchní etáže činného lomu Horní Lipová s vyznačeným zaniklým lůmkem a poruchou protínající lom v severním směru.

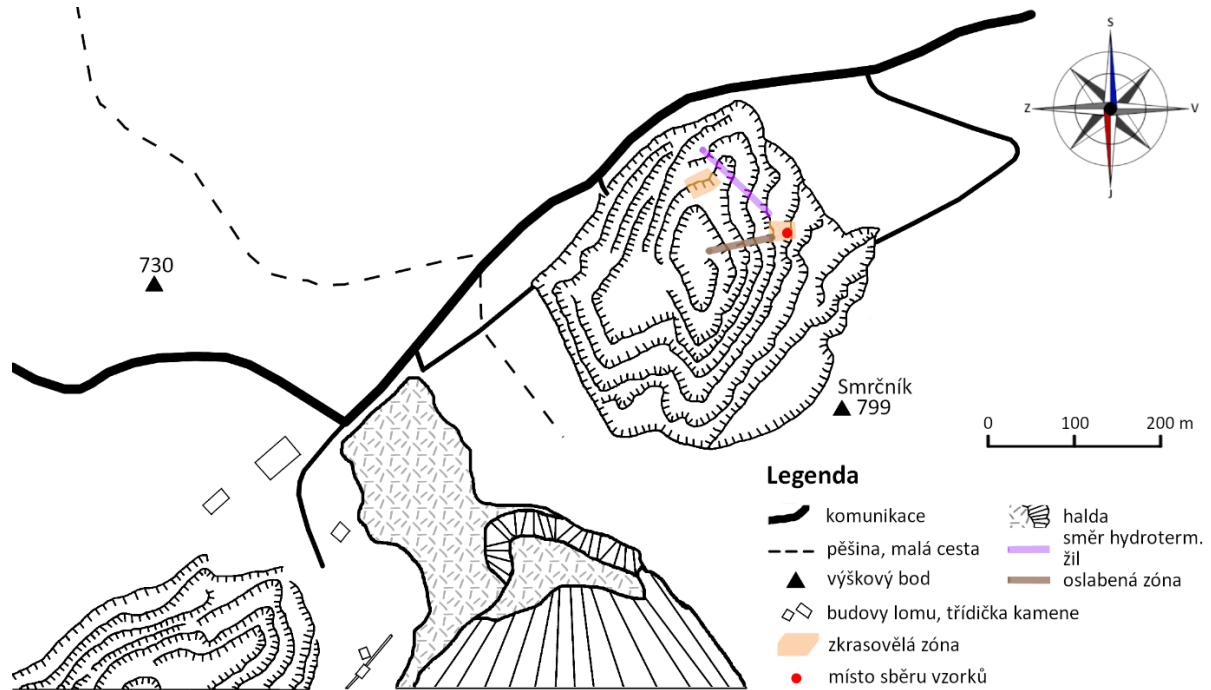


Obr. 28 Vzorky recentního kalcitového sintru v bílém světle (vlevo) a UV světle (vpravo).

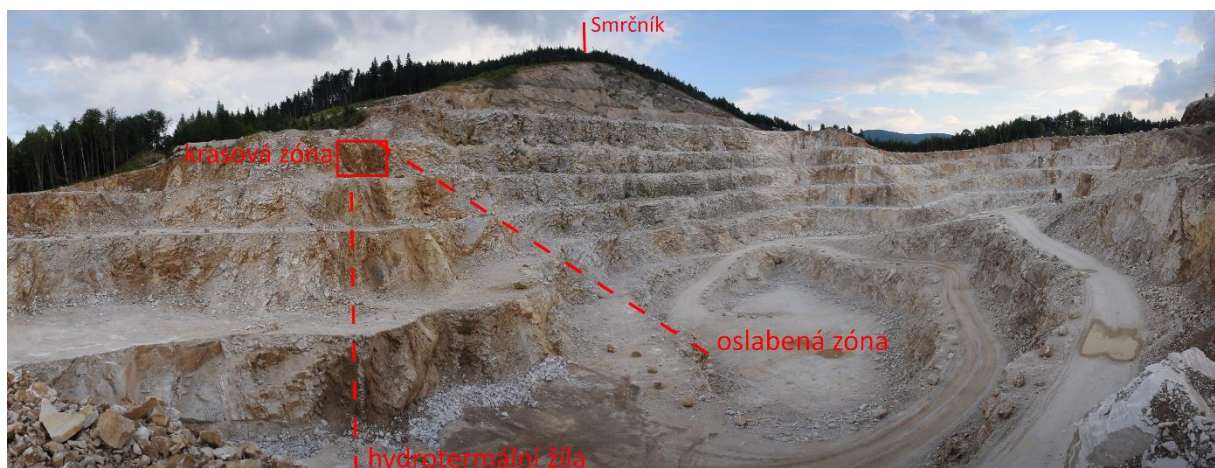
Lipová-lázně – Smrčnick

V horním lomu na tektonicky porušeném pásmu se vedle sebe nachází jak krasové, tak i hydrotermální kalcity jedna z mnoha žil je vyznačena na Obr. 29 a 30. Hydrotermální kalcity nalezené v lomu mají obvykle bílou, narůžovělou až šedavou barvu. Jsou hrubě krystalické a mají všesměrnou strukturu. Některé při UV osvětlení vydávají růžovočervenou luminescenci (Obr. 31). Krasové kalcity tvoří náteky na stěnách krasových dutiny (Obr. 32). Vytváří také obalové náteky na kamenech, které tvoří suťovitou až brekciovitou výplň pukliny. Mocnější náteky mají stébelnatou stavbu a jsou převážně hnědožluté s výraznými přírůstkovými zónami. Vyskytují se i výrazně mladší speleotémy, které mají bílou barvu a tvoří krápníky a náteky.

Povrch starších náteků je většinou pokryt hnědým jílovým sedimentem, který zamezuje luminiscenci.



Obr. 29 Situační plán lomu Smrčnick s vyznačenou polohou karasové zóny a sběrem vzorků



Obr. 30 Lomová stěna s vyznačeným směrem hydrotermální žíly a krasové zóny.



Obr. 31 Hydrotermální kalcit v bílém světle (vlevo) a UV světle (vpravo).



Obr. 32 Stěna lomu osvětlená UV světlem s výraznou luminiscencí speleotémů v krasové zóně.

Vápenná – zaniklý lom

Krasový kalcit byl nalezen v podobě silnějších nátek bílé a medově hnědé barvy s páskovanou texturou a v rámci silnějších pásků je zřetelná sloupcovitá struktura. Na lokalitě v suti byly nalezeny i hydrotermální kalcity, které však nejsou tak makroskopicky hrubé jako z lokalit Horní Lipová – činný lom a Lipová-lázně – Smrčnick. Jejich barva je převážně bílá a struktura všesměrně zrnitá. Nejběžnější velikost zrn je většinou do 2 mm, ale ojediněle se vyskytují polohy se zrny do 2 cm. V tomto uskupení zrn byl po osvětlení viditelný proužek kalcitu se žlutozelenou luminiscencí (Tabulka 2, Obr. 33). Vzorek byl nalezen v suti pod lomovou stěnou, ve které se nachází menší přibližně 15 cm mocná hydrotermální žíla vyplněná kalcitem, která má jv. směr, je téměř kolmá a souběžná s lomovou stěnou. Žíla se dochovala díky neodtěženému zbytku u paty stěny (Obr. 34, 35). Primární výskyt, ze kterého pochází vzorek hydrotermálního kalcitu s žlutozelenou luminiscencí nebyl v dostupné části lomové stěny zjištěn. Místo nálezu je označeno na Obr. 36. Dále zde byla nalezena malá čočka hydrotermálního kalcitu vytvořená při metamorfóze, u které byla zjištěna růžovočervená luminiscence (Tabulka 2, Obr. 37).

V lomech se nachází dvě veřejnosti nepřístupné jeskyně Roušarova a Velký dóm.



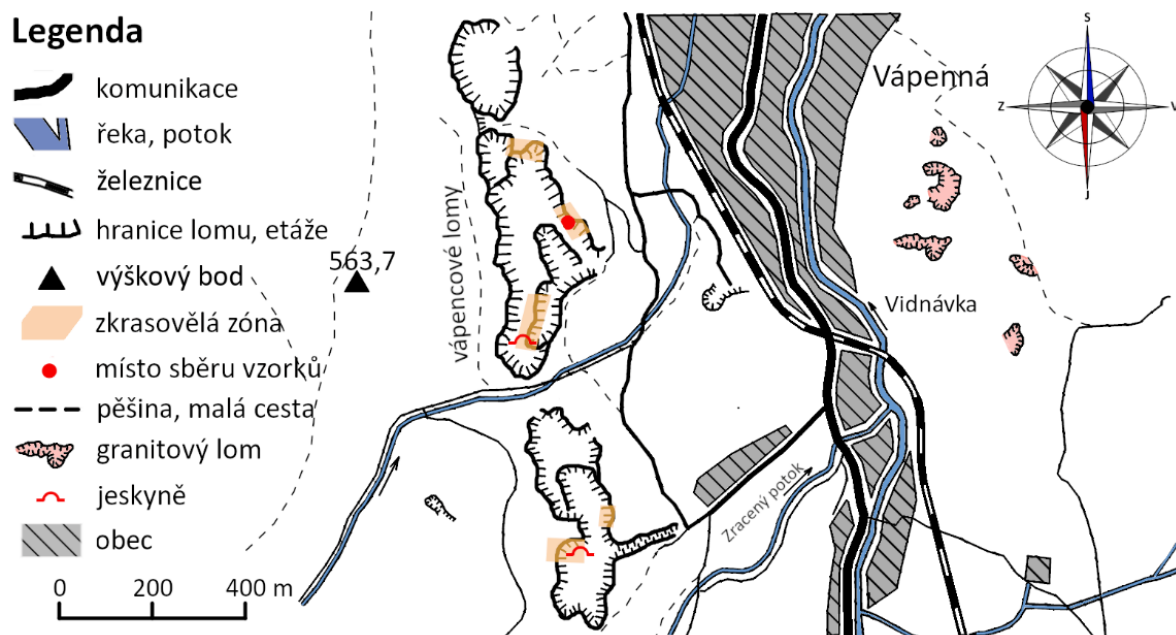
Obr. 33 Porovnání hydrotermálních kalcitů z lokalit Horní Lipová a Vápenná. Na vzorku z Vápenné je vidět proužek žlutozelené luminiscence.



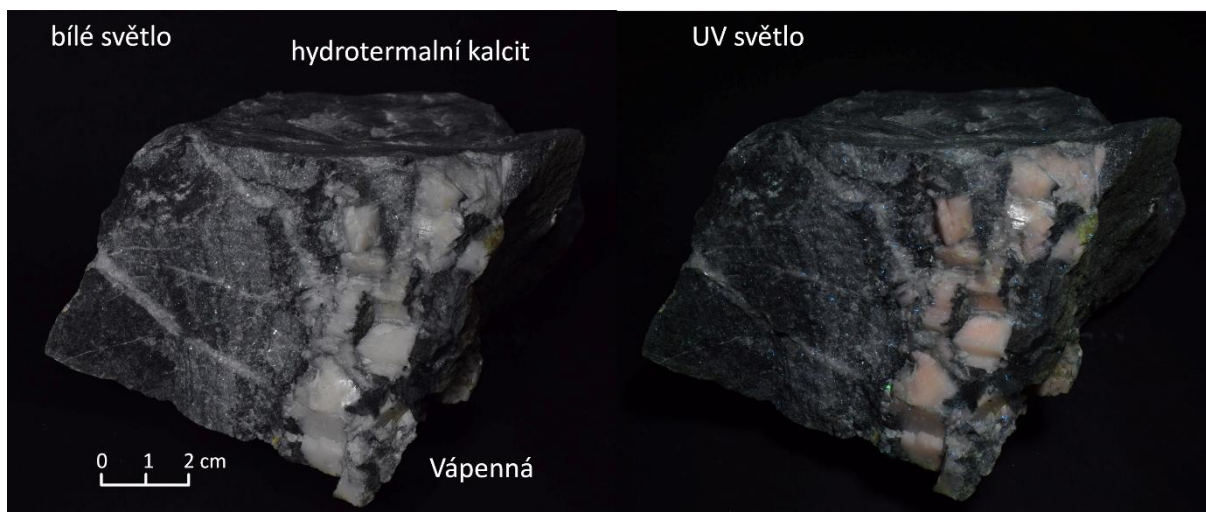
Obr. 34 Panoramatiký snímek lomu ve Vápenné s vyznačenou zónou sběru vzorků a polohou hydrotermální žíly.



Obr. 35 Malá kalcitová hydrotermální žíla u paty východní lomové stěny zaniklého lomu u Vápenné



Obr. 36 Situační plánec lomů v blízkém okolí Vápenné s místem sběru vzorků a krasových zón.



Obr. 37 Hydrotermální kalcit z malé čocky v bílém světle (vlevo) a UV světle (vpravo).

Vitošov

Z lokality Vitošov byly prostudovány některé reprezentativní vzorky speleotém uložené ve Vlastivědném muzeu v Olomouci. Většina zkoumaných vzorků vykazovala žlutozelenou luminiscenci. Kromě zářivě bílých (květákovitých a pizolitických) sintrových agregátů, ty vyzařovali luminiscenci bílou. Ve sbírkách se také nachází vzorky bez luminiscence, a to speleotémy, které byly silně znečištěny nejspíše oxo-hydroxydy Fe a jílovými minerály a byly zbarveny do hnědočervena. Průhledný nárůst skalenodrických krystalů kalcitu na jednom ze zkoumaných vzorků nevykazoval žádnou luminiscenci. Hrubo-zrnné stébelnaté agregáty, které jsou ukončené romboedry, jsou geneticky analogické k nálezům z lokalit Bohdíkov II a Branná. Liší se pouze zbarvením. Vzorky mají medově hnědou barvu (Obr. 38).



Obr. 38 Hrubě krystalický speleotémový kalcit štěpící se podél kontaktních krystalických ploch v bílém světle (vlevo) a UV světle (vpravo).

Tabulka 2 Přehled zkoumaných vzorků z lokalit a jejich luminiscence.

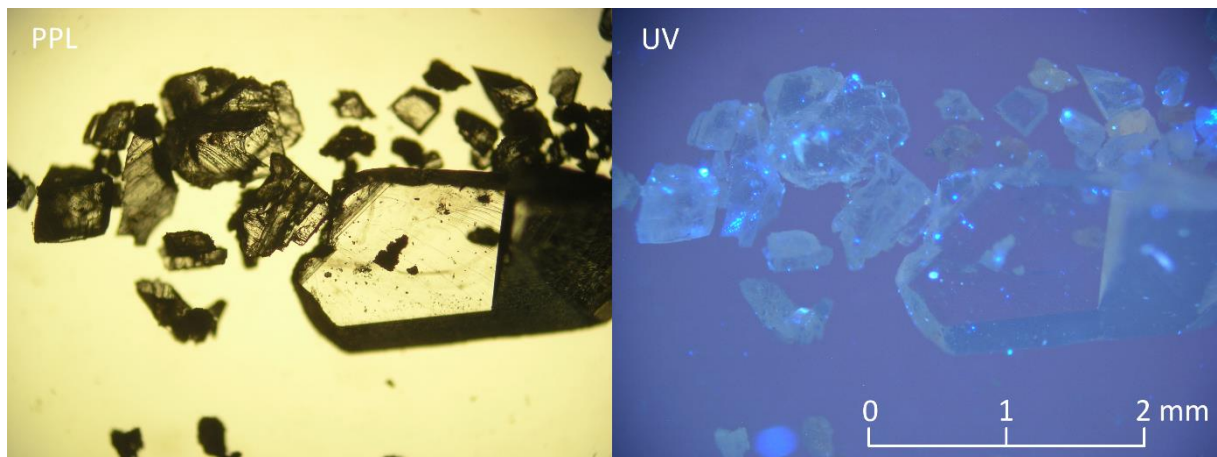
Lokalita	Geneze kalcitu	Luminiscence	Poznámka
Bohdíkov I – Knížecí lom	speleotém	žlutozelená, bílá, bez luminiscence	náteky
Bohdíhov II – Ekozis lom	speleotém	žlutozelená, bez luminiscence	Masivní rozpadající se do romboedru
Branná – Nad vápenkou lom	speleotém	žlutozelená	stébelnatý kalcit
Horní Lipová – výchoz vápenců – malý lůmek	speleotém	žlutozelená	sintr
Horní Lipová – lom	speleotém	žlutozelená	hrubozrný
Horní Lipová – lom	hydrotermální	bez luminiscence, slabě růžová	křemen-karbonátová žilovina, hrubozrný
Lipová-lázně – Smrčnick lom	speleotém	žlutozelená	brčka, náteky
Lipová-lázně – Smrčnick lom	hydrotermální	bez luminiscence, slabě růžová, růžová, růžovočervená	Křemen-karbonátová žilovina, hrubozrný
Vápenná – lom	speleotém	žlutozelená	hrubozrný
Vápenná – lom	hydrotermální	bez luminiscence, žlutozelená	karbonátová žilovina
Vápenná – lom	hydrotermální (při metamorfóze)	růžovočervená	Masivní rozpadající se do romboedru
Vitošov – lom	speleotém	bílá, žlutozelená, bez luminiscence	hrubě krystalické kalcity pisolitické, krápníky krusty

10.2 Laboratorní výzkum

10.2.1 UV mikroskopie štěpných úlomků a výbrusů

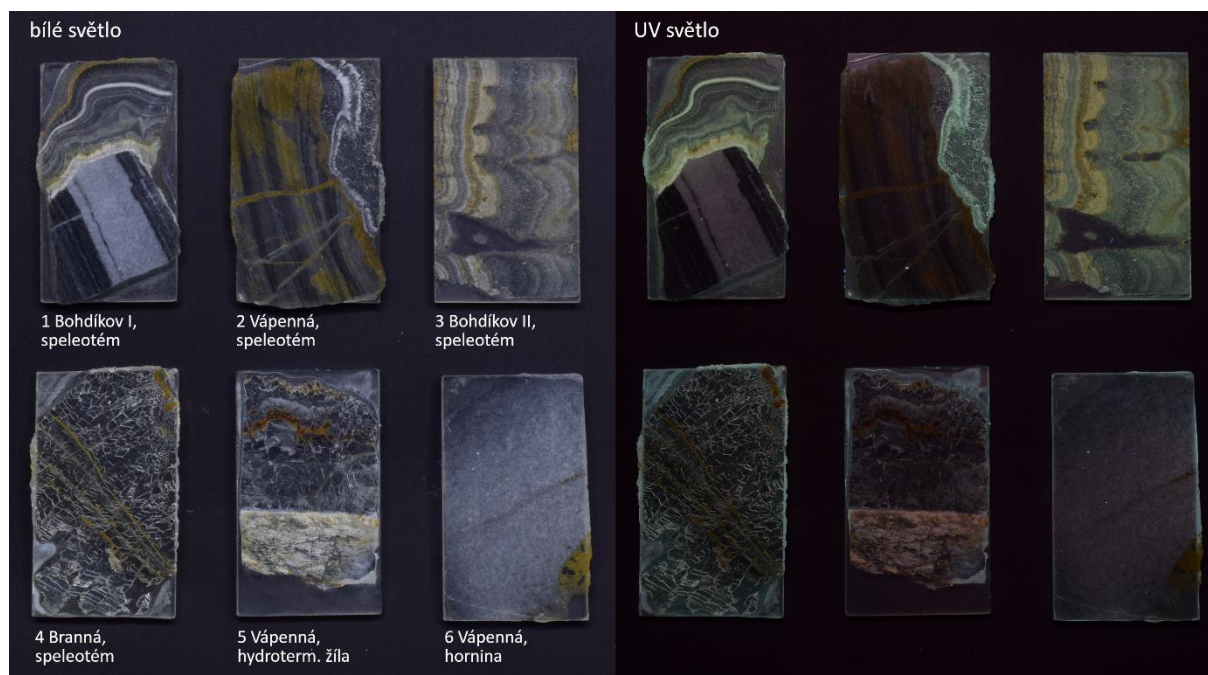
Záměrem této metody bylo orientační prozkoumání inkluzí v drobných krystalcích kalcitu pod UV světlem. Studované vzorky byly vybrány z krasových a hydrotermálních kalcitů, a to z důvodu jejich porovnání. Prvotní myšlenka byla, že v kalcitech budou obsaženy inkluze, které zapříčiní celkovou (tj. makroskopicky viditelnou) luminiscenci vzorků.

U nadrcených krystalků speleotém byla pozorována celková luminiscence, ale zdroj nebyl mikroskopicky viditelný. Byly také pozorovány drobné objekty, které se jeví jako inkluze s jasnou luminiscencí, ale při dalším studiu bylo zjištěno, že se jedná nejspíš o prach vzniklý při drcení vzorku, který ulpěl na povrchu krystalku (Obr. 39). Nevylučuje to však možnost, že se v kalcitu mohou nacházet i inkluze, které budou luminiscenční. Touto metodou však nelze uspokojivě stanovit, jestli pozorovaný vzorek obsahuje inkluze s luminiscencí či ne.



Obr. 39 Výřez z mikroskopického pozorování štěpných úlomků. V UV světle jsou nápadné luminiscenční objekty, které nejspíš představují velmi malé částičky z nadrceného materiálu, které ulpěly na povrchu větších úlomků.

Ve další etapě bylo připraveno 6 výbrusů, které byly vyleštěny. Dva vzorky reprezentují speleotém narostlý na hornině z lokalit Bohdíkov I a Vápenná, třetí byl vyřezán ze speleotémové výrazně laminované krusty. Další dva vzorky reprezentují jemnozrnný a hrubozrnný speleotém z lokalit Bohdíkov I a Branná. Šestý vzorek pochází z lokality Vápenná a je zhotoven ze žíly hydrotermálního kalcitu s proužkem žlutozelené luminiscence. Poslední vzorek je karbonátová hornina z lokality Vápenná (Obr. 40).

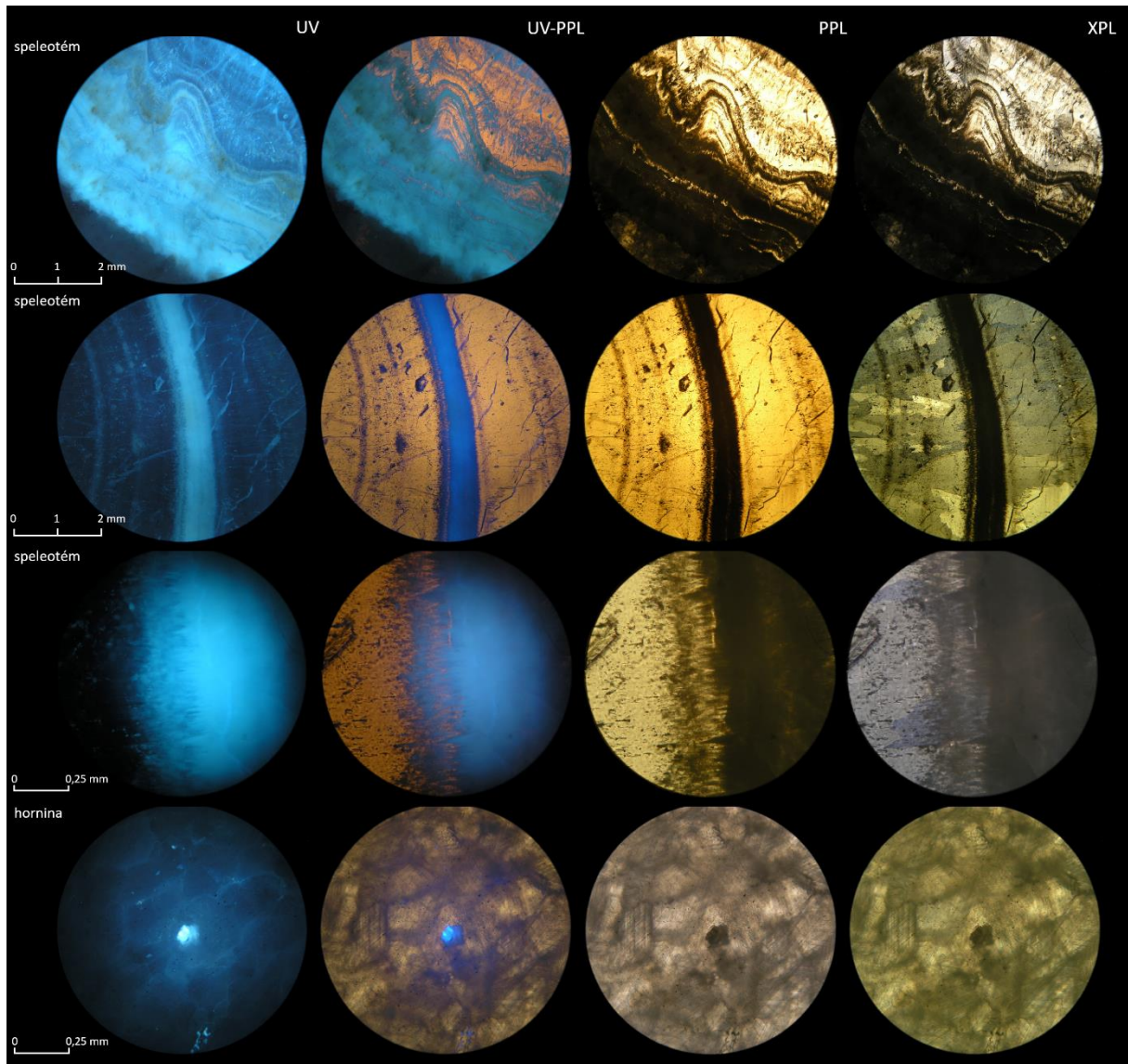


Obr. 40 Přehled výbrusů v bílém světle (vlevo) a UV světle (vpravo).

Výbrus 1 – Bohdíkov I

Výbrus obsahuje speleotém narostlý kolmo k foliaci horniny. Má páskovanou texturu, kde se střídají bílé a čiré polohy (růstová zonalita). Při mikroskopickém pozorování v PPL bylo zjištěno, že mléčně bílé pásy jsou pod mikroskopem neprůsvitné a vytvářejí na okrajích pásku husté drobné jehličky, které jsou protažené ve směru růstu speleotému. Pásy s menším znečištěním jsou také složeny z inkluzí ve tvaru jehliček protažených ve směru růstu, ale jejich hustota není taková, aby vytvořila celistvou neprůsvitnou polohu, pásy s nejmenším znečištěním tvoří tmavě hnědé poloprůsvitné zakalené pásy. Po celém vzorku jsou nesteromálně rozmístěny jak jehlicovité, tak i tvarově nepravidelné inkluze. Jehlicovité inkluze jsou orientované ve směru růstu speleotému. Při pozorování v XPL je možné rozlišit xenomorfně až hypautomorfně omezené sloupcovité krystaly kalcitu orientované ve směru růstu speleotému.

Při pozorování v UV světle je velmi dobře viditelná růstová zonálnost. Více znečištěné polohy mají vyšší modrobílou luminiscenci než méně znečištěné. Lze pozorovat husté velmi slabé dlouze protažené vlasové struktury s méně výraznou luminiscencí, které jsou kolmé k laterální růstové zonálnosti, tudíž jsou protažené ve směru růstu speleotému. Vyšší luminiscence se také objevuje na štěpných plochách (Obr. 41). V hornině se nestejně vyskytují inkluze s luminiscencí. Jsou nepravidelného tvaru a různých velikostí. Na fotografii ve 4. řadě Obr. 41 je zachycena velmi slabá luminiscence na styku krystalů, která není pouhým okem viditelná.



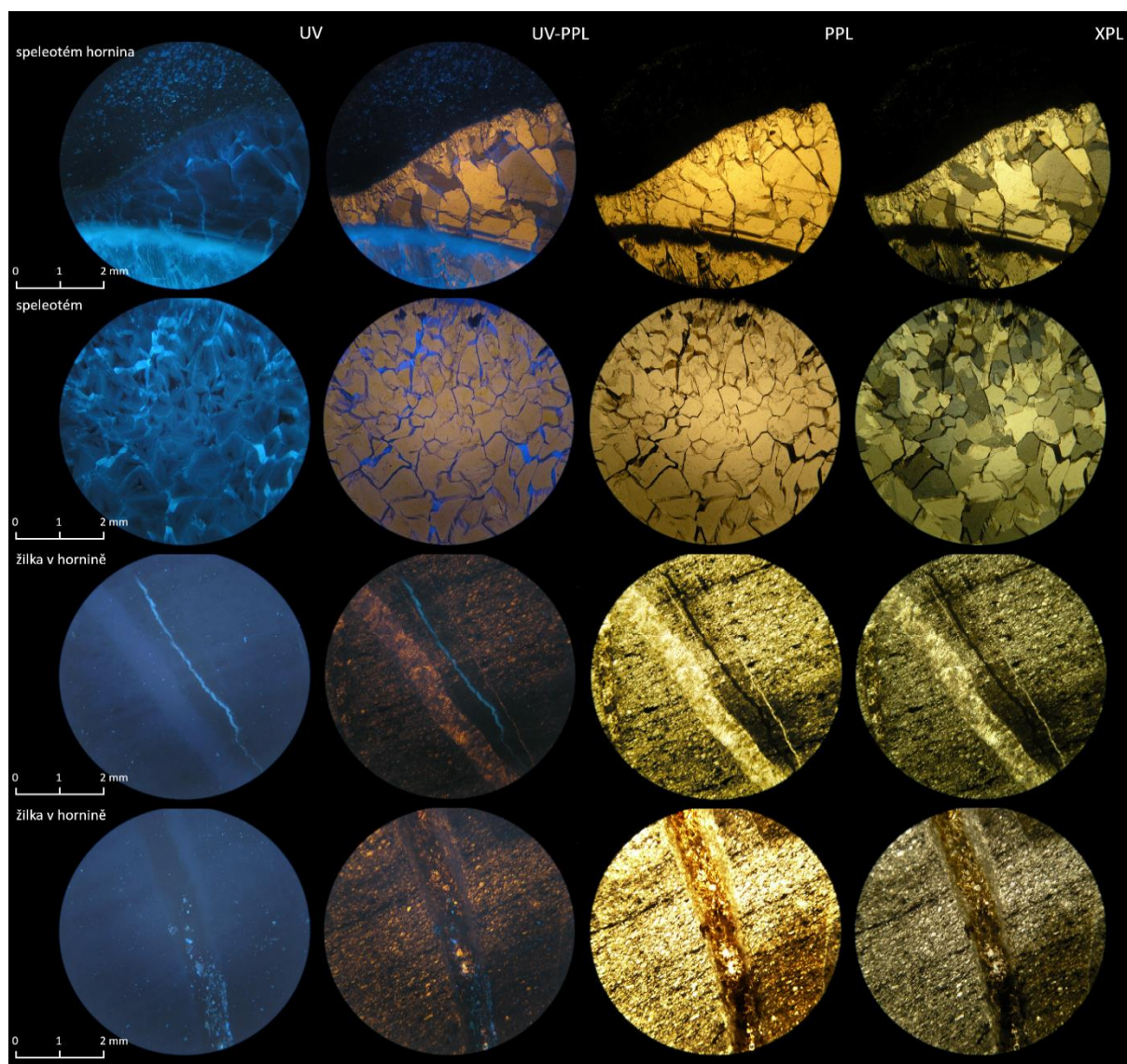
Obr. 41 Mikrofotografie a UV luminiscence u výbrusu 1: první řada je speleotém s horninou, ta se nachází na snímcích vlevo dole, druhá řada je úzký proužek bílé nárůstové zóny, třetí řada je detail bílé nárůstové zóny a čtvrtá řada je inkluze v hornině.

Výbrus 2 – Vápenná

Hornina je šedá laminovaná, kde se střídají světlejší polohy. Laminy jsou v řádech do 2 mm. Hornina je místy zabarvena světlehnědě nejspíš oxidy Fe. Horninu protínají příčně

k laminaci kalcitové žilky o mocnosti do 1,2 mm. Speleotém je na hornině narostlý ve směru foliace horniny a je převážně čirý se dvěma bílými růstově zonálními proužky. Bílé polohy ve speleotému jsou neprůsvitné a velmi podobné s bílými proužky z výbrusu 1. Speleotém obsahuje méně pevných inkluzí, které mají izometrický tvar a jsou ve speleotému nepravidelně rozmístěny. Zrna kalcitu mají nepravidelný tvar a jsou hypautomorfně až xenomorfně omezená.

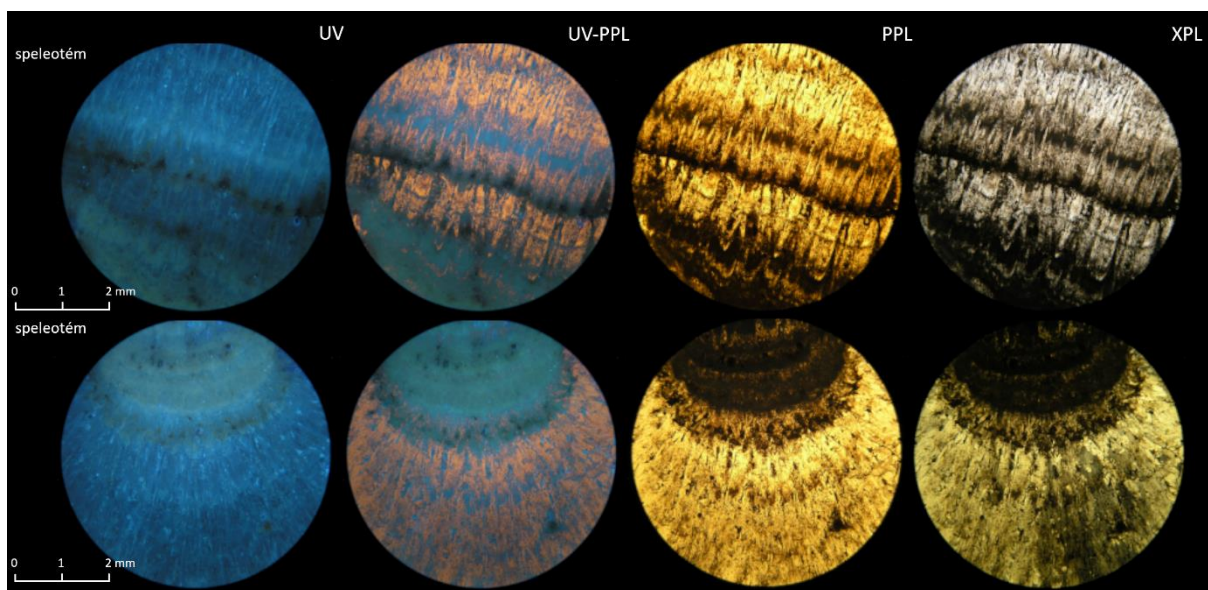
Při pozorování v UV světle lze pozorovat u zrn speleotému růstovou zonalitu. Zrna ohraničuje výrazná luminescence. Zajímavé jsou luminescenční pevné inkluze v hornině, které jsou ve větší míře akumulovány v oblasti u rozhraní hornina – speleotém. Luminescenční inkluze lze najít i v kalcitových žilkách, které vykazují velmi slabou luminescenci viditelnou pouze optikou fotoaparátu. Jedna žilka, která je při pozorování v normálním světle neprůsvitná, je při UV osvětlení luminescenční a její intenzita se shoduje s intenzitou luminescence inkluzí v hornině (Obr. 42).



Obr. 42 Mikrofotografie a UV luminescence u výbrusu 2: první řada je speleotém s horninou nahoře, druhá řada je čirý speleotém, třetí řada zachycuje žilky v hornině a čtvrtá řada zachycuje inkluze v žilce.

Výbrus 3 – Bohdíkov II

Zkoumaný vzorek je speleotémová krusta s různou mírou kontaminace. Ta se projevuje proměnlivostí barev od hnědé po světle žlutohnědou, bílou až bezbarvou v přírůstkových zónách. Popis speleotému je obdobný jako u výbrusu 1. Při mikroskopickém pozorování v UV světle byla v některých partiích zjištěna změna barvy luminiscence, a to žlutavá až žlutozelená. Většina objektů při pozorování v UV světle svítí v odstínech modrobílé barvy (Obr.43).

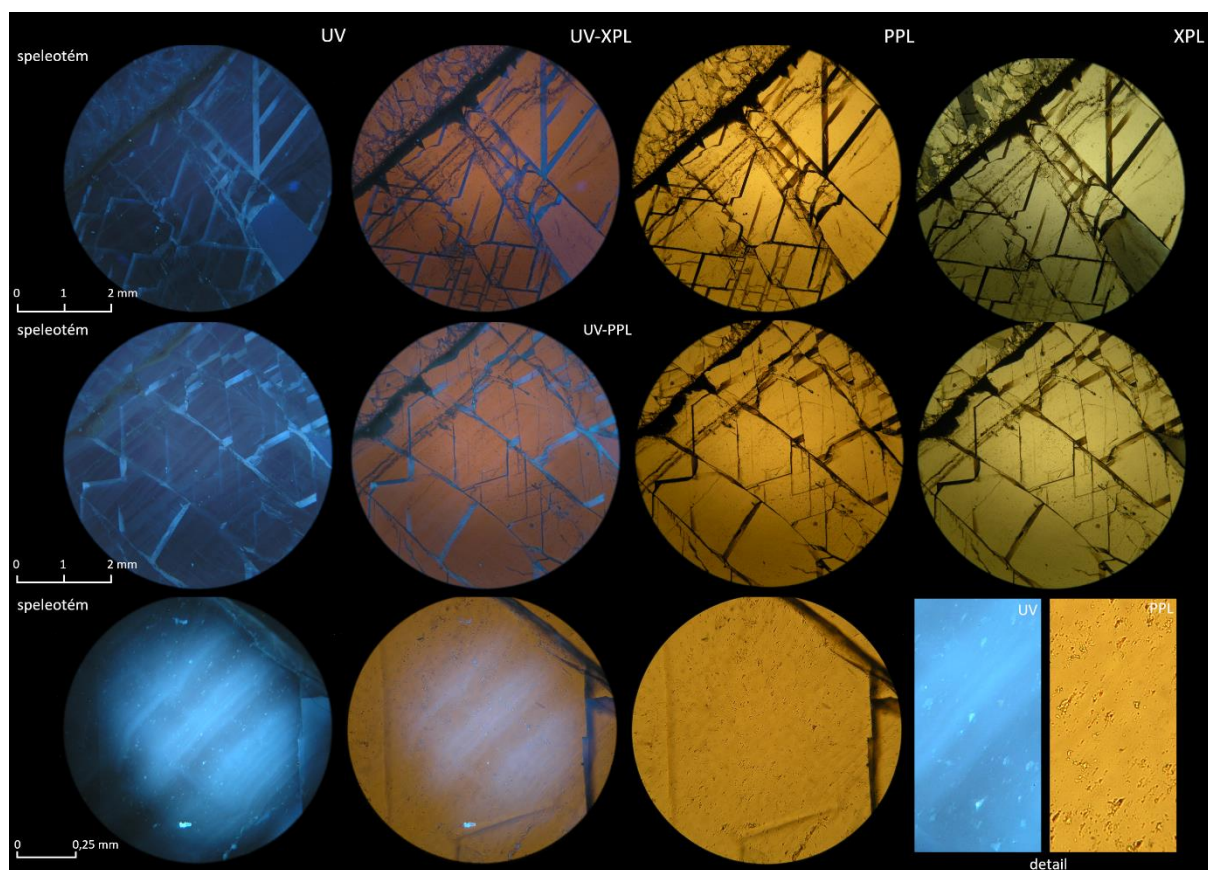


Obr. 43 Mikrofotografie a UV luminiscence u výbrusu 3 zachycuje různý vývoj speleotému s rovnou (řada 1) a s radiálně paprscitou strukturou (řada 2).

Výbrus 4 – Branná

Výbrus 4 představuje čirý, hrubozrný speleotém se slabými rezavohnědými proužky, které se vytvořily v závislosti na znečištění roztoku, ze kterého speleotém krystaloval. Vzorek obsahuje jak velké hypautomorfně omezené protáhlé krystaly s výraznou štěpností podle romboedru, tak i menší hypautomorfně až xenomorfně omezená protažená zrna. Protažení je většinou ve směru růstu speleotému. Rezavohnědé proužky se v mikroskopu jeví jako celistvé opakní polohy, nebo opakní inkluze hustě seřazené v jednom směru. V čirých částech velkých krystalů jsou pevné inkluze zastoupeny velmi málo, zato zde nacházíme velký počet velmi malých plynokapalných inkluzí (Obr. 44).

Při pozorování v UV světle je nejvýraznější luminiscence viditelná na štěpných plochách. Hnědorezavé proužky mají odlišnou (slabě žlutozelenou) luminiscenci u mocnějšího proužků se luminiscence projevuje především na okrajích. Slabší luminiscenci vykazují přírůstkové zóny, které nejsou pozorovatelné v normálním světle i stébelnaté až vlasové dlouze protažené struktury, které jsou orientované ve směru růstu speleotému. Při větším zvětšení lze pozorovat spolu s malými pevnými inkluzemi také plynokapalné inkluze, které rovněž vykazují slabou luminiscenci. Primární inkluze mají izometrický tvar a jsou drobně protaženy ve směru přírůstkových zón, inkluze jsou v krystalu nepravidelně rozmístěny. V zóně kontaktních ploch mezi krystaly lze pozorovat pevné a plynokapalné inkluze s izometrickým tvarem protažené a seřazené ve směru růstu krystalu. Plynokapalné inkluze pozorované v PPL jsou bílé barvy, pevné inkluze jsou špatně průsvitné hnědošedé barvy. Při pozorování v UV světle mají pevné inkluze většinou vyšší intenzitu luminiscence (Obr. 44).



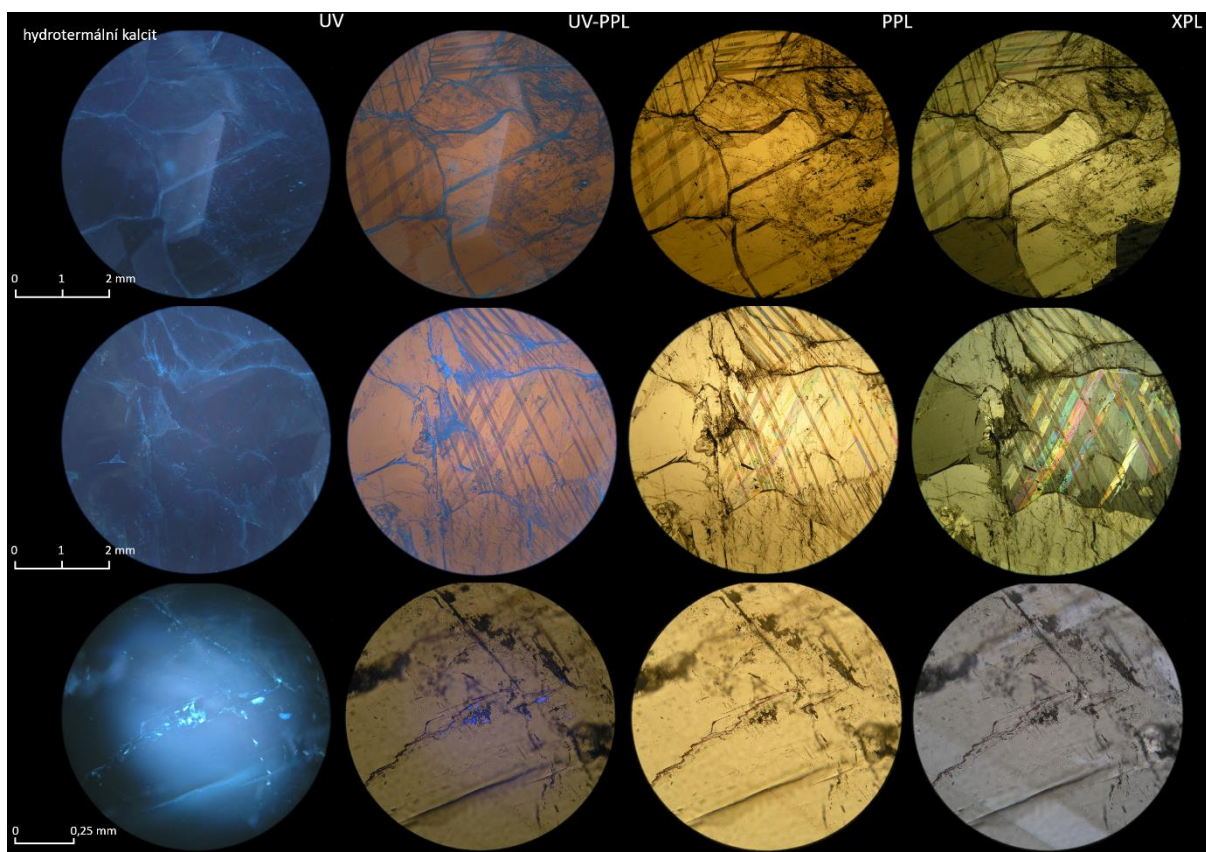
Obr. 44 Mikrofotografie a UV luminiscence u výbrusu 4: první dvě řady zachycují luminiscenci na štěpných plochách a řada třetí zachycuje plynokapalné inkluze.

Výbrus 5 – Vápenná

Výbrus byl zhotoven ze vzorku, který pochází z hydrotermální žíly. V kalcitu byla nalezena luminiscenční poloha ve tvaru nepravidelného proužku, který byl paralelní s alterovanou horninou (Obr. 45 – první řada).

Kalcit tvoří velká izometrická, xenomorfně omezená zrna. V zrnech se nacházejí plynokapalné inkluze, které jsou nepravidelně rozmístěné. Pozorovatelné jsou i dvojčatné lamely, které vznikají působením tlaku. Ve speleotémech tyto lamely nebyly pozorovány.

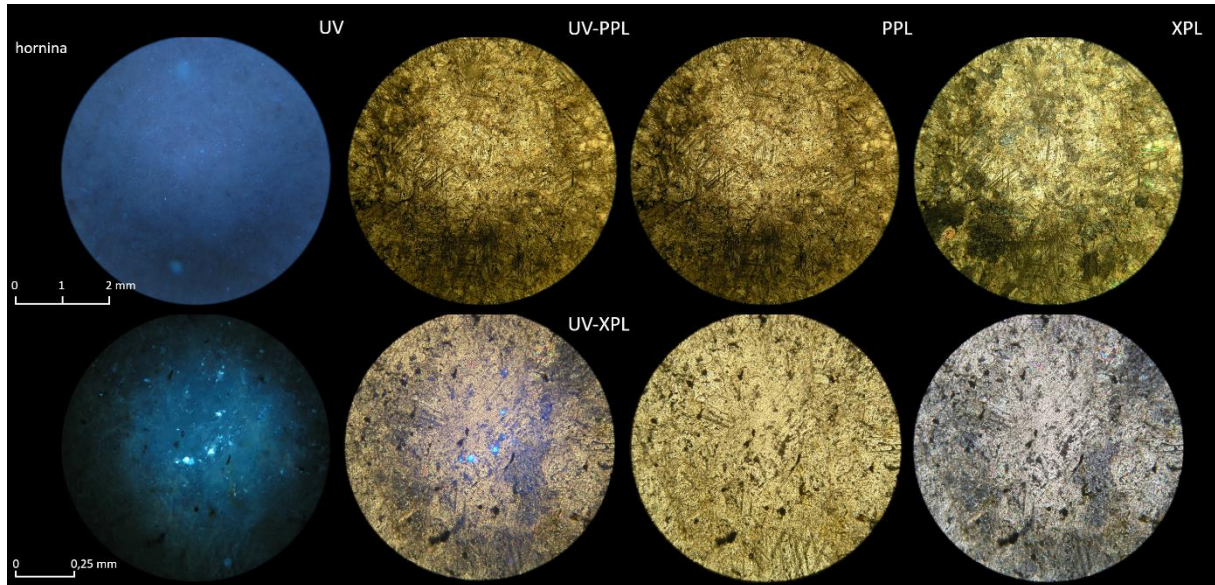
V UV světle dochází k velmi slabé modrobílé luminiscenci na okrajích zrn a také v inkluzích. Luminiscence je patrná i v místech, kde se nacházejí dvojčatné lamely. Pozorována byla i velmi slabá ostře ohraničená poloha bílé luminiscence, která nemá návaznost na žádnou viditelnou strukturu (Obr. 45).



Obr. 45 Mikroskopie výbrusu 5 zachycuje hydrotermální karbonát, ve kterém lze pozorovat dvojčatné lamely a inkluze. První řada zachycuje netypickou luminiscenci, která jde napříč zrny.

Výbrus 6 – Vápenná

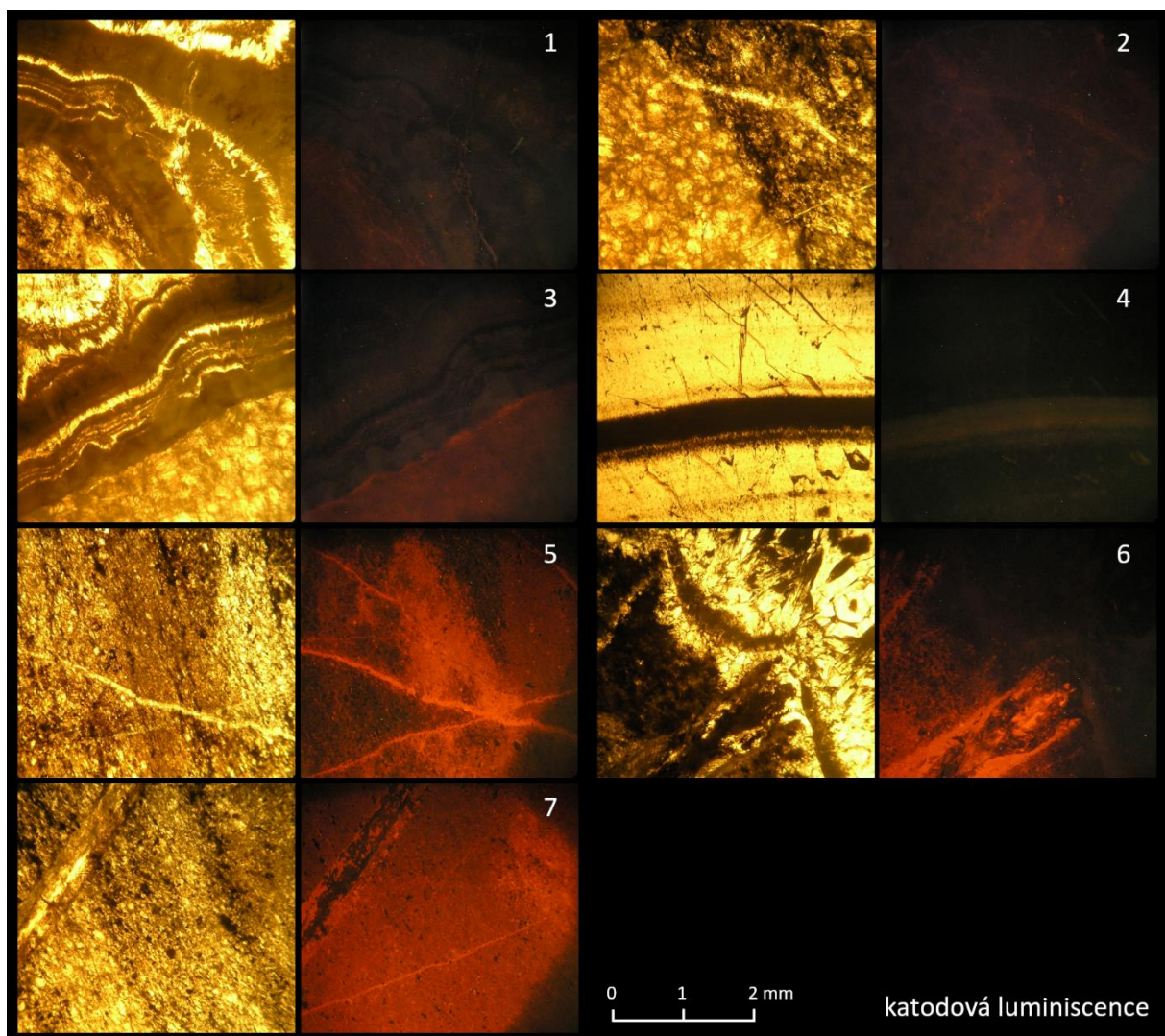
Výbrus byl zhotoven ze světle šedého, jemně krystalického, páskovaného vápence. Pozorovaná zrna jsou střední velikosti, izometrická, xenomorfně omezená a s dvojčatnými lamelami. Výbrus obsahuje značné množství pevných inkluzí, které jsou nepravidelně rozmístěné. V UV světle vykazují velmi slabou luminiscenci, která je dobře viditelná pouze při delší expozici fotografie. Velmi slabá luminiscence se také projevuje v místech dvojčatných lamel. Při větším zvětšení je dobře pozorovatelná modrobílá luminiscence inkluzí (Obr. 46).



Obr. 46 Mikrofotografie a UV luminiscence u výbrusu 5 zachycuje horninu a drobné pevné luminiscenční inkluze.

10.2.2 Katodová luminescence

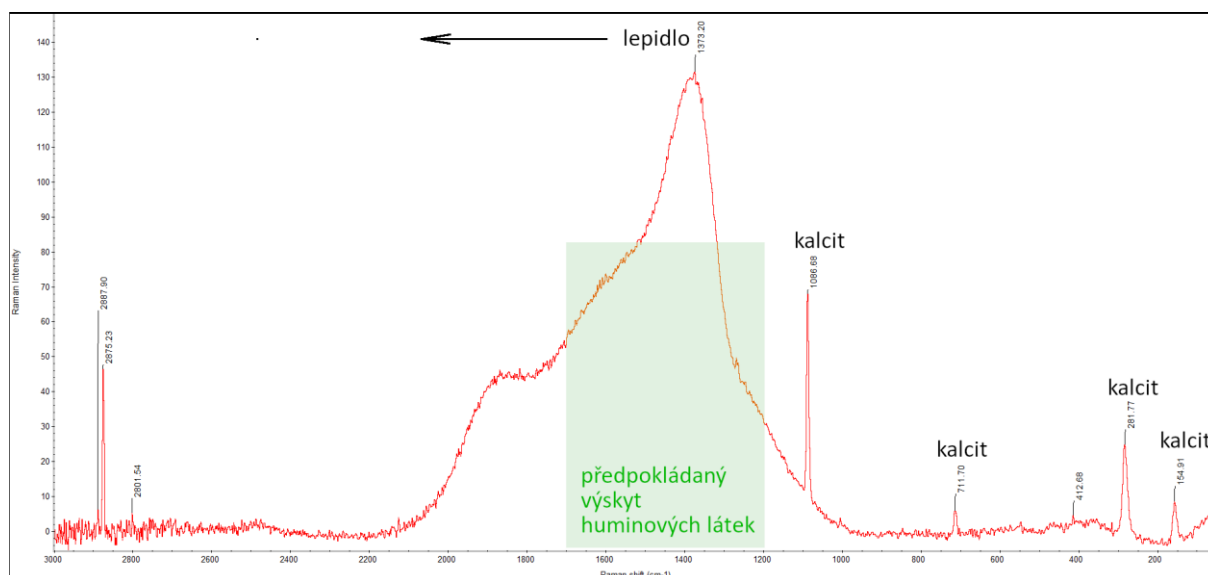
Výbrusy 1 a 2, které zastihují horninu a speleotémy, byly analyzovány pomocí katodové luminescence. Speleotémy nejeví žádnou luminescenci, zatímco kalcitové žilky v hornině u výbrusu číslo 2 vykazovaly velmi slabou červenooranžovou luminescenci. Velmi slabou luminescenci vykazuje také světlejší typ horniny, jak je možné pozorovat na snímku 2 a 3 v Obr. 47 luminescenci zapříčiňuje přítomnost manganu. Na snímku 4 (Obr. 47) je zachycena velmi slabá šedooranžová luminescence, která není pouhým okem pozorovatelná.



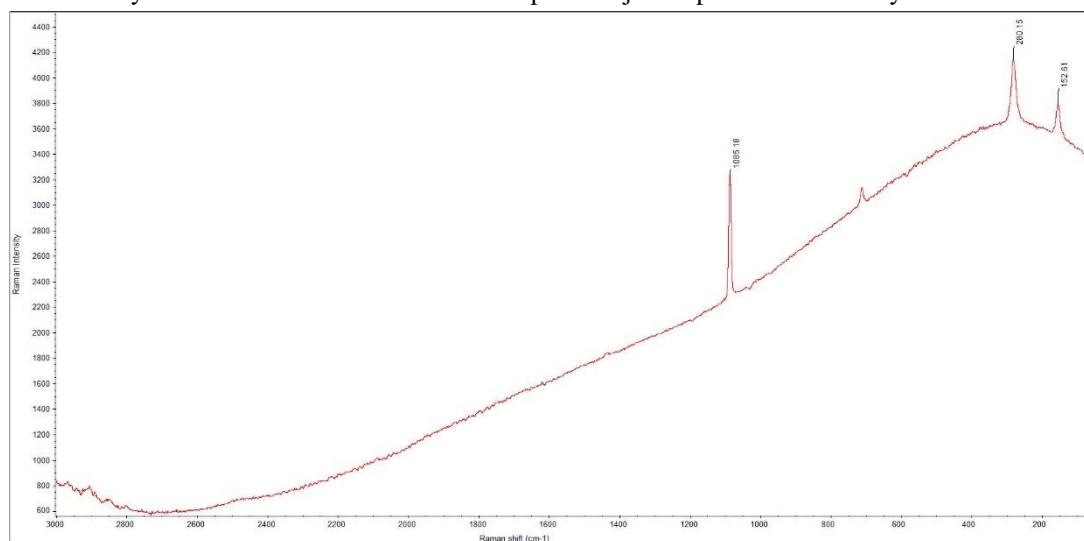
Obr. 47 Fotografie pořízené pomocí katodové luminescence (pravá část snímku s čísly) a pohled v procházejícím světle (levá část snímku). Snímky 1, 3 a 6 zachycují speleotém s horninou (vlevo dole u snímku 3 vpravo dole) na snímku 6 je viditelná výrazně luminescenční žilka. Snímek 2 zachycuje vliv katodové luminescence na různě zbarvené hornině. Snímek 4 zachycuje velmi slabou šedooranžovou luminescenci bílé zbarveného proužku ve speleotému. Snímky 5 a 7 zachycují žilky v hornině.

10.2.3 Ramanova spektroskopie

Výbrus 1 byl také zkoumán pomocí Ramanovy spektroskopie, která mohla odhalit přítomnost organických látek v kalcitu. Analýza však odhalila pouze spektrum kalcitu (píky o vlnových délkách 154,91, 281,77, 711,70 a 1086,68 cm^{-1} ; Obr. 48). Výrazné píky v rozmezí 1200–3000 cm^{-1} lze interpretovat jako lepidlo na bázi epoxidu, kterým je výbrus připevněn ke sklu (pro kontrolu byl sklo s lepidlem analyzováno zvlášť). Dále byl pro ověření analyzován řezaný vzorek hrubozrného kalcitu s luminiscencí z lokality Branná, výsledek analýzy však také ukázal pouze spektrum kalcitu (Obr. 49). Koncentrace huminových látek, které by mohly být obsaženy ve speleotému, jsou pravděpodobně pod úrovní detekce přístroje. Píky huminových látek by se měly nacházet v rozmezí 1200–1700 cm^{-1} .



Obr. 48 Výsledek z Ramanovy spektroskopie. Analýza výbrusu 1. Píky v rozmezí od 0–1200 cm^{-1} náležejí kalcitu. Píky v rozmezí 1200–3000 cm^{-1} lze interpretovat jako lepidlo se sklem z výbrusu.



Obr. 49 Výsledek z Ramanovy spektroskopie. Analýza hrubozrného speleotému z lokality Branná. Píky ukazují pouze kalcit.

10.2.4 Gamasppektrometrie a XRF spektroskopie

Podrcené vzorky byly podrobeny dvěma analýzám. Gamasppektrometrii bylo analyzováno 7 vzorků a XRF spektroskopii 6 vzorků. Z analyzovaných vzorků byly 3 horniny s rozdílným zbarvením, 2 speleotémy s rozdílnou intenzitou luminiscence a 2 vzorky z hydrotermální žíly. vzorek č. 1 – Vápenná, zaniklý lom, hornina: karbonát čistě bílý bez viditelné organické hmoty. vzorek č. 2 – Bohdíkov I, zaniklý lom, hornina: karbonát páskovaný světle šedý vzorek č. 3 – Bohdíkov II, činný lom, hornina: karbonát páskovaný tmavě šedý s větším množstvím organické hmoty, výskyt pyritu.

vzorek č. 4 – Branná, zaniklý lom Nad vápenkou, hornina: speleotém čirý hrubě krystalický

vzorek č. 5 – Bohdíkov I, zaniklý lom, hornina: speleotém zakalený

vzorek č. 6 – Lipová-lázně – Smrčnick, činný lom, hornina: kalcit hydrotermální žíla

vzorek č. 7 – Vápenná, zaniklý lom, hornina: kalcit hydrotermální žíla se žlutou luminiscencí

Rozdílnou barvu krystalických vápenců dává do souvislosti s množstvím organické hmoty v hornině Květoň (1951), ta by mohla být příčinnou zvýšeného množství některých prvků.

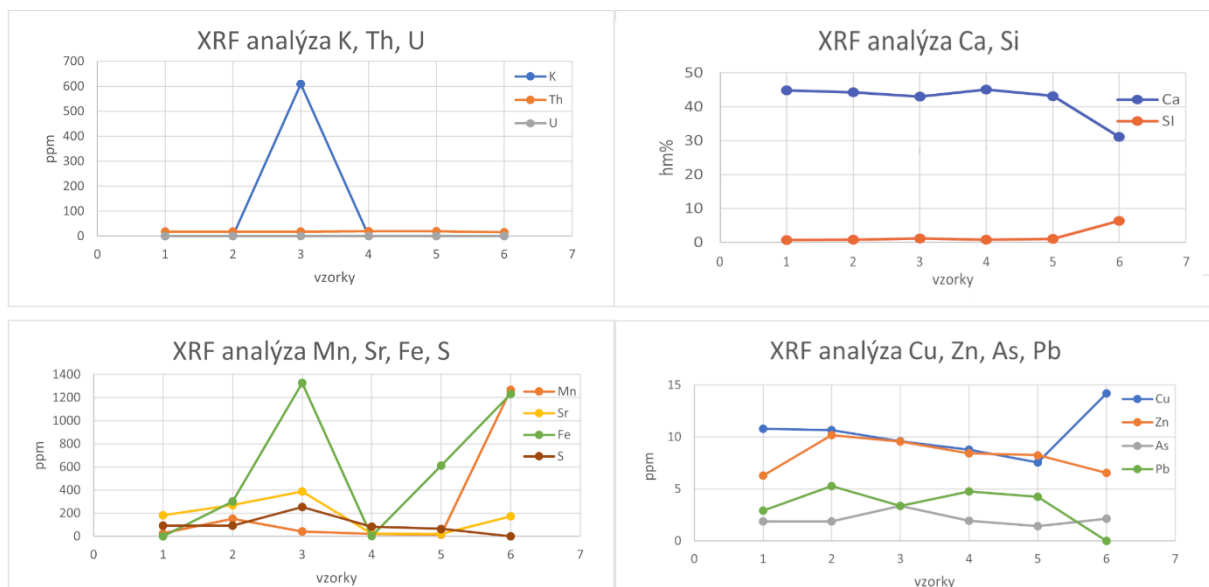
Gamasppektrometrie neukázala žádné výrazné rozdíly mezi vzorky a většina naměřených hodnot byla pod hranicí detekce přístroje Tabulka. 3.

Tabulka 3 – Výsledky gamasppektrometrické analýzy u vzorků 1–7.

vzorek	váha vzorku g	K %	U (ppm)	Th (ppm)	Cs Bkv/Kg
1	98,93	<0,1	<0,3	<0,3	0,47 +/- 0,42
2	20,04	<0,1	0,6 +/- 0,4	<0,3	<0,02
3	22,86	0,1 +/- 0,1	0,6 +/- 0,4	<0,3	<0,02
4	20,13	<0,1	<0,3	1,6 +/- 1,2	<0,02
5	20,07	0,1 +/- 0,1	<0,3	<0,3	<0,02
6	20,12	<0,1	<0,3	<0,3	<0,02
7	19,22	<0,1	<0,3	<0,3	<0,02

XRF spektroskopie potvrdila, že obsahy U a Th jsou velmi nízké – pod mezí detekce přístroje (Obr. 50, Tabulka 3). U vzorku 3 je možno pozorovat zvýšené koncentrace K a Fe, spojené se znečištěním horniny organickou hmotou a roztroušeným pyritem. Zvýšené

koncentrace prvků Fe, Mn, Cu, Si a snížený obsah u vzorku 6 v grafu odráží hydrotermální původ kalcitu z křemen-karbonátových žil.



analyzované vzorky: 1, 2, 3 - krystalické vápence s různým stupněm čistoty 4, 5 - speleotém 6 - hydrotermální kalcit

Obr. 50 Zpracovaná data vybraných prvků XRF analýzy.

Tabulka 4 – Kompletní výsledky XRF analýzy.

Hodnoty u Al, Si, P, Ca jsou uvedeny v hm%, u ostatních prvků jsou hodnoty uvedeny v ppm.

vzorek	Al	Al +/-	Si	Si +/-	P	P +/-	Ca	Ca +/-
1	0,00	0,01	0,76	0,01	1,21	0,00	44,81	0,07
2	0,00	0,01	0,78	0,01	1,19	0,00	44,29	0,07
3	0,23	0,01	1,16	0,01	1,18	0,00	43,01	0,07
4	0,00	0,01	0,82	0,01	1,21	0,00	45,15	0,07
5	0,09	0,01	1,09	0,01	1,19	0,00	43,19	0,07
6	0,00	0,01	6,31	0,02	1,02	0,00	31,17	0,05
vzorek	K	K +/-	Ti	Ti +/-	V	V +/-	S	S +/-
1	0,0	21,0	335,4	25,9	89,3	13,4	91,2	4,6
2	0,0	20,7	263,1	25,5	86,3	13,4	92,4	4,4
3	609,5	9,7	553,0	28,0	81,9	13,7	252,5	4,8
4	0,0	20,2	329,5	25,9	106,2	13,6	83,6	4,4
5	0,0	21,3	436,7	26,5	95,0	13,5	64,0	4,3
6	0,0	24,0	189,5	22,8	49,0	11,9	0,0	6,8
vzorek	Cr	Cr +/-	Mn	Mn +/-	Fe	Fe +/-	Co	Co +/-
1	0,0	20,0	25,4	5,1	0,0	21,6	0,0	9,8
2	0,0	20,3	152,5	6,5	300,8	8,5	0,0	13,4
3	0,0	20,3	41,5	5,4	1326,4	12,1	0,0	17,3
4	0,0	20,1	19,4	5,1	0,0	30,3	0,0	11,7
5	0,0	19,6	16,3	5,0	610,7	9,4	0,0	14,3
6	0,0	17,4	1267,6	12,0	1232,5	10,7	0,0	14,8

vzorek	Ni	Ni +/-	Cu	Cu +/-	Zn	Zn +/-	As	As +/-
1	19,2	3,0	10,8	1,9	6,3	0,8	1,9	0,4
2	19,2	3,0	10,7	1,9	10,2	0,8	1,9	0,4
3	20,6	3,0	9,6	1,9	9,6	0,8	3,4	0,4
4	14,5	3,0	8,8	1,9	8,4	0,8	2,0	0,4
5	19,6	3,0	7,5	1,8	8,3	0,8	1,4	0,4
6	15,0	2,6	14,2	1,7	6,6	0,8	2,1	0,4
vzorek	Se	Se +/-	Rb	Rb +/-	Sr	Sr +/-	Y	Y +/-
1	1,5	0,3	1,1	0,3	182,1	0,8	0,0	18,2
2	2,0	0,3	0,0	6,7	269,8	1,0	0,0	18,7
3	2,1	0,3	9,3	0,4	386,8	1,3	0,0	19,8
4	1,2	0,3	1,1	0,3	23,2	0,4	4,2	0,6
5	1,3	0,3	4,4	0,3	20,0	0,4	6,1	0,7
6	2,1	0,3	1,8	0,3	172,2	0,8	2,9	0,6
vzorek	Zr	Zr +/-	Mo	Mo +/-	Ag	Ag +/-	Cd	Cd +/-
1	4,7	0,5	2,4	0,5	0,0	161,5	0,0	189,3
2	5,2	0,6	2,0	0,5	0,0	161,3	0,0	188,7
3	10,8	0,6	2,9	0,5	0,0	159,3	0,0	186,8
4	4,1	0,5	2,1	0,5	0,0	162,7	0,0	190,6
5	9,8	0,5	0,0	19,1	0,0	158,5	0,0	185,7
6	2,4	0,5	2,7	0,5	0,0	143,4	0,0	167,5
vzorek	Sn	Sn +/-	Sb	Sb +/-	Pb	Pb +/-	Bi	Bi +/-
1	0,0	324,0	0,0	416,9	2,9	0,6	0,0	6,7
2	0,0	325,2	0,0	417,8	5,3	0,6	0,0	6,8
3	0,0	322,3	0,0	414,6	3,4	0,6	0,0	6,9
4	0,0	328,3	0,0	422,2	4,8	0,6	0,0	6,6
5	0,0	319,5	0,0	411,1	4,3	0,6	0,0	6,5
6	0,0	289,5	0,0	372,0	0,0	18,4	0,0	6,0
vzorek	Th	Th +/-	U	U +/-	LE	LE +/-		
1	17,9	2,4	-6,8	0,8	531440,8	762,1		
2	17,9	2,5	-4,5	0,8	536135,1	756,1		
3	18,7	2,5	0,0	50,9	540825,5	757,6		
4	19,2	2,4	-6,3	0,7	527565,4	748,9		
5	19,3	2,3	-5,6	0,7	543158,8	751,9		
6	15,3	2,2	0,0	40,4	611961,6	726,2		

10.2.5 Termická zkouška

Cílem metody bylo popsat, jak se projevuje vliv teploty na luminiscenci speleotému. Předpokladem bylo, že luminiscenci ve speleotému mohou způsobovat huminové látky. Tyto organické molekuly by měly vlivem vyšších teplot degradovat a tím by měla zaniknout luminiscence. Nejprve byla provedena orientační zkouška na vzorku silném 10 mm. Vzorkem byl speleotém narostlý na hornině z lokality Lipová-lázně – Smrčník. Vzorek byl zahříván po

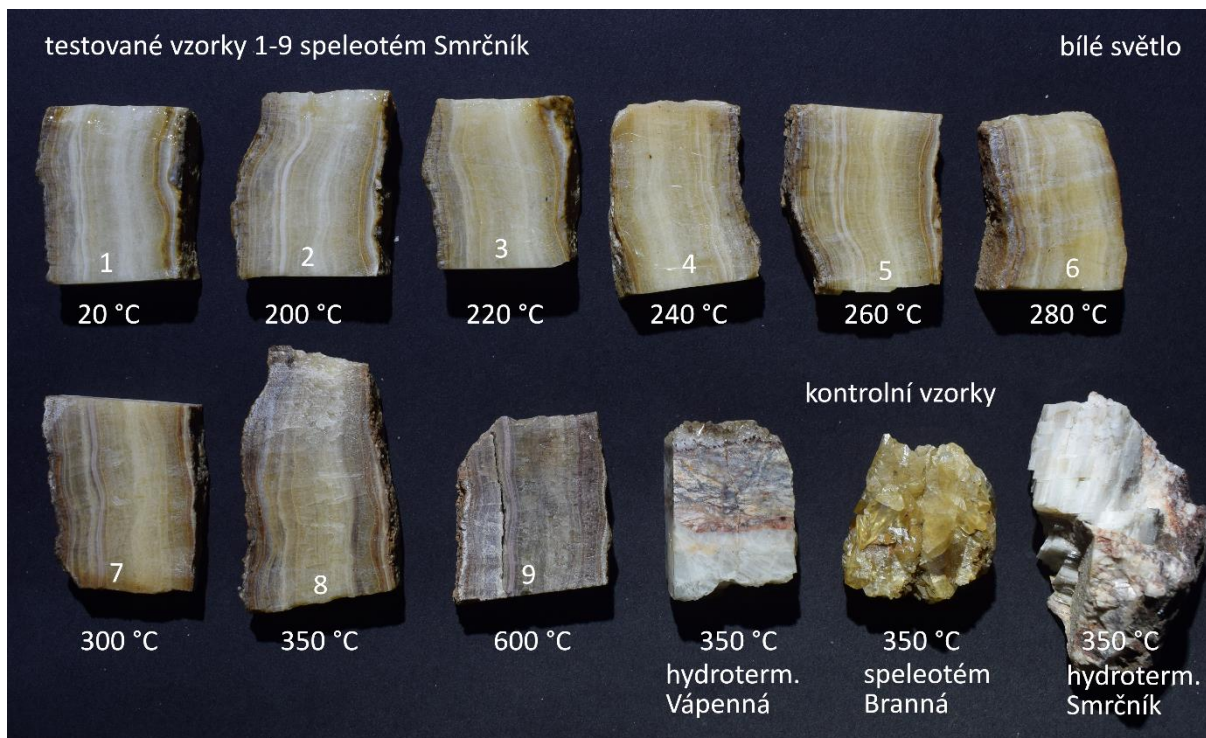
dobu 15 minut na teplotu 300 °C. Po vychladnutí a osvětlení UV světlem luminiscence změnila barvu a intenzitu na slabě oranžovou. (Obr. 51). Pro další analýzu byly nařezány destičky ze speleotémové krusty s výraznou laminací z lokality Lipová-lázně – Smrčnick. Vzorky byly zahřívány od teploty 200 °C až po teplotu 300 °C v intervalu 20 °C. Další dva vzorky byly pokusně zahřáty na teplotu 350 a 600 °C, aby se zjistila další případná degradace vzorku. Na teplotu 350 °C byly zahřívány i kontrolní vzorky: hrubozrnný čirý speleotém z Branné, hydrotermální kalcit z Lipové-lázně – Smrčnicku s růžovou luminiscencí a hydrotermální kalcit s žlutozelenou luminiscencí z Vápenné (Obr. 52).

Barva a intenzita žlutozelené luminiscence u speleotému se začaly snižovat při teplotě 260 °C. Při teplotě 300 °C žlutozelená luminiscence začala přecházet ve slabě oranžovou. Při teplotách 350 a 600 °C bylo možné pozorovat pouze oranžovou luminiscenci (intenzita se zvyšuje s teplotou; Obr. 53). Po vypnutí zdroje UV záření se zkrátil dosvit a snížila jeho intenzita kromě vzorku zahřátého na 600 °C, zde se intenzita dosvitu výrazně zvýšila (Obr. 54). Se zvyšující se teplotou se při pozorování v normálním světle mění jak barva, tak i průsvitnost vzorku. Barva je v rozmezí od velmi světle hnědé až po tmavě hnědou.

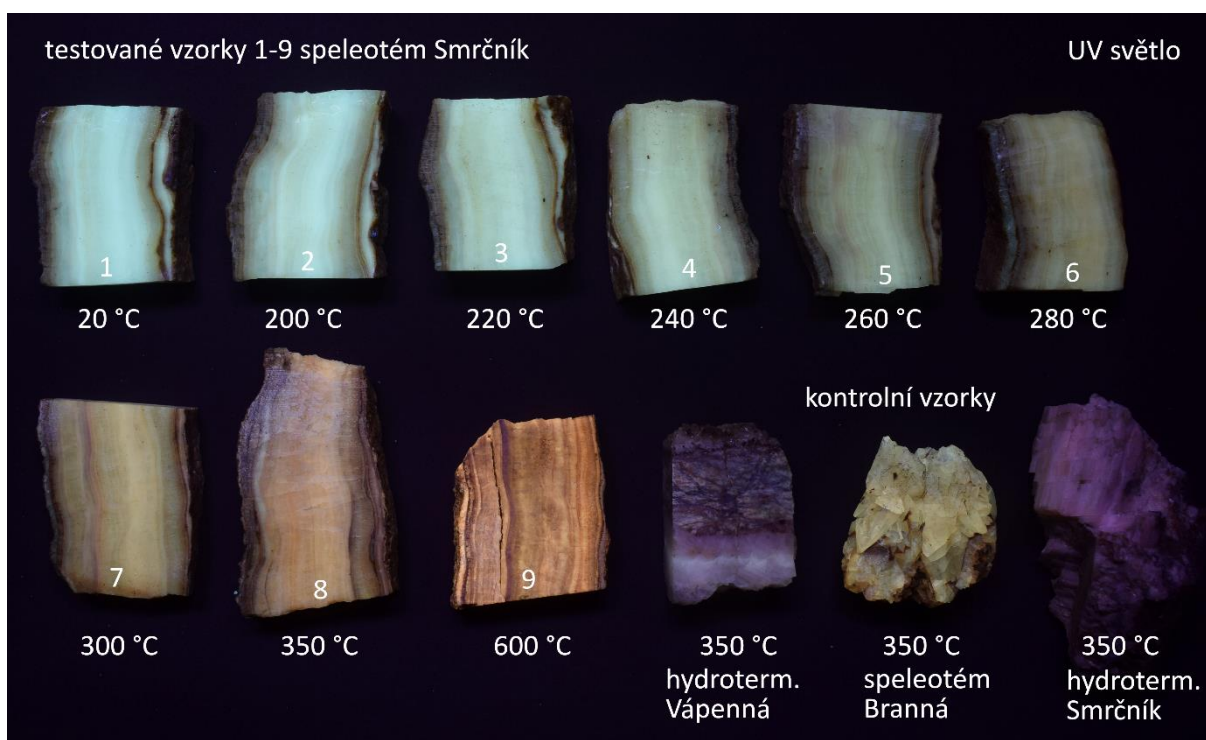
Na dvou kontrolních vzorcích hydrotermálního kalcitu neproběhla žádná změna a luminiscence byla zachována v původním rozsahu a barvě. Na kontrolním vzorku speleotému došlo z původně čirého až průsvitného kalcitu bílé barvy k slabému zhnědnutí a ke změně luminiscence z původní žlutozelené na světle oranžovou. Kontrolní vzorky byly zahřívány na teplotu 350 °C.



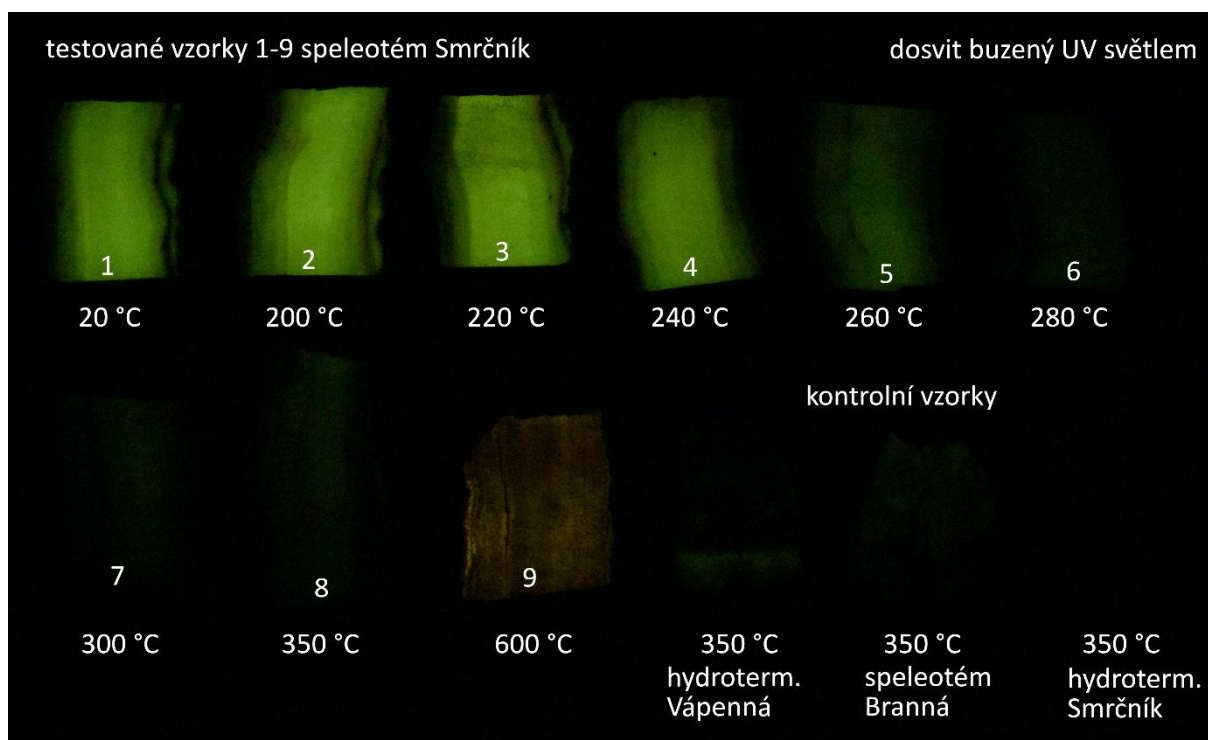
Obr. 51 Vzorek z lomu Smrčnick podrobený termické zkoušce. Po zahřátí na 300 °C (snímek vlevo) je jasně vidět ztráta luminiscence a změna barvy speleotém ve srovnání s nezařítvanou polovinou vzorku vpravo.



Obr. 52 Vzorčky podrobené termické zkoušce v bílém světle. Na vzorcích 1–9 můžeme zleva pozorovat změnu barvy. U kontrolních vzorků změna nastala pouze u speleotému z Branné, který se zbarvil do světlehněda (původní vzorek byl bílý, čirý místy mírně zakalený).



Obr. 53 Vzorčky podrobené termické zkoušce v UV světle. Na vzorcích 1–9 se projevila při postupném zahřívání změna luminescence z původní žlutozelené na oranžovou. U kontrolních vzorků změna nastala pouze u speleotému z Branné (z původní žlutozelené na světle oranžovou).



Obr. 54 Luminiscenční dosvit u vzorků podrobených termickou zkouškou. U vzorku 1–8 vidíme klesající trend a dosvit má barvu žlutozelenou, zatímco vzorek 9 má vyšší intenzitu a barva dosvitu je světle oranžová. U kontrolních vzorků je dosvit velmi slabý a u hydrotermálního vzorku ze Smrčnicku se dosvit nevyskytuje. Snímek byl pořízen s délkou expozice 6 s, ISO – 12800 a clonou 4,2.

11. Diskuse

Jako aktivátory žlutozelené luminiscence kalcitu ve speleotémech jsou v literatuře nejčastěji uváděny dvě složky: huminové látky a UO_2^{2+} (Slačík a Schlemmerová 1974, Shopov 2004, McGarry a Baker 2000). Přítomnost huminových látek je zcela logickým závěrem, jelikož voda prosakující do podzemí prochází většinou přes půdní horizont, ze kterého jsou huminové látky vyplavovány. Není však vyloučeno, že zejména v severní části studované oblasti mohou k luminiscenci přispívat i ionty UO_2^{2+} a to vzhledem k blízkosti žulovského plutonu. V severní části studovaného území také není možné vyloučit migraci fluid s ionty uranu z oblasti ložiskových akumulací v oblasti Javorníku v lužiku. Dalším možným zdrojem by mohly být uran-fertilní horniny, např. amfibolity nebo ortoruly. O uran-fertilních ortorulách na území Českého masivu a drobných výskytech uranu v souvislosti s tektonickou aktivitou obecně pojednává bakalářská práce M. Mikuly (2008). V zájmovém regionu se ale touto problematikou nikdo detailně nezabýval.

Výsledky gamaspektrometrie a XRF spektroskopie přinesly negativní výsledky ohledně množství U ve speleotémech a krystalických vápencích. XRF spektroskopie pouze ukázala rozdílné hodnoty Fe a S spojené s čistotou speleotému. Analýzy provedené Ramanovou spektroskopií byly negativní na organické látky. Ukázaly pouze spektrum kalcitu. Tyto metody nepřinesly jednoznačné výsledky, jelikož množství U a organických látek ve speleotémech se může pohybovat pod hranicí detekce těchto přístrojů.

Koncentrace huminových látek ve speleotémech jsou velmi nízké. Z výzkumu McGarryho a Bakera (2000) vyplývá že průměrná koncentrace huminových látek se na zkoumaných lokalitách se pohybovala v průměru 0,957 ppm. U hrubozrnných čirých kalcitu může být koncentrace řádově daleko menší.

V závěrečné fázi výzkumu bylo přistoupeno k prokázání přítomnosti huminových látek metodou jejich termického rozkladu. Huminové látky degradují přibližně v rozmezí teplot 200–600 °C. V teplotách 200–450 °C vznikají rozkladné reakce alifatických uhlovodíků a v teplotách 450–600 °C se rozkládají aromatické části huminových látek (Siewert 2001). Testování vzorků ukázalo slábnutí žlutozelené luminiscence a přechod k luminiscenci oranžové při teplotě 300–350 °C. To by mohlo vést k závěru, že studované vzorky speleotémů se žlutozelenou luminiscencí mohou obsahovat huminové látky. Tuto hypotézu by mohl potvrzovat i vzorek hydrotermálního kalcitu se žlutozelenou luminiscencí z Vápenné, u kterého při zahřátí na 350 °C nedošlo k žádným vizuálním změnám. Na druhou stranu je třeba vzít v potaz změnu průsvitnosti a barvy speleotémového vzorku, která by mohla mít příčinu v

uvolnění Fe, ten je spojován s blokováním luminiscence (Slačík 1974). Další vysvětlení by mohlo být, že speleotémy mohou obsahovat huminové látky ve formě solí a ty se mohou chovat při termické expozici odlišně oproti kyselinám.

Z mikroskopického pozorování vyplývá, že nejde jednoznačně označit jedinou příčinu makroskopické luminiscence speleotémů. Vše nasvědčuje tomu, že luminiscenci ovlivňuje více faktorů. S největší intenzitou luminiscence se setkáváme ve znečištěných zónách, které představují největší zdroj organických látek ve speleotému. Ve výbruse se jeví jako neprůsvitné zóny a při makroskopickém pozorování jsou bílé. Dále k luminiscenci přispívají větší samostatné protáhlé pevné inkluze, které mohou být seřazeny do proužků růstových zón nebo jsou náhodně rozptýleny v krystalu. Jejich orientace je většinou ve směru růstu speleotému. Domnívám se že samotné malé plynokapalné a pevné inkluze nemají výrazný vliv na makroskopickou luminiscenci což, dokládá jejich výskyt v kalcitu v okolní hornině, která žádnou makroskopickou luminiscenci nevykazuje. U čirých hrubě krystalických kalcitů lze velmi dobře pozorovat luminiscenci na štěpných plochách. Je třeba zmínit také luminiscenci na úrovni molekul zabudovaných v krystalové mřížce (Šopov 2004), která může být u studovaných vzorků mikroskopicky pozorovatelná jako slabá celková luminiscence vzorku, nebo jako luminiscence slabých dlouze protažených vlasové struktury, které jsou orientované ve směru růstu speleotému.

12. Závěr

Tato práce se zabývala luminiscenci hrubozrnného kalcitu ve skupině Branné. Výsledky analýz nevedly k jednoznačným závěrům, ale spíše vytvořily prostor pro další otázky. Lze říci, že převažující vliv na luminiscenci kalcitu mají organické látky, které byly přineseny z půdního horizontu a jsou různě zaimplementované při růstu speleotémů. Při použití termické metody se podařilo žlutozelenou luminiscenci odstranit a nahradit oranžovou v intervalu teplot 300–350 °C, což by mohlo být způsobeno teplotní degradací huminových látek. Bohužel v této fázi výzkumu nelze jednoznačně potvrdit nebo vyloučit koexistenci UO_2^{2+} iontů s organickými látkami. UO_2^{2+} ionty lze předpokládat především v severní části studovaného území, ty však budou mít pravděpodobně minoritní podíl.

Intenzita makroskopické luminiscence se odvíjí od organického znečištění speleotému. Zakalenější polohy vykazují vyšší intenzitu, která je způsobena větší koncentrací organických látek uzavřených při růstu speleotému většinou v podobě inkluzí. Celková luminiscence se také odehrává v začlenění huminových látek, nebo UO_2^{2+} iontů při růstu speleotému na úrovni molekul a iontů. Tento způsob se zvláště projevuje u čirých forem speleotémů. Makroskopická luminiscence je tudíž souhra různých typů mikroskopické a strukturní luminiscence, kde podle formy speleotému může převládat jeden z výše uvedených typů mikroskopické luminiscence.

14. Seznam použité literatury a internetové zdroje

Agamah C., Vuori S., Colinet P., Norrbo I., Miranda de Carvalho J., Nakamura L. K.O., Lindblom J., Ludo van Goethem L., Emmermann A., Saarinen T., Laihinen T., Laakkonen E., Lindén J., Konu J., Vrielinck H., Van der Heggen D., Smet P. F., Le Bahers T., Lastusaari M. (2020): Hackmanite – The Natural Glow in the Dark Material. *Chemistry of Materials* 32 (20), 8895–8905.

Barnet I., Čurda J., Holásek O., Koverdinský B. Manová M., Müller V., Opletal M., Rejchrt M., Skácelová D., Šalanský K., Večeřa J. (1999): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000. List 14 - 41 Šumperk, Český geologický ústav, Praha

Bosák P. (2014): Jeskyně na pomezí – nový speleogenetický model. Zpřístupněné JESKYNĚ 2014. Ročenka zprávy českých jeskyní. Správa jeskyní České republiky, Blansko.

Burkart E. (1953): Moravské nerosty a jejich literatura. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd.

Čech S., Čurda J., Machek P., Majer V., Manová M., Matýsek D., Müller V., Opletal M., Rarclavská H., Raclavský K., Rejchrt M., Sekyra J., Skácel J., Šalanský K., Tomášek M. (1997): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000. List 14–23 Králupy, Český geologický ústav, Praha

Dvořák L., Kupka Z. (1980): Fyzikální podstata a využití luminiscence. Statní pedagogické nakladatelství n.p., Praha

Ford D.C., Williams P. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley, Chichester.

Nezval J. (1965): Výpočet zásob předběžného průzkumu Dolní Lipová – Branná č.u. 524 320 015. Archiv DIAMO Zlaté Hory. Nepublikováno.

Hromas J., ed. (2009): Chráněná území ČR, Svazek XIV., Jeskyně. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 331–339.

Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. Česká geologická služba, Praha

Cháb J., Mixa P., Vaněček M. jun., Žáček V. (1994): Geology of the NW part of the Hrubý Jeseník Mts. (the Bohemian massif, Central Europe). Věstník Českého geologického ústavu 69, 3, 17–26.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Straník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Akademie věd ČR. Praha.

Kantor B.Z. (1997): Беседы о минералах. Изд-во "Астрель".

Klomínský J., Jarchovský T., Rajpoot G.S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. Česká geologická služba, Praha.

Koverdinský B. (1993): Ponikelské souvrství a sdružené celky v devonu silesika. Journal Czech Geological Society, 38/1–2, 95–100.

Koverdinský B., Hladil J. (1985): Stáří vitošovských vápenců. Věstník Ústřední ústav geologický, roč.60, č.1, 1–7, Praha.

Kretschmer (1927): Der Kalkspath von Goldstein (Mähren). Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Troppau, Nr. 15.

Kröner, A., Štípská, P., Schulmann, K., & Jaekel, P. (2000): Chronological constraints on the pre-Variscan evolution of the northeastern margin of the Bohemian Massif, Czech Republic. Geological Society, London, Special Publications, 179(1), 175–197.

Kruťa T. (1973): Slezské nerosty a jejich literatura. Moravské Muzeum, Brno str. 131.

Květoň, P. (1951): Stratigrafie krystalinických sérií v okolí severomoravských grafitových ložisek. Sbor. Ústředního ústavu geologického XVIII – oddíl geologický, Praha.

Laurent A., Janoušek V., Magna T., Schulmann K., Míková J. (2014): Petrogenesis and geochronology of a post-orogenic calc-alkaline magmatic association: the Žulová Pluton, Bohemian Massif. Journal of Geosciences, 59, 415–440

Litochleb J., Sejkora J., Litochlebová E., Mandík L. (2008): Neobvyklý krystalový vývoj galenitu na polymetalickém ložisku Radětice, jv. od Příbrami (Česká republika). Bull. mineral. petrolog. Odd. Nár. Muz. 16/2, Praha, 201–204.

Maluski H., Rajlich P., Souček J. (1995): Pre-Variscan, Variscan and Early Alpine thermo-tectonic history of the north-eastern Bohemian Massif: Ar 40 /Ar 39 study. Geol. Rdsch. 84, 345–358.

McGarry F. S., Baker A. (2000): Organic acid fluorescence: applications to speleothem palaeoenvironmental reconstruction. Quaternary Science Reviews, Volume 19, Issue 11, 1087–1101

Melzer M., Schulz J. (1993): Vlastivěda šumperského okresu. Okresní vlastivědné muzeum, Šumperk.

Míkula M. (2008): Uran-fertilní ortoruly v Českém masivu. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Praha.

Mísař Z. (1958): Stratigrafie, tektonika a metamorfóza krystalinických serií jižní keprnické klenby. Rozpravy Československé akademie věd – řada matematických a přírodních věd. roč. 68/13, Praha.

Mísař Z. (1983): Geologie ČSSR. 1, Český masív. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

Morávek R. (1976): Ke geologii a petrografii vápencového souvrství u Vitošova. Zprávy vlastivědného ústavu v Olomouci 179, Vlastivědný ústav v Olomouci, 1–8.

Morávek R. (2006): Souhrnné výsledky sledování a záchranného výzkumu těženého ložiska ve Vitošově za období let 2001–2005. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2005, Brno, 9–13.

Morávek R. (2009): Kras pásma Branné. – In: Hromas J. (Ed.): Jeskyně ČR. Chráněná území ČR, Vol. XV: 331–335. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha.

Novotný P., Zimák J., Sejkora J. (2011): Sfalerit z ložiska Zlaté Hory – Východ (Česká republika) se zřetelnou UV luminiscencí a jeho minerální asociace. Bull. mineral. petrolog. Odd. Nár. Muz. 19/1 Praha, 47–51.

Opava Z. (1986): Chemie kolem nás. Albatros, Praha.

Opletal M. (2003): Příkrovová stavba staroměstské skupiny. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002, 32–34.

Opletal M. (2009): K problému staroměstského pásma a velkovrbenské klenby. Moravskoslezské paleozoikum 2009, Olomouc, 9–12.

Pauliš P., Toegel V., Veselovský F., Franc J. (2009): Mottramit z vápencového kamenolomu Smrčnick, Horní Lipová u Jeseníku (Česká republika). Bulletin mineralogicko-petrografického oddělení Národního muzea v Praze. 17/2, 69–72.

Puščarovskij D. J. (1975): Tajemství krystalů. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, vol. 20, issue 6, 320–331.

Rajlich P. (1993): Variská duktilní tektonika českého masivu. Český geologický ústav, Praha.

Sejkora J., Pauliš P., Toegel V., Vrtiška L., Malíková R. (2016): Dewindtit z uranového ložiska Zálesí u Javorníka v Rychlebských horách (Česká republika). Bulletin mineralogicko-petrografického oddělení Národního muzea v Praze. 24/1, 63–69

Self Ch. A., Hill C. A. (2003): How speleothems grow: An introduction to the ontogeny of cave minerals. Journal of Cave and Karst Studies 65(2): 130–151.

Shopov Y. Y. (2004): Activators of luminescence in speleothems as source of major mistakes in interpretation of luminescent paleoclimatic records. International Journal of Speleology (Edizione Italiana) 33(1–4), 25–33.

Schulmann K., Gayer R. (2000): A model for a continental accretionary wedge developed by oblique collision. The NE Bohemian Massif. Journal of the Geological Society 157, London, 401–416.

Siewert C. (2001): Investigation of the thermal and biological stability of soil organic matter. Technical University Berlin Institute of Ecology Soil Science Department, Berlin.

Slačík J. (1974): Využití fotoluminiscenčních jevů v jeskyních. Československý kras 26, Academia, Praha, 94–96.

Slačík J., Schlemmerová L. (1974): Příspěvek k fluorescenci nickamínku a sintru. Československý kras 26, Academia, Praha, 96–97.

Stejskal J. (1925): Krápníková jeskyně v Českém Bohdíkove. Příroda. Roč. 18, č. 9–10, Brno.

Suchy V., Stejskal M., Zeman A., Sykorova I., Kroufek J., Sebor G., Janků J., (2007): Nové poznatky o výskytu a možném původu přírodních uhlovodíků v Českém masívu. Chemické Listy. 101. 689–696.

Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodým O.ml., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J. (1964): Regionální geologie ČSSR. Díl 1, Český masiv sv. 1. krystalinikum. Ústřední ústav geologický, Praha, 283–312.

Toegel V., Šrom R. (2006): Olovnaté a měďnaté zrudnění na lokalitě Lipová-lázně v lomech na Smrčníku. Minerál 14, 2, 117–124.

Valenta J. (2015): Pokusy s tzv. fosforescencí: Setrvalá luminiscence jako termoluminiscence při ambientní teplotě. Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, Sborník z konference, MFF UK Katedra didaktiky fyziky, Praha, 265–274.

Zachovalová, K., Leichmann, J., Švancara, J. (2002): Žulová Batholith: a post-orogenic, fractionated ilmenite-allanite I-type granite. Journal Czech Geological Society, 47/1–2, 35–44.

Zimák J. (1995): Vznik a vývoj krystalu. Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc.

Žáček V. (2004): Cordierit – sakaninait z kontaktní aureoly Žulovského plutonu. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol. LXXXIX, 67–79.

Internetové zdroje

www1 – Základní mapa. [online] Dostupné z:

<https://mapy.cz/zakladni?x=16.9189320&y=50.1259228&z=10> (9. 4. 2022)

www2 – ČGS mapa 1 : 50 000. [online] Dostupné z:

<https://mapy.geology.cz/geocr50/> (9. 4. 2022)

www3 – Geologická encyklopedie. [online] Dostupné z:

<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?kras> (9. 4. 2022)

www4 – Historie trati Hanušovice – Głuchołazy. [online] Dostupné z:

<http://www.moravska-pohranicni.cz/index.php/historie/historie-trati> (9. 4. 2022)

www5 – Vznik a vývoj obce Bohdíkov. [online] Dostupné z:

https://obecbohdikov.cz/pdf/bohdikov_historie.pdf (9. 4. 2022)

www6 – Vápenná jeskyně Velký dóm. [online] Dostupné z:

<http://lokality.geology.cz/822> (9. 4. 2022)

www7 – Staré Vápenky – Vápenná. [online] Dostupné z:

<http://muzeum.mineral.cz/vapenictvi/ceske-a-moravske-vapenky/vapenna.php> (9. 4. 2022)

www8 – Historie vápenka Vitošov. online] Dostupné z:

<https://www.vitosov.cz/historie#obsah> (9. 4. 2022)