

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra geologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Stronciová mineralizace těšínských vápenců  
(slezská jednotka Vnějších Západních Karpat)**

Jan Skýpala

Studijní program: Geologie  
Studijní obor: Environmentální geologie (B1201)

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph.D.

2014

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechna použitá literatura je řádně citována.

V Olomouci dne

.....  
podpis

Rád bych poděkoval mé rodině a kamarádům za podporu při psaní mé bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří mému vedoucímu práce RNDr. Zdeňku Dolníčkovi, Ph.D., za jeho odborné vedení bakalářské práce, jeho ochotu a velkou vstřícnost po celou dobu výzkumu, za cenné rady a poskytnutí potřebných informací k tématu a v neposlední řadě za jeho trpělivost při řešení dané problematiky. Rád bych poděkoval také doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi, CSc., Mgr. Kamilu Kropáčovi, Ph.D. a RNDr. Petru Sulovskému, Ph.D. za jejich pomoc a rady při laboratorním výzkumu. Velké poděkování patří také Prof. Mgr. Pavlu Ruskovi za poskytnutí archivních vzorků z Dolního Těrlicka.

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Jan Skýpala

**Název práce:** Stronciová mineralizace těšínských vápenců (slezská jednotka Vnějších Západních Karpat)

**Typ práce:** bakalářská práce

**Pracoviště:** Katedra geologie PřF UP

**Vedoucí práce:** RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph. D.

**Rok obhajoby:** 2014

**Abstrakt:** Bakalářská práce je zaměřena na výzkum stronciové mineralizace v oblasti kolem Českého Těšína, která se vyskytuje na hydrotermálních žilách v těšínských vápencích. Pro studium dané problematiky byla provedena chemická analýza minerálů, mikrotermometrie fluidních inkluzí a studie výbrusů pomocí katodové luminiscence a fluorescenční mikroskopie. Na hydrotermálních žilách se vyskytuje kalcit, stroncianit, baryt, barytocelestin a celestin. Vzácně se zde vyskytuje také pyrit. Baryt a barytocelestin jsou pro tuto oblast nově popsány minerály. U stroncianitu byl zjištěn zvýšený obsah Ca (až 13,10 hm. % CaO), což naznačuje, že se jedná o vápenatý stroncianit. V kalcitu byly nalezeny fluidní inkluze L a L+V typu. Obsahují nízkosalinní roztoky (1,1 až 4,6 hm. % NaCl ekv.) s teplotou homogenizace 35 až 180°C. Spolu se stronciovou mineralizací se vyskytuje přírodní ropa a asphalt. Jde o nezralou, těžkou ropu, která v UV záření fluoreskuje v barvách modré až světle zelené. U kalcitových zrn byla v CL pozorována koncentrická zonálnost, jenž naznačuje náhlé změny podmínek při krystalovém růstu.

**Klíčová slova:** Vnější Západní Karpaty, slezská jednotka, Český Těšín, hydrotermální mineralizace, stronciová mineralizace, chemismus minerálů, fluidní inkluze.

**Počet stran:** 60

**Počet příloh:** 0

**Jazyk:** Český

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Jan Skýpala

**Title:** Strontium mineralization of the Těšín Limestone (Silesian Unit, Outer Western Carpathians)

**Type of thesis:** bachelor's thesis

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

**Supervisor:** RNDr. Zdeněk Dolníček, Ph. D.

**The year of presentation:** 2014

**Abstract:** Bachelor's work is focused on the research of strontium mineralization in the area around Český Těšín, which occurs in hydrothermal veins hosted by the Těšín Limestones. For the purpose of the study, chemical analysis of minerals, microthermometry of fluid inclusions and study of thin sections using cathodoluminescence and UV-fluorescence were carried out. Calcite occurs with the strontianite, barite, celestite and baritocelstite in the hydrothermal veins. Rarely, there also appears pyrite. Barite and baritocelstite are new minerals for this area. The strontianite has an increased Ca content (up to 13.10 wt. %) which suggests that this is Ca-rich strontianite. Fluid inclusions belonging to the L and L+V types were found in calcite. The parent fluids had a low-salinity (1.1-4.6 wt. % NaCl eq.) and homogenization temperatures between 35 and 180°C. Natural oil and natural bitumens occur together with the strontium mineralization. Natural oil is an immature, heavy oil, which fluoresces under UV radiation in blue to light green. Calcite grains exhibit concentric CL zonation, which suggests sudden changes in conditions during crystal growth.

**Key words:** Outer Western Carpathians, Silesian unit, Český Těšín, hydrothermal mineralization, strontium mineralization, chemistry of minerals, fluid inclusions

**Number of pages:** 60

**Number of appendices:** 0

**Language:** Czech

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| 1. Úvod .....  | 6  |
| 2. Geologická charakteristika zkoumané oblasti .....                             | 7  |
| 2.1. Vnější Západní Karpaty .....  | 7  |
| 2.2. Slezská jednotka .....  | 8  |
| 2.2.1. Godulský vývoj.....   | 8  |
| 2.2.2. Bašský vývoj.....   | 10 |
| 2.2.3. Kelčský vývoj.....  | 10 |
| 3. Vznik celestinu a stroncianitu.....   | 12 |
| 4. Přehled dosavadních výzkumů Sr-mineralizace v zájmové oblasti .....           | 15 |
| 4.1. Těšínsko .....  | 15 |
| 4.2. Další Sr-mineralizace ve slezské jednotce .....                             | 18 |
| 5. Metodika .....  | 19 |
| 6. Terénní etapa .....   | 21 |
| 6.1. Třinec „pod Sosnou“ .....   | 21 |
| 6.2. Vendryně .....  | 24 |
| 6.3. Nebory .....  | 27 |
| 7. Laboratorní etapa .....   | 30 |
| 7.1. Makroskopický a mikroskopický popis .....                                   | 30 |
| 7.1.1. Třinec „pod Sosnou“ .....   | 30 |
| 7.1.2. Vendryně .....  | 33 |
| 7.1.3. Nebory .....  | 36 |
| 7.1.4. Dolní Těrlicko .....  | 38 |
| 7.2. Studium výbrusů ve fluorescenčním mikroskopu a katodovou luminiscencí ..... | 42 |
| 7.2.1. Studium ve fluorescenčním mikroskopu .....                                | 42 |
| 7.2.2. Katodoluminiscence .....  | 43 |
| 7.3. Chemické složení minerálních fází.....                                      | 44 |
| 7.4. Studium fluidních inkluzí .....   | 46 |
| 7.4.1. Lokalita Nebory.....  | 46 |
| 7.4.2. Lokalita Dolní Těrlicko .....   | 48 |
| 8. Diskuse.....  | 51 |
| 9. Závěr .....   | 57 |
| 10. Literatura .....   | 58 |

## 1. Úvod

Z našeho území je doposud známo poměrně málo lokalit s výskytem karbonátové a sulfátové stronciové mineralizace. Jednou z oblastí výskytu je lokalita Kunětická hora v České křídové pánvi, kde se v dutinách tefritu nachází stroncianit (Rusek, Valošek 1958). O dalším výskytu stronciové mineralizace se zmiňuje K. Kopecký (in Rusek, Valošek 1958), který popisuje drobné výskyty ve slínu od Těšova z račanské jednotky. Výskyt stroncianitu je také popisován z lokality Tichá u Frenštátu pod Radoštěm ze slezské jednotky, kde je vázán na hydrotermální žíly v těšínitu. Stroncianit zde tvoří drobná zrna, která zarůstají do kalcitu (Dolníček et al. 2010). Další lokalitou se stronciovou mineralizací je Bánov. Tato lokalita se nachází v bělokarpatské jednotce. Stroncianit se zde vyskytuje v podobě drobných zrn zarostlých v kalcitu. Kalcit je vázán na karbonátové mandle, které se vyskytují v andezitu. Stáří andezitu je střední až svrchní baden (Krobot 2011). Nejnovější výskyt stronciové mineralizace na našem území je popsán z oblasti Uherskohradištska, kde se na puklinách křídového vápence vyskytují drobné žilky namodralého celestinu. Ten kromě žilek také zarůstá do vápence ve formě drobných zrn (Novotný 2014).

Nejvýznamnější oblastí výskytu Sr-mineralizace na našem území je širší okolí Českého Těšína, kde je stronciová mineralizace vázána na pukliny a dutiny těšínských vápenců (Marosz, Chmiel 2007). První nálezy stronciové mineralizace na Těšínsku byly učiněny na konci 19. století. Z území severní Moravy byla tato mineralizace poprvé popsána až v padesátých letech minulého století (Marosz, Chmiel 2007). Výskyt stronciové mineralizace zkoumané oblasti je vázán na pukliny svrchnojurských až spodnokřídových vápenců, kde se vyskytuje ve dvou typech. V prvním případě se stronciová mineralizace nachází na puklinách lavic vápenců. Tento výskyt je znám především z lokalit Třinec „pod Sosnou“ a Vendryně, kde jsou tyto vápence vlivem činnosti řeky Olše erodovány a odkrývány. Druhým typem výskytu jsou vápencové konkrece, které se nacházejí v polohách tmavě šedých jílovců. Tyto výskyty jsou popisovány z lokalit Nebory, Český Těšín, Dolní Těrlicko, Ropice a Albrechtice. Vápencové konkrece často z jílovců vyvětrávají a vodními proudy jsou rozvečeny do blízkého okolí (Marosz, Chmiel 2007).

Cílem bakalářské práce je podat podrobnější charakteristiku stronciem bohaté hydrotermální mineralizace v širším okolí Českého Těšína, která nebyla doposud podrobněji zkoumána. Reprezentativní vzorky určené k výzkumu byly odebrány z lokalit Nebory, Vendryně a Třinec. Mimo tyto tři lokality byl dále zkoumán archivní vzorek vápencové konkrece ze zaniklé lokality Dolní Těrlicko.

## **2. Geologická charakteristika zkoumané oblasti**

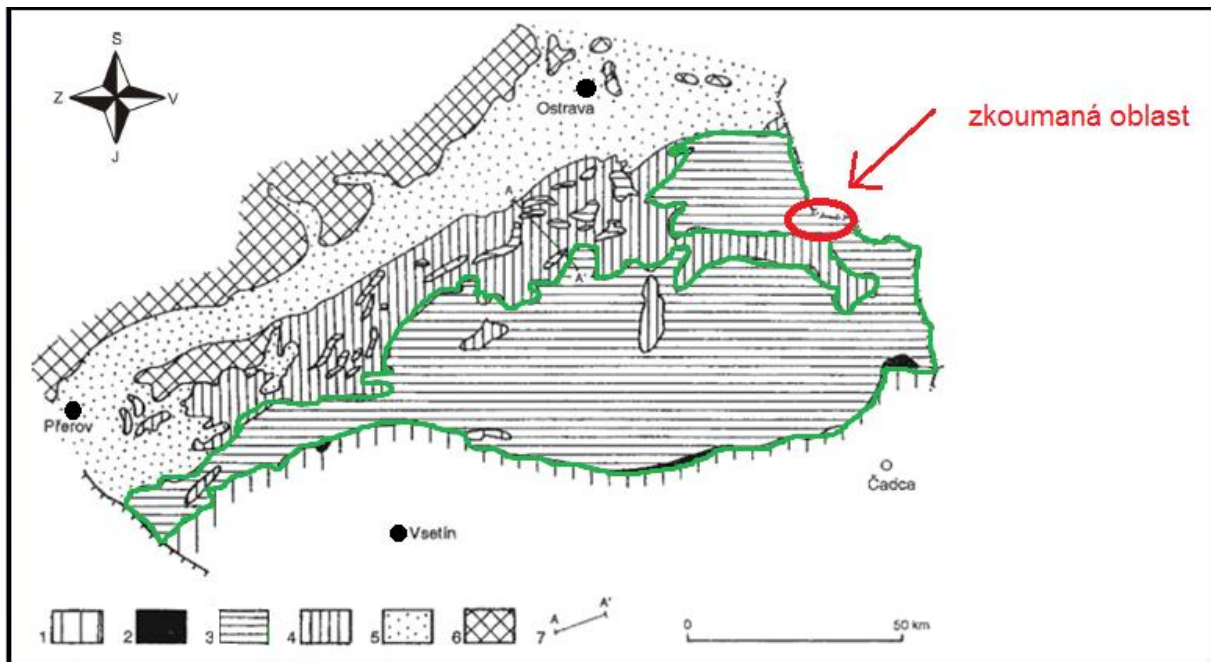
### **2.1. Vnější Západní Karpaty**

Zkoumaná oblast se nachází ve Vnějších Západních Karpatech. Karpaty jsou výsledkem alpínského vrásnění, které probíhalo v intervalu od křídý až po terciér (Buday et al. 1967). Na naše území zasahují pouze Vnější Západní Karpaty, které jsou tvořeny zejména příkrovy mezozoických a terciérních flyšových hornin. Flyšové Karpaty byly v terciéru nasunuty od J a JV na v. okraj Českého masivu (Chlupáč et al. 2011). Jejich hornatý reliéf se zvedá směrem k JV (Stráník et al. 1993). Kromě flyšového pásma se na našem území vyskytují mořské a sladkovodní uloženiny zachované v tzv. karpatské předhlubni (obr. 1) (Chlupáč et al. 2011).

Flyšové pásmo zabírá východní část Moravy a Slezska (obr. 1). Je charakteristické příkrovovou stavbou, vyznačující se zonálním uspořádáním s převahou flyšové sedimentace. Původ flyšových sedimentů je většinou z turbiditních proudů, z nichž se uložily rytmicky se střídající vrstvy písčitých a jílovitých sedimentů. Tyto sedimenty jsou převážně křídového až paleogenního stáří (Kováč et al. 1993). Celá oblast je významně ovlivněna terciérní tektonikou, kdy byly za horotvorných procesů sedimenty zvrásněny a přesunuty směrem k SZ (Stráník et al. 1993). Flyšové pásmo se dělí na magurskou skupinu příkrovů a vnější skupinu příkrovů, pod kterou spadá také slezská jednotka (Chlupáč et al. 2011). Flyšové pásmo pokračuje z našeho území dále na SV do Polska, směrem k VJV na Slovensko a k JZ dále do Rakouska (Buday et al. 1967).

## 2.2. Slezská jednotka

Slezská jednotka na Moravě a ve Slezsku buduje Podbeskydskou pahorkatinu a Moravskoslezské Beskydy (Stráník et al. 1993). Charakteristické jsou vrstvy svrchnojurského až paleogenního stáří. Na území Moravy a Slezska jsou definované tři hlavní vývoje, a to godulský, bašský a kelčský (Chlupáč et al. 2011). Výskyt stronciové mineralizace spadá do vývoje godulského.



Obr. 1: Oblast rozšíření slezské jednotky. [1] magurská skupina příkrovů, [2] předmagurská jednotka, [3] slezská jednotka, [4] podslezská jednotka, [5] karpatská předlubeň, [6] Český masiv (upraveno z [www.moravske-karpaty.cz](http://www.moravske-karpaty.cz))

### 2.2.1. Godulský vývoj

Ve slezské jednotce má godulský vývoj kompletní vrstevní sled od svrchní jury až po oligocén (obr. 2). Mocnost souvrství stoupá směrem od západu k východu až na 6 000 m. Nejstarší jsou spodní těšínské vrstvy stáří oxford až tithon o mocnosti 350–600 m (Stráník et al. 1993). Podle nové nomenklatury jsou tyto vrstvy označovány jako vendryňské souvrství (Eliáš et al. 2003). Vrstvy tvoří tmavohnědé vápnité jílovce s tenkými vložkami prachovců, pískovců a vápenců (Buday et al. 1967). Ve vrstvách jílovců bývají často uzavřeny vápencové konkrce (Stráník et al. 1993). Horniny ve většině případů obsahují podíl organické složky (Eliáš 1970). Faunu vendryňského souvrství reprezentují hlavně amoniti, aptychy a mlži (Chlupáč et al. 2011).



Směrem k nadloží pokračuje kalová facie těšínských vápenců stáří tithon až spodní valangin, kterou představují dva druhy vápenců (Eliáš 1970). Starší kalové vápence, tvořící desky a lavice o mocnosti od 2 cm do 2 m jsou odděleny polohami světle šedých vápnnitých jílovců o mocnosti 5 mm až 120 cm (Buday et al. 1967). Někdy se v polohách vápnnitých jílovců vyskytují také vápencové konkrece, které z jílovců vyvětrávají. Mladší detritické vápence jsou tvořeny především schránkami foraminifer. Dále se zde vyskytují koráli, mechovky, schránky ramenonožců a ostny ježovek (Stráník et al. 1993).

Bez přerušení sedimentace pokračuje do nadloží flyšová sedimentace těšínsko-hradišťského souvrství. Tyto vrstvy v roce 1953 vymezili A. Matějka a Z. Roth (in Buday et al. 1967) jako hradišťské vrstvy. Stáří hradišťských vrstev je valangin až spodní apt. Střídají se zde vrstvy hnědošedých vápnnitých jílovců s vrstvami jemnozrnných vápnnitých pískovců. Střední část souvrství charakterizují hrubě lavicovité slepence a pískovce hradišťského typu (Stráník et al. 1993). S hradišťskými vrstvami jsou prostorově i časově spjaté horniny těšínitové asociace. Ty jsou rozšířeny v pruhu od Hranic na Moravě k Českému Těšínu a dále pokračují směrem do Polska. Celková délka se odhaduje na 100 km (Chlupáč et al. 2011). Mocnost hradišťských vrstev roste od Z k V až na 1 100 m (Eliáš 1970).

Sedimentace ve středním a svrchním aptu má pelagický charakter. Ten prezentují veřovické vrstvy s prokřemenělými jílovcí bohatými na pyrit o mocnosti 200–250 m (Menčík et al. 1983). Při zvětrávání jsou pro vrstvy jílovců charakteristické limonitové povlaky. Časté je také zvětrávání jemně rozptýleného pyritu za vzniku síranů (Eliáš 1970).

Stejný charakter má sedimentace lhoteckého souvrství ve spodním albu. Zde se vyskytují vrstvy zelenošedých vápnnitých i nevápnnitých jílovců v polohách mocných od několika centimetrů až po několik metrů (Buday et al. 1967). Spolu s jílovcí se v nadloží vyskytují silicity. Mocnost celého souvrství je 200–220 m (Stráník et al. 1993). V nadložním godulském souvrství svrchnokřídového stáří se střídají vrstvy zelenošedých jílovců s vrstvami křemitovápennatých glaukonitických pískovců, jež spolu tvoří drobně rytmický flyš (Chlupáč et al. 2011). Nejvyšší mocnosti (3 100 m) dosahuje godulské souvrství v povodí Morávky a Ostravice (Eliáš 1970).

Bez přerušení sedimentace nasedá na godulské souvrství istebňanské souvrství, které má stratigrafický rozsah od svrchní křídly až po spodní paleocén (Stráník et al. 1993). V istebňanském souvrství se vyskytují arkózoové a drobové pískovce až slepence společně

s černošedými písčitými jílovci. Mocnost souvrství je značně proměnlivá a dosahuje až 1 200 m (Chlupáč et al. 2011).

Na istebňanské souvrství nasedá podmenilitové souvrství stáří paleocén až svrchní eocén, které je charakteristické drobně rytmickou sedimentací šedých, zelenošedých až červených nevápničných jílovců. Mocnost souvrství je 500–800 m (Eliáš 1970). Ve spodním oligocénu se uložilo menilitové souvrství, které prezentují vrstvy rohovců spolu s dynowskými a šitbořickými vrstvami. Mocnost menilitového souvrství nepřesahuje 100 m.

Celý vrstevní sled slezské jednotky v godulském vývoji zakončuje ve svrchním oligocénu krosněnské souvrství s typickou flyšovou sedimentací, kterou charakterizuje rytmické střídání vápničných jílovců a světle slídnatých vápničných laminovaných pískovců. Mocnost souvrství je přibližně 100 m (Stráník et al. 1993).

### **2.2.2. Bašský vývoj**

Bašský vývoj je ve slezské jednotce prostorově vázaný na Štramberskou pahorkatinu s vrstevním sledem stáří tithon až paleocén. Jednotlivě se vymezují štramberský vápenec jako nejstarší člen stáří tithon (Buday et al. 1967) a kopřivnický vápenec stáří svrchní tithon až valangin (Stráník et al. 1993). Dále je zde vymezeno těšínsko-hradištské souvrství, které je rozděleno na dvě facie. První je facie kotoučská, tvořená tmavými pelity stáří jura až cenoman. Druhou je facie chlebovická, s přítomností tilloidních slepenců a tmavých pískovců s valouny kopřivnického a štramberského vápence (Stráník et al. 1993).

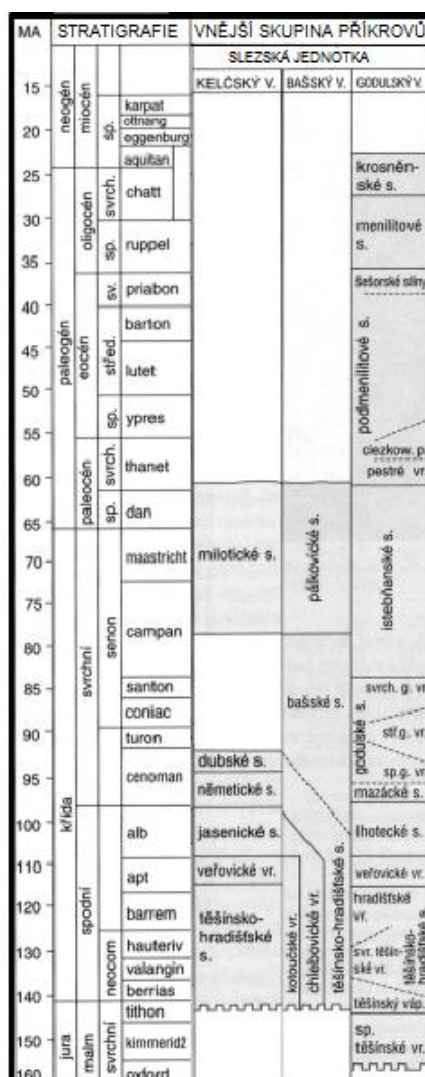
Na chlebovickou facii nasedá bašské souvrství. To je reprezentováno střední až hrubě rytmickou sedimentací vápničného pískovce, rohovců a šedých až zelenošedých jílovců (Chlupáč et al. 2011). Mocnost bašského souvrství činí 250–350 m. Sedimentaci v bašském vývoji zakončuje pálkovické souvrství prezentované hrubě písčitým flyšem (Buday et al. 1967). Ten představuje střídání pískovců, slepenců a tmavošedých jílovců. Stáří pálkovického souvrství je coniac až paleocén. Maximální mocnost souvrství činí 500 m (Stráník et al. 1993).

### **2.2.3. Kelčský vývoj**

Kelčský vývoj je vázán na sz. část slezské jednotky. V podloží se vyskytuje těšínsko-hradištské souvrství a veřovické vrstvy. Tyto vrstvy lze korelovat s vrstvami v bašském vývoji slezské jednotky (obr. 2). Směrem do nadloží se vyskytují silicifikované jasenické

vrstvy o mocnosti 100–200 m, které stratigraficky spadají do albu. Směrem k nadloži pokračuje sedimentace němetických vrstev stáří alb až cenoman. Němetické vrstvy mají povahu drobně rytmického flyše, který tvoří šedé, zelenošedé a rudošedé jílovce (Stráník et al. 1993). Dubské vrstvy stáří cenoman tvoří hnědošedé vápnité jílovce (Chlupáč et al. 2011). V menším zastoupení se zde vyskytují také pískovce a slepence.

Nejmladším členem kelčského vývoje je milotické souvrství stáří campan až paleocén. V tomto souvrství dominují šedé, zelenošedé a modrošedé vápnité i nevápnité jílovce, které uzavírají lávky pískovců. Krom jílovců se zde vyskytují ještě tilloidní slepence s valouny štramberského a kopřivnického vápence (Stráník et al. 1993).



Obr. 2: Stratigrafické schéma mezozoika a terciéru slezské jednotky (www.moravske-karpaty.cz)

### 3. Vznik celestinu a stroncianitu

Stroncium je s průměrným zastoupením 0,4 % v zemské kůře 15. nejhojnější prvek v přírodě (Dill et al. 2009). Hlavními minerály stroncia jsou celestin a stroncianit. K méně významným patří haradait, akuminit, fluorkapit a weloganit. Výskyt karbonátů a sulfátů Sr je vázán na hydrotermální žilná ložiska, kde se vyskytuje stroncianit i celestin v paragenezi s kalcitem, barytem a sulfidy jako jsou pyrit, sfalerit a galenit (Saunders et al. 1988). Druhým typem výskytu jsou sedimentární ložiska evaporitů a vápenců, kde se vyskytuje především celestin v paragenezi se sádrovcem, dolomitem a kalcitem (Dill et al. 2009).

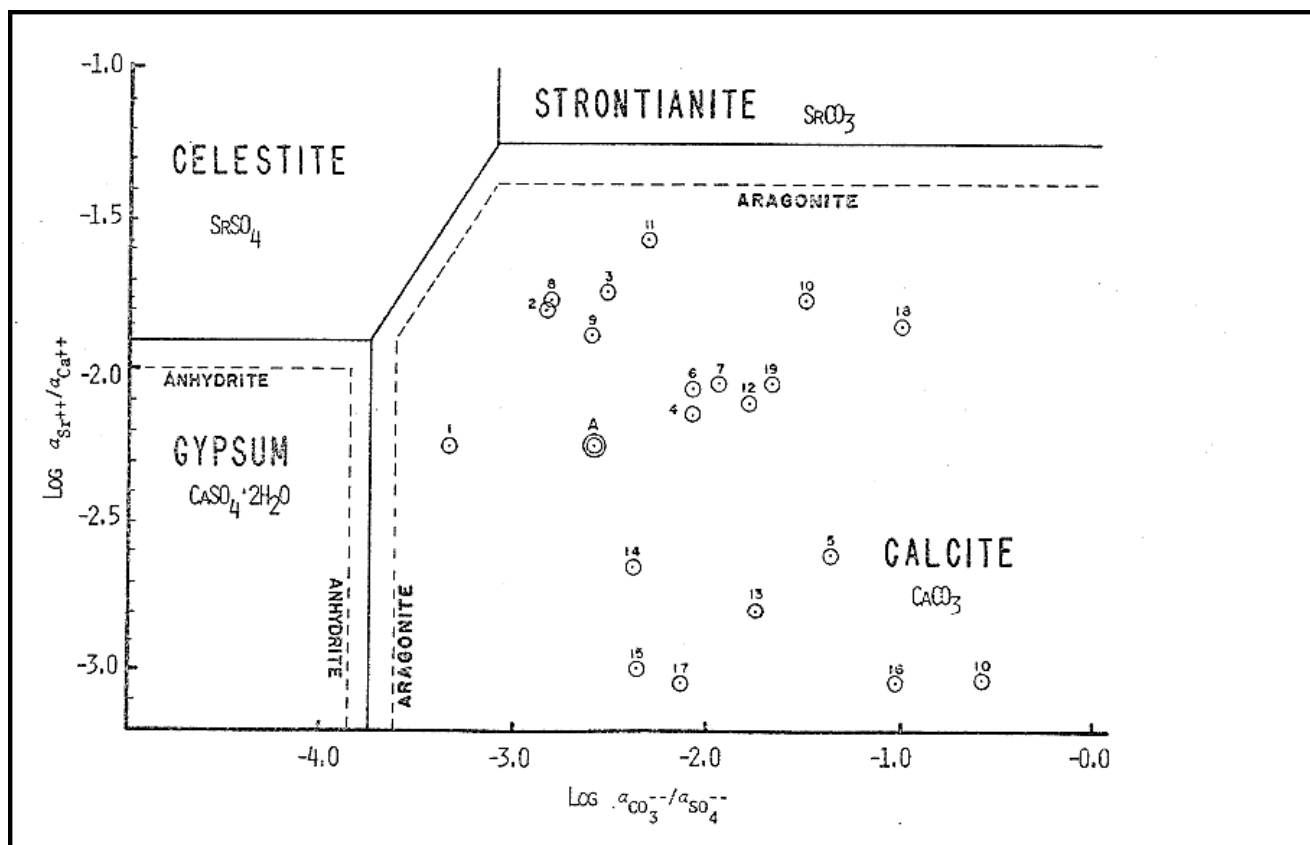
V přírodě je nositelem stroncia v prostředí sedimentárních hornin převážně kalcit. Ze Sr minerálů je to především celestin, který se vyskytuje častěji než stroncianit. Celestin se ukládal v mělkovodním prostředí v blízkosti karbonátového prostředí nebo na dně evaporitových jezer (Rickman 1977). Největší ložiska celestinu se nacházejí na území Mexika, Argentiny a severního Tuniska, kde je celestin vázán na ložiska evaporitů se stářím od spodní křídy po miocén. V Evropě je největším producentem stroncia ložisko Montevives na území Španělska (Dill et al. 2009).

Společný výskyt stroncianitu a celestinu je vázán na ložiska vápenců. Stáří vápenců je silně variabilní od nejstarších svrchnojurských vápenců v České republice (Marosz, Chmiel 2007) až po nejmladší miocenní vápence z Kypru (Saunders et al. 1988).

Obecně lze říci, že stronciová mineralizace je vázána na sedimentární ložiska s epitermální mineralizací, kdy teplota fluid dosahuje méně než 200 °C, běžně i pod 50 °C (Rickman 1977). Voda v hydrotermálních roztocích je diagenetického původu. Jedná se o nízkosalinní roztoky. Např. na lokalitě Tichá u Frenštátu pod Radhoštěm se salinita pohybovala od 0,5 do 4,5 hm. % NaCl ekv. (Dolníček et al. 2010). Pravděpodobným zdrojem zvyšujícím obsah Sr ve fluidech jsou bitumeny, které na ložisku Tatum Dome v USA obsahují až 0,3 % Sr (Saunders et al. 1988). To je větší množství, než které mají ložiska anhydritu s průměrným obsahem 0,1–0,2 % Sr (Hryniv, Peryt 2010).

Celestin a stroncianit nevznikají v sedimentárním prostředí současně. Jako první se z roztoků bohatých na sírany vysráží celestin (Helz, Holland 1965). V evaporitových sedimentačních ložiskách vzniká celestin nahrazením karbonátů bohatých na Sr (s obsahem Sr až 1 %), které se uložily v mořském prostředí. Při kontaktu se sladkou kontinentální vodou, která má nízký poměr Na/K, se přemění aragonit na kalcit a Sr se uvolní do vodního prostředí.

Voda obohacená o Sr přichází do kontaktu se slanou mořskou vodou z evaporitových jezer nebo mělkomořského prostředí, která je bohatá na sírany a začíná proces vysrážení celestinu. Současně se rozpouští kalcit. Je to způsobeno vlivem poklesu aktivitních koeficientů vápníku (Rickman 1977).



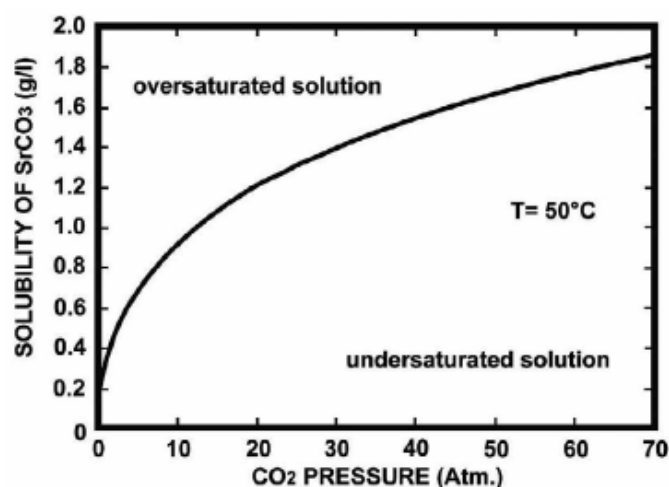
Obr. 3: Chemická rovnováha mezi fázemi, které se účastní procesu vzniku celestinu v mořském prostředí. Graf je platný pro tyto podmínky: teplota = 25 °C, tlak = 1 bar, aktivita vody = 1. Pro stabilitu daných fází je důležitý vzájemný vztah mezi  $CO_3/SO_4$  a  $Sr/Ca$  v nízkosalinním vodném roztoku. Složení mořské vody značí bod „A“ (Rickman 1977). Pro srovnání jsou v poli kalcitu vyneseny výsledky výzkumu Skougstada a Horra (1963) (bod 1-12) a výsledky od Summerse et al. (1972) (bod 13-19)

Vznik stronciové mineralizace na hydrotermálních ložiskách je složitější. Zdrojem stroncia jsou evapority nebo karbonátový materiál, ve kterých se Sr nachází ve stopovém množství a zastupuje kationty Ca v sádrovci a kalcitu. Sr se uvolňuje při přeměně anhydritu na sádrovec a při přeměně aragonitu na kalcit do vodního prostředí. Zdrojem Sr mohou být i jiné horniny s vyšším obsahem stroncia. Zdrojem Sr ve fluidech jsou také bitumeny. Slané vodní roztoky obsahují vysoké množství  $SO_4$  vlivem zvětvávání evaporitů, oxidace sulfidů, sulfanu a mineralizace organického materiálu (Calaforra et al. 2013).

Při těchto podmínkách dochází k nahrazení aragonitu kalcitem a do hydrotermálního roztoku se uvolňuje další Sr (Helz, Holland 1965). V takovém roztoku bohatém na karbonáty, při nízké koncentraci  $\text{CO}_2$ , dochází ke srážení celestinu. Tím se sníží obsah  $\text{SO}_4$  ve zbylém roztoku, ale ani tak nemusí docházet k následnému vysrážení stroncianitu. Jsou totiž splněné jen dvě ze tří podmínek nutných k tomu, aby mohlo dojít k vysrážení stroncianitu: hydrotermální roztok je vlivem vysrážení celestinu ochuzený o  $\text{SO}_4$  a ve vodě je stále vysoká koncentrace Sr.

Třetí podmínkou, která musí být splněna, je vysoký poměr Ca/Sr (Calaforra et al. 2013). Poměr Ca/Sr musí být vyšší než 0,1 při 25 °C (Helz, Holland 1965). Takového stavu lze dosáhnout ochlazením roztoku nasyceného vápníkem a stronciem, v důsledku čehož dojde k mírnému rozpouštění kalcitu a vysokému obohacení roztoku Sr. Celkový poměr Ca/Sr se změní z 0,6 (rovnováha při 150 °C) na 0,1 (rovnováha při 25 °C).

Na srážení stroncianitu má zásadní vliv přítomnost  $\text{CO}_2$ . Ten se uvolňuje z vadózní zóny poté, kdy do ní dorazí krasová voda obohacená o Ca a Sr. Volný  $\text{CO}_2$  se uvolňuje z termálních roztoků do pórů a trhlin, kde krystalizuje spolu s Ca jako uhličitan vápenatý. Tímto procesem zůstává v termálním roztoku pouze uhličitan strontnatý. Jestliže nadále dochází k uvolňování  $\text{CO}_2$  do okolního prostředí, může dojít ke vzniku stroncianitu. Následné srážení stroncianitu z takto přesyceného roztoku způsobuje další pokles  $\text{CO}_2$  a tím také zpomalení celého procesu. Tento proces srážení stroncianitu byl popsán na lokalitě Sima de Las Fumarolas ve Španělsku (Calaforra et al. 2013).



Obr. 4: Rozpustnost stroncianitu ve vodním prostředí v závislosti na tlaku  $\text{CO}_2$  (Helz, Holland 1965)

## 4. Přehled dosavadních výzkumů Sr-mineralizace v zájmové oblasti

### 4.1. Těšínsko

První písemné zprávy o objevu stronciové mineralizace v okolí Českého Těšína uvádí v roce 1958 regionální sběratel P. Rusek. V červnu 1957, při geologicko-mineralogickém průzkumu vlastivědného kroužku musea v Českém Těšíně, objevil nový a vzácný nerost pro Těšínsko – stroncianit.

Stroncianit tvoří sněhově bílé jehličkovité krystaly narůstající na skalenoedrické krystaly bílého až čirého kalcitu v puklinách a dutinách šedočerného skvrnitého vápence. Ten tvoří v těšínských jílovcích kulovité až bochníkovité konkrece o velikosti až do 1 m (Chmiel 2003). Spolu se stroncianitem se vyskytoval narůžovělý až hnědý ankerit a skalenoedry kalcitu o velikosti 1 až 5 cm (Rusek 1958). Zajímavostí byla přítomnost přírodního asfaltu a ropy spolu s danými minerály. Jejich přítomnost v těšínských vápencích byla známa již dříve.

Další lokalitu se stronciovou mineralizací objevil v červnu 1958 sběratel Č. Valošek v Dolním Těrlicku. Stroncianit se vyskytoval ve stejném typu vápencových konkrecí, jako na lokalitě v Českém Těšíně. Jeho vývin byl však odlišný. Tvořil bílé radiálně paprscité agregáty, složené z velmi jemných, ostře špičatých jehlicovitých krystalů. Stroncianit také místy vytvářel drúzy snopkovitých krystalů, přirostlých na stěny kalcitových skalenoedrů. Krystaly jsou vodorovně rýhované. U některých krystalů lze pozorovat hákovité zakončení. Mimo stroncianit byl nalezen ještě jiný vzácný minerál – celestin.

Celestin vyplňuje dutiny vápencových konkrecí. S charakteristickým silným leskem a namodralou barvou se výrazně odlišuje od bílého kalcitu. Celestin někdy vytváří hrubě destičkovité agregáty, místy prorostlé stroncianitem a kalcitem. Chemicky určil celestin a stroncianit P. Rusek. U stroncianitu zmiňuje izomorfní příměs uhličitanu vápenatého (Rusek, Valošek 1958).

Vzorky z Dolního Těrlicka patří k nejlepším nálezům stronciové mineralizace na Těšínsku. Jednotlivé krystaly celestinu dosahují velikosti až 60x15x3 mm. Krystalky jsou většinou ploché a nedokonale vyvinuté. Celestin i stroncianit byly nejprve určeny rentgenometricky, chemicky a opticky. U celestinu byla provedena také spektrální analýza, při které bylo zjištěno podstatné množství Sr, vedlejší množství Ba a Ca a také podřadný

obsah Al. Ve stopovém množství byly zjištěny Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Zn, Si a Cd (Kruťa 1973).

Další výskyt stronciové mineralizace byl objeven na lokalitě v obci Nebory, kde je mineralizace rovněž vázaná na vápencové konkrce. V následujících letech pak byly postupně objeveny lokality Vendryně, Chotěbuz, Albrechtice u Českého Těšína, Zpupná Lhota a Ropice (obr. 5). Na většině uvedených lokalit se stronciová mineralizace vyskytuje na puklinách vápencových konkrací. Vyjímkou jsou lokality Vendryně, Albrechtice u Českého Těšína a Třinec „pod Sosnou“, kde se stronciová mineralizace vyskytuje na puklinách lavic vápenců.

Novou lokalitu objevil v roce 1983 P. Slaviček. Nachází se asi 40 m proti proudu od původní lokality Třinec „pod Sosnou“. Kromě radiálně paprscitých agregátů stroncianitu o průměru až 12 mm obsahovaly pukliny ve vápenci sklenoedry kalcitu do 15 mm, na které nasedaly drobné, maximálně 3 mm velké klence hnědooranžového ankeritu (Slaviček 1985).

Následovaly podrobnější výzkumy celé oblasti. Provedením chemické analýzy vzorků z lokality Třinec „pod Sosnou“ se zjistilo, že stroncianit obsahuje zvýšený podíl uhličitanu vápenatého. Obsah CaO činí 8,99 hm. %. Poměr Ca: Sr = 1:3,5 (Jedlička 1988). Jednalo se o první popis vápenatého stroncianitu z ČSSR.

V posledním desetiletí se stronciovou mineralizací těšínských vápenců zabýval regionální sběratel E. Chmiel. Ten našel kvalitní ukázky dané mineralizace z již známých lokalit a v neposlední řadě objevil také nové lokality nesoucí stronciovou mineralizaci.

Na lokalitě Nebory objevil několik větších vápencových konkrací, které po otevření obsahovaly kulovité agregáty stroncianitu do 7 mm a volně uložené sklenoedry kalcitu až do velikosti 4,5 cm. Výplň konkrací tvořila přírodní ropa a asfalt, tato vrstva přírodních bitumenů byla mocná několik mm. Minerály, vyskytující se ve vápencových konkracích, bývají ve většině případu všudypřítomnou ropou a asfaltem zbarveny a oroseny (Chmiel 2002). Také zde nalezené vzorky stroncianitu obsahují zvýšený podíl CaO (až 10 hm. %), podobně jako na lokalitě v Třinci (Pauliš 2005).

V roce 2001 se na soukromém pozemku v obci Nebory našla velká vápencová konkrce o rozměrech cca 100x80 cm bez viditelných organických zbytků a fosilií. Konkrce obsahovala četné dutiny vyplněné stronciovou mineralizací. Po podrobnějším průzkumu celé konkrce byl nalezen kromě stroncianitu také celestin. Ten se na první pohled nedal odlišit od



kalcitu pro jeho zbarvení ropou. Krystaly celestinu jsou dvojího typu. Většinou se jedná o jemné plástky, složené z drobných šupinek celestinu silného lesku. Vzácnější jsou křehké tabulkovité krystaly o velikosti 5–20 mm. Na některých místech se v dutině kalcit a celestin prorůstají. Jednoduše lze rozeznat celestin od kalcitu reakcí v roztoku HCl. Separované tabulky celestinu jsou čiré až mléčně zbarvené.

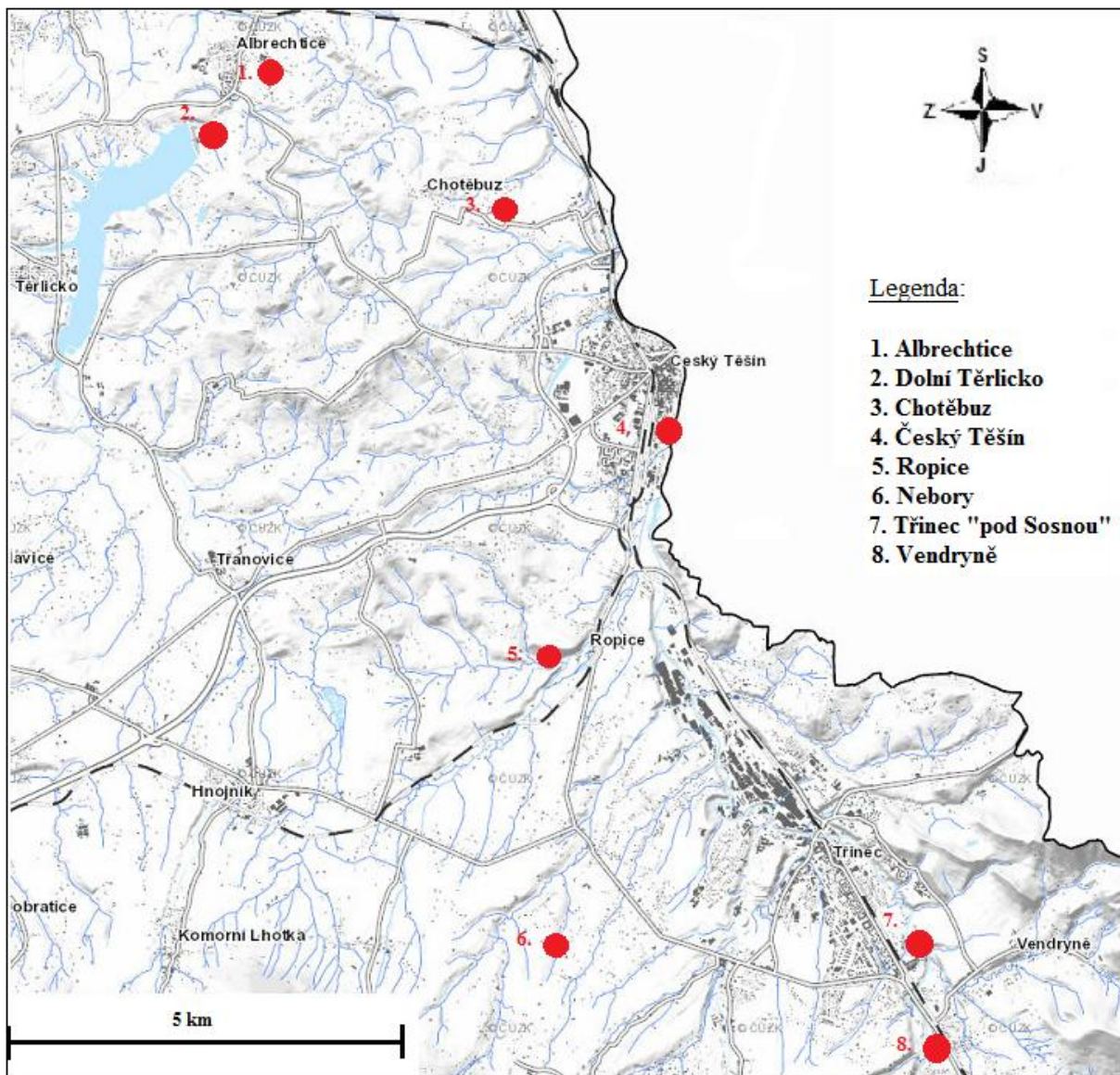
Celestin z lokality Nebory obsahuje kromě hlavních prvků také zvýšené množství Ba a Ca. Hustota celestinu je  $3,8 \text{ g/cm}^3$ , což je méně, než má běžný celestin ( $3,9\text{--}4 \text{ g/cm}^3$ ). Tato studovaná konkrce obsahovala pouze celestin. Stroncianit nalezen nebyl.

Kromě stroncianitu a celestinu byl z okolí Třince a Českého Těšína popsán ještě jeden vzácný minerál a to barytocelestin. Poprvé ho popsal v roce 1962 P. Rusek (ústní sdělení) z lokality Chotěbuz (Chmiel 2003). Bohužel výsledky výzkumů nejsou publikovány.

V roce 2006 byla v okolí Třince objevena nová lokalita se stronciovou mineralizací. Její výskyt je situován v areálu třineckých železáren. Nachází se asi 30 m od pěší lávky přes řeku proti proudu Olše. Stronciová mineralizace je zde vázaná na pukliny lavic vápenců. Z této lokality je popsán pouze výskyt stroncianitu. Celestin ani při podrobnějším průzkumu nalezen nebyl (Marosz, Chmiel 2007).

V současné době zůstává nejnavštěvovanější lokalitou Třinec „pod Sosnou“. I přes značnou vyčerpanost lokality se zde stále dají nalézt vzorky stronciové mineralizace v průměrné kvalitě, především stroncianit. Ten tvoří vedle radiálně paprscitých agregátů o velikosti do 15 mm také idiomorfne omezené, až 5 mm velké krystaly (Pauliš 2001).

Z oblasti Těšínska je popsána řada lokalit s výskytem stronciové mineralizace. Ve většině případů se nálezové zprávy omezují pouze na nejzákladnější mineralogický popis. Podrobnější výzkum podmínek vzniku a vývoje dané mineralizace zcela chybí.



Obr. 5: Mapa okolí Českého Těšína s vyznačenými lokalitami se stronciovou mineralizací (podkladová mapa převzata z: [mapy.geology.cz](http://mapy.geology.cz))

#### 4. 2. Další Sr-mineralizace ve slezské jednotce

K uvedeným nalezištím můžeme volně přiřadit ještě lokalitu Tichá u Frenštátu pod Radhoštěm, která se nachází asi 40 km jz. od Českého Těšína. Lokalita rovněž spadá do slezské jednotky flyšového pásma se stářím spodní křída.

Stronciová mineralizace na dané lokalitě je vázaná na hydrotermální žily, prorážející tělesa těšinitů. Hydrotermální žíly se zde vznikaly ve třech fázích. Minerální asociaci, ve které se nachází stroncianit, reprezentují karbonáty, sulfidy, chlorit a křemen.

Karbonáty jsou zde zastoupeny především kalcitem. Ten se vyskytuje ve dvou generacích. První generace je patrná pouze mikroskopicky, kdy kalcit prorůstá s chloritem. Druhá generace vytváří až 1 cm mocné polohy středně zrnitého kalcitu bílé až šedé barvy. V ní se vyskytují nepravidelná zrna stroncianitu do velikosti 0,1 mm, která jsou uzavřena v kalcitu. Ve stroncianitu byl WDX analýzou určen zvýšený podíl vápníku (85 mol. %  $\text{SrCO}_3$ , 15 mol. %  $\text{CaCO}_3$ ). Tyto hodnoty jsou velmi podobné hodnotám z lokalit na Těšínsku. Zdroj Sr lze pravděpodobně hledat v hydrotermální alteraci starších minerálních fází v hostitelském těšínitu nebo vápenci (Dolníček et al. 2010).

## 5. Metodika

Terénní výzkum probíhal v roce 2013 a 2014. Byl zaměřený na podrobnou dokumentaci lokalit, při které jsem provedl lokalizaci a fotodokumentaci. Na lokalitách s výskytem lavic vápenců jsem zkoumal úložné poměry mineralizace, texturu minerální výplně a také jsem provedl kompasová měření. Vizualizace kompasových dat byla provedena pomocí počítačových programů Surfer 11 a Inkscape.

Dále jsem odebral reprezentativní vzorky, které byly nejprve zkoumány makroskopicky a následně z nich byly zhotoveny výbrusy, nábrusy a oboustranně leštěné destičky. Příprava vzorků probíhala na PřF UP v Olomouci. Vzorky byly řezány diamantovou pilou. Poté jsem vzorky ručně brousil karborundovými prášky s různou zrnitostí. Poslední fází bylo leštění. To jsem prováděl na leštičce Struers RotoPol-35 za použití diamantových suspenzí o zrnitosti 3 a 0,25  $\mu\text{m}$ .

Zhotovené výbrusy byly nejprve zkoumány v procházejícím světle na polarizačním mikroskopu Olympus BX 50. Byl proveden podrobný mikroskopický popis a pořízeny dokumentační fotografie pomocí digitálního fotoaparátu Olympus C 70-70.

Vhodné výbrusy byly poslány na Ústav geologických věd PřF MU do Brna na elektronovou mikrosundu, kde WDX analýzy jednotlivých fází provedl dr. P. Gadas. Při analýze karbonátů i síranů bylo použito urychlovací napětí 15 keV a proud svazku 10 nA. Jako standardy byly použity: forsterit (Mg), celestin (Sr, S), albit (Na), sanidin (Si),

fluorapatit (P), almandin (Fe), spessartin (Mn), gahnit (Zn), grossular (Ca), baryt (Ba) a vanadinit (Cl).

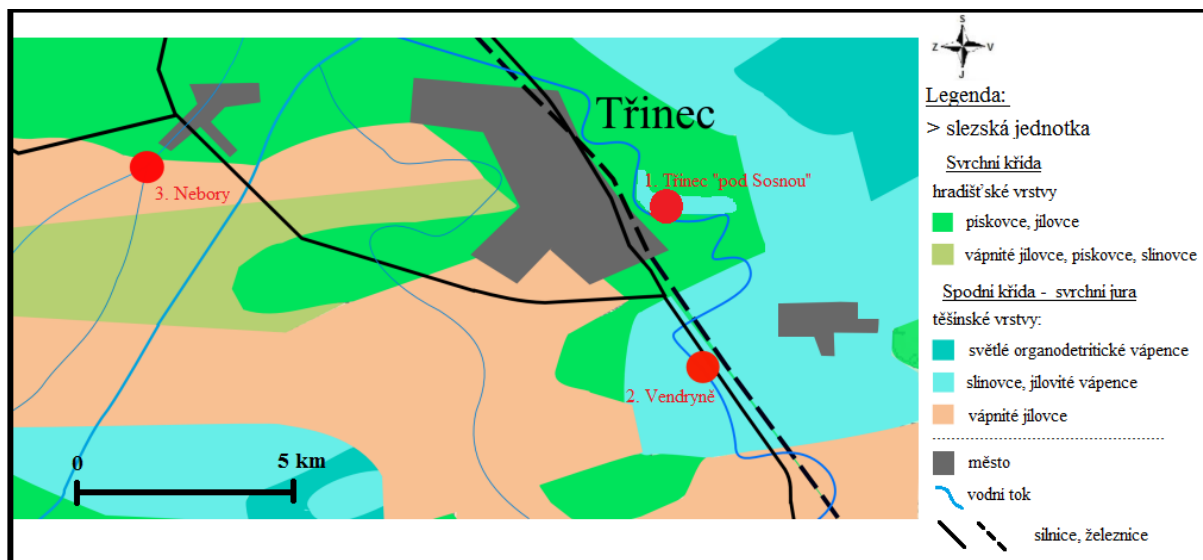
Pro studium fluidních inkluzí jsem zhotovil dvě oboustranně leštěné destičky. Vzhledem k výborné štěpnosti zkoumaného materiálu (kalcit), jsem fluidní inkluze zkoumal také z drobných štěpných úlomků. Výzkum jsem prováděl na mikroskopu Olympus BX 51, ke kterému je nainstalovaná mikrotermometrická komora LINKAM THMSG 600. U fluidních inkluzí jsem měřil teplotu homogenizace (Th), teplotu zamrznutí (Tf), teplotu eutektika (Te) a teplotu tání posledního krystalu ledu (Tm). Z hodnot teploty tání ledu byla vypočtena salinita podle Bodnara (1993).

Jednotlivé vzorky i zhotovené výbrusy byly dále zkoumány pro zjištění přítomnosti přírodních uhlovodíků v UV záření na fluorescenčním mikroskopu Olympus BX 41-RFA, ke kterému je připojena napájecí jednotka Olympus U-RFL-T se zdrojem UV záření. Na mikroskopu byl nastavený fluorescenční filtr s excitačním rozsahem 460–490 nm. U čerstvě odebraných vzorků z terénu, u kterých bylo možné přírodní uhlovodíky pozorovat makroskopicky, byla pro studium použita UV lampa Raytech R5-FLS-2. Tato lampa má tři volitelné režimy UV záření: dlouhovlnné (UVA), středněvlnné (UVB) a krátkovlnné (UVC) s excitačním rozsahem 254 až 365 nm. Při studiu bylo používáno pouze dlouhovlnné (UVA) záření.

Vzhledem k tomu, že všechny zhotovené výbrusy obsahovaly karbonát, bylo provedeno katodoluminiscenční studium pro zjištění přítomnosti různých generací karbonátů. Studium bylo provedeno na přístroji se „studenou katodou“ CITL Mk5-1 s mikroskopem Leica DM2500 P za podmínek: vakuum 0,003 mbar, napětí 15 kV, proudová hustota kolem  $450 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ . Při studiu byly zhotoveny dokumentační fotografie digitálním fotoaparátem Olympus C 70-70.

## 6. Terénní etapa

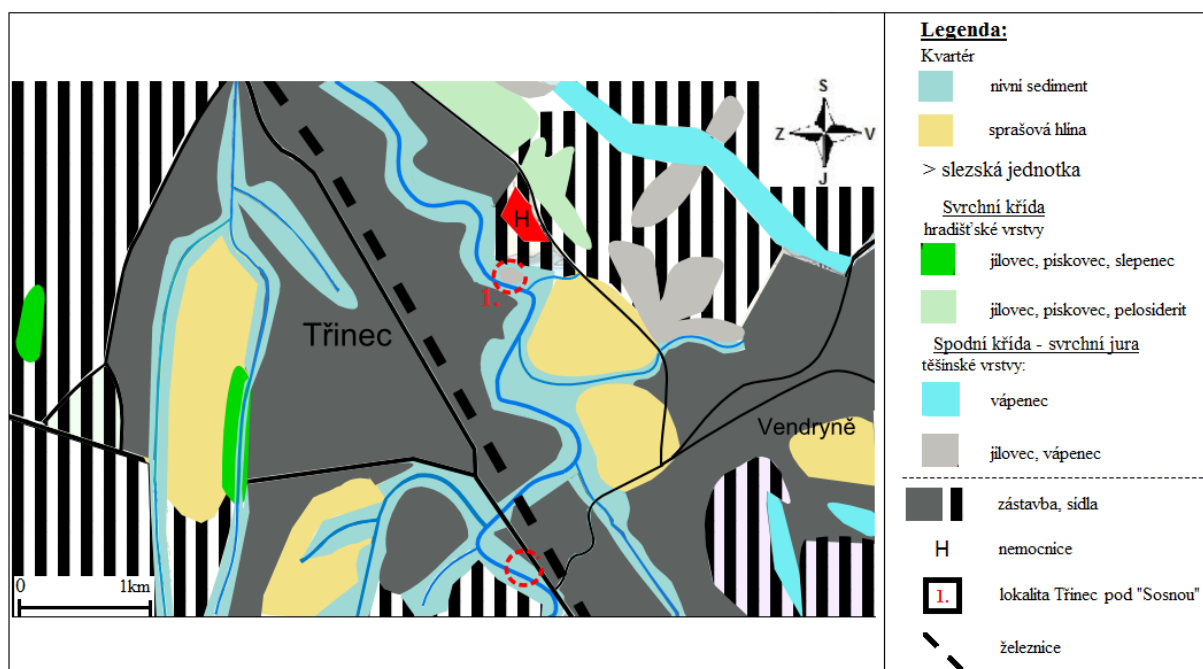
Terénní výzkum byl prováděn na lokalitách Třinec „pod Sosnou“, Vendryně a Nebory (obr. 6). Z těchto lokalit byl také odebrán reprezentativní materiál pro výzkum.



Obr. 6: Zjednodušená geologická mapa zkoumané oblasti s vyznačenými lokalitami (upraveno podle: mapy.geology.cz)

### 6. 1. Třinec „pod Sosnou“

Tato lokalita se nachází 650 m v. od železniční stanice Třinec – centrum a 200 m j. od třinecké nemocnice (obr. 7). Lokalitu tvoří četné výchozy navětralých vápnných jílovců tmavě šedé až černé barvy, které se nacházejí nad pravým břehem řeky Olše. Tyto výchozy se táhnou v pásmu dlouhém asi 200 m o průměrné výšce cca 8 m. V jílovcích se vyskytují světlé šedé lavice vápenců se stronciovou mineralizací. Tyto lavice mají nejčastěji mocnost v řádech prvních decimetrů, jen vyjíměčně jejich mocnost přesahuje 50 cm. Místy lavice naduřují a mají blokovou odlučnost, kterou způsobuje systém puklin (obr. 8).

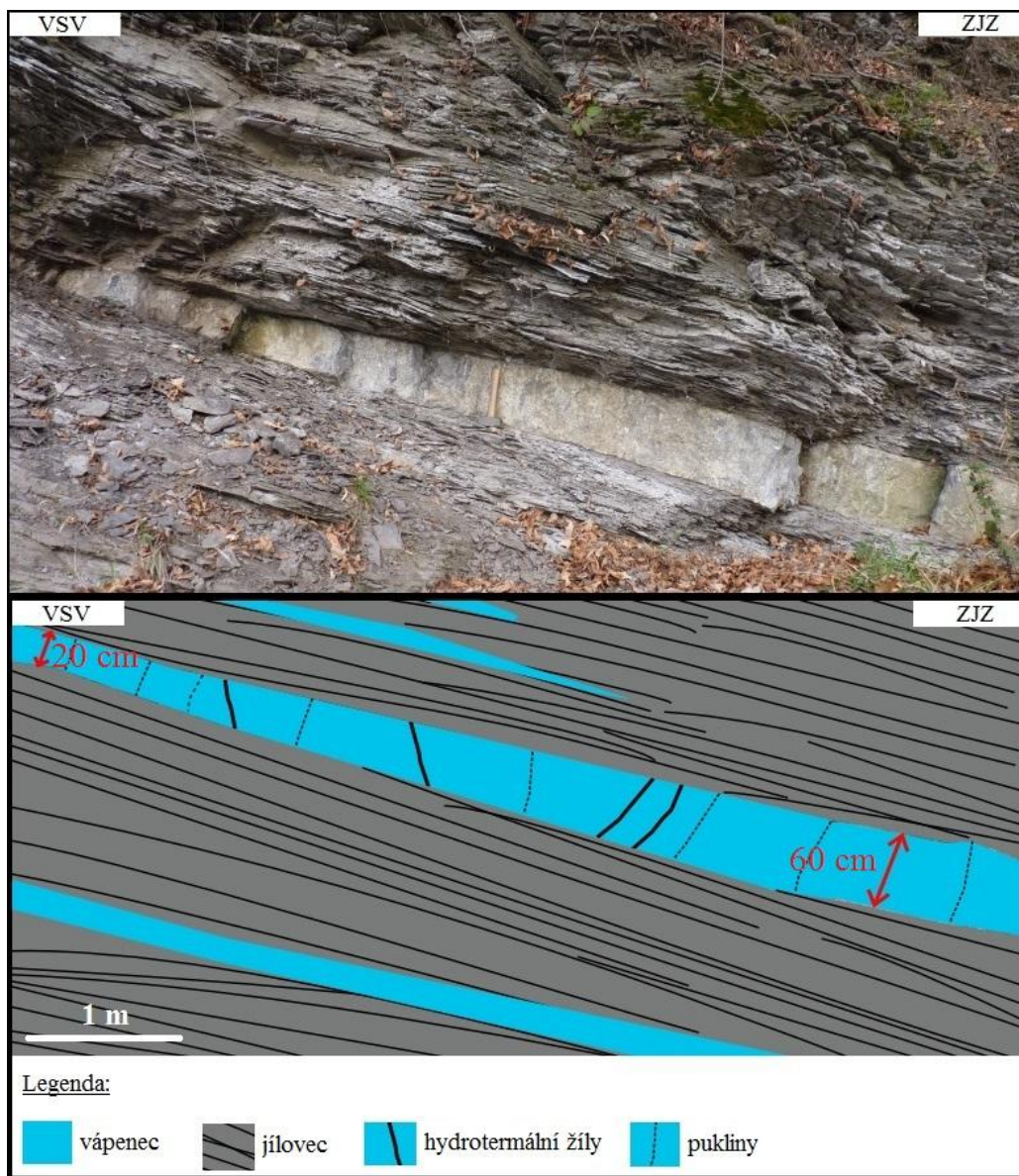


Obr. 7: Geologická mapa okolí s vyznačenou lokalitou Třinec „pod Sosnou“ (upraveno podle: mapy.geology.cz)

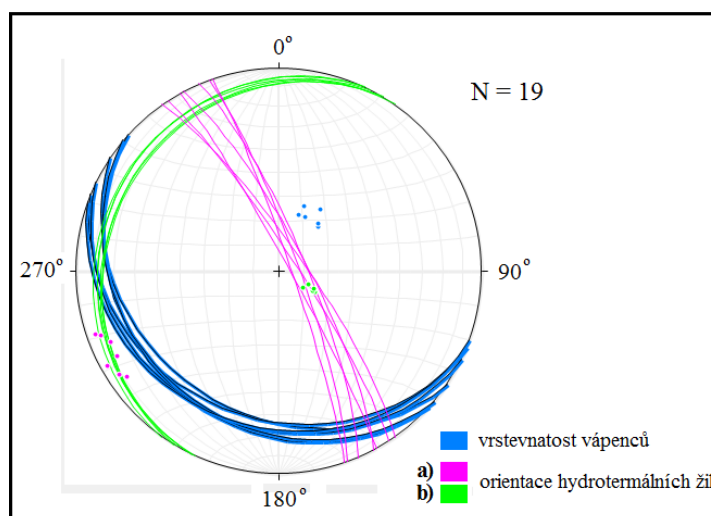
Na výchozech lze místy sledovat zvrásnění vápencových lavic spolu s jílovcí. Vzhledem k obtížnému terénu se mi podařilo provést kompasová měření pouze na třech místech podél výchozu. Lavice vápenců zde probíhají ve směru SZ–JV, úklon je k JZ pod úhlem od 15° do 30°. Lavicemi vápenců prostupují hydrotermální žíly se stronciovou mineralizací ve směru SSZ–JJV se sklonem 80°-85 ° k VSV a SSV–JJZ se sklonem 10°-20° k ZSZ (obr. 9). Mocnost žilek je do 1 cm. Hranice mezi vápenci a jílovcí je ostrá (obr. 10).

Ze stronciových minerálů se vyskytuje stroncianit. Ten lze makroskopicky sledovat na hydrotermálních žilách a na puklinách lavic vápenců. Stroncianit zde vytváří většinou radiálně paprscité agregáty do velikosti 1 cm. Ve větších dutinkách a při dostatku místa vytváří také kulovité agregáty do 4 mm. Spolu se stroncianitem se zde vyskytují až 8 mm velké skalenoedry kalcitu, většinou světle šedé barvy. Na skalenoedry kalcitu někdy narůstají kulovité agregáty stroncianitu. Z lokality je popisovaný také celestin. Ten se mi ovšem nepodařilo najít.



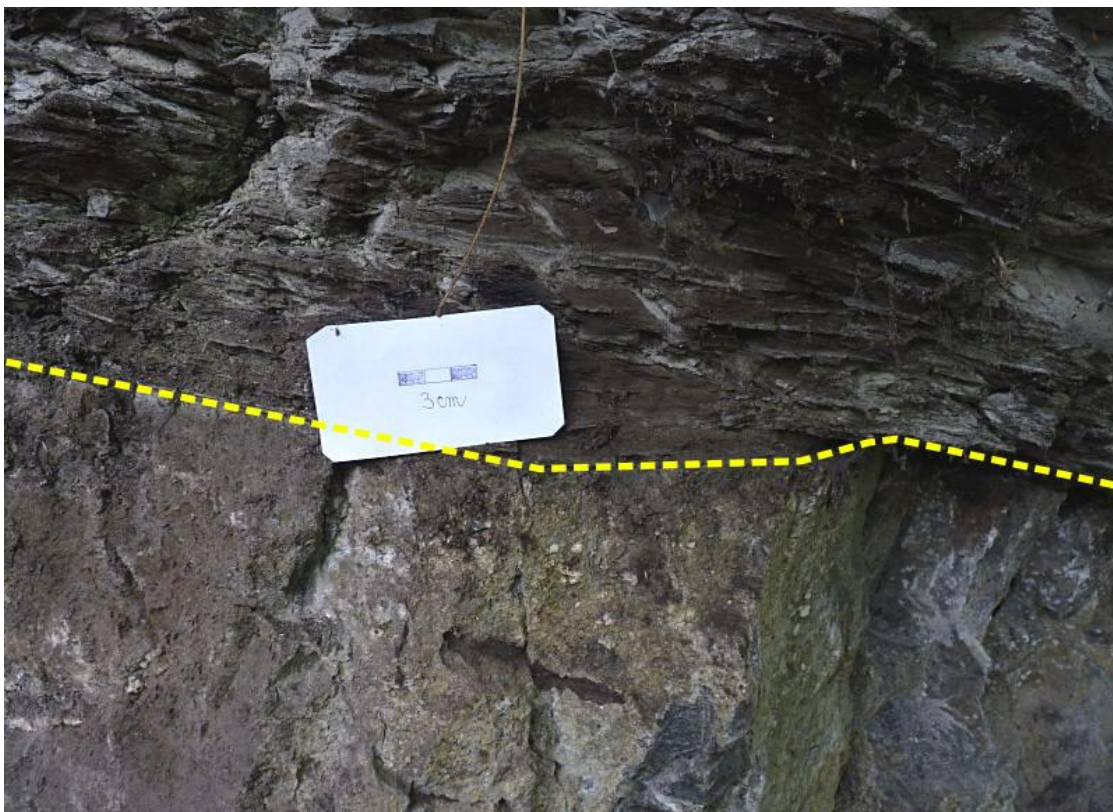


Obr. 8: Grafické znázornění uložení vápencových lavic ve směru SZ-JV. Úklon je k JZ pod úhlem 15°-30°. Lokalita Třinec „pod Sosnou“



Obr. 9: Pólový-obloukový diagram s vyneseními měření orientace vrstevnatosti vápenců a orientace hydrotermálních žil zobrazené na spodní hemisféru. Lokalita Třinec „pod Sosnou“

Drobné dutinky a póry bývají většinou vyplněné přírodní ropou a asfaltem. Asfalt má nejčastěji černou barvu. Přírodní ropa má tmavě hnědou až černou barvu. Při roztloukání vápenců je cítit typický ropný zápach. Na vrstevních plochách jílovců se vyskytují průhledné krystalky sádrovce do 5 mm.

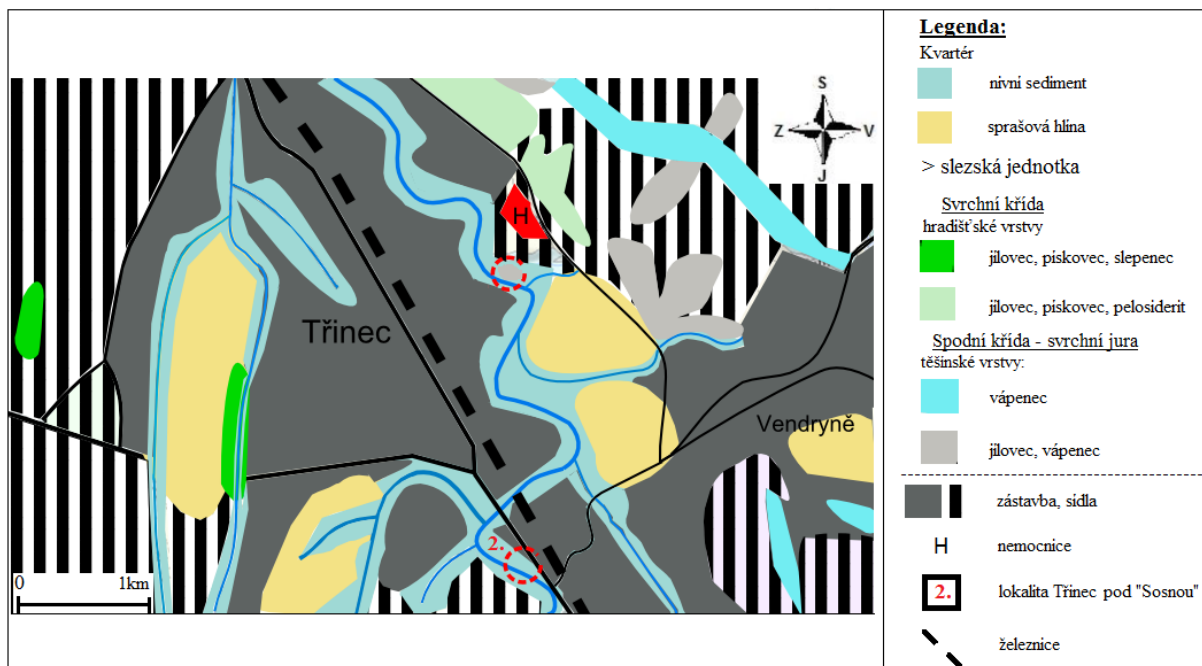


Obr. 10: Ostrá hranice mezi vápencem a jílovcí, lokalita Třinec „pod Sosnou“

## 6. 2. Vendryně

Lokalita se nachází 350 m jjv. od silničního mostu přes řeku Olši a 250 m ssz. od železniční stanice Vendryně (obr. 11). Lokalitu tvoří navětralé výchozy vápnitých jílovců černošedé barvy, které lemují pravý břeh řeky Olše. Vrstvami jílovců prostupují lavice vápenců o mocnosti 10–50 cm.





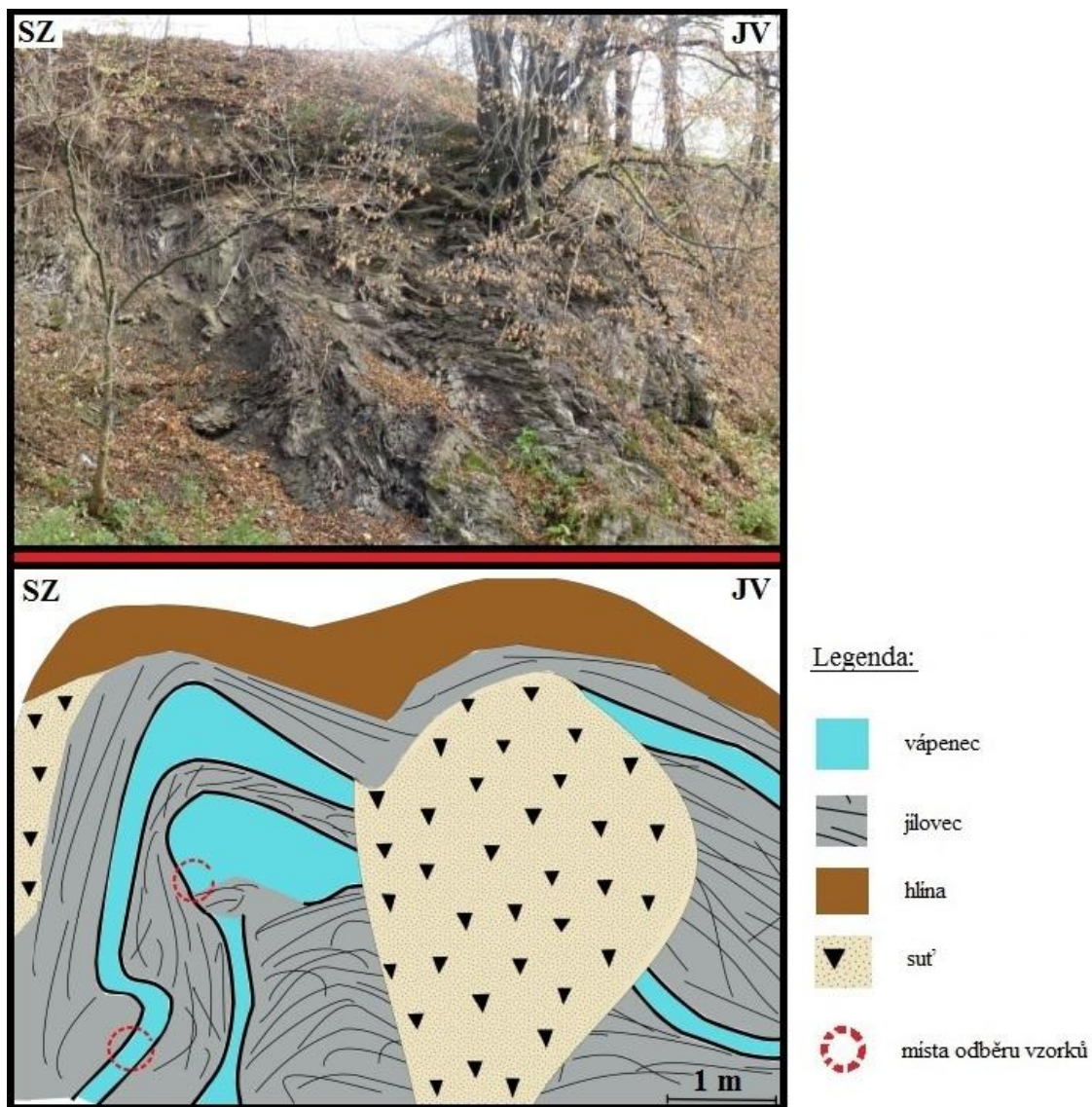
Obr. 11: Geologická mapa okolí s vyznačenou lokalitou Vendryně (upraveno podle: [mapy.geology.cz](http://mapy.geology.cz))

Stronciová mineralizace je zde vázaná na drobné hydrotermální žilky na puklinách vápenců. Kalcitové žilky mají mocnost od 1 mm do 6 mm. Na výchozech nejsou tyto žilky příliš dobře viditelné. Nejběžnějším minerálem je zde stroncianit. Ten se nejčastěji vyskytuje v podobě bílých, radiálně paprscitých agregátů o průměru až 1 cm (obr. 12). Spolu s ním se vyskytuje šedý kalcit, který vyjimečně tvoří skalenodry do velikosti 3 mm, vzácně až 7 mm. Stroncianit někdy narůstá na drobné krystalky kalcitu. Jílovce jsou spolu s vápenci zvrásněny (obr. 13). Na této lokalitě se mi nepodařilo provést žádné kompasové měření.



Obr. 12: Radiálně paprscitý agregát stroncianitu z lokality Vendryně

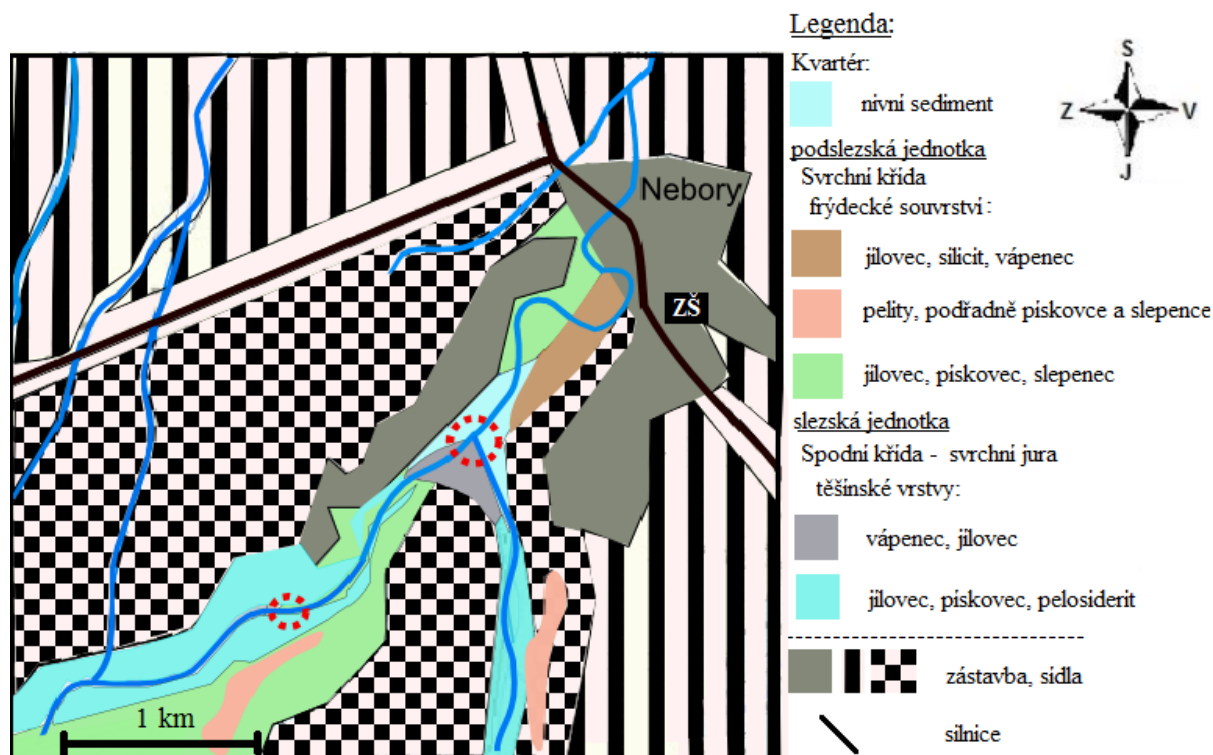
Stejně jako na lokalitě v Třinci, i zde se ve vápencích vyskytují přírodní uhlovodíky, které vyplňují drobné póry a pukliny ve vápenci. Drobné dutinky někdy bývají vyplněny těmito bitumeny a způsobují zbarvení stroncianitu do šedé až černé barvy. Celestin byl nalezen pouze mikroskopicky.



Obr. 13: Zvrásněné vrstvy vápenců a jílovců na lokalitě Vendryně. Část výchozu je zasucena. V nadloží se vyskytují hlíny.

### 6. 3. Nebory

Lokalita se nachází 950 m jjz. od základní školy v obci Nebory, u soutoku Neborůvky s bezejmenným potokem (obr. 14).



Obr. 14: Geologická mapa okolí s vyznačenými místy terénního výzkumu (upraveno podle: mapy.geology.cz)

Lokalitu tvoří výchozy silně zvětralých, vápnitých jílovců šedé barvy na levém břehu potoka Neborůvky. Na vrstevních plochách jílovců se vyskytují drobné krystalky sádrovce do 3 mm. V jílovcích se vyskytují vápencové konkrce o velikosti do 1 m (obr. 15). Vápencové konkrce jsou dvojího typu. Menší konkrce mají téměř pravidelný kulovitý tvar, jsou celistvé a mají světle šedou barvu. Pro tyto konkrce jsou typické vtroušeniny pyritu do 1 mm, který má světle stříbrnou barvu. Menší konkrce neobsahují přírodní ropu a asfalt.





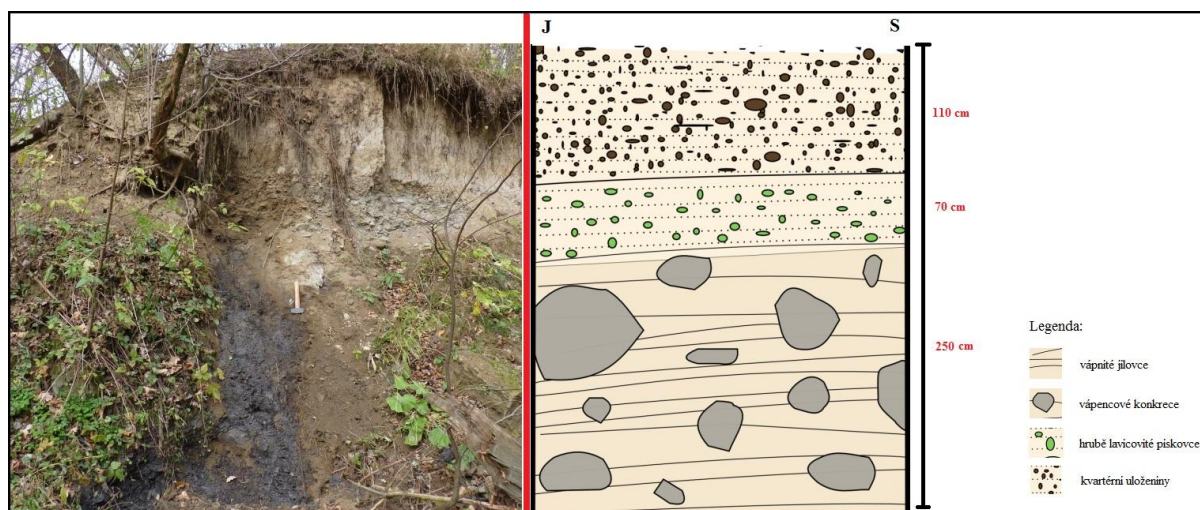
Obr. 15: Vápencová konkrce o velikosti 60 cm, která je uložena ve zvětralých vápnitých jílovcích tmavě šedé barvy. Lokalita Nebory

Větší konkrce bývají většinou zploštělé. Obsahují četné kalcitové žilky o mocnosti do 6 mm. Někdy se v nich vyskytují i větší dutiny. Ty jsou vyplněny skalenoedry kalcitu do velikosti 15 mm. V těchto větších konkrcích se vyskytuje přírodní ropa, která zbarvuje skalenoedry kalcitu do černa (obr. 16). Tyto vápencové konkrce obsahují taktéž vtroušeniny pyritu. Oba typy konkrací tvoří kalový vápenec s významným podílem organodetrítické složky. Ve vápencových konkrcích nebyl makroskopicky nalezen žádný stronciový minerál.



Obr. 16: Vzorek vápencové konkrce z Nebor. Skalenoedry kalcitů zbarvené ropou do černa

Z navětralých jílovců konkrece často vyvětrávají a vodními proudy jsou transportovány do blízkého okolí. Při roztloukání konkrací a jejich následném kontaktu s vodou se vytváří typická ropná skvrna. Nadloží jílovců tvoří hrubě lavicovitě pískovce. Na ně nasedají kvartérní uloženiny šterku, písku a hlíny (obr. 17).



Obr. 17: celkový profil uložení jednotlivých vrstev na lokalitě Nebory

Při dalším průzkumu jsem 200 m proti proudu od předchozí lokality našel v korytě potoka relikv vápenkové lavice o rozměrech 60 x 40 x 20 cm. Na povrchu této vápenkové lavice byly vidět drobné hydrotermální žilky, které vápenec doslova protkávaly. Po rozbití vápence se objevily drobné pukliny. Na stěny puklin nasedal spolu s kalcitem také stroncianit. Ten tvořil bílé kulovité agregáty do velikosti 3 mm. Zajímavostí bylo, že kulovité agregáty stroncianitu byly duté. Celestin, který je z této lokality také popisován, se najít nepodařilo.

## 7. Laboratorní etapa

### 7.1. Makroskopický a mikroskopický popis

#### 7. 1. 1. Třinec „pod Sosnou“

Z této lokality byl studován výbrus vápence, na který narůstal radiálně paprscitý agregát stroncianitu.

#### Popis horniny:

#### Makroskopický popis:

Čerstvý vápenec má tmavě šedou barvu. Vápenec je organodetrický a nejčastěji má psefitickou až psamitickou strukturu. Je složen především z bioklastů, který představují schránky mlžů, foraminifer, jehlice hub, řasy a ostny ostnokožců. Základní hmotu horniny tvoří schránky foraminifer, mlžů, jehlice hub, řasy, ostny ostnokožců a mikrit. Makroskopicky lze ve vápenci pozorovat mladší kalcitové žilky do mocnosti 4 mm a izometrická zrna bílého kalcitu o velikosti 1–3 mm, vzácně až 5 mm.

#### Mikroskopický popis:

Křemen se vyskytuje vzácně v podobě zaoblených až polozaoblených zrn o velikosti do 40  $\mu\text{m}$ . V PPL je křemen bezbarvý. V křemeni se vyskytují primárně-sekundární inkluze o velikosti 3 až 7  $\mu\text{m}$ , které jsou v křemeni nahodile rozptýlené. Tyto inkluze mají většinou oválný tvar a jsou jednofázové (L), jen vyjimečně dvoufázové (L+V).

Dalším minerálem je glaukonit. Ten má v PPL světle zelenou až tmavě zelenou barvu. Má xenomorfní až hypautomorfní omezení. Glaukonit tvoří okrouhlé agregáty, ve kterých je v XPL dobře viditelný systém tmavých a světlých skvrnek.

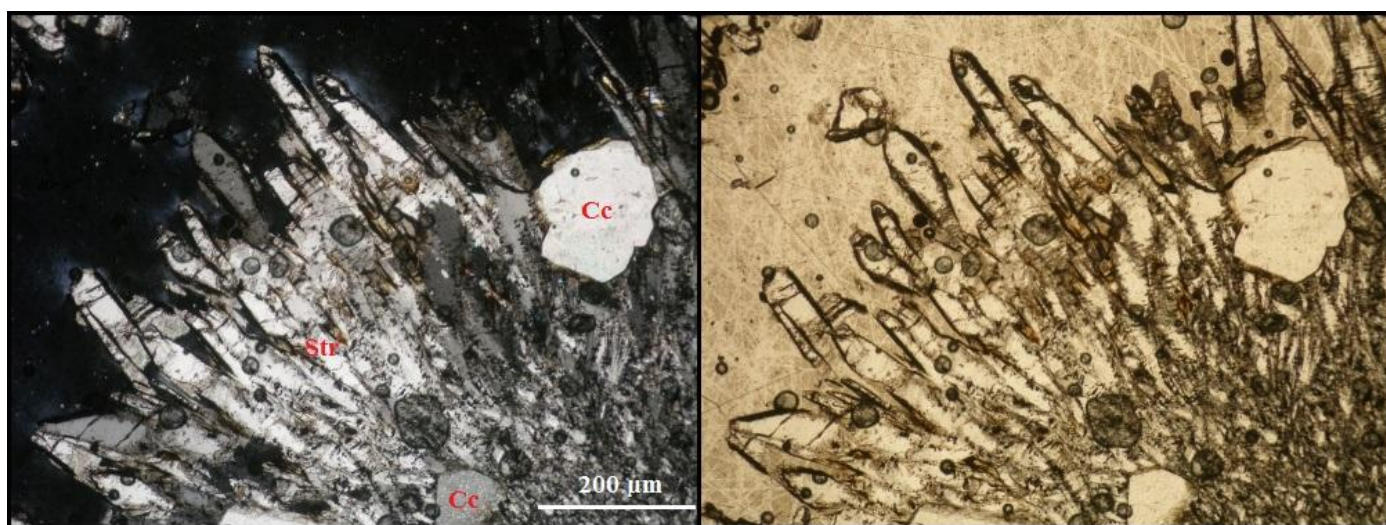
Z fosílií převažují tenké jehlice hub, řas a ostny ostnokožců s velikostí do 60  $\mu\text{m}$ . Méně časté jsou schránky foraminifer o velikosti 15 až 50  $\mu\text{m}$ , jenž mají oválný tvar. Na povrchu schránek lze sledovat drobné otvůrky. Dále lze sledovat úlomky lastur mlžů o velikosti 20 až 50  $\mu\text{m}$ , které mají na povrchu drobné rýhy a trhlinky.



### Mikroskopický popis mineralizace:

Mineralogické složení hydrotermálních žil: kalcit, stroncianit, baryt

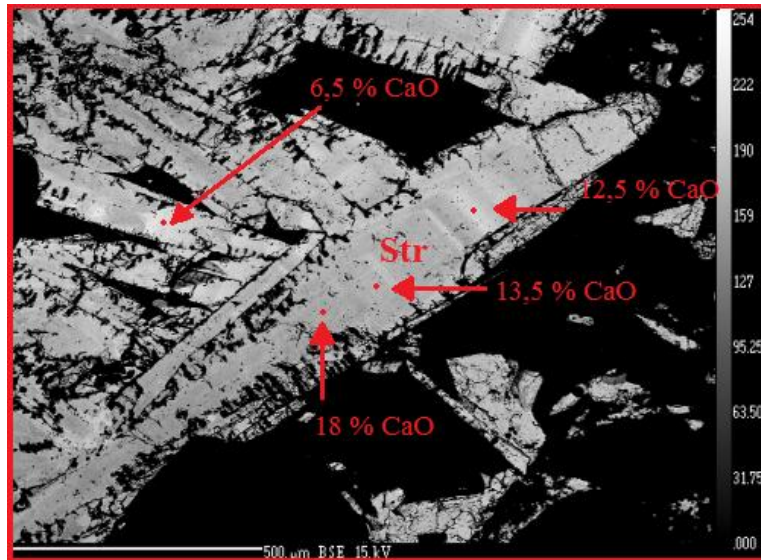
Kalcit se vyskytuje v podobě drobných žilek o mocnosti 1-2 mm, které prostupují vápencem. Žilky se skládají z drobných kalcitových zrn, které mají hypautomorfní, méně často xenomorfní omezení. Velikost jednotlivých zrn je 40-250  $\mu\text{m}$ . Tvar zrn je často izometrický, jen výjimečně lze pozorovat zrna kalcitu, která mají trojúhelníkový průřez. Na zrnech můžeme pozorovat jeden až dva systémy lamel. Některá zrna jsou bez lamel. Kalcit je v PPL bezbarvý, bez pleochroismu. U zrn s výskytem lamel můžeme v PPL pozorovat pseudopleochroismus v barvách světle žluté, oranžové, modré a zelené. Tyto kalcitové žilky jsou nositelem stronciové mineralizace. Ve výbruse můžeme také pozorovat hypautomorfně omezená zrna kalcitu, která jsou obrůstána jehlicovitými agregáty stroncianitu (obr. 18). Tato kalcitová zrna jsou bez lamel. V kalcitu jsem pozoroval jednofázové primárně-sekundární inkluze, které jsou v kalcitových zrnech nahodile roztroušené a sekundární fluidní inkluze, které procházejí v drobných řádcích přes kalcitová zrna. Velikosti fluidních inkluzí byla 4 až 10  $\mu\text{m}$ .



Obr. 18: Jehlicovité agregáty stroncianitu (Str) s hypautomorfním omezením, které obrůstají hypautomorfně omezená zrna kalcitu (Cc), záběr v XPL. Vlevo tentýž záběr v PPL. Lokalita Třinec „pod Sosnou“, vzorek č. 1

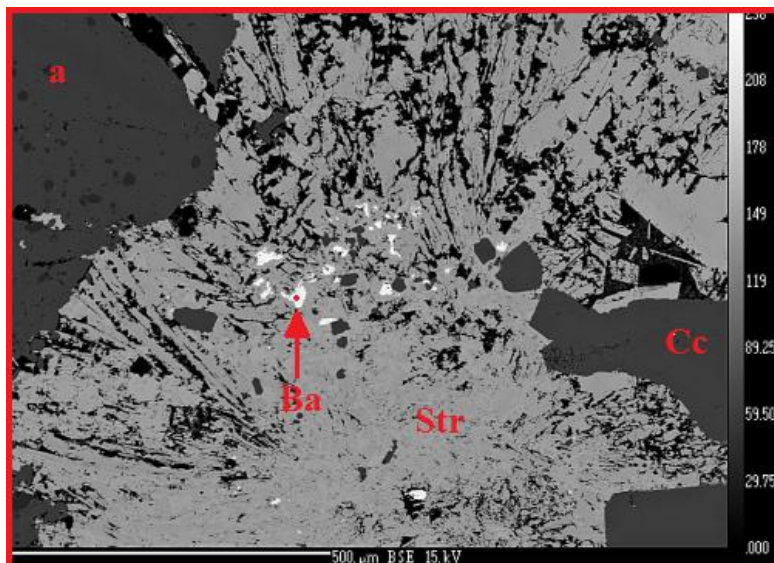
Dalším minerálem je stroncianit. Ten vytváří radiálně paprscité agregáty, nejčastěji o velikosti do 5 mm, vzácně až 1 cm. Jednotlivé jehlicovité krystalky jsou oproti výskytu na jiných lokalitách tlustší. Většinou mají jehlice tupé zakončení. Na tenkých jehlicích můžeme pozorovat i ostré zakončení. Stroncianit je v PPL bezbarvý. V XPL má interferenční barvu

bílou vyššího řádu. Stroncianit je silně porézni. Napříč jehlicemi prostupují drobné praskliny. Na trhlkách a po obvodu jednotlivých krystalů je patrná přírodní ropa, která se v XPL projevuje světle až tmavě hnědou barvou. U některých krystalů lze v obrazu BSE pozorovat růstovou zonálnost, která je způsobena kolísáním poměru mezi SrO a CaO v jednotlivých zónách (obr. 19).



Obr. 19: Růstová zonálnost hypautomorfně omezeného krystalu stroncianitu. Lokalita Třinec „pod Sosnou“, vzorek č. 1 (BSE obraz) (foto: P. Gadas)

Při studiu na mikrosondě byl určen ještě jeden minerál a to baryt. Ten se vyskytuje v podobě inkluzí ve stroncianitu, kde tvoří drobná, izometrická zrna (obr. 20).



Obr. 20: Růstová zonálnost hypautomorfně omezeného krystalu stroncianitu. Lokalita Třinec „pod Sosnou“, vzorek č. 1 (BSE obraz) (foto: P. Gadas)

Sukcese minerálů: kalcit-baryt-stroncianit



### 7. 1. 2. Vendryně

Z této lokality byly studovány tři vzorky, ze kterých byly zhotoveny dva výbrusy a jedna oboustranně leštěná destička.

#### Popis horniny:

#### Makroskopický popis:

Jedná se o organodetritický vápenec tmavě šedé barvy s psamitickou až aleuritickou strukturou. Vápenec má kompaktní texturu. Vápenecem prostupují dva geneticky odlišné systémy hydrotermálních žilek o mocnosti od 1 mm do 6 mm (obr. 21). Vápenec tvoří stejně jako na lokalitě Třinec „pod Sosnou“ bioklasty s úlomky schránek fosilních organismů. Základní hmotu tvoří spolu s bioklasty také mikrit.



Obr. 21: Organodetritický vápenec se síťovitou texturou kalcitových žilek z lokality Vendryně, vzorek č. 9

#### Mikroskopický popis:

Křemen i glaukonit mají stejné vlastnosti jako na lokalitě Třinec „pod Sosnou“. Vyskytují se roztroušeně v malém množství mezi bioklasty. Stejný popis platí také pro fosílie.

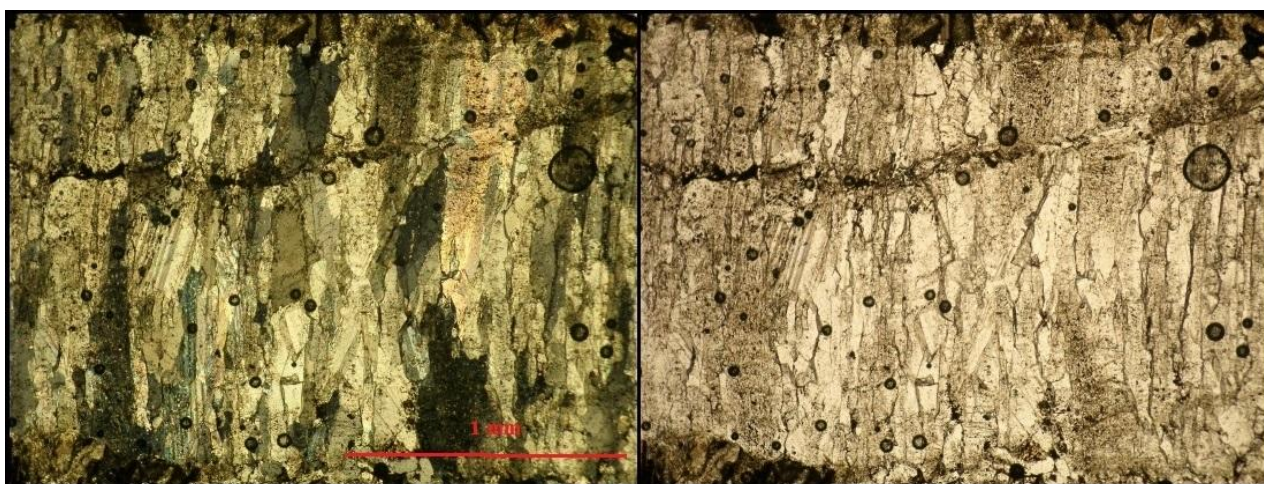
#### Mikroskopický popis mineralizace:

Mineralogické složení hydrotermálních žil: kalcit, stroncianit, celestin

První systém kalcitových žilek se stronciovou mineralizací tvoří drobná zrna kalcitu s xenomorfním až hypautomorfním omezením. Na jednotlivých zrnech můžeme sledovat

jeden až dva systémy lamel, některá zrna jsou bez lamel. V PPL má kalcit bílou barvu. Na zrnech se systémy lamel můžeme pozorovat pseudopleochroismus v barvách žluté, oranžové, modré a zelené. V kalcitu se vyskytují sekundární a primárně-sekundární fluidní inkluze. Sekundární fluidní inkluze jsou vždy jednofázové. Jedná se o drobné inkluze o velikosti do 4  $\mu\text{m}$ . Mají nejčastěji protáhlý až oválný tvar a vyskytují se v drobných páscích. Primárně-sekundární fluidní inkluze mají nepravidelný tvar a vyskytují se v drobných skupinkách. Jejich velikosti se pohybuje do 6  $\mu\text{m}$ . Většinou jsou jednofázové, zřídka se vyskytují i dvoufázové.

Druhý systém kalcitových žilek je nápadný svou vláknitou strukturou (obr. 22), kterou lze pozorovat i makroskopicky. Na studovaném výbruse lze sledovat křížení obou kalcitových žilek, kdy žilkou s vláknitou strukturou prostupuje kalcitová žilka s hypidiomorfně až xenomorfně omezenými kalcity. Z toho lze usuzovat, že druhý systém s vláknitou strukturou je starší. V kalcitu se rovněž vyskytují primárně-sekundární a sekundární fluidní inkluze, které jsou většinou jednofázové a velmi drobné s velikostí do 7  $\mu\text{m}$ .

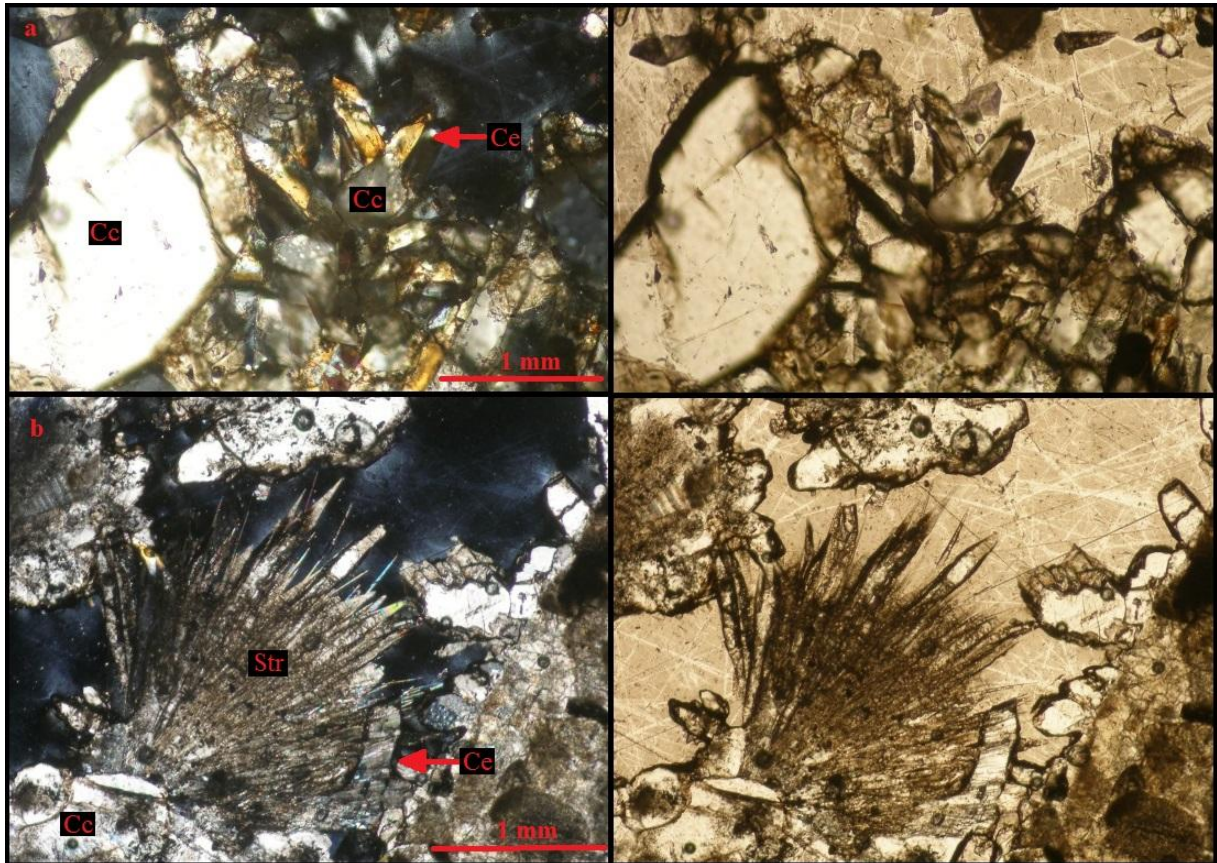


Obr. 22: Vlákenná struktura kalcitové žilky z lokality Vendryně v XPL (vzorek č. 4). V pravoto tentýž záběr v PPL

Stronciová mineralizace je zde zastoupena stroncianitem a celestinem. Oba minerály narůstají na zrna kalcitu v drobných dutinkách. WDX analýzou byly určeny inkluze celestinu ve stroncianitu. Ve vyhotovených výbrusech se mi podařilo tuto mineralizaci zastihnout pouze v prvním, mladším systému žilek.



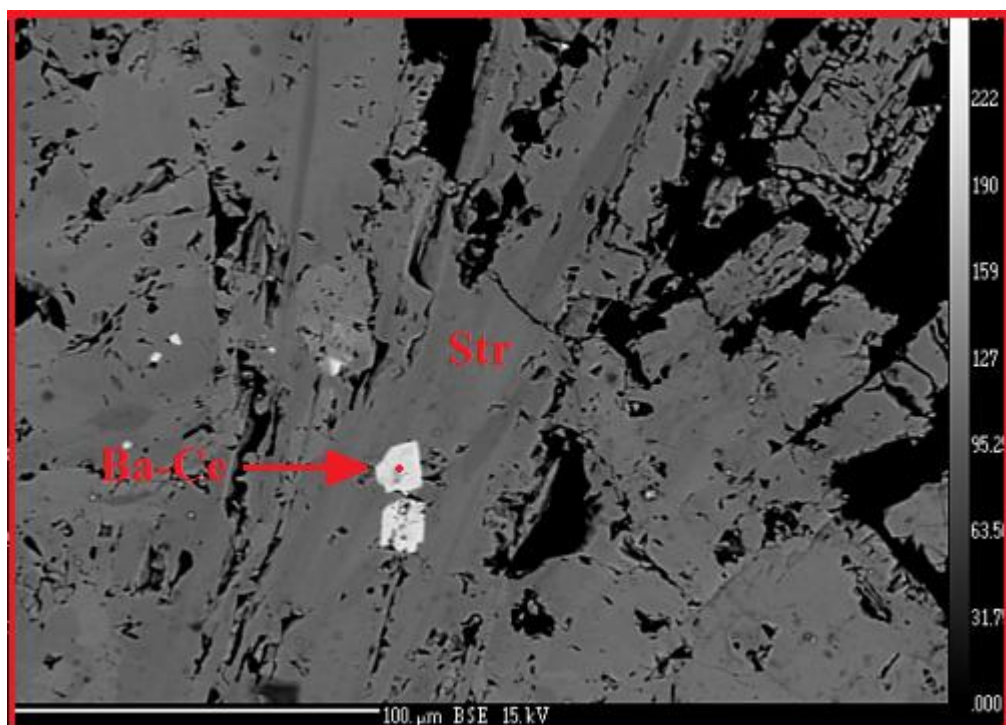
Stroncianit tvoří radiálně paprsčité agregáty do velikosti 2 mm. Ty jsou složeny z jednotlivých jehliček. V PPL jsou bezbarvé. V XPL má stroncianit interferenční barvu bílou vyššího řádu. Stroncianit má hypautomorfní až automorfní omezení. Na jednom z výbrusů byl nalezen stroncianit, který prorůstal krystal celestinu (obr. 23b). Stroncianit je porézní, mezi jednotlivé jehlice prosakuje ropa, která zbarvuje stroncianit do světle hnědé až tmavě hnědé barvy. Jednotlivými krystalky prostupují napříč drobné praskliny. Ve stroncianitu jsem nepozoroval žádné inkluze.



Obr. 23: Hypautomorfně omezené krystaly celestinu (Ce), které narůstají na zrna kalcitu (Cc) směrem do dutin. Celestin má v XPL žlutou interferenční barvu I. řádu, vpravo tentýž záběr v PPL (a); radiálně paprsčitý agregát stroncianitu (Str) v dutině kalcitové žíly (Cc), na který narůstá krystal celestinu (Ce), vpravo tentýž záběr v PPL (b). Lokalita Vedryně, vzorek č. 2

Celestin se vyskytuje v podobě tabulkovitých krystalků, které mají hypautomorfní omezení. Velikost jednotlivých krystalků je do 0,5 mm. V PPL je bezbarvý. V XPL má šedou, někdy i žlutou interferenční barvu I. řádu (obr. 23a). Celestinem zřídka prorůstají jehlice stroncianitu. Oproti stroncianitu není korodován a nasáklý ropou. Celestin má dobrou štěpnost. Zrny prostupují drobné, nepravidelné praskliny.

WDX analýzou byl určen ještě jeden minerál, a to barytocelestin. Ten se vyskytuje v podobě izometrických zrn ve stroncianitu, který ho obrůstá (obr. 24). Velikost jednotlivých zrn je do 15  $\mu\text{m}$ .



Obr. 24: Inkluze barytocelestinu (Ba-Ce) ve stroncianitu (Str) z lokality Vendryně, vzorek č. 2, (BSE obraz) (foto: P. Gadas)

Sukcese minerálů: kalcit-(barytocelestin-celestin)-stroncianit

### 7. 1. 3. Nebory

Z této lokality byly zkoumány vzorky vápencové konkrce a relikty vápencové lavice, na které byly makroskopicky viditelné krystaly stroncianitu. Celkem byly zhotoveny dva výbrusy.

Popis horniny:

Makroskopický popis:

Vápenec je tvořen stejně jako na předešlých lokalitách bioklasty. Jedná se o jehlice hub, ostny ostnokožců, řasy a schránky foraminifer. Barva vápence je světle šedá. Má aleuritickou strukturu. Ve vápenci se vyskytují vtoušeniny pyritu, který je pozorovatelný také makroskopicky. Vápencovými konkrkami prostupují mladší kalcitové žilky, které obsahují

směrem do dutiny, ve kterých se vyskytují skalenoedry kalcitů do 15 mm. Na vápenec narůstají drobné skalenoedry kalcitu o velikosti 1 až 5 mm. Jednotlivé krystaly mají různý stupeň zakalení od mléčné barvy, přes světle žlutou až k tmavě hnědé, která je způsobena přírodní ropou.

#### Mikroskopický popis:

V základní hmotě se vyskytuje kromě bioklastů také křemen, glaukonit, pyrit a mikrit.

Křemen se vyskytuje v základní hmotě v podobě zaoblených až polozáoblených zrn o velikosti 10 až 35  $\mu\text{m}$ . Glaukonit vytváří ve vápenci okrouhlé agregáty tmavě zelené barvy o velikosti 5 až 30  $\mu\text{m}$ . Pyrit je v procházejícím světle opakní. Ve vápenci vytváří jednotlivá zrna pyritu buď automorfní průřezy ve tvarech trojúhelníku a čtverce nebo se vyskytuje v podobě izometrických, xenomorfně omezených zrn. Velikost zrn se pohybuje v rozmezí 10–70  $\mu\text{m}$ . Popis fosilií je stejný jako na lokalitě Třinec „pod Sosnou“.

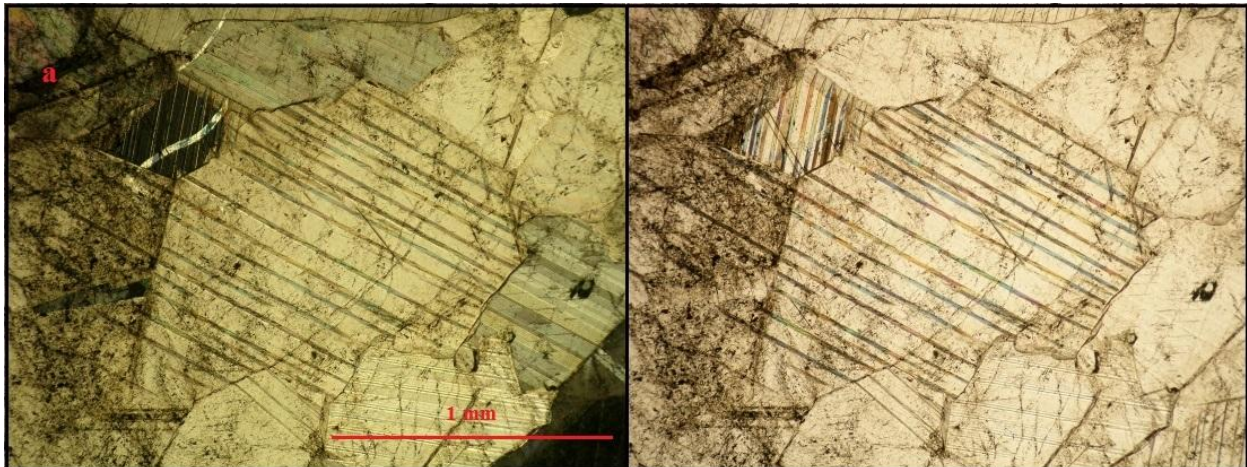
#### Mikroskopický popis mineralizace:

Mineralogické složení hydrotermálních žil: kalcit

Na vápenec narůstají hypautomorfně až automorfně omezená zrna kalcitu o velikosti 0,5 až 5 mm. Kalcit se vyskytuje v podobě klencovitých či skalenoedrických krystalů nebo tvoří protažená zrna, která mají na průřezu lištovitý tvar. Jen zřídka jsou zrna kalcitu izometrická. Kalcitem prostupuje jeden až dva systémy lamel. Lamely vykazují v PPL pseudopleochroismus ve světlých barvách modré, zelené, žluté a červené (obr. 25). Kalcit má dokonalou štěpnost. V kalcitu se vyskytují všechny tři genetické typy fluidních inkluzí (viz kapitola 7. 4.).

Stroncianit a celestin nebyly při polarizační mikroskopii identifikovány. V obraze BSE bylo zjištěno xenomorfně omezené zrno stroncianitu o velikosti 40  $\mu\text{m}$  zarostlé v kalcitu, které obsahovalo inkluze barytu o velikosti 10  $\mu\text{m}$ . Zrna barytu mají stejně jako stroncianit xenomorfní omezení.





Obr. 25: Hypautomorfně omezená zrna kalcitu, kterými prostupují dva systémy lamel, nalevo záběr v PPL s dobře patrným pseudopleochroismem, napravo vzhled v XPL. Lokalita Nebory (vzorek č. 2)

Sukcese minerálů: kalcit-baryt-stroncianit

#### 7. 1. 4. Dolní Těrlicko

Z lokality byl zkoumán jeden archivní vzorek vápencové konkrce, který poskytl k výzkumu regionální sběratel P. Rusek. Do dutin vápence vykrytalizoval kalcit v podobě drobných skalenodrů, na které nasedaly kulovité agregáty stroncianitu. Makroskopicky byl identifikován také celestin.

#### Popis horniny:

#### Makroskopický popis:

Vápenec je tvořen bioklasty, které představují řasy, jehlice hub, ostny ostnokožců a schránky foraminifer. Vápenec má aleuritickou strukturu. Základní hmotu tvoří mikrit spolu s bioklasty. Vápencem procházejí mladší kalcitové žilky.

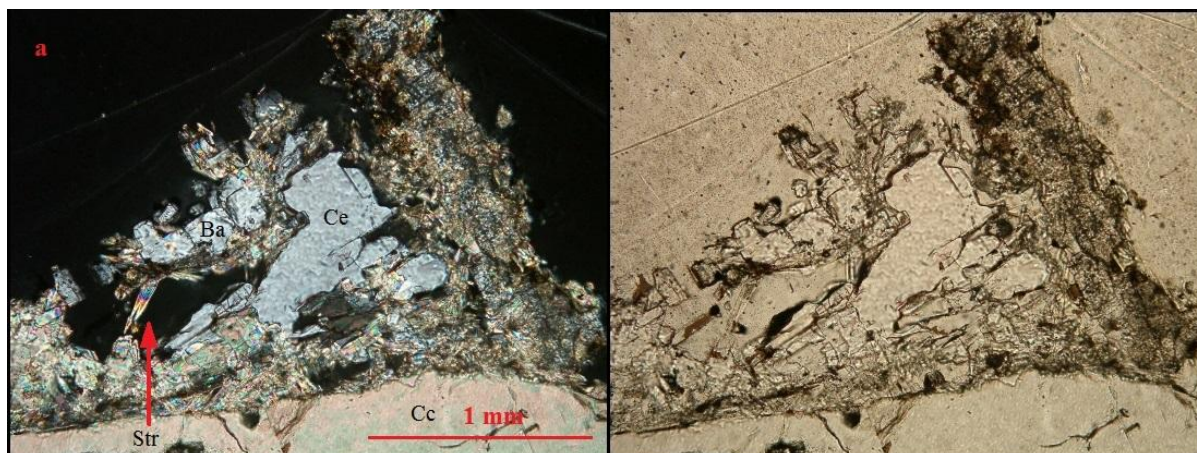
#### Mikroskopický popis:

Glaukonit, křemen i fosílie mají stejné vlastnosti jako na předešlých lokalitách a jsou již detailně popisovány výše.

#### Mikroskopický popis mineralizace:

Mineralogické složení hydrotermálních žil: kalcit, stroncianit, celestin, baryt

Kalcit se vyskytuje v podobě hypautomorfně až automorfně omezených zrn, které mají šestiúhelníkový méně často trojúhelníkový průřez. Zrny kalcitu prostupují jeden až dva, vzácně i tři systémy lamel. V PPL je kalcit bezbarvý, lamely vykazují pseudopleochroismus. Některá zrna vykazují zonálnost, jenž se v PPL projevuje tmavě až světle šedými okraji a bílou barvou v jádrech krystalů. V kalcitu byly nalezeny všechny tři genetické typy inkluzí (viz kapitola 7. 4.)

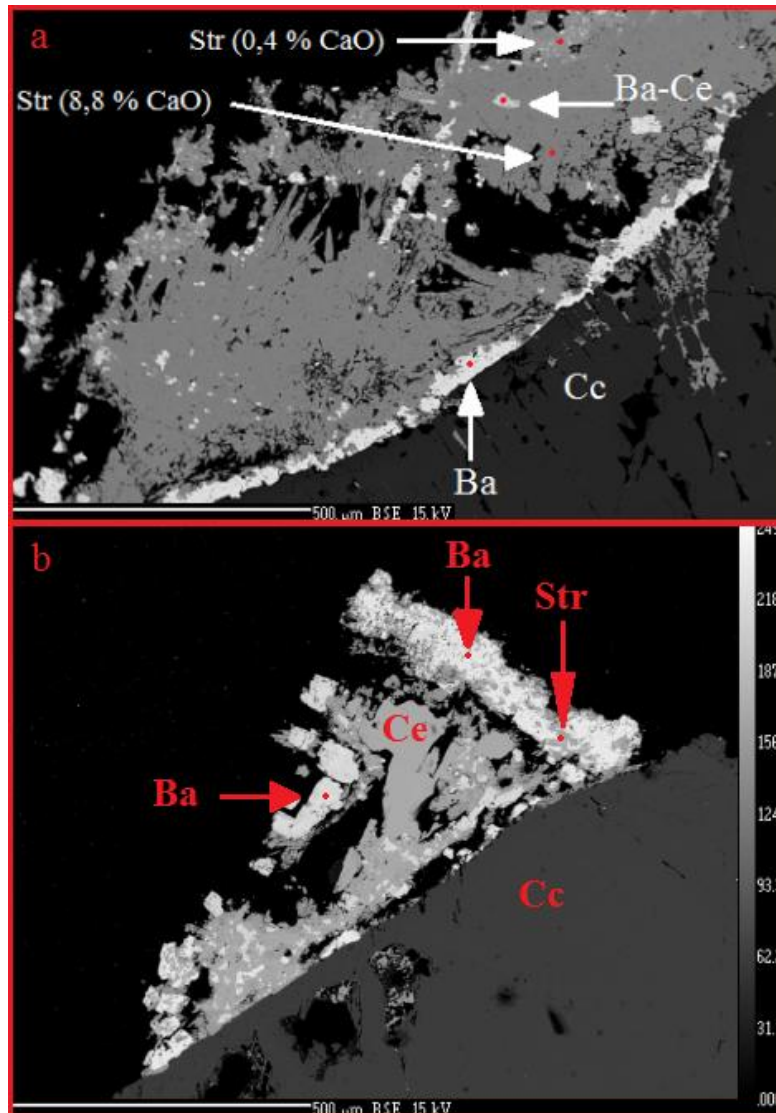


Obr. 26: Xenomorfně omezený krystal celestinu (Ce) ve střední části, směrem do dutin narůstají jehlicovité krystaly stroncianitu (Str) s vysokými interferenčními barvami, na obrázku jsou také hypautomorfně omezené tabulky barytu (Ba), které jsou obrůstány stroncianitem (Str). Lokalita Dolní Těrlicko (vzorek č. 3)

Celestin se vyskytuje spolu se stroncianitem. Ve výbruse bylo nalezeno 300  $\mu\text{m}$  velké, xenomorfně omezené zrno, které je zatlačováno stroncianitem (obr. 26). V XPL má interferenční barvu šedou I. řádu. V PPL je celestin bezbarvý. Celestinem prostupují drobné praskliny. Obsahuje jednofázové, jen vzácně dvoufázové primárně-sekundární inkluze. Velikost inkluzí se pohybuje od 2 do 5  $\mu\text{m}$ .

Baryt se vyskytuje v podobě tabulkovitých, hypautomorfně omezených krystalů. Vzácně má xenomorfní omezení. Jednotlivá zrna mají dokonalou i nedokonalou štěpnost. Baryt narůstá na kalcit (obr. 27a) nebo na celestin, který zatlačuje. V PPL je bezbarvý, v XPL má interferenční barvu šedou I. řádu. Na studovaném výbruse bylo patrné zatlačování barytu stroncianitem (obr. 27b). Baryt obsahuje drobné primárně-sekundární fluidní inkluze do 3  $\mu\text{m}$ . Baryt byl určen až chemickou analýzou. V procházejícím světle ho ve výbruse nelze odlišit od celestinu.

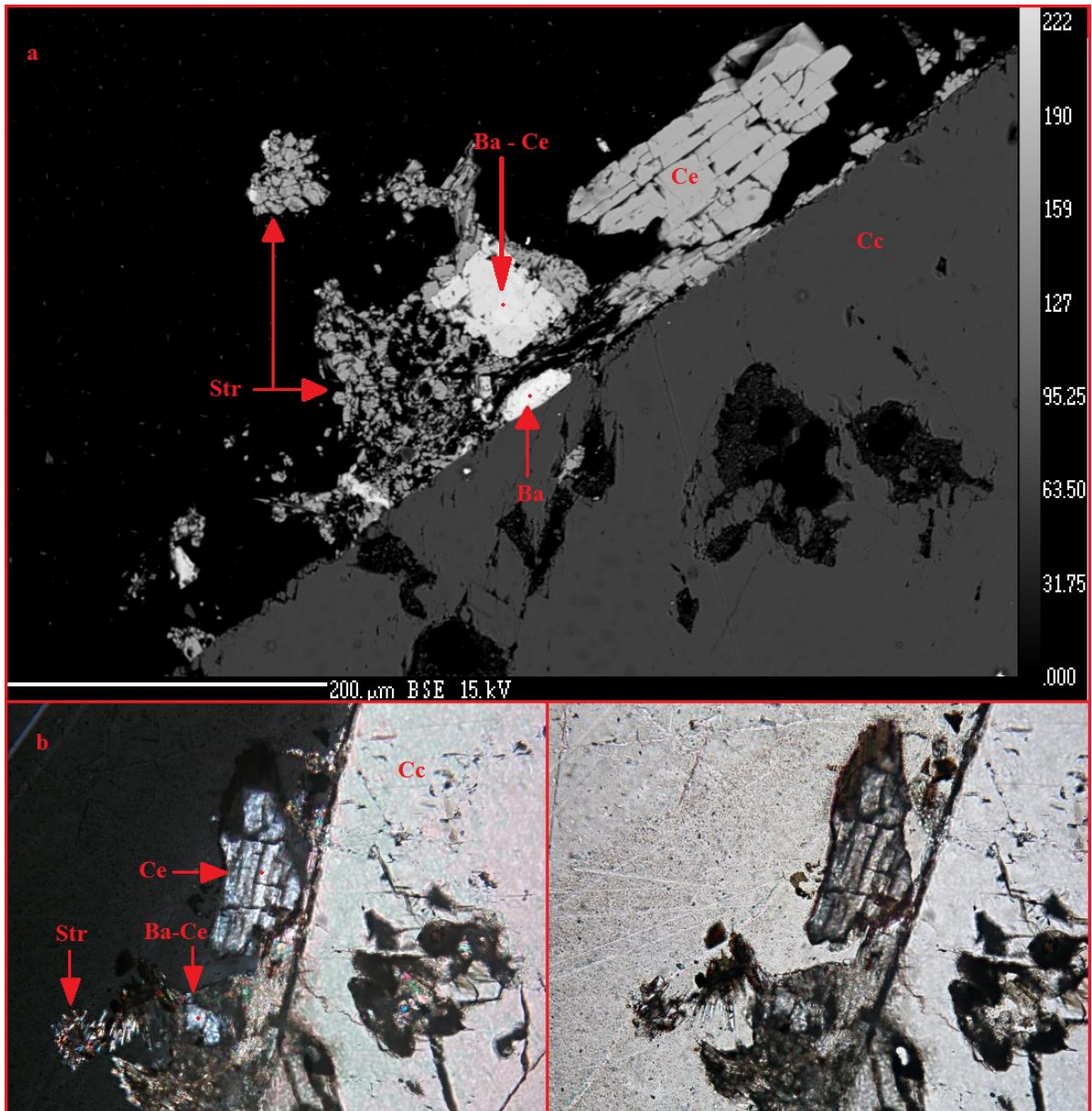
Stroncianit se vyskytuje na dutinách kalcitu. Nejčastěji vytváří shluky jehlicovitých agregátů o velikosti do 1 mm. Jednotlivé jehlice jsou tenké a mají ostré zakončení. V XPL mají agregáty stroncianitu vysoké interferenční barvy. Jednotlivými jehlicemi procházejí napříč drobné praskliny.



Obr. 27: Pokles obsahu CaO ve stroncianitu (Str) směrem od středu k okraji (a); Baryt (Ba) narůstá na kalcit (Cc) a tvoří přechodovou linii mezi kalcitem a stroncianitem. Ve stroncianitu jsou uzavřena izometrická zrna barytocelestinu (Ba-Ce) (a); Zatlačování barytu (Ba) stroncianitem (Str) (b). Lokalita Dolní Těrlicko (vzorek č. 3), (BSE obraz) (foto: P. Gadas)

WDX analýzou byl ještě určen barytocelestin. Jedná se o přechodný člen mezi barytem a celestinem. Barytocelestin vytváří izometrická zrna o velikosti do 70 µm (obr. 28a). Má stejné optické vlastnosti jako baryt a celestin. Proto ho nelze při mikroskopickém studiu odlišit. Na studovaném výbruse bylo patrné zatlačování barytocelestinu stroncianitem (obr. 28b). V barytocelestinu jsem nepozoroval žádné fluidní inkluze.





Obr. 28: Tabulkovitý, hypautomorfně omezený krystal celestinu (Ce) s dokonalou štěpností, který narůstá na kalcit směrem do dutiny (BSE obraz) (foto: P. Gadas) (a); izometrické zrno barytocelestinu (Ba-Ce), které je uzavřeno ve stroncianitu (Str) a mikroskopicky nelze odlišit od celestinu (Ce), vpravo tentýž záběr v PPL (b). Lokalita Dolní Těrlicko (vzorek č. 3)

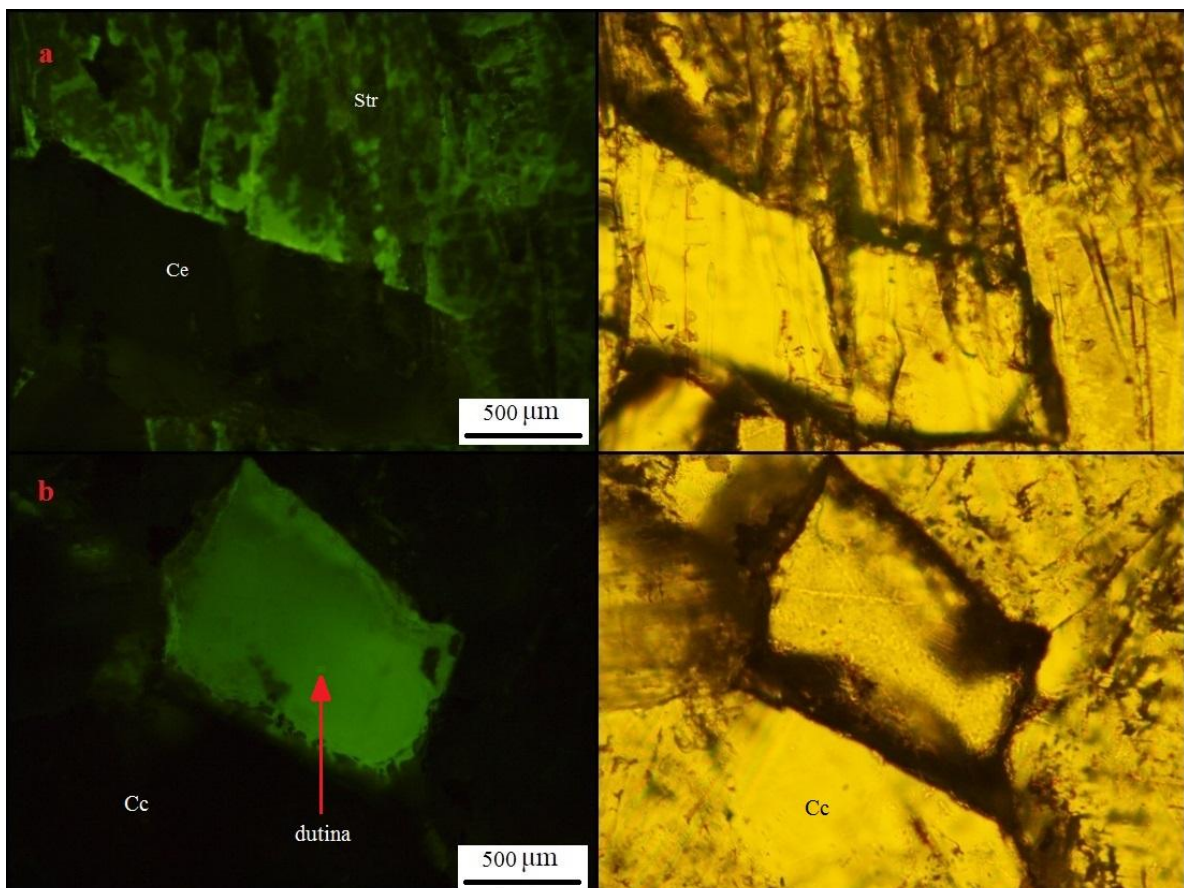
Sukcese minerálů: kalcit-celestin-barytocelestin-baryt-stroncianit

## 7.2. Studium výbrusů ve fluorescenčním mikroskopu a katodovou luminiscencí

Při výzkumu, který probíhal v terénu, byly ve vápencích běžně přítomné přírodní uhlovodíky. Jednalo se o přírodní ropu a asphalt. Ropa má černou až tmavě hnědou barvu a je velice viskózní. Nejčastěji se vyskytuje v dutinách vápencových konkrecí. Asphalt se vyskytuje méně často. Nachází se v drobných dutinkách vápencových lavic a má černou barvu. Tyto přírodní uhlovodíky byly zaznamenány na všech lokalitách.

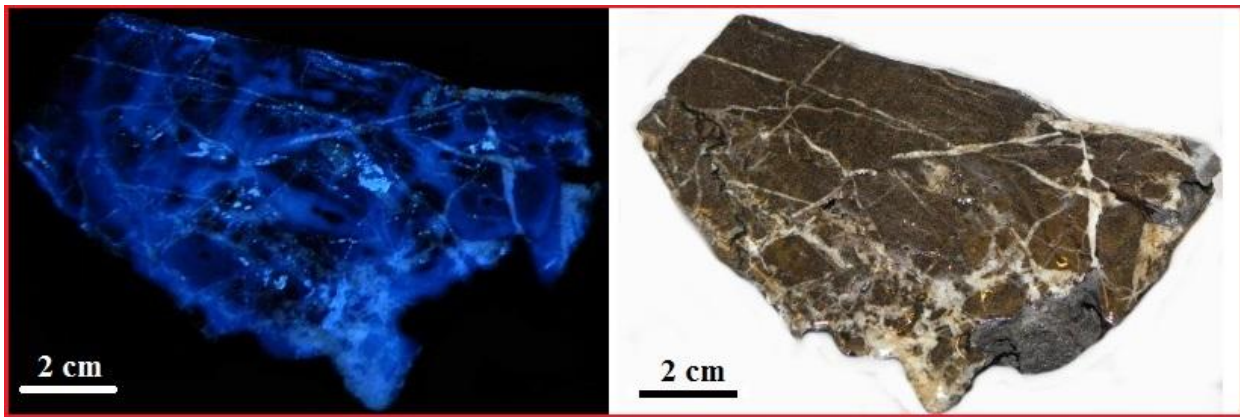
### 7.2.1. Studium ve fluorescenčním mikroskopu

Vzorky vápenců s přírodní ropou jsem zkoumal v napadajícím UV záření. Ropa fluoreskuje v barvách modré, zelenomodré až zelené. Při mikroskopickém studiu výbrusů vykazovala ropa v UV záření vždy světle zelenou barvu (obr. 29). Při studiu čerstvě odebraných vzorků UV lampou byla barva modrá (obr. 30).



Obr. 29: Zelená fluorescence přírodní ropy z lokality Vendryně (vzorek č. 1), kdy ropa prostupuje do intergranulár stroncianitu (Str), ale do celestinu (Ce) nikoliv, vpravo tentýž záběr v PPL (a); ropou nasáklá dutina mezi zrny kalcitu (Cc) z lokality Nebory (vzorek č. 2), vpravo tentýž záběr v PPL

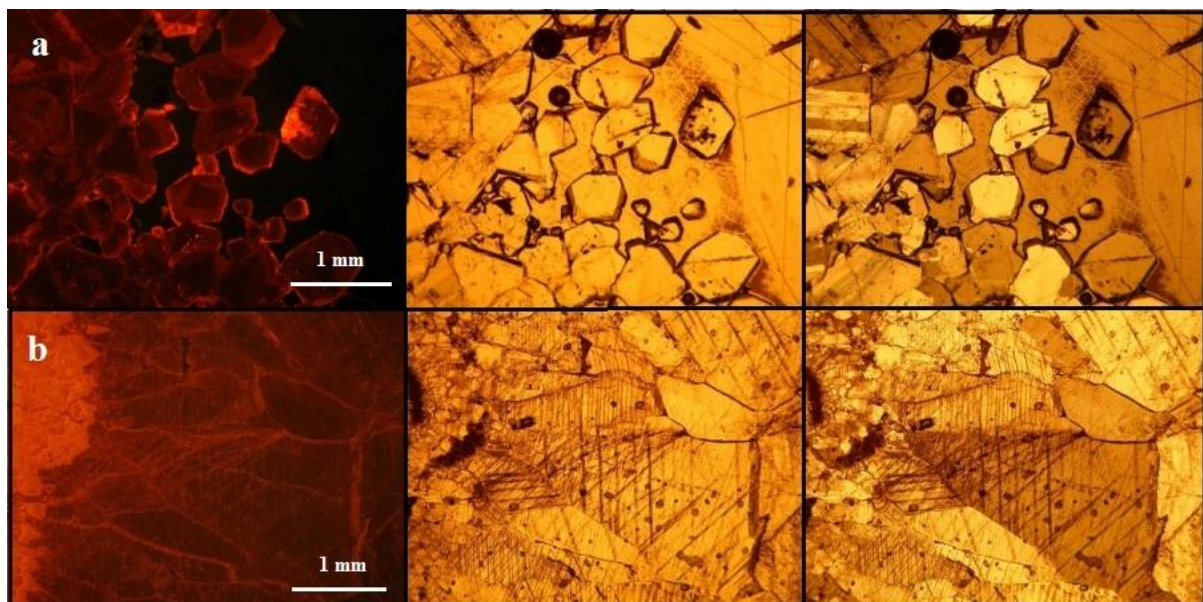




Obr. 30: Modrá fluorescence v UV záření na čerstvém vzorku vápence z lokality Vendryně, vpravo vzorek v denním světle

### 7. 2. 2. Katodoluminiscence

Při studii výbrusů byla provedena katodoluminiscence pro zjištění generací karbonátů. Byly zjištěny tři odlišné barvy luminiscence. U zonálních kalcitových zrn byla jádra kalcitů tmavě hnědá, směrem k okraji barva přecházela do oranžovo-červené a nejmladší okraje kalcitových zrn měly barvu světle oranžovou (obr. 31a). Stejný sled luminiscenčních barev byl pozorován také u zrnité kalcitové žiloviny. Na jednotlivých zrnech bylo možné sledovat pronikání světlejší generace karbonátů směrem do tmavšího jádra (obr. 31b).



Obr. 31: Koncentrická zonálnost u automorfně až hypautomorfně omezených zrn kalcitu, projevující se odlišnými barvami luminiscence, uprostřed tentýž záběr v PPL, napravo v XPL. Lokalita Dolní Těrlicko, vzorek č. 3 (a); tři generace kalcitu s odlišnými luminiscencemi, uprostřed tentýž záběr v PPL, napravo v XPL. Lokalita Dolní Těrlicko, vzorek č. 3. (b)

### 7. 3. Chemické složení minerálních fází

Pomocí WDX analýzy byl určován chemismus všech stronciových minerálů ve studovaných výbrusech. Kromě již známých minerálů, které se v dané oblasti vyskytují (stroncianit a celestin), byly nalezeny ještě dva dosud nepublikované minerály pro tuto oblast a to baryt a „barytocelestin“.

Analýza barytu ukázala, že se jedná o velmi čistý baryt, pouze se zvýšeným obsahem SrO (0,90 až 2,50 hmot. %). Z dalších oxidů jsou zastoupeny v malém množství CaO (0,11 až 0,24 hmot. %) a ZnO (0,04 až 0,27 hmot. %). Pouze v jednom případě byl z lokality Dolní Těrlicko analyzován stronciem bohatý baryt s obsahem SrO (6,62 hmot. %), kdy poměr Sr:Ba = 1:6. Obsah Sr v tomto barytu odpovídá 0,144 apfu. Ostatní výsledky chemismu barytu ze všech studovaných lokalit jsou velmi podobné. Výsledky chemické analýzy jsou uvedeny v tab. 1.

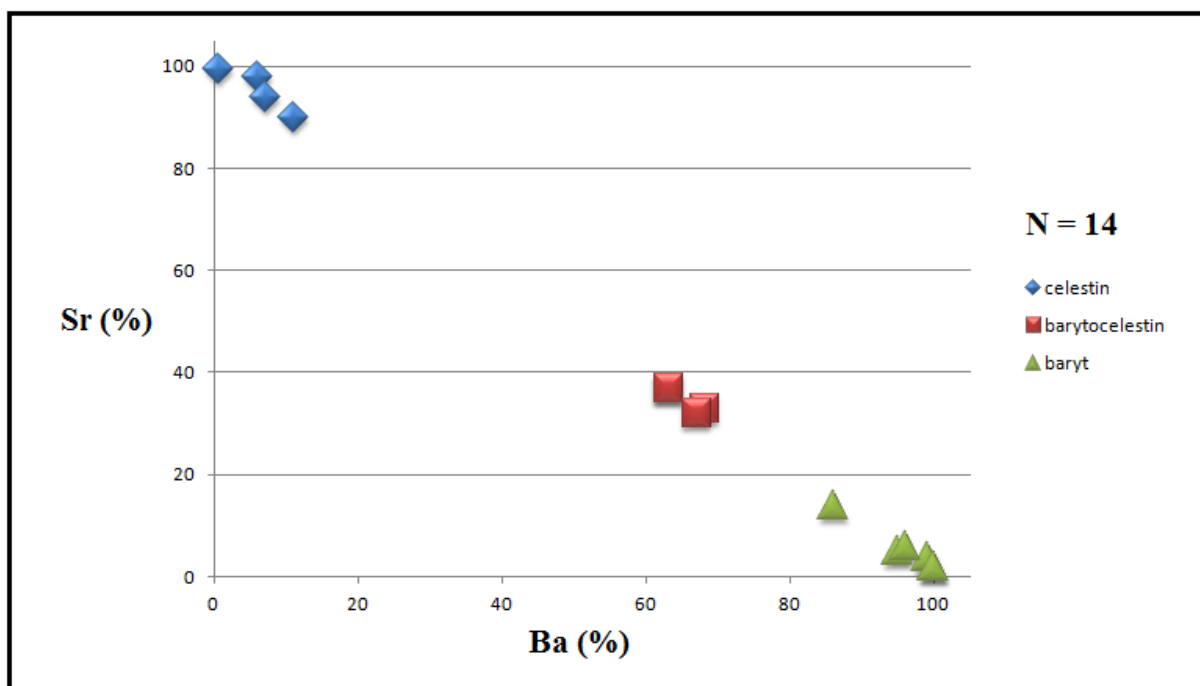
Tab. 1: Výsledky chemické analýzy síranů na zkoumaných lokalitách. Tmavě žlutou barvou jsou zvýrazněny hodnoty dvou hlavních prvků u síranů (Sr a Ba).

| Minerál                       | Celestin      |              |                |              | "Barytocelestin" |               |                |               | Baryt        |               |                |               |              |              |
|-------------------------------|---------------|--------------|----------------|--------------|------------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
|                               | Nebory        |              | Dolní Těrlicko |              | Vendryně         |               | Dolní Těrlicko |               | Vendryně     |               | Dolní Těrlicko |               |              | Třinec       |
| Lokalita                      | 2             |              | 3              |              | 1                |               | 3              |               | 1            |               | 3              |               |              | 1            |
| č. vzorku                     | 2/1           | 8/1          | 9/1            | 24/1         | 3/1              | 7/1           | 10/1           | 14/1          | 4/1          | 6/1           | 12/1           | 15/1          | 16/1         | 10/1         |
| č. analýzy                    | 2             | 3            | 1              | 3            | 1                | 3             | 1              | 3             | 1            | 3             | 1              | 3             | 1            | 1            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,00          | 0,03         | 0,04           | 0,00         | 0,01             | 0,00          | 0,00           | 0,01          | 0,00         | 0,02          | 0,00           | 0,01          | 0,05         | 0,00         |
| SiO <sub>2</sub>              | 0,26          | 0,00         | 0,00           | 0,00         | 0,00             | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00         | 0,08          | 0,00           | 0,02          | 0,00         | 0,02         |
| MgO                           | 0,01          | 0,00         | 0,01           | 0,01         | 0,00             | 0,02          | 0,01           | 0,01          | 0,00         | 0,00          | 0,01           | 0,01          | 0,00         | 0,00         |
| CaO                           | 0,53          | 0,04         | 0,01           | 0,42         | 0,08             | 0,03          | 0,02           | 0,09          | 0,11         | 0,24          | 0,21           | 0,04          | 0,00         | 0,04         |
| ZnO                           | 0,14          | 0,10         | 0,00           | 0,16         | 0,01             | 0,00          | 0,03           | 0,00          | 0,18         | 0,00          | 0,04           | 0,06          | 0,27         | 0,11         |
| MnO                           | 0,01          | 0,01         | 0,00           | 0,01         | 0,00             | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00         | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00         | 0,00         |
| FeO                           | 0,03          | 0,01         | 0,00           | 0,00         | 0,00             | 0,00          | 0,01           | 0,00          | 0,02         | 0,00          | 0,02           | 0,00          | 0,00         | 0,02         |
| SrO                           | 53,45         | 51,77        | 49,52          | 56,05        | 15,80            | 17,89         | 15,18          | 17,84         | 1,05         | 1,68          | 2,49           | 6,62          | 0,90         | 2,26         |
| BaO                           | 5,16          | 5,65         | 8,54           | 0,25         | 47,81            | 45,65         | 47,49          | 44,79         | 65,01        | 63,71         | 63,12          | 58,56         | 65,35        | 62,60        |
| Na <sub>2</sub> O             | 0,06          | 0,01         | 0,01           | 0,00         | 0,08             | 0,10          | 0,11           | 0,00          | 0,09         | 0,01          | 0,12           | 0,09          | 0,13         | 0,00         |
| Cl                            | 0,00          | 0,00         | 0,00           | 0,00         | 0,04             | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00         | 0,00          | 0,00           | 0,00          | 0,00         | 0,00         |
| SO <sub>3</sub>               | 40,79         | 42,17        | 42,18          | 43,04        | 36,33            | 37,31         | 37,07          | 37,36         | 32,65        | 34,79         | 33,70          | 35,50         | 33,03        | 34,20        |
| <b>SUMA</b>                   | <b>100,44</b> | <b>99,78</b> | <b>100,31</b>  | <b>99,94</b> | <b>100,25</b>    | <b>100,90</b> | <b>99,92</b>   | <b>100,10</b> | <b>99,11</b> | <b>100,53</b> | <b>99,71</b>   | <b>100,91</b> | <b>98,83</b> | <b>99,21</b> |
| S <sup>6+</sup>               | 0,971         | 0,995        | 0,997          | 0,994        | 0,992            | 0,997         | 1,002          | 1,000         | 0,981        | 0,997         | 0,988          | 0,998         | 0,984        | 0,998        |
| Si <sup>4+</sup>              | 0,008         | 0,000        | 0,000          | 0,000        | 0,000            | 0,000         | 0,000          | 0,000         | 0,000        | 0,003         | 0,000          | 0,000         | 0,000        | 0,000        |
| Ca <sup>2+</sup>              | 0,017         | 0,001        | 0,000          | 0,013        | 0,003            | 0,001         | 0,001          | 0,003         | 0,005        | 0,01          | 0,009          | 0,000         | 0,000        | 0,000        |
| Zn <sup>2+</sup>              | 0,003         | 0,002        | 0,000          | 0,003        | 0,003            | 0,000         | 0,000          | 0,000         | 0,005        | 0,000         | 0,000          | 0,000         | 0,008        | 0,003        |
| Sr <sup>2+</sup>              | 0,982         | 0,940        | 0,904          | 0,999        | 0,333            | 0,369         | 0,317          | 0,369         | 0,024        | 0,036         | 0,056          | 0,144         | 0,021        | 0,051        |
| Ba <sup>2+</sup>              | 0,064         | 0,070        | 0,105          | 0,003        | 0,681            | 0,636         | 0,670          | 0,626         | 1,019        | 0,997         | 0,965          | 0,859         | 1,015        | 0,953        |
| Na <sup>+</sup>               | 0,003         | 0,000        | 0,000          | 0,000        | 0,006            | 0,007         | 0,007          | 0,000         | 0,007        | 0,007         | 0,009          | 0,006         | 0,010        | 0,000        |
| <b>Catsum</b>                 | <b>2,048</b>  | <b>1,996</b> | <b>2,006</b>   | <b>2,012</b> | <b>2,018</b>     | <b>2,010</b>  | <b>2,010</b>   | <b>1,998</b>  | <b>2,041</b> | <b>2,050</b>  | <b>2,027</b>   | <b>2,007</b>  | <b>2,028</b> | <b>2,005</b> |
| Cl                            | 0,000         | 0,000        | 0,000          | 0,000        | 0,003            | 0,000         | 0,000          | 0,000         | 0,000        | 0,000         | 0,000          | 0,000         | 0,000        | 0,000        |
| O                             | 4,000         | 4,000        | 4,000          | 4,000        | 3,997            | 4,000         | 4,000          | 4,000         | 4,000        | 4,000         | 4,000          | 4,000         | 4,000        | 4,000        |
| <b>Ansum</b>                  | <b>4,000</b>  | <b>4,000</b> | <b>4,000</b>   | <b>4,000</b> | <b>4,000</b>     | <b>4,000</b>  | <b>4,000</b>   | <b>4,000</b>  | <b>4,000</b> | <b>4,000</b>  | <b>4,000</b>   | <b>4,000</b>  | <b>4,000</b> | <b>4,000</b> |

Termínem „barytocelestin“ jsem označil minerál, který tvoří přechodný člen mezi barytem a celestinem (obr. 32). Z jeho chemismu byl stanovený poměr Sr:Ba = 1:2, kdy obsah Sr kolísá v hodnotách 0,317–0,369 apfu. Z dalších prvků se v barytocelestinu v malém množství vyskytuje Na (0,09 až 0,11 hmot. %) a Ca (0,04 až 0,09 hmot. %). Barytocelestin

byl zjištěn na lokalitách Dolní Těrlicko a Vendryně. Chemismus barytocelestinu z obou lokalit je velmi podobný (tab. 1).

Celestin byl určen na všech lokalitách. Z oxidů byly u celestinu zjištěny zvýšené obsahy BaO, které silně kolísají. Zatímco na lokalitě Vendryně byl obsah BaO pouze 0,25 hmot. %, tak na lokalitě Dolní Těrlicko byl obsah BaO 8,54 hmot.% a odlišných hodnot dosahoval také celestin z lokality Nebory, kde byl obsah BaO 5,16 hmot. % (tab. 1). Na lokalitách Nebory a Vendryně byly v celestinu zjištěny malé obsahy CaO (0,53 a 0,42 hmot. %), zatímco celestin z lokality Dolní Těrlicko CaO prakticky neobsahoval.



Obr. 32: Grafické znázornění výsledků chemických analýz síranů ze zkoumané oblasti (hodnoty v at. %)

Posledním minerálem, u kterého byl studovaný chemismus, je stroncianit. Stroncianit obsahuje ve vedlejším až podstatném množství CaO. Obsah CaO ve stroncianitu klesá směrem od středů krystalů k jejich okrajům. Nejvyšší hodnota CaO ve stroncianitu byla naměřena na vzorku z lokality Vendryně (13,1 hmot. %), kdy obsah Ca ve stroncianitu je 0,311 apfu. Naopak nejnižší hodnota (0,40 hmot. %) byla naměřena na vzorku z lokality Dolní Těrlicko, kdy obsah Ca ve stroncianitu činí pouze 0,012 apfu (tab. 2). V malém množství obsahuje stroncianit i BaO (0,01 až 0,08 hmot. %). Pouze na lokalitě Dolní Těrlicko byl v jednom případě zjištěn vyšší obsah BaO (1,77 hmot. %) (tab. 2). Ve stroncianitu byly zjištěny také nízké příměsi ZnO (0,05 až 0,14 hmot. %) a Na<sub>2</sub>O (0,04 až 0,06 hmot. %).

Tab. 2: Chemismus stroncianitu podle WDX analýzy z jednotlivých zkoumaných lokalit. Obsah CO<sub>2</sub> dopočten podle stechiometrie.

| Minerál<br>Lokalita<br>č. vzorku<br>č. analýzy | Stroncianit  |              |               |              |              |                    |              |              |              |               |              |               |              |              |
|--|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
|  | Nebory       |              | Vendryně      |              |              | Tínec "pod Sosnou" |              |              |              | Dolní Těřicko |              |               |              |              |
|  | 2            | 1            |               |              | 1            |                    |              | 3            |              |               |              |               |              |              |
|  | 1/1          | 13/1         | 15/1          | 16/1         | 7/1          | 8/1                | 9/1          | 11/1         | 5/1          | 11/1          | 13/1         | 14/1          | 30/1         | 31/1         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                  | 0,00         | 0,00         | 0,01          | 0,04         | 0,00         | 0,03               | 0,00         | 0,00         | 0,01         | 0,01          | 0,00         | 0,00          | 0,04         | 0,00         |
| SiO <sub>2</sub>                               | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         | 0,00               | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,00         |
| MgO  | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,01         | 0,00         | 0,02               | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,01          | 0,01         | 0,00         |
| CaO  | 9,23         | 10,62        | 13,10         | 8,35         | 11,88        | 9,07               | 8,42         | 4,30         | 8,69         | 3,95          | 8,83         | 0,43          | 10,83        | 9,18         |
| ZnO  | 0,00         | 0,00         | 0,13          | 0,00         | 0,00         | 0,00               | 0,18         | 0,14         | 0,05         | 0,11          | 0,00         | 0,08          | 0,00         | 0,00         |
| MnO  | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,00         | 0,01         | 0,01               | 0,02         | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,01         | 0,01          | 0,00         | 0,00         |
| FeO  | 0,00         | 0,00         | 0,00          | 0,02         | 0,00         | 0,01               | 0,00         | 0,07         | 0,00         | 0,01          | 0,04         | 0,00          | 0,02         | 0,01         |
| SrO  | 57,89        | 56,29        | 53,59         | 59,20        | 54,46        | 58,11              | 59,11        | 63,80        | 57,72        | 62,27         | 57,23        | 67,79         | 56,98        | 59,66        |
| BaO  | 0,16         | 0,00         | 0,01          | 0,00         | 0,02         | 0,00               | 0,04         | 0,02         | 0,00         | 1,77          | 0,04         | 0,04          | 0,08         | 0,02         |
| Na <sub>2</sub> O                              | 0,02         | 0,04         | 0,03          | 0,05         | 0,02         | 0,00               | 0,01         | 0,00         | 0,03         | 0,01          | 0,08         | 0,02          | 0,06         | 0,05         |
| Cl   | 0,01         | 0,02         | 0,01          | 0,02         | 0,00         | 0,01               | 0,00         | 0,01         | 0,03         | 0,02          | 0,01         | 0,00          | 0,00         | 0,02         |
| CO <sub>2</sub>                                | 32,64        | 32,95        | 33,12         | 32,29        | 33,55        | 32,73              | 32,21        | 31,57        | 33,37        | 31,17         | 33,73        | 31,64         | 31,97        | 31,03        |
| <b>SUMA</b>                                    | <b>99,95</b> | <b>99,92</b> | <b>100,00</b> | <b>99,98</b> | <b>99,94</b> | <b>99,99</b>       | <b>99,99</b> | <b>99,91</b> | <b>99,89</b> | <b>99,31</b>  | <b>99,97</b> | <b>100,02</b> | <b>99,95</b> | <b>99,97</b> |
| C <sup>+</sup>                                 | 0,999        | 0,999        | 0,999         | 0,999        | 0,999        | 0,999              | 0,999        | 0,999        | 0,999        | 0,999         | 0,999        | 0,999         | 0,999        | 0,999        |
| Ca <sup>2+</sup>                               | 0,227        | 0,259        | 0,311         | 0,207        | 0,288        | 0,223              | 0,208        | 0,111        | 0,217        | 0,105         | 0,222        | 0,012         | 0,260        | 0,221        |
| Sr <sup>2+</sup>                               | 0,772        | 0,741        | 0,688         | 0,793        | 0,712        | 0,777              | 0,790        | 0,888        | 0,782        | 0,900         | 0,778        | 1,001         | 0,740        | 0,779        |
| Zn <sup>2+</sup>                               | 0,000        | 0,000        | 0,002         | 0,000        | 0,000        | 0,000              | 0,003        | 0,002        | 0,000        | 0,001         | 0,002        | 0,000         | 0,001        | 0,000        |
| Ba <sup>2+</sup>                               | 0,002        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000              | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,017         | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        |
| Na <sup>+</sup>                                | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000              | 0,000        | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,004        | 0,000         | 0,003        | 0,000        |
| <b>Catsum</b>                                  | <b>2,000</b> | <b>1,999</b> | <b>2,000</b>  | <b>1,999</b> | <b>1,999</b> | <b>1,999</b>       | <b>2,000</b> | <b>2,000</b> | <b>1,999</b> | <b>2,023</b>  | <b>2,003</b> | <b>2,013</b>  | <b>2,002</b> | <b>1,999</b> |
| Cl   | 0,000        | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        | 0,000              | 0,000        | 0,000        | 0,001        | 0,000         | 0,000        | 0,000         | 0,000        | 0,000        |
| O  | 3,000        | 3,000        | 3,000         | 3,000        | 3,000        | 3,000              | 3,000        | 3,000        | 2,999        | 3,000         | 3,000        | 3,000         | 3,000        | 3,000        |
| <b>Ansum</b>                                   | <b>3,000</b> | <b>3,000</b> | <b>3,000</b>  | <b>3,000</b> | <b>3,000</b> | <b>3,000</b>       | <b>3,000</b> | <b>3,000</b> | <b>3,000</b> | <b>3,000</b>  | <b>3,000</b> | <b>3,000</b>  | <b>3,000</b> | <b>3,000</b> |

## 7. 4. Studium fluidních inkluzí

### 7.4.1. Lokalita Nebory

Vyhotovená oboustranně leštěná destička obsahovala všechny typy inkluzí, které byly většinou dobře průhledné, jen zřídka se vyskytovaly inkluze, které byly skoro černé a neprůhledné.

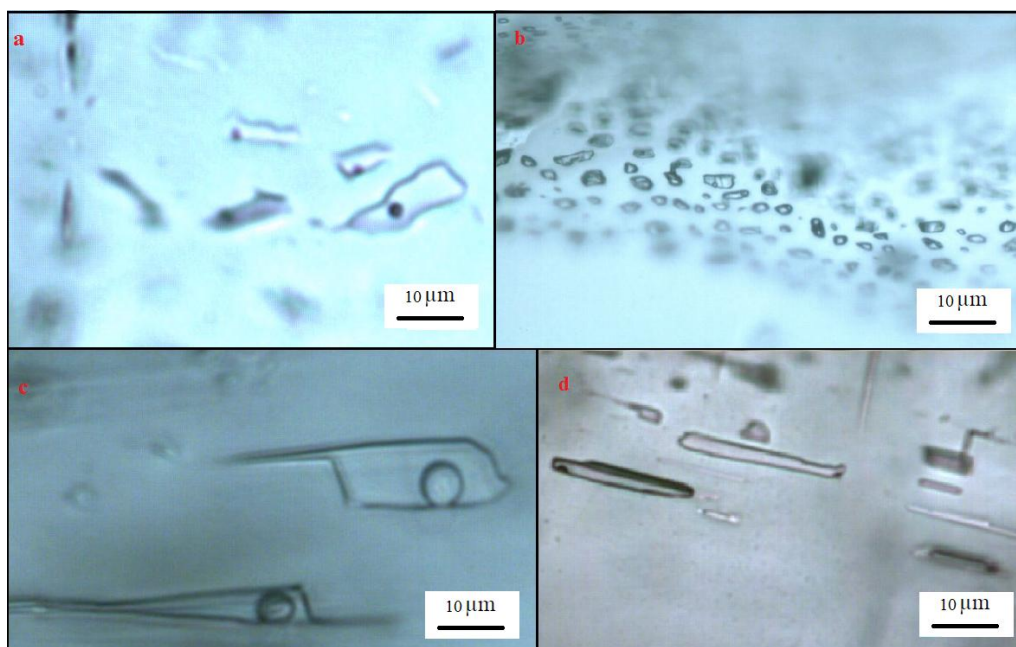
Primární inkluze měly nejčastěji oválný až nepravidelný tvar a vyskytovaly se v drobných skupinách (obr. 33a) nebo soliterně. Jejich velikost se pohybovala od 7 μm do 18 μm. U primárních inkluzí převažovaly dvoufázové (L+V), které měly stupeň zaplnění 0,95, nad jednofázovými (L), které se vyskytovaly vzácně a v samostatných strukturách. Vzhledem k podobným tvarům, velikosti a naměřeným výsledkům primárních a primárně-sekundárních inkluzí, jsem P a PS fluidní inkluze popisoval společně.

Primárně-sekundární inkluze se vyskytovaly nejčastěji v drobných skupinkách nebo procházely úhlopříčně zrní kalciitu. Stejně jako u primárních inkluzí i zde převažovaly dvoufázové (L+V) inkluze nad jednofázovými (L). Velikost PS inkluzí se nejčastěji pohybovala mezi 7 μm až 13 μm. Tvar fluidních inkluzí byl oválný nebo nepravidelný. Inkluze byly často protáhlé v jednom směru (obr. 33c). Stupeň zaplnění byl 0,95. Inkluze



jsem nejprve zahřival, pro zjištění teploty homogenizace ( $T_h$ ). Všechny typy inkluzí homogenizovaly na kapalinu, vlivem vysokého stupně zaplnění. U PS inkluzí se teplota homogenizace pohybovala od  $91^\circ\text{C}$  do  $135^\circ\text{C}$ . PS inkluze zamrzaly pravidelně v intervalu  $-37,2^\circ\text{C}$  až  $-42,1^\circ\text{C}$ . Následně jsem inkluze opět zahřival a přitom jsem sledoval, zda zachytím teplotu eutektika ( $T_e$ ). Ta se mi bohužel ani v jednom případě nepodařila změřit. Inkluze jsem zahřival dále a měřil teplotu tání posledního krystalu ledu ( $T_m$ ), která se pohybovala od  $-0,7^\circ\text{C}$  do  $-1,9^\circ\text{C}$ . Z hodnot  $T_m$  jsem následně vypočítal salinitu fluid, která je v rozmezí od 1,3 do 3,3 hm. % NaCl ekv.

Největší zastoupení ve vzorku měly sekundární inkluze. Tyto inkluze měly stupeň zaplnění od 0,85 do 0,95. Převažovaly dvoufázové inkluze s převahou kapalně fáze (L+V) o velikosti  $6\ \mu\text{m}$  až  $22\ \mu\text{m}$ . Inkluze se vyskytovaly v řádcích přes celé zrno. Jejich tvar byl oválný (obr. 33b) nebo protáhlý (obr. 33d). Vyjíměčně se vyskytovaly inkluze s větším zastoupením plynné fáze (L+V), které byly menší ( $4\ \mu\text{m}$  až  $10\ \mu\text{m}$ ) se stupněm zaplnění od 0,65 do 0,80. U těch se mi bohužel nepovedlo provést žádná měření. Ve vzorku se vyskytovaly také jednofázové inkluze, které měly obecně menší velikost ( $4\ \mu\text{m}$  až  $12\ \mu\text{m}$ ). Pro odlišné výsledky měření jsem odlišil (a) sekundární inkluze se stupněm zaplnění 0,95 od (b) sekundárních inkluzí se stupněm zaplnění v rozmezí 0,90 až 0,85.



Obr. 33: Příklady fluidních inkluzí v kalcitu z lokality Nebory: Skupinka P/PS dvoufázových inkluzí (a); drobné sekundární inkluze tvořící řádky (b); dvoufázové sekundární inkluze s nižším stupněm zaplnění (c); protáhlé sekundární inkluze vyskytující se v drobných řádcích (d)

Pro inkluze (a) jsem naměřil tyto hodnoty:  $T_h$  se pohybuje od  $33^\circ\text{C}$  do  $89^\circ\text{C}$ ,  $T_f$  jsou v rozmezí od  $-27,7^\circ\text{C}$  do  $-43,1^\circ\text{C}$  a  $T_m$  se pohybují v intervalu  $-0,9^\circ\text{C}$  až  $-2,4^\circ\text{C}$ . Pouze u tohoto typu inkluzí se mi podařilo ve třech případech změřit i teplotu eutektika ( $T_e$ ), která se pohybovala v rozmezí  $-18,3^\circ\text{C}$  až  $-21,8^\circ\text{C}$ . Počátek tání ledu se projevoval výskytem světlé linie u kraje inkluze, která se s rostoucí teplotou rozšiřovala úhlopříčně přes inkluzi až do  $T_m$ , kdy linie dosáhla okraje inkluze. Salinita fluid byla vyšší, než u PS inkluzí a dosahovala hodnot  $1,6\text{--}4,0$  hm. % NaCl ekv.

U druhého typu sekundárních inkluzí s vyšším stupněm zaplnění (b) jsem naměřil odlišné hodnoty. Teplota homogenizace byla vyšší ( $137^\circ\text{C}$  až  $181^\circ\text{C}$ ). Teplota zamrznutí se příliš nelišila a pohybovala se od  $-38,6^\circ\text{C}$  do  $-40,8^\circ\text{C}$ . Rozdíl nastal až při teplotě tání ( $T_m$ ), při které měly inkluze nejnižší hodnoty, a to od  $-1,0^\circ\text{C}$  až do  $-2,6^\circ\text{C}$ . Teplotu eutektika ( $T_e$ ) se mi u žádné z inkluzí změřit nepodařilo. Vypočtená salinita fluid dosahovala hodnot od  $1,8$  do  $4,3$  hm. % NaCl ekv.

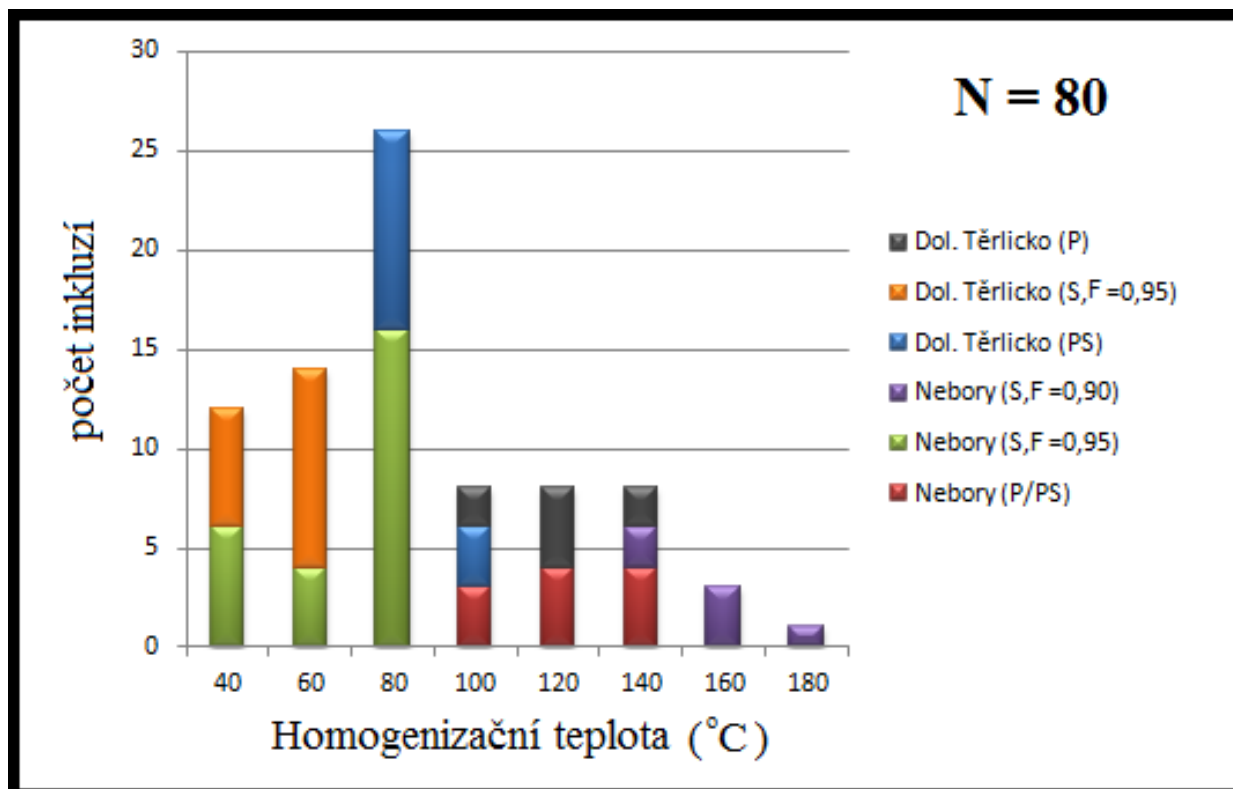
#### **7.4.2. Lokalita Dolní Těrlicko**

Pro studium fluidních inkluzí jsem zhotovil oboustranně leštěnou destičku. Při mikroskopickém studiu jsem pozoroval všechny tři genetické typy fluidních inkluzí. V kalcitu převažovaly světlé, dobře průhledné fluidní inkluze. Ty byly ve většině případů dvoufázové (L+V) jen zřídka a hlavně u sekundárních inkluzí se jednalo o jednofázové inkluze (L). Inkluze byly poměrně velké ( $6\text{--}25\ \mu\text{m}$ ).

Zkoumané primární fluidní inkluze byly vždy dvoufázové s vysokým stupněm zaplnění (0,95). Vyskytovaly se v drobných skupinkách. Jejich velikost se pohybovala od  $12$  do  $25\ \mu\text{m}$ . Často měly poměrně pravidelný, čtvercový tvar.

Primární inkluze jsem nejprve zahříval a měřil jejich teplotu homogenizace ( $T_h$ ). Ta se pohybovala v intervalu od  $92^\circ\text{C}$  do  $131^\circ\text{C}$  (obr. 34). Naměřené hodnoty  $T_f$  se pohybovaly od  $-36^\circ\text{C}$  do  $-40^\circ\text{C}$ . Teplota eutektika ( $T_e$ ) se mi ovšem nepodařila změřit u žádné inkluze. Hodnoty  $T_m$  byly mezi  $-2,4^\circ\text{C}$  až  $-1,2^\circ\text{C}$ . Z těchto hodnot jsem vypočítal salinitu fluid podle Bodnara (1993), která se pohybovala v hodnotách od  $2,1\text{--}4,0$  hm. % NaCl ekv.

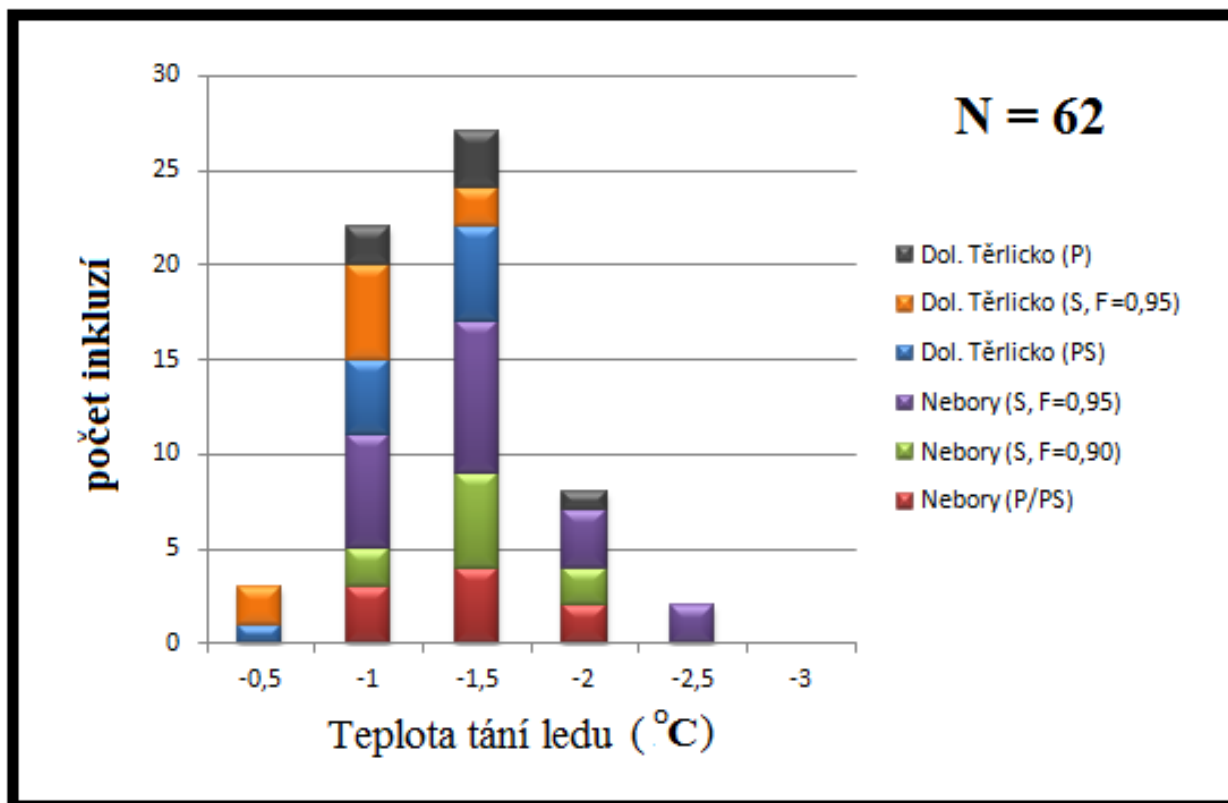




Obr. 34: Histogram homogenizačních teplot pro fluidní inkluze z lokalit Nebory a Dolní Těrlicko

Primárně-sekundární inkluze se nejčastěji vyskytují ve skupinkách nebo jdou v řádcích šikmo přes kalcitová zrna. Jsou menší než primární inkluze. Jejich velikost je 8–20  $\mu\text{m}$ . Jejich tvar je většinou nepravidelný, kdy můžeme pozorovat protáhlé inkluze s různými výrůstky po jejich obvodu. Primárně-sekundární inkluze jsou většinou dvoufázové (L+V), zřídka se vyskytují i jednofázové (L). Stupeň zaplnění je 0,95.

Teplota homogenizace u primárně-sekundární inkluzí se pohybuje v rozmezí od 72°C do 105°C. Inkluze zamrzají v intervalech od -37°C do -42°C. U dvou inkluzí se mi podařilo změřit teplotu eutektika, která byla v hodnotách -19,3°C a -21,2°C. Teplota tání posledního krystalu ledu kolísala od -1,5°C do -0,7°C (obr. 35). Vypočtená salinita fluid dosahuje hodnot 1,2–2,6 hm. % NaCl ekv.



Obr. 35: Histogram teplot tání ledu pro fluidní inkluze z lokalit Nebory a Dolní Těrlicko

Sekundární inkluze jsou ve zkoumaném vzorku dvojího typu. První typ představují malé, pravidelné inkluze většinou do velikosti 6  $\mu\text{m}$ , které se vyskytují v tenkých řádcích a procházejí jednotlivými zrny kalcitu. U tohoto typu inkluzí převládají jednofázové (L) nad dvoufázovými (L+V). Druhým typem sekundárních inkluzí jsou inkluze protáhlého tvaru, které jsou i větší (7-14  $\mu\text{m}$ ). Inkluze jsou většinou dvoufázové (L+V) se stupněm zaplnění 0,95. Inkluze se vyskytují v řádcích a prostupují jednotlivými zrny kalcitu.

Teplota homogenizace u sekundárních inkluzí se pohybuje od 36°C do 63°C. Inkluze zamrzají od -26°C do -37°C. Teplotu eutektika se mi změřit nepodařilo u žádné z inkluzí. Naměřené teploty tání posledního krystalu ledu jsou od -1,3°C do -0,6°C. Vypočtená salinita je 1,1–2,2 hm. % NaCl ekv.

## 8. Diskuse

### Sr-mineralizace vápencových lavic

Při odběru vzorků na lokalitě Třinec „pod Sosnou“ jsem zastihl většinu popisovaných minerálů, kromě ankeritu, který zmiňuje Slavíček (1985). Celestin, který je odsud také popisován (Pauliš 2001) se mi povedlo najít až při mikroskopickém studiu leštěného výbrusu ze vzorku č. 1. Pomocí WDX analýzy byl určen jeden nový minerál, a to baryt. Ten se vyskytuje ve formě drobných izometrických zrn ve stroncianitu, který ho obrůstá.

Z lokality Vendryně byl dosud popisován pouze stroncianit a kalcit (Rusek, Valošek 1958). Při terénním odběru vzorků byly oba minerály nalezeny. Při následujícím mikroskopickém studiu leštěné destičky ze vzorku č. 1 byl nalezen také celestin a barytocelestin. Oba minerály byly určeny pomocí WDX analýzy. Barytocelestin byl doposud popisován pouze z lokality Nebory (ústní sdělení P. Ruska).

### Sr-mineralizace vápencových kongrecí

Na lokalitě Nebory bylo nalezeno a zkoumáno pět vápencových kongrecí. Všechny kongrece obsahovaly skalenoedry kalcitu a byly vyplněny ropou. Tento výskyt popisuje řada sběratelů (Valošek, Rusek 1958, Chmiel 2002, 2003), kteří uvádějí ještě celestin a stroncianit. WDX analýzou byly v našich vzorcích určeny všechny výše zmíněné minerály. Vzácný barytocelestin, který odsud uvádí P. Rusek (ústní sdělení), jsem nenašel.

Vápencová kongrece z Dolního Těrlicka obsahovala makroskopicky viditelný kalcit, stroncianit a celestin. Tato vápencová kongrece nebyla vyplněna ropou, což odpovídá poznatkům Valoška a Ruska (1959). Při mikroskopickém studiu leštěné destičky ze vzorku č. 3 byl nalezen ještě jeden nový minerál, a to baryt. Ten se vyskytuje v podobě izometrických zrn nebo tvoří drobné tabulkovité krystalky. Spolu s lokalitou Třinec „pod Sosnou“ se doposud jedná o jediné dvě lokality na Těšínsku, na kterých byl baryt nalezen. WDX analýzou byl ještě určen vzácný barytocelestin, který nejčastěji vytváří izometrické krystaly. Baryt ani barytocelestin nebyly doposud z lokality Dolní Těrlicko popisovány.

Sukcese minerálů z hydrotermálních žil je pro celou oblast stejná. Jako první krystalizoval kalcit, potom baryt, následně barytocelestin a celestin a jako poslední, nejmladší minerál stroncianit. Tato sukcese minerálních fází je podobná, jako na lokalitě Tatum dome,

ze které je popisována následující minerální sukcese: křemen – (pyrit, galenit) – kalcit – celestin – stroncianit. Baryt ani barytocelestin z této lokality popisován není.

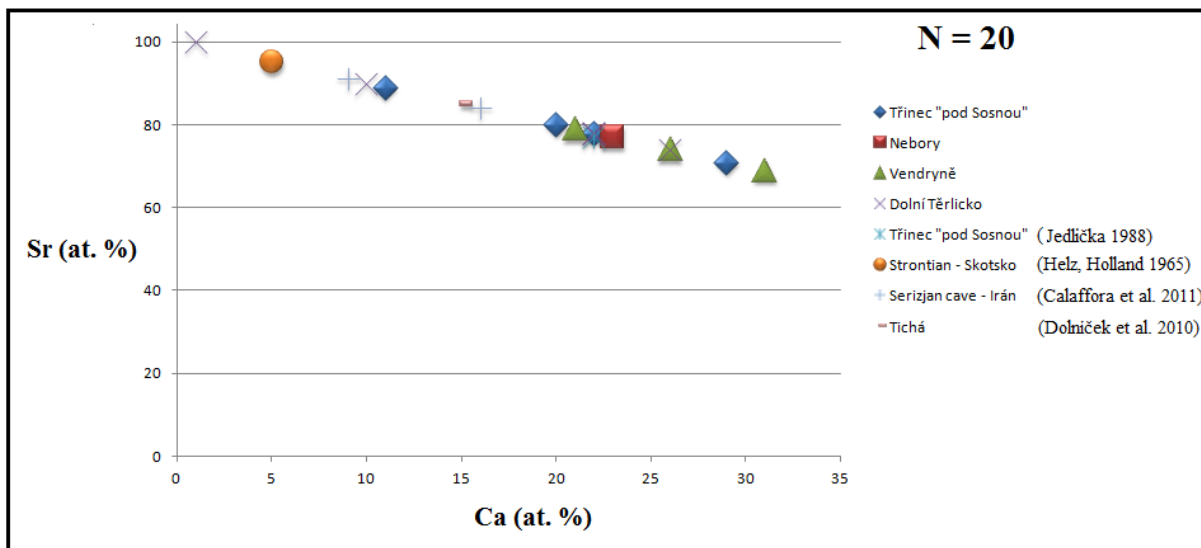
### Chemismus minerálů

Výsledky chemické analýzy stroncianitu prokázaly zvýšený obsah Ca (0,43 až 13,10 at. % = 0,012 až 0,311 apfu). Poměr Ca/Sr je v průměru 1:3,5 (22 at. % Ca, 78 mol. % Sr). Jedná se tedy o vápenatý stroncianit, který už dříve popisoval Jedlička (1988). Z příměsí obsahuje stroncianit nepatrné množství Na, Zn a Ba. Pouze u jednoho vzorku z Dolního Těrlicka byl prokázán zvýšený obsah Ba (1,75 at. %). Na typové lokalitě stroncianitu Strontian ve Skotsku byl ve stroncianitu prokázán zvýšený obsah Ca (4,80 at. %) a ve vedlejším množství také obsah Ba (0,20 až 1,25 at. %) (Macadam 1885). Zvýšený obsah Ba byl prokázán také na lokalitě Tatum dome v americkém státě Mississippi, kde byl u zkoumaných vzorků stroncianitu určen obsah Ba ve vedlejším množství (0,15 až 1,30 at. %) (Saunders et al. 1988).

Při porovnání obsahů Sr a Ca ve stroncianitu z Těšínska a ze světových nalezišť je zřejmé, že stroncianit ze zkoumané oblasti je výrazně obohacený o Ca (obr. 36). Zatímco u stroncianitu z typové lokality Strontian ve Skotsku je obsah Ca pouhých 5 at. %, na zkoumaných lokalitách obsah Ca narůstá až k hodnotám přes 30 at. % (lokalita Vendryně). Vápenatý stroncianit s vysokým obsahem Ca je popisován ještě z jednoho světového naleziště, a to z lokality Serizjan cave v Iránu (Calaffora et al. 2011), kde obsah Ca ve stroncianitu roste až k hodnotám kolem 15 at. % (obr. 36). Obsah Ca klesá od středu krystalu směrem k okrajům. Krystalochemický vzorec stroncianitu s takto vysokým obsahem Ca bude vypadat takto:  $(\text{Sr}_{0,689}\text{Ca}_{0,311})_{1,000}\text{CO}_{3,000}$

Výsledky chemické analýzy síranů indikují tři minerály, a to baryt, barytocelestin a celestin.

Baryt je pro oblast Těšínska nově popisovaným minerálem. WDX analýzou byl určen z lokalit Dolní Těrlicko a Třinec „pod Sosnou“. Lze konstatovat, že se jedná o velmi čistý baryt, který obsahuje z příměsí pouze Sr a ve velmi malém množství také Si, Na, Zn a Ca. Ze stopových prvků byl stanoven Mg, Fe a P. Pouze u jednoho barytu z Dolního Těrlicka byl stanoven v podstatném množství obsah Sr (6,60 hm. %). Jelikož se jedná o nový minerál popisovaný z této oblasti, nemohu výsledky stanovení chemismu s ničím porovnat.



Obr. 36: Chemické složení stroncianitu v diagramu Sr vs. Ca (v at. %) v porovnání s dosud publikovanými výsledky ze zkoumané oblasti a také výsledky ze světových nalezišť.

U celestinu je situace velmi podobná. Jedná se o velmi čistý celestin s vedlejší příměsí Ba. Kruřa (1973) zmiňuje u celestinu z vedlejších příměsí ještě Ca, ten byl stanoven ovšem pouze v podřadném množství spolu s Na, Si a Zn. Mimo to dále uvádí podřadnou příměs Al, který nebyl v této práci analyzován. Ve stopovém množství byl v celestinu stanoven P, Mg, Fe a Mn. Celestin nebyl doposud z Těšínska analyzován, proto nemám žádné literární údaje pro srovnání chemismu. Při porovnání chemismu celestinu z Těšínska a ze světových nalezišť je zřejmé, že zdejší celestin obsahuje zvýšené množství barya (0,25 až 8,55 at. %). Ze světové lokality Aquitanian na Kypru, kde se celestin vyskytuje na ložiskách evaporitů, se obsah Ba pohybuje do 1,75 at. % (Garald et al. 2009). Podobné výsledky uvádí i Saunders et al. (1988) z lokality Tatum dome ve státě Mississippi, kde se obsah Ba v celestinu pohybuje do 2,20 at. %.

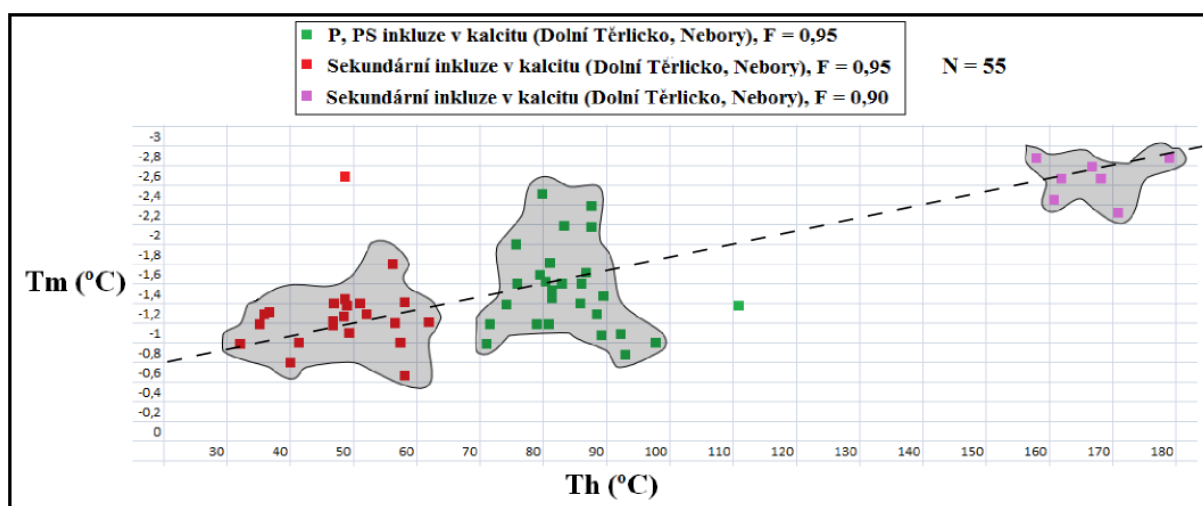
Posledním minerálem, u kterého byl studován chemismus, je barytocelestin. Tento minerál uvádí již z dřívějších výzkumů P. Rusek, bohužel se omezuje pouze na ústní sdělení (1962) a jakékoliv výsledky stanovení jeho chemismu chybí. Barytocelestin tvoří zřejmě přechodový člen mezi starším barytem a mladším celestinem. Barytocelestin byl nalezen ve studovaných výbrusech č. 1 a 3 z lokalit Dolní Těrlicko a Vendryně. Poměr Sr/Ba je přibližně 1:2, kdy obsah Sr kolísá v hodnotách od 0,317 apfu do 0,369 apfu a obsah Ba nabývá hodnot od 0,626 apfu do 0,681 apfu. Ve vedlejší množství se v barytocelestinu vyskytuje Na, Zn a Ca. Ze stopových prvků potom Mg, P, Fe a Cl.

## Fluidní inkluze

Všechny studované inkluze se nacházely v kalcitu. Pro jejich vysoký stupeň zaplnění (0,80-0,95) jsem u všech inkluzí pozoroval homogenizaci na kapalinu. Teploty homogenizace ( $T_h$ ) se pohybovaly v rozmezí 35 až 180°C. Nejvyšších teplot dosahovaly homogenizační teploty P/PS inkluzí, které se nejčastěji pohybovaly v intervalu od 70 do 135°C. Sekundární inkluze měly teploty homogenizace podstatně nižší a většinou se pohybovaly v rozmezí 35 až 85°C. Vyjimku tvořily sekundární inkluze s nižším stupněm zaplnění (0,80–0,90), u kterých se teplota homogenizace pohybovala v rozmezí 135 až 180°C.

Teploty tání posledního krystalu ledu ( $T_m$ ) byly pro všechny typy inkluzí velmi podobné (-0,6 až -2,6°C), kdy i inkluze s vyšší teplotou homogenizace ( $T_h$ ) měly nízkou teplotu tání posledního krystalu ledu (obr. 38). Z naměřených hodnot  $T_m$  jsem podle Bodnara (1993) určil hodnotu salinity roztoků. Všechny naměřené výsledky značí, že u kalcitu docházelo k uzavírání nízkosalinních (1,1 až 4,3 hm % NaCl ekv.) fluid s poměrně nízkou teplotou homogenizace (35 až 180°C). S rostoucí teplotou homogenizace se mírně zvyšuje salinita fluid (obr. 38).

Teplotu eutektika ( $T_e$ ) se mi podařilo změřit jen u sekundárních inkluzí s nižším stupněm zaplnění (0,80-0,90) a to pouze ve třech případech. Hodnoty teploty eutektika ( $T_e$ ) byly v rozmezí od -18,3 do -21,8°C, což indikuje systém obsahující vodné roztoky  $H_2O$ -NaCl (Borisenko 1977).



Obr. 38: Diagram závislosti  $T_h$  vs.  $T_m$  u P/PS a S fluidních inkluzí z lokalit Vendryně a Dolní Těrlicko, vzorek č. 6 a 7. Čárkovane je vyznačen trend zvyšování salinity fluid v závislosti s rostoucí teplotou homogenizace ( $T_h$ ).

## Srovnání výsledků fluidních inkluzí s dalšími zkoumanými lokalitami ve slezské jednotce

Naměřené parametry fluidních inkluzí lze porovnat s výsledky studia na lokalitě Tichá u Frenštátu pod Radhoštěm, kde byly fluidní inkluze zkoumány na vzorcích kalcitu z hydrotermálních žil s akcesorickým výskytem stroncianitu (viz kapitola 4.1). V kalcitu se vyskytovaly primární a sekundární fluidní inkluze L, L+V a V typu. Teploty homogenizace ( $T_h$ ) se pohybovaly od 63 do 172°C. Salinita fluid byla od 0,5 do 4,5 hm. % NaCl ekv. Vzácně byla u fluidních inkluzí změřena také teplota eutektika ( $T_e$ ), která se pohybovala kolem -38°C a značí systém NaCl–MgCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O fluid (Dolníček et al. 2010). Tyto výsledky jsou velmi podobné s naměřenými hodnotami fluidních inkluzí ze zkoumané oblasti.

Z lokality Stříbrník, která se nachází přibližně 30 km jz. od Českého Těšína a 10 km sv. od lokality Tichá, je z hydrotermálních žil popisován výskyt ropných inkluzí v kalcitu a křemenu. Tyto ropné inkluze byly studovány pod UV zářením, kdy vykazují fluorescenci v barvách modré a vzácněji žlutozelené (Dolníček et al. 2012). Teploty homogenizací P/PS vodných inkluzí typu L, L+V se pohybují v rozmezí 102 až 132°C (kalcit) a 136 až 188°C (křemen). Salinita kolísá v hodnotách 0,7 až 3,1 hm. % NaCl ekv.). U ropných inkluzí se kromě L a L+V inkluzí vyskytují vzácně také dvoufázové inkluze s pevnou fází (L+S), které byly studovány v křemenu. Ropné inkluze homogenizovaly na kapalinu v teplotách od -86 do +81°C (Dolníček et al. 2012). Při měření, které jsem prováděl v rámci svého výzkumu, jsem žádné mikrotermometricky měřitelné ropné inkluze neobjevil. Ze světových lokalit s výskytem stronciové mineralizace nejsou publikovány žádné výsledky mikrotermometrických měření pro srovnání.

## Výsledky studia vzorků pomocí katodové luminiscence

Při studii výbrusů pomocí katodové luminiscence jsem ve všech případech sledoval pouze koncentrickou zonálnost. Vyskytují se tři odlišné zóny s rozdílnou barvou luminiscence, které jsou rovnoběžné s růstovými plochami krystalů. Jednotlivé zóny mají rozdílnou mocnost. Lze sledovat jejich jasnou posloupnost. Jednotlivé zóny jsou ostře ohraničené, což naznačuje rychlé změny v chemickém složení či teplotních a tlakových podmínek během růstu (Pagel et al. 2000). Tyto změny podmínek během růstu jednotlivých krystalů způsobily u některých zrn krystalů dobře patrnou zonalitu, kterou jsem sledoval na hypautomorfne omezených zrnech kalcitu z lokality Dolní Těrlicko (vzorek č. 3). Výsledky katodoluminiscenčního studia jsou v souladu i s přítomností několika generací fluidních inkluzí v daných vzorcích, lišících se mikrotermometrickými parametry.

## Výsledky studia vzorků ve fluorescenčním mikroskopu

Všechny mikroskopicky zkoumané vzorky vykazovaly v UV záření světlo zelenou fluorescenci, zatímco ropa zkoumaná na čerstvých vzorcích vykazovala modrou fluorescenci. Rozdíl v barvě může být způsobený jiným zdrojem použitého UV záření při výzkumu s rozdílným excitačním rozsahem. Další možností je oxidace alifatických uhlovodíků ropy vlivem provzdušnění (Urcová 2012), kdy čerstvé vzorky s ropou byly zakonzervovány vrstvou epoxidu, zatímco zkoumané uhlovodíky ve výbrusech nikoliv. Zelená fluorescence ropy naznačuje, že se jedná o nezralou, těžkou ropu, která je obohacena o aromatické uhlovodíky (Stasiuk, Snowdon 1997). Bohužel bez výzkumu chemického složení ropy je tato identifikace pouze na základě UV-fluorescence velmi nepřesná. Výskyt stronciové mineralizace spolu s přírodními uhlovodíky je popisován také z lokality Tatum dome v Mississippi, kde se ropa vyskytuje spolu se stroncianitem a celestinem. Zdejší ropa má tmavě černou barvu a je vysoce viskózní. Geochemickou analýzou bylo zjištěno, že ropa vznikla biodegradací kapalných uhlovodíků, ze kterých byly přednostně odstraněny lehčí alkany (Saunders et al. 1988).



## 9. Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval studiem stronciové mineralizace těšínských vápenců z lokalit Třinec „pod Sosnou“, Nebory, Vendryně a Dolní Těrlicko. Z této oblasti doposud chyběly podrobnější výzkumy, které by zkoumaly vznik a původ této mineralizace. Stronciová mineralizace se vyskytuje na hydrotermálních žilách, které prostupují lavicemi vápenců nebo vápencovými konkrecemi. Mocnost jednotlivých žilek je většinou do 1 cm. Z již dříve popsaných minerálů se mi podařilo najít všechny kromě ankeritu. Mimo tyto minerály byly chemickou analýzou zjištěny dva nové minerály pro tuto oblast, barytocelestin a baryt. Sukcese minerálů bude pravděpodobně vypadat následovně, baryt-barytocelestin-celestin-stroncianit.

WDX analýzou bylo studováno chemické složení stroncianitu, celestinu, barytocelestinu a barytu. U stroncianitu byla zjištěna zvýšená příměs Ca, jenž byla chemickou analýzou potvrzena u všech zkoumaných vzorků. To je v souladu se staršími literárními údaji, kdy se autoři zmiňují o vápenatém stroncianitu, ale pouze z lokality Třinec „pod Sosnou“ (Jedlička 1988). Celestin je chemicky velmi čistý, kdy obsahuje pouze vedlejší množství Ba. Totéž platí pro baryt, který kromě vedlejšího množství Sr obsahuje pouze drobné příměsi Ca, Zn a Na.

Z výsledků studia fluidních inkluzí je zřejmé, že zdejší mineralizace je podobná některým dalším lokalitám ve slezské jednotce. Jedná se o epitermální mineralizaci s teplotou fluid nižší než 200°C (35 až 180°C), kdy v kalcitu docházelo k uzavírání nízkosalinních fluid (1,1 až 4,6 hm. % NaCl ekv.). Zdroj Sr lze pravděpodobně hledat v hydrotermální alteraci starších minerálních fází ve vápenci nebo z fosilií, které tvoří zdejší vápence.

Při studiu vzorků katodovou luminiscencí byla u kalcitu pozorována koncentrická zonálnost s odlišením tří rozdílných zón, které se lišily v rozdílných barvách luminiscence. To je zřejmě výsledkem náhlých změn podmínek při růstu kalcitu (Pagel et al. 2000). Při studiu přírodních uhlovodíků na fluorescenčním mikroskopu všechny vzorky vykazovaly světle zelenou luminiscenci. To může naznačovat málo vyžralou ropu, která je obohacená o aromatické uhlovodíky (Stasiuk, Snowdon 1997) nebo může být zelená fluorescence způsobena oxidací alifatických uhlovodíků ropy (Urcová 2012).

## 10. Literatura

Bodnar R. J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solutions. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 683-684.

Borisenko A. C. (1977): Determination of salt composition of the solutions fluid inclusions in minerals using cryometry. - *Geol.-Geoph.*, 8, 16-27.

Buday T., Cicha I., Hanzlíková E., Chmelík F., Koráb T., Kuthan M., Nemčok J., Pícha F., Roth Z., Seneš J., Scheibner E., Stráník Z., Vaškovský I., Žebera K. (1967): Regionální geologie ČSSR – díl 2 Západní Karpaty. ÚÚG. Praha.

Calaffora J.M., Waele J.D., Forti P., Galli E., Ebadi M. (2011): Strontianite from Serizjan cave (Iran). A new occurrence of this rare cave mineral with a discussion of its genesis. - *Cave Min.*, 449-454. Sacramento.

Dill H. G., Henjes-Kunst F., Berner Z., Stüben D. (2009): Miocene diagenetic and epigenetic strontium mineralization in calcareous series from Cyprus and the Arabian Gulf: Metallogenic perspective on sub- and suprasalt redox-controlled base metal deposits. – *Asian J. Earth Sci.* 34, 557-576.

Dolníček Z., Kropáč K., Uher P., Polách M. (2010): Mineralogical and geochemical evidence for multi-stage origin of mineral veins hosted by teschenites at Tichá, Outer Western Carpathians, Czech Republic. - *Chem. Erde.* 70, 3, 267-282.

Dolníček, Z., Kropáč K., Janíčková K., Urubek T. (2012): Diagenetic source of fluids causing the hydrothermal alteration of teschenites in the Silesian Unit, Outer Western Carpathians, Czech Republic: Petroleum-bearing vein mineralization from the Stříbrník site. - *Mar. Petrol. Geol.* 37, 27-40.

Eliáš M. (1970): Litologie a sedimentologie slezské jednotky v Moravskoslezských Beskydech. - *Sbor. geol. Věd., Geol.*, 18, 7-90. Praha.

Eliáš M., Skupien P., Vašíček Z., (2003): Návrh úpravy litostratigrafického členění nižší části slezské jednotky na českém území (Vnější Západní Karpaty). - *Sbor. Věd. pr. VŠB TU Ostrava* 49, 7-15. Ostrava.

Helz G. R., Holland H. D. (1965): The solubility and geologic occurrence of strontianite. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 29, 1303-1315.

Hryniv S., Peryt T. M. (2010): Strontium distribution and celestite occurrence in Zechstein (Upper Permian) anhydrites of West Poland. - *Chem. Erde*, 70, 1, 137-147.

- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): Geologická minulost České republiky. Academia Praha.
- Chmiel E. (2002): Pozoruhodné nálezy stroncianitu, ropy a asfaltu. - Minerál, 10, 5, 342-344.
- Chmiel E. (2003): Nález celestinu v ropné dutině v obci Nebory. - Minerál, 11, 1, 28-31. Brno
- Jedlička J. (1988): Vápenatý stroncianit z Třince. - Čas. Min. geol., 33, 1, 71-75. Praha.
- Kováč M., Michalík J., Plašienka D., Maťo L. (1993): Alpínský vývoj Západných Karpát. Vyd. PřF Masarykovy Univerzity. Brno.
- Krobot J. (2011): Dokumentace hydrotermálních mineralizací v bělokarpatské jednotce magurského flyše. - MS bakalářská práce, Univerzita Palackého. Olomouc.
- Kruťa T. (1973): Slezské nerosty a jejich literatura. Mor. museum v Brně. Brno.
- Macadam W. I. (1885): Analysis of a sample of strontianite from Strontian, Argyllshire. – Min. Magazine, 6, 30, 173-174. Edinburg.
- Marosz K., Chmiel E. (2007): Nové výskyty strontnaté mineralizace na Třinecku. – Minerál, 15, 3, 198-202. Brno.
- Menčík E., Adamová M., Dvořák J., Dudek A., Jetel J., Jurková A., Hanzlíková E., Houša V., Peslová H., Rybářová L., Šmíd B., Šebesta J., Tyráček J., Vašíček Z. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. ÚÚG. Praha.
- Novotný P. (2014): Nález celestinu na Moravě. – Minerál, 22, 1, 8–11. České Budějovice.
- Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D. (2000): Cathodoluminescence in Geosciences. Springer, Berlin – Heidelberg - New York.
- Pauliš P. (2001): Nejzajímavější lokality Moravy a Slezska I. Kuttna, Kutná Hora.
- Pauliš P. (2005): Nejzajímavější lokality Moravy a Slezska II. Kuttna, Kutná Hora.
- Rickman D. L. (1977): The origin of celestite (strontium sulfate) ores in the southwestern United States and northern Mexico. – Inst. Min. Technol. New Mexico.
- Rusek P. (1958): Nález vzácného nerostu na Těšínsku. – Zpr. Okr. Muz., 11, 258-259. Český Těšín.

Rusek P., Valošek Č. (1959): Zpráva o výsledku geologicko-mineralogických pochůzek v okrese Český Těšín. – Zpr. Okr. Muz., 12, 130-131. Český Těšín.

Saunders J. A., Prikryl J. D., Posey H. H. (1988): Mineralogic and isotopic constraints on the origin of strontium-rich cap rock, Tatum Dome, Mississippi, U.S.A. – Chem. Geol., 74, 1-2, 137-152. Austin, U.S.A.

Skougstad M. W., Horr C. A. (1963): Occurrence and Distribution of Strontium in Natural Water. – U.S.G.S. Water-Supply Paper 1496-D, 55-97.

Slaviček P. (1985): Nový výskyt stroncianitu v těšínských vápencích u Třince. - Čas. Min. geol., 30, 2, 213-214. Praha.

Stasiuk, L.D., Snowdon, L.R., (1997): Fluorescence micro-spectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: crude oil chemistry, density and application to petroleum migration. - Appl. Geochem. 12, 229-241.

Stráník Z., Menčík E., Eliáš M., Adámek J.: Flyšové pásmo Západních Karpat, autochtonní mesozoikum a paleogén na Moravě a ve Slezsku. In Geologie Moravy a Slezska. Sborník příspěvků k 90. výročí narození prof. Dr. Karla Zapletala. Brno: MZM a Sekce geol. věd PřF MU, 1993. 112-113.

Summers W. K., Schwab G. E., Brandvold L. A., (1972): Ground-water characteristics in a recharge area, Magdalena Mountains. – Bur. of Mines and Min. Resources. Socorro, New Mexico.

Urcová Š. (2012): Residua těžby a zpracování ropy v půdách. – MS, diplomová práce. Masarykova univerzita. Brno.

Internetové zdroje:

Moravské Karpaty, <http://moravske-karpaty.cz/> (adresa platná k 20. lednu 2014).

Mapové aplikace ČGS, <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace> (adresa platná k 1. červnu 2014)