

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

**KATEDRA GEOLOGIE**



**FLUIDNÍ INKLUZE VE ZLATONOSNÉ MINERALIZACI**

**ŠTOL ANNA A ZELENÁ JÁMA**

**(ZLATOHOŘSKÝ RUDNÍ REVÍR)**

Bakalářská práce

**Kateřina Mičudová**

Environmentální geologie (B1201)

Prezenční studium

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

**Olomouc 2014**

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

V Olomouci dne

.....

Podpis

Ráda bych poděkovala všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli na řešení mé bakalářské práce. Mé poděkování patří především mému vedoucímu RNDr. Zdeňku Dolníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, nesmírnou trpělivost, vstřícnost a pomoc při laboratorním výzkumu. Dále bych ráda poděkovala svým spolužačkám Lucii Steinerové a Radce Fišerové za veškerou pomoc a podporu a v neposlední řadě mé poděkování patří rodině a blízkým přátelům, kteří mne po celou dobu studia velmi podporovali.

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Kateřina Mičudová

**Název práce:** Fluidní inkluze ve zlatonosné mineralizaci štol Anna a Zelená jáma  
(zlatohorský rudní revír)

**Typ práce:** bakalářská práce

**Pracoviště:** Katedra geologie PřF UP

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

**Rok obhajoby:** 2014

**Abstrakt:** Práce se zabývá studiem fluidních inkluzí ve zlatonosné žilné mineralizaci štol Anna a Zelená jáma ve zlatohorském rudním revíru. Ve studovaných vzorcích křemene ze štoly Zelená jáma byly nalezeny systémy  $H_2O-NaCl$  a  $H_2O-CO_2-soli$ . Salinita inkluzí vodných roztoků byla nízká až střední (0,5 až 15,5 hmot. %  $NaCl$  ekv.). Inkluze s  $CO_2$  byly vždy trojfázové (L1+L2+V) s rozpuštěnými chloridy Na a nejspíše i Fe a Mg. Salinita těchto inkluzí byla nízká až střední (0,2 až 10,3 hmot. %  $NaCl$  ekv.). P-T podmínky zachycení fluid s  $CO_2$  byly odhadnuty na 215-230 °C a 110-130 MPa a fluida byla generována během retrográdní fáze variské metamorfózy. Ve studovaných fluidních inkluzích ze štoly Anna byly odlišeny fluidní systémy  $H_2O-NaCl$  a  $H_2O-NaCl$  s přítomností rozpuštěných chloridů Mg či Fe s nízkou až střední salinitou (0,5 až 15,0 hmot. %  $NaCl$  ekv.) a systém  $H_2O-NaCl-CaCl_2$ , který se vyskytoval v primárních inkluzích ze vzorku křemene ze zakládky a pouze v jediné primární inkluzi ze vzorku křemenné žíly č. 3. Salinita těchto inkluzí byla 9,6 až 25,6 hmot. %  $NaCl$  ekv. Široký rozptyl salinit ve vodných inkluzích ze štoly Anna může naznačovat míchání solanek a srážkových vod. Všechny typy vodných roztoků byly nejspíše generovány během variské metamorfózy.

**Klíčová slova:** silezikum, vrbenská skupina, zlatohorský rudní revír, štola Anna a Zelená jáma, fluidní inkluze, mikrotermometrie, P-T podmínky

**Jazyk:** Český jazyk

**Počet stran:** 55

**Počet příloh:** 0

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Kateřina Mičudová

**Title:** Fluid inclusions in gold-bearing mineralization from the galleries Anna and Zelená jáma (Zlaté Hory Ore District)

**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:** Thesis deals with the study of fluid inclusions in vein gold-bearing mineralization galleries Anna and Zelená jáma. In the studied samples from Zelená jáma gallery two fluid systems were found: H<sub>2</sub>O-NaCl and H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-salts. Salinity of inclusions of aqueous solutions was low to medium (0.5 to 15.5 wt. % NaCl eq.). CO<sub>2</sub> bearing inclusions were always three-phase (L1+L2+V) with dissolved chlorides of Na and probably also Fe and Mg. Salinity of these inclusions was low to medium (0.2 to 10.3 wt. % NaCl eq.). P-T trapping conditions of CO<sub>2</sub> bearing inclusions were estimated at 215-230 °C and 110-130 MPa and the fluids were generated during the retrograde phase of the Variscan metamorphism. In the studied samples from the Anna gallery three fluid systems were distinguished: H<sub>2</sub>O-NaCl and H<sub>2</sub>O-NaCl with the presence of dissolved chlorides Mg or Fe with low to medium salinity (0.5 to 15.0 wt. % NaCl eq.), and system H<sub>2</sub>O-NaCl-CaCl<sub>2</sub> which occurred in primary inclusions of quartz sample from the atle and only in one primary inclusion from quartz vein No. 3. Salinity of these inclusions was 9.6 to 25.6 wt. % NaCl eq. Wide variations in salinity of all inclusions from the Anna gallery may suggest mixing of brines and rainwater. Aqueous fluids were probable generated during the Variscan metamorphism.

**Key words:** Silesicum, Vrbno Group, Zlaté Hory Ore District, Anna and Zelená jáma galleries, fluid inclusions, microthermometry, P-T conditions

**Language:** Czech

**Number of pages:** 55

**Number of appendices:** 0

## OBSAH

1. ÚVOD .....	6
2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	7
3. ZLATOHORSKÝ RUDNÍ REVÍR.....	13
3.1 Geologická a ložiskově-geologická charakteristika .....	13
3.2 Zlatohorská ložiska s výskytem zlata a jejich mineralogie .....	16
3.3 Studované lokality .....	19
3.3.1 Štola Anna.....	19
3.3.2 Štola Zelená jáma.....	22
4. DOSAVADNÍ VÝZKUMY FLUIDNÍCH INKLUZÍ.....	24
4.1 Zlatohorský rudní revír .....	24
4.2 Další zlatonosné mineralizace silezika .....	25
5. METODIKA.....	27
6. VÝSLEDKY .....	28
6.1 Štola Zelená jáma .....	28
6.1.1 Petrografie inkluzí.....	28
6.1.2 Mikrotermometrie .....	30
6.1.2 a) Inkluze vodných roztoků.....	30
6.1.2 b) Inkluze s CO <sub>2</sub> .....	32
6.2 Štola Anna .....	34
6.2.1 Petrografie inkluzí.....	36
6.2.2 Mikrotermometrie .....	38
6.2.2 a) Inkluze vodných roztoků.....	38
7. DISKUZE.....	41
7.1 Chemické složení inkluzí ze štoly Zelená jáma.....	41
7.2 Chemické složení inkluzí ze štoly Anna.....	44
7.3 Srovnání výsledků s dosavadními výzkumy fluidních inkluzí v sileziku .....	46
7.4 P-T podmínky .....	48
8. ZÁVĚR.....	50
9. LITERATURA.....	51

## 1. ÚVOD

Zlatohorský revír je největším rudním revírem v Jeseníkách, ve kterém probíhala těžba barevných a drahých kovů s různými přestávkami po několik století (Fojt a Večeřa 2000). Poznatků o zlatohorském revíru je mnoho, avšak přímo fluidními inkluzemi z této oblasti se zabývalo jen málo autorů.

Jak už název napovídá, zlatohorský rudní revír je znám díky výskytu zlata. Zlatohorský rudní revír se vyznačuje přítomností mineralogicky rozdílných typů zlatonosných mineralizací, u nichž je prakticky bez výhrad přijímán metamorfogenní původ (Fojt a Večeřa 2000). Podmínky krystalizace primárních zlatonosných mineralizací zde však zatím nebyly studovány.

Cílem práce je přinést prvotní data o podmínkách vzniku zlatonosných křemenných žil ve štolách Anna a Zelená jáma, získaná na základě studia plynokapalných uzavřenin ve vhodných minerálních fázích. Rešeršní část práce je zaměřena na geologickou charakteristiku zájmové oblasti a zlatohorského revíru s důrazem na mineralogii zlata a dále je uveden přehled dosavadních poznatků ze studia fluidních inkluzí ve zlatonosných mineralizacích silezika.

Štola Anna a štola Zelená jáma se nacházejí ve zlatohorském rudním revíru, v dílčím úseku Zlaté Hory-sever. Obě štoly jsou v blízkosti známého kostela Panny Marie Pomocné.

## 2. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Silezikum je součástí moravskoslezské oblasti, která reprezentuje východní část Českého masivu (Chlupáč et al. 2011). Silezikum je v tektonickém podloží lugika a je od něj odděleno ramzovským nasunutím (Mísař et al. 1983).

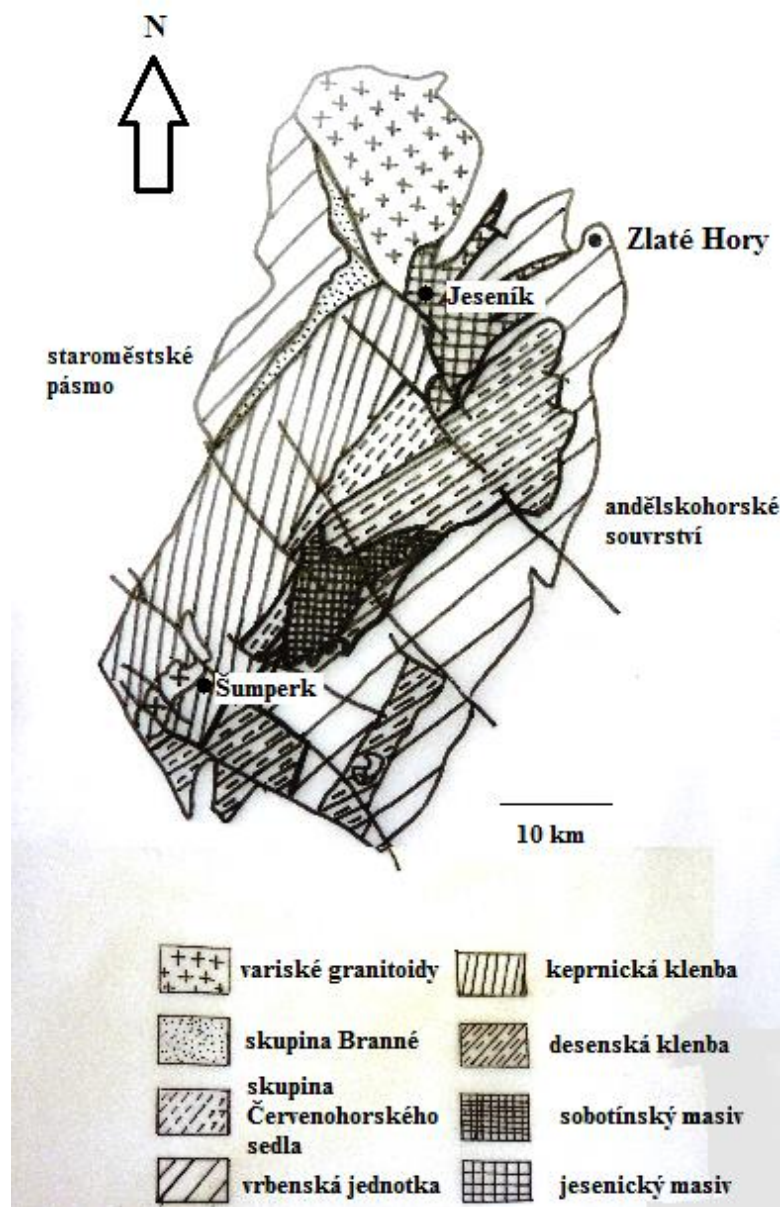
Na západě silezikum sousedí s lugickou oblastí, a to s její nejvýchodnější jednotkou staroměstským krystalinikem. Styk těchto jednotek je tektonický a je tvořen ramzovským a nýznerovským nasunutím (Řehoř 1998). Východní hranici silezika, kde je patrná změna facie a rychle se měnící metamorfní stupeň a tektonický styl, tvoří hranice mezi Hrubým a Nízkým Jeseníkem. Systém zlomů, s nejvýznamnějšími zlomy bušínským a zlomovým pásmem Hané, se považuje za jižní hranici. Na severu se silezikum noří pod terciérní a kvartérní formace (Mísař et al. 1983).

Silezikum bylo postiženo polyfázovou regionální metamorfózou kadomského a hercynského stáří a intenzivně deformováno. Základní stavba silezika vznikla kadomskou tektogenezí, která byla přetvořena mnohem intenzivnější hercynskou tektogenezí (Řehoř 1998). Intenzita prevariské metamorfózy odpovídá amfibolitové facii. V keprnické skupině však intenzita klesá až do facie zelených břidlic. Variská metamorfóza byla v celém rozsahu pravděpodobně velmi intenzivní a stará tektonická stavba byla přepracovaná natolik, že došlo k jejímu ztotožnění s mladší stavbou (Cháb et al. 2008). Mísař et al. (1983) uvádějí, že intenzita variské metamorfózy zřetelně stoupá od V k Z.

Na území silezika se poměrně hojně vyskytují polymetalická ložiska rud nebo zlata (Cháb et al. 1990). Řada rudních výskytů je soustředěna při západní hranici silezika s lugikem. Nejvýznačnějšími jsou ložiska stratiformních rud v Hrubém a Nízkém Jeseníku. Je to území mezi Zlatými Horami a Heřmanovicemi, Horním Benešovem u Bruntálu, Horním Městem u Rýmařova a zrudnění u Oskavy. Všechna tato ložiska mají úzký lokální vztah k hostitelskému prostředí devonských, sedimentárních, vulkanosedimentárních a vulkanických hornin (Fojt 1993).

Silezikum lze rozdělit na dvě strukturně i stratigraficky odlišná patra. Devonské patro, které obsahuje okrajové facie s klastiky vápenců a hlubší facie s bazickými vulkanity a předdevonské patro, které buduje keprnická a desenská klenba a vyskytují se v něm biotitické a dvojslídne ruly a svory s pestrými vložkami erlanů, amfibolitů, kvarcitů a grafitických hornin (Mísař et al. 1983).

Geologické jednotky tvoří v sileziku pás se složitou stavbou protažený ve směru SSV-JJZ. Od Z k V jsou to: velkovrbenská jednotka, skupina Branné, keprnická klenba, skupina Červenohorského sedla a desenská klenba (Chlupáč et al. 2011). Podle Řehoře (1998) mezi tělesa magmatogenního původu řadíme jednak amfibolitové masivy (jesenický a sobotínský masiv), které představují odkrytá metamorfovaná centra, kterými byl živen devonský vulkanismus, jednak tělesa granitoidů (žulovský a šumperský masiv), které intrudovaly v období doznívání variské tektogeneze (obr. 1).



Obr. 1: Geologické jednotky silezika (upraveno podle Svobody et al. 1964).



## Velkovrbenská jednotka

Velkovrbenská jednotka je vklíněna mezi ramzovské a nýznerovské nasunutí. Na severu i jihu je omezena zlomy ve směru SZ-JV (Mísař et al. 1983). Jedná se o velice pestrá jednotku tvořenou silně přeměněnými sedimenty a vulkanity nejspíše staropaleozoického stáří, kterou charakterizují nejrůznější typy rul a svorů, kvarcity, amfibolity, krystalické vápence a erlany (Mísař et al. 1983, Chlupáč et al. 2011). Ruly v této oblasti obsahují četné vložky amfibolitů, kalcitických i dolomitických mramorů a ojediněle i ortoruly a kvarcity. V podloží těchto hornin se nachází tzv. grafitová „série“ velkovrbenská. Grafitem bohaté polohy doprovázejí karbonátové horniny po celém obvodu této jednotky (Cháb et al. 2008).

## Skupina Branné

Skupina Branné lemuje západní okraj keprnické klenby od Jeseníku po Bušín (Koverdinský 1993). Nachází se v podloží ramzovského nasunutí. Je tvořena velmi pestrými horninami a lze ji rozdělit do dvou částí. Spodní část je tvořena jemnozrnnými, jemně laminovanými fylity, kvarcity a nečistými vápenci, které dosahují v severní části mocnosti 120-150 m a jejichž protolit má stáří svrchního proterozoika až spodního kambria (Mísař et al. 1983, Koverdinský 1993). Svrchní část je budována slabě až středně metamorfovanými fylity, které obsahují vložky metatufů a vzácných mafických metavulkanitů, dále grafitickými fylity, vápenci, metakonglomeráty a kvarcity a je nejspíše devonského stáří (Mísař et al. 1983, Cháb et al. 2008).

## Keprnická klenba

Keprnická klenba je nejzápadnější a nejhlouběji obnaženou klenbou silezika (Koverdinský 1993). Keprnická klenba se stýká v tzv. koutském synklinoriu s klenbou desenskou. Horniny keprnické klenby na východě navazují na horniny spodního souvrství skupiny Branné. Na severu i jihu je hranice tektonická (Mísař et al. 1983). Jádrem část tvoří těleso hrubozrnné keprnické ortoruly, jejímž protolitem byl velmi pravděpodobně středně až hrubě zrnitý porfyrický monzogranit. Keprnické ortoruly jsou staré 480-570 miliónů let a jsou lemovány vnitřním a vnějším obalem. Vnitřní obal je tvořen svory a biotitickými rulami s vložkami erlanů a kvarcitů. Vnější obal tvoří biotitické fylity postižené mylonitizací, muskovit-chloritické fylity a mramory nejspíše paleozoického stáří (Cháb et al. 2008).

## Skupina Červenohorského sedla

Skupina Červenohorského sedla představuje nesouvislý pruh hornin devonského stáří, které jsou na východě omezeny desenskou klenbou a na západě keprnickou klenbou (Svoboda et al. 1964). Směrem na jih přechází skupina Červenohorského sedla do sobotínského amfibolitového masivu a směrem na sever do jesenického amfibolitového masivu (Řehoř 1998). Tvoří ji řada pestrých tektonických šupin, zejména devonských kvarcitů, fylitů, zelených břidlic s retrográdně metamorfovanými mylonitizovanými rulami a svory, neoproterozoických metadacitů a menších těles metagranitů. Metamorfóza hornin skupiny Červenohorského sedla odpovídá amfibolitové facii (Cháb et al. 1994, Chlupáč et al. 2011).

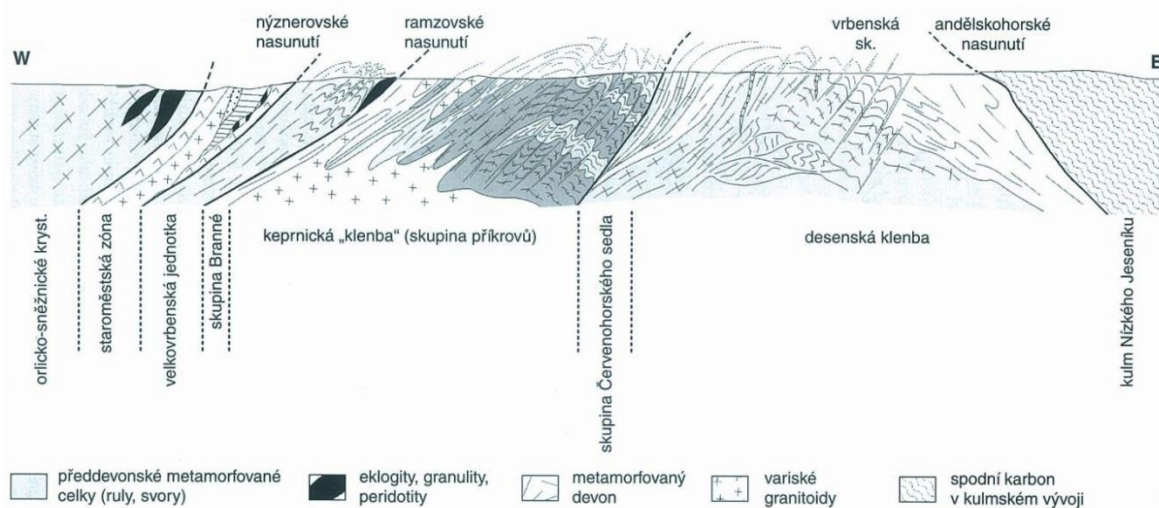
## Desenská klenba

Ohraničení desenské klenby na severozápadě tvoří metamorfované horniny jesenického amfibolitového masivu. Na jihu tvoří hranici horniny sobotínského amfibolitového masivu. Na západě je ohraničena skupinou Červenohorského sedla a dále na jihozápadě tvoří hranici keprnická skupina (Cháb et al. 2008, Chlupáč et al. 2011). Desenská klenba představuje proterozoický paraautochton tvořený biotitovými rulami a mylonitizovanými granitoidy o stáří protolitu 570-650 Ma. Horniny jádra desenské klenby jsou metamorfovány v amfibolitové facii. Během variské orogeneze byly starší struktury přetištěny dvěma fázemi variské deformace, dosahující na většině území desenské jednotky podmínek facie zelených břidlic (Fojt a Mixa 2002). Základem klenby jsou monotónní biotitické a dvojslídne ruly, které jsou slabě migmatitizované s pestrými vložkami kvarcitů, amfibolitů a erlanů. Tyto horniny jsou hojně rozšířeny na styku desenské a keprnické klenby v koutském synklinoriu. Menší zastoupení v desenské klenbě mají horniny ortorulového vzhledu a okaté a perlové migmatity. Svéráznými horninami v desenské skupině jsou páskované magnetitové rudy (Mísař et al. 1983). Konformně uložená ložiska Fe-rud se nacházejí ve svrchnoproterozoických biotitických pararulách (Kropáč 2012).

## Vrbenská skupina

Vrbenská skupina nasedá na desenskou jednotku (Fojt a Mixa 2002) a vystupuje na východním okraji silezika (obr. 2). V severním uzávěru desenské klenby jsou devonské horniny označovány jako rejvízské vrstvy. Onřejovickým zlomem jsou vrbenské vrstvy na severu odděleny od stejně starých rejvízských vrstev a na jihu pokračují k Libině a Uničovu (Mísař et al. 1983). Horniny vrbenské skupiny jsou tvořeny metamorfovanými

sedimentárními a vulkanosedimentárními sekvencemi spodního až svrchního devonu. Mezi tyto horniny patří různé typy fylitů s kvarcitickými vložkami a železnými rudami typu Lahn-Dill, kyselé i bazické metatufy, křemenné metakonglomeráty, porfyroidy, mramory, amfibolity. V okolí Vrba nasedají horniny kulmu na droby, vápence a vápnité fylity, které jsou nejmladšími horninami vrbenské skupiny. Horniny vrbenské skupiny vykazují k východu vyznívající metamorfózu facie zelených břidlic a nejméně dvě hlavní deformační fáze (Mísař et al. 1983, Fojt a Mixa 2002). Mocnost vrbenských vrstev dosahuje až 3000 m, avšak reálná mocnost je nižší v důsledku tektonických redukcí (Cháb et al. 2008). Vrbenskou skupinu můžeme sledovat v souvislém pruhu od Hornomoravského úvalu u Uničova až k Zlatým Horám při hranici s Polskem (Chlupáč et al. 2011). Horniny vrbenské skupiny vystupují v tektonickém nadloží mylonitů a jsou zde zastoupeny muskovitickými kvarcity, v nadloží s grafitickými muskovitickými až chlorit-muskovitickými fylity s polohami metakvarceratofyrů a zelených břidlic (Hanžl 1997). Dále se tu objevují zelené břidlice, metatrachyty, porfyroidy, oligomiktní metakonglomeráty a mramory. S metavulkanity jsou spojeny četné drobné čočky metaferolitů, které byly těženy až do 60. let 20. století. Na východě v podloží andělskohorského nasunutí se objevují mramory a arkózové metapískovce (Cháb et al. 2008).



Obr. 2: Schematický geologický profil Hrubým Jeseníkem (Chlupáč et al. 2011).

### Jesenický masiv

Tvoří těleso čočkovitého tvaru mezi Bělou, Jeseníkem a Rejvízem (Koverdinský 1993). Jesenický masiv představují přeměněné devonské bazické až ultrabazické horniny a to gabra a paleobazalty. Vyskytují se zde především metabazika s jejich tufy a tufity jako

jsou amfibolity a různé typy zelených břidlic (Řehoř 1988). Amfibolity jesenického masivu se nacházejí mezi horninami koutského synklinoria na sever od skupiny Červenohorského sedla a rejvízských vrstev, další tělesa amfibolitů zasahují až do pláště žulovského masivu. Je pro něj typické střídání hornin jesenického masivu s horninami rejvízských vrstev (Mísař et al. 1983).

### Sobotínský masiv

Horniny sobotínského masivu se stýkají s předdevonskými formacemi silezika. Sobotínský masiv obsahuje jen velmi málo metavulkanitů. Většina amfibolitů vznikla z gaber a dioritů (Mísař et al. 1983). V sobotínském masivu vystupují především přeměněné ekvivalenty hlubinných až podpovrchových typů vyvřelin jako je gabroamfibolit, amfibolické ruly, krupníky (Řehoř 1988). Ve srovnání s jesenickým masivem jeví vyšší metamorfni postižení, proto je považován za převážně intruzivní. Ultrabazické členy jako je hornblendit, chloriticko-mastková nebo mastková břidlice a serpentinit jsou středno až svrchnodevonského stáří (Koverdinský 1993).

### Žulovský masiv

Nachází se severně od okrajového zlomu lugické oblasti a východně od zóny Niemczy (Mísař et al. 1983). Je ohraničen na jihu okrajovým sudetským zlomem a směrem na sever pokračuje do Polska, kde se noří pod terciérní a kvartérní uloženiny. Východní okraj na kontaktu s devonem velkovrbenské skupiny je intruzivní (Chlupáč et al. 2011). Žulovský masiv vznikl řadou po sobě následujících intruzí amfibolicko-biotitických dioritů a granodioritů, biotitických granitů až granodioritů bohatých na křemen (Mísař et al. 1983). Je tvořen křemenným dioritem až dioritem a granitem a granodioritem bohatým na xenolity. Původně otevřené pukliny v plutonu byly vyplněny pegmatitovými, aplitovými a křemennými žilami. V okrajích tělesa jsou často uzavřeny xenolity hornin z jeho pláště (ruly, amfibolity, kvarcity vápence aj.; Řehoř 1988).

### Šumperský masiv

Nalézá se v jižní části keprnické klenby mezi Bludovem, Jeseníkem a Temenicí (Mísař et al. 1983). Vytváří ostrůvky v okolí Šumperku a Bludova. Intrudoval v doznívající fázi variské tektogeneze (Řehoř 1998). Základní horninou šumperského masivu je středně zrnitý biotitický granodiorit. Masiv je rozdělen temenicím zlomem na dvě části. Velmi

vzácně se zde vyskytují žíly pegmatitů a aplitů (Mísař et al. 1983). Z okolí Bludova jsou známé kontaktně přeměněné vápence (erlany) označované jako bludovity (Řehoř 1988).

### **3. ZLATOHOŘSKÝ RUDNÍ REVÍR**

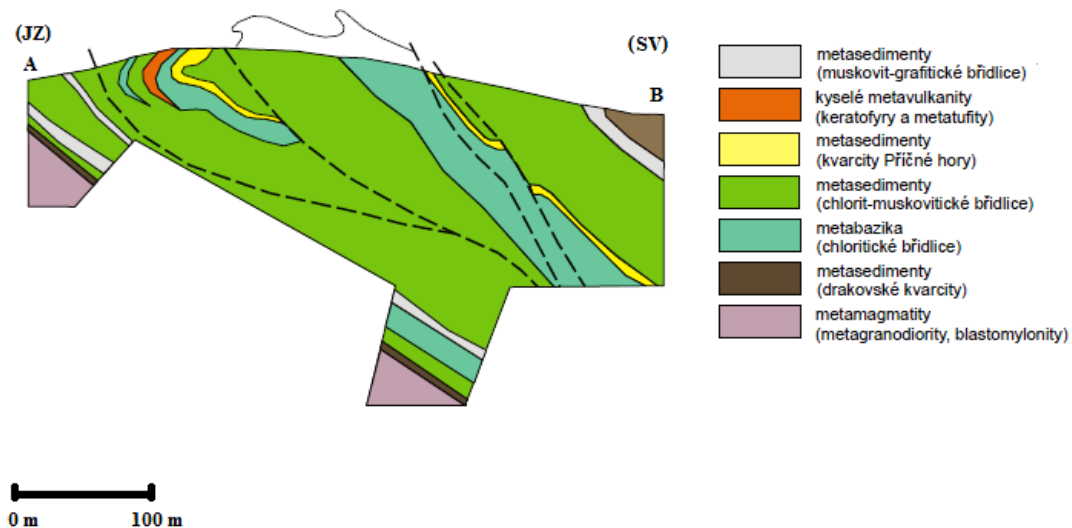
#### **3.1 Geologická a ložiskově-geologická charakteristika**

Rudní revír se rozkládá mezi obcemi Zlaté Hory, Heřmanovice, Horní Údolí a Dolní Údolí na ploše asi 25 km<sup>2</sup>. Toto území se nachází v severovýchodní části silezika v blízkosti státní hranice s Polskem. Zlatohorským rudním revírem je myšleno území, jehož středem je Příčná hora a které je na východě omezeno údolím Prudníku, na jihu silnicí Heřmanovice-Horní Údolí, na západě horním tokem Olešnice a státní silnicí Ondřejovice-Zlaté Hory na severu (Kalenda 1998).

Území je tvořeno devonskými horninami vrbenské skupiny, která je vnější obalovou součástí desenské klenby. V podloží a na západním okraji vrbenské skupiny jsou horniny jádra desenské jednotky (metagranitoidy, blastomylonity). Na východě je zlatohorský rudní revír ohraničen mladšími horninami andělskohorského souvrství (břidlice, prachovce, droby). Na S jsou horniny vrbenské skupiny překryty kvarténními sedimenty, částečně ledovcového původu (Večeřa a Večeřová 2010).

Zlatohorský rudní revír je tvořen komplexem vulkanosedimentárních hornin (břidlic, kvarcitů a keratofyrů), které prodělaly složitý metamorfně-tektonický vývoj. Během variského vrásnění došlo k vytvoření složitě členěného antiklinoria, které se obloukovitě stáčí ze směru ZSZ-VJV, přes SZ-JV až do směru SSZ-JJV v jižní části, s vrásovo-šupinovým vývojem (obr. 3). Celá struktura upadá k severovýchodu a je rozlámána mladšími zlomy na jednotlivé bloky poklesávající k jihovýchodu (Večeřa a Večeřová 2010).

Vůdčím litostratigrafickým horizontem antiklinoriální stavby je kvarcit Příčné hory. Dalšími typy metasedimentů jsou krystalické vápence, muskovitické, grafit-muskovitické, karbonátické a kvarcité břidlice. Dále se zde vyskytují kyselé metavulkanity, zejména kvarckeratofyrové metatufy a metatufity, které jsou významné pro své těsné prostorové sepětí s rudní mineralizací. Bazické metatufy reprezentované především zelenými chloritickými a chlorit-epidotickými břidlicemi, se nacházejí nejméně ve dvou různých stratigrafických úrovních. Často se zde vyskytují i horniny přechodného typu jako jsou metasedimenty s kyselou nebo bazickou vulkanickou příměsí (Kalenda 1998; obr. 4).



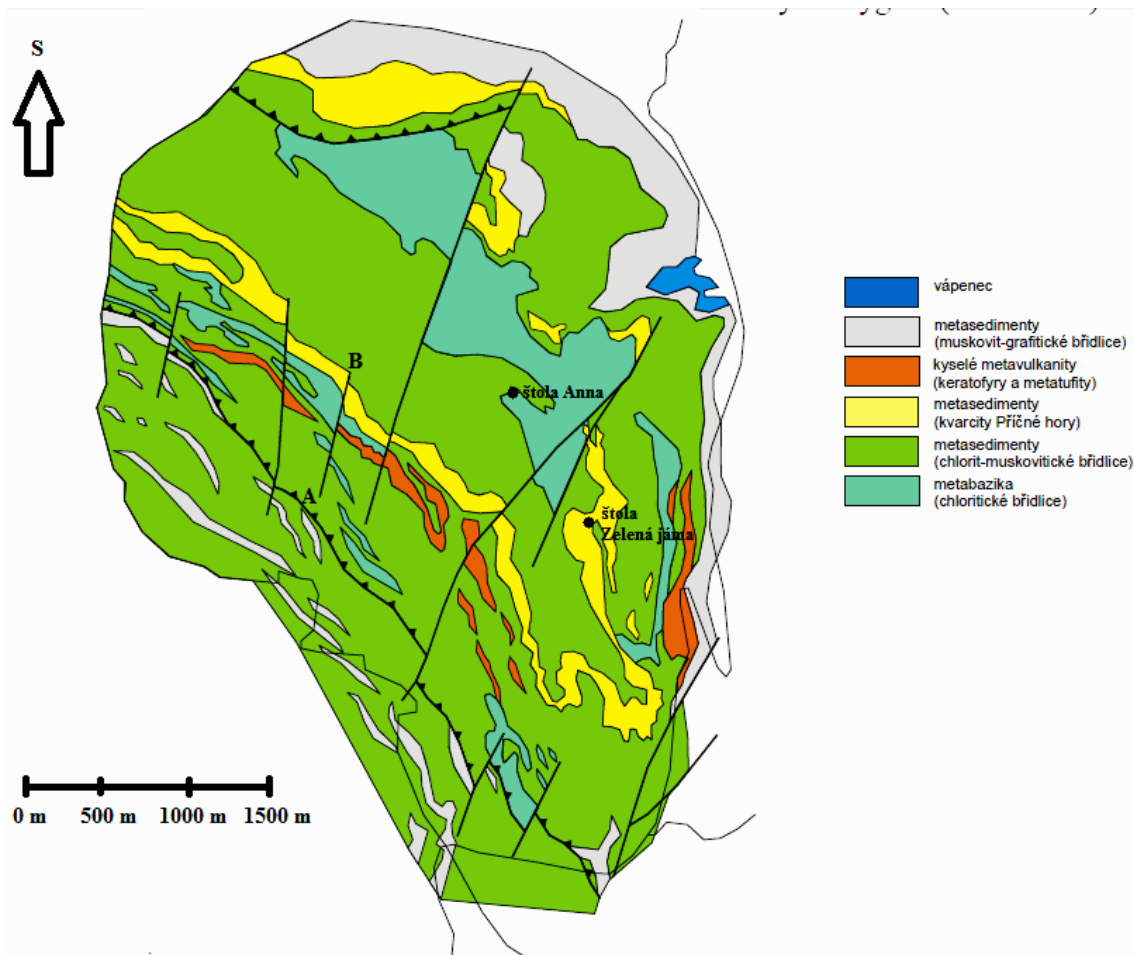
Obr. 3: Řez ložiskem Zlaté Hory-západ (pozice řezu v mapě viz obr. 4) ve zlatohorském revíru (podle Kalendy a Grygara 1987-1992 in Večeřa a Večeřová 2010).

Rudní mineralizace ve zlatohorském revíru je tvořena nekонтрастními tělesy sulfidických rud s výraznou převahou pyritu a pyrhotinu. Zlato, chalkopyrit, chalkozín, sfalerit a galenit se řadí mezi užité minerály a tvoří zde jen doprovodnou složku sulfidické mineralizace (Kalenda 1998). Ve zlatohorském revíru se vyskytují také sekundární minerály, jako je cerusit, anglesit, měď, dundasit a linarit (Večeřa a Večeřová 2010). Také se zde vyskytuje baryt, který je součástí stratiformní mineralizace, je i supergenního původu či součástí žilek alpské parageneze (Fojt et al. 2007).

Zrudnění je většinou vtroušené nebo páskované a tvoří čočkovitá tělesa, která jsou souběžná s metamorfní foliací nebo s litologickými hranicemi hornin. Dalším typem zrudnění jsou kulovitě seskupená strmá tělesa, tvořící bohaté rudní sloupy, uložené šikmo k průběhu horninových pruhů. (Večeřa a Večeřová 2010). Tato tělesa vznikala především v kvarcitech nebo metakeratofyrových horninách a jejich tufech, případně na kontaktu s nadložními grafit-muskovitickými břidlicemi. V distribuci užité složky sulfidických rud byla zjištěna primární zonálnost. Měděné rudy se nacházejí v centrální části a v hlubších partiích rudních zón, zatímco na periferiích rudních zón se nacházejí olovnatozinkové rudy. Pyrit a pyrhotin tvoří hlavní část rudních těles. Zlato se objevuje společně s některými typy jemnozrnných pyritů ovlivněných metamorfózou (Kalenda a Večeřa 2002-2004).

Z ložiska Zlaté Hory-jih jsou známy dva rozdílné typy rudních těles (přikontaktní a vnitřní), které se od sebe výrazně liší strukturální pozicí a mineralogickým složením. Vnitřní tělesa, která jsou označována jako tělesa typu Katanga, mají diskordantní průběh a sledují

puklinově zlomové struktury v poloze kvarcitů. Tato vnitřní tělesa patrně vznikla metamorfní mobilizací rud a jsou tvořena hlavně pyritem a chalkopyritem (Janák a Augusta 1969, Morávek et al. 1992).

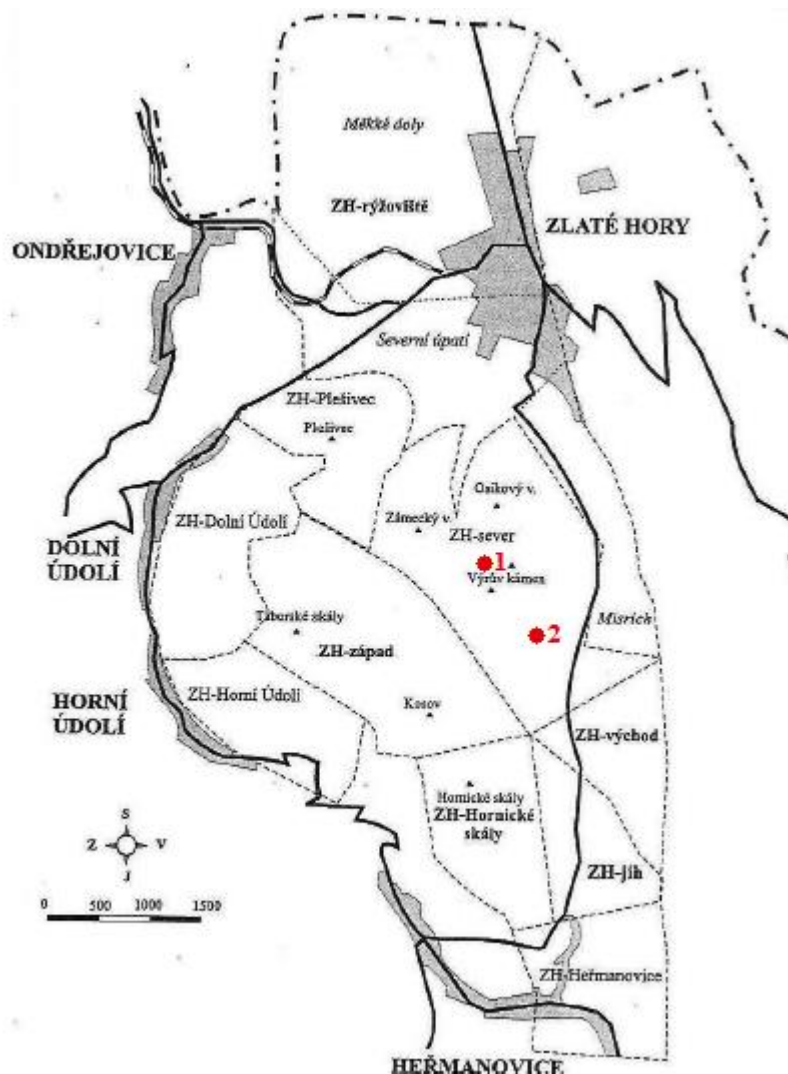


Obr. 4: Geologická mapa zlatohorského rudního revíru (podle Kalendy a Grygara 1987-1992 in Večeřa a Večeřová 2010) s vyznačením umístění studovaných štol a řezu ložiskem Zlaté Hory-západ (A-B) z obr. 3.

Dle současných znalostí je revír pokládán za nejvýznamnější ložiskový prostor ve východní části variské metalogenetické subprovincie s bohatou tradicí v báňsko-historické minulosti, kdy zde bylo těženo zlato jak z primárních ložisek, tak i z rozsypů (Fojt et al. 2001).

Ve zlatohorském revíru můžeme vyčlenit několik samostatných ložisek, které se liší svojí geologickou pozicí nebo minerálním obsahem (Večeřa a Večeřová 2010).

Mezi nejprozkoumanější lokality z pohledu zlata patří ložiska Zlaté Hory-sever (v prostoru ložiska Marie Pomocné), Zlaté Hory-východ a Zlaté Hory-západ (obr. 5).



Obr. 5: Dílčí úseky zlatohorského revíru s vyznačením umístění studovaných štol: 1) štola Anna, 2) štola Zelená jáma (Fojt a Večeřa 2000).

### 3.2 Zlatohorská ložiska s výskytem zlata a jejich mineralogie

#### Ložisko Zlaté Hory – sever

Nejvíce prozkoumanou lokalitou (z pohledu zlata) z ložiska ZH-S je ložisko Marie Pomocná. Na tomto ložisku se vyskytují hlavně muskovit-chloritické fylity a také muskovitické kvarcitické fylity s četnými žilami zlatonosného křemene. Tyto žíly mají proměnlivou mocnost od 0,5 m do 2 m, jsou velmi strmé vůči foliaci hornin a probíhají



ve směru VSV-ZJZ až V-Z. Žíly jsou vyplněny křemenem, muskovitem, chloritem a zlatem, ale také agregáty sulfidů – pyrotinem, pyritem, chalkopyritem (Novotný a Zimák 2002).

Ložisko Marie Pomocné zahrnuje štoly Marie Pomocné I až IV.

Na lokalitě Marie Pomocná I bylo zlato rozděleno do 2 typů:

1. typ zlata: Zlato s relativně vysokou ryzostí: 913-944. Jedná se o zlato z drúzových dutin v centrální části křemenného bloku. Dosahuje velikosti max. 0,3 mm a vytváří nedokonale vyvinuté oktaedry. Tyto oktaedry zlata narůstají na krystaly křemene prizmatického tvaru a částečně i do nich (Novotný a Zimák 2002, Bártková 2010).

2. typ zlata: Zlato s nižší ryzostí: 778-824. Zlato pochází z centrální části křemenného bloku, vytváří drobné plíšky a shluky do 1,5 mm. Objevuje se na stěnách drobných dutinek vyplněných agregáty limonitu (Novotný a Zimák 2002, Bártková 2010). Zlato druhého typu se nacházelo v asociaci se sulfidickými materiály, což podle Zimáka a Novotného (2002) způsobuje pokles ryzosti zlata.

Na lokalitě Marie Pomocná III byly rozlišeny také dva typy zlata:

1. typ zlata: Zlato vyskytující se v křemenných žilách bez sulfidů nebo s minimálním zastoupením sulfidů. Zlato ze dvou vzorků z tohoto typu zrudnění má ryzost 890 a 900 (Bártková 2010).

2. typ zlata: Zlato, které je vázáno na místa výskytu limonitu a jeho okolí, pocházející z křemenné žíly s kavernami, které vznikly vyloučením sulfidických minerálů. Zlato tohoto typu má ryzost v rozpětí 860-880 (Bártková 2010).

### Ložisko Zlaté Hory – východ

Toto ložisko je situováno v devonských metamorfitech vrbenské skupiny a to převážně v kvarcitických horninách v podloží fylitů a andělskohorských břidlic. Sulfidy se nacházejí v metamorfitech vrbenské skupiny (v kvarcitech), zčásti i v krystalických vápencích a jsou převážně vtroušeny nebo tvoří smouhovité či páskované texturní typy (Fojt et al. 1987).

Byly zde provedeny orientační analýzy zlata, ze kterých vyplývá, že zlato se na lokalitě ZH-V objevuje v průměrné koncentraci 0,2 g/t rudniny. Fojt et al. (1987) zde však vyčlenili i tak zvané zlaté zóny, které se nacházejí ve středních (centrálních) partiích

ložiskových těles a mají průměrný obsah zlata kolem 0,989 g/t rudniny. Tento obsah zlata byl v tehdejší době z ekonomického hlediska těžitelný. Tak zvané zlaté zóny mají podle Fojta et al. (1987) mocnost od 2 do 25 m a zlato se v nich nevyskytuje volně, nýbrž pouze vázáno na strukturu koexistujících sulfidů. Tato koexistence zlata a sulfidů ukazuje na to, že na ložisku ZH-V jsou projevy metamorfního ovlivnění méně intenzivní než u lokality ZH-Z a proto nedošlo k uvolnění zlata ze sulfidů (Fojt et al. 1987).

### Ložisko Zlaté Hory – západ

Struktura ložiska ZH-Z je tvořena tektonicky predisponovanou strukturou křemičitých hornin, v níž se v těsné vazbě setkávají kvarcité Příčné hory a břidlice různých typů. V nadloží i podloží se střídají polohy muskovit-chloritové kvarcitové břidlice a chlorit-muskovitové kvarcitové břidlice (Fojt et al. 2001). Nejvýznamnější zrudnění se objevuje při svrchním kontaktu kvarcitů a kyselých metavulkanitů v podobě laločnatých těles a je tvořeno pyritem, sfaleritem, chalkopyritem, galenitem, pyrhotinem a zlatem (Večeřa a Večeřová 2010).

Součástí zrudnění je i tak zvaný zlatý sloup, který je tvořený čočkovitě protáhlým tělesem, které vychází na povrch jižně od vrcholu Příčné hory a upadá pod úhlem 55° k východu (Morávek et al. 1992). Podle Kalendy (1986) se jedná o zploštělý rudní sloup o mocnosti 80-100 metrů a šířce 100-200 metrů v generálním směru VSV-ZJZ. Rozsah je znám od hloubky 950 m n. m. do 380 m n. m. a jeho struktura je vyvinuta jako obohacená akumulace polymetalických rud (Zn, Pb, Cu) s nerovnoměrně zastoupeným zlatem. Průměrný obsah zlata je 2,4 g/t.

Zvýšené obsahy zlata jsou soustředěny do úzkých 1-2 m mocných zón s jemnozrnnou pyritovou mineralizací a vtroušeninami chalkopyritu (Kalenda 1986). Zlato se také vyskytuje v drobných tělesech pyrit-pyrhotin-chalkopyritových rud, která jsou uložena v chlorit-muskovitických břidlicích v blízkosti kontaktu kvarcitů, ale jen v množství 0,5 g/t (Zimák et al. 2003).

Zlato z ložiska ZH-Z bylo rozčleněno do čtyř morfologických typů:

1. typ zlata: Drobné, rozeklané nepravidelné plíšky nebo inkluze zlata v pyritu o ryzosti 947 a okrouhlá zrna v chalkopyritu o velikosti 0,0X mm s průměrnou ryzostí 659 nebo drobné rozeklané plíšky z horninové hlušiny. Proměnlivost chemismu zlata se vysvětluje procesy metamorfního přepracování (Fojt a Hauk 1984, Fojt et al. 1987).

2. typ zlata: Až 3 mm velké zlatinky s nepravidelnými tvary, členité a silně rozeklané. Zlato vyskytující se společně s chalkopyritem a pyritem mělo náznak krystalového omezení. Tento typ zlata se na lokalitě ZH-Z vyskytuje nejčastěji (Hauk a Odehnal 1989).

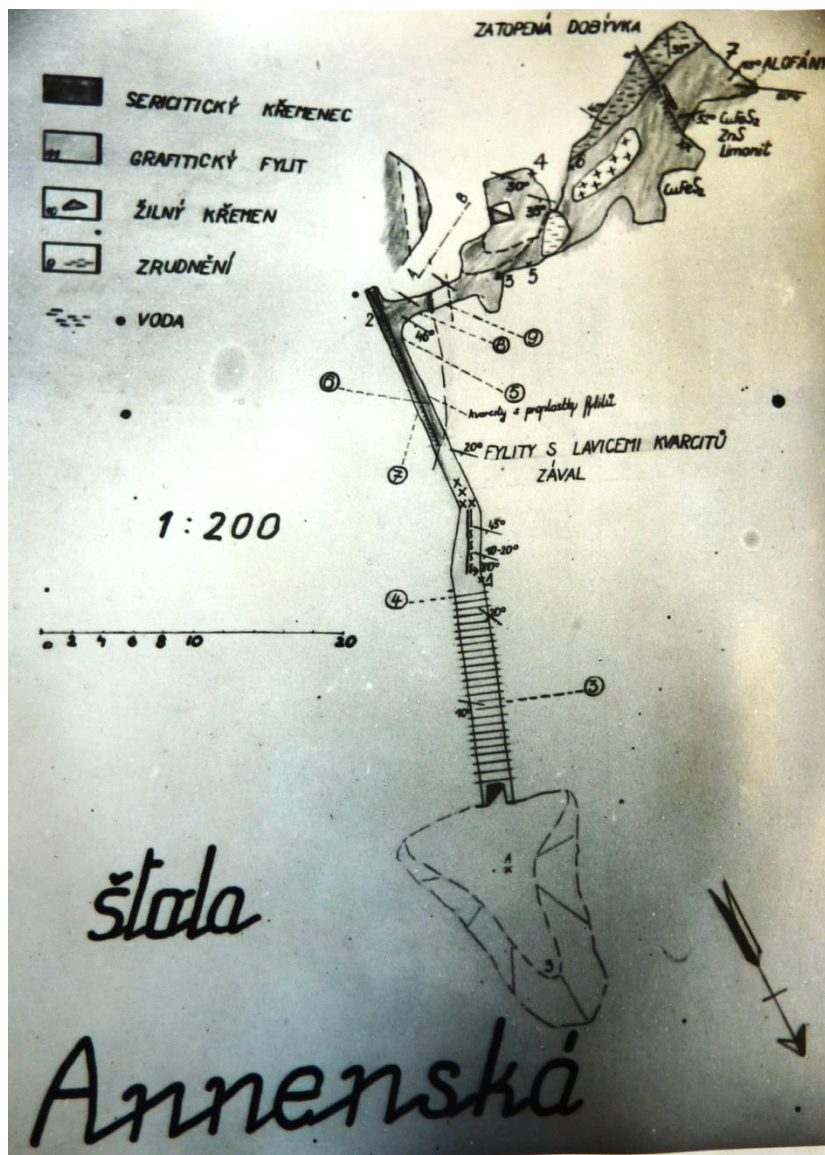
3. typ zlata: Zlato vytváří téměř dokonale omezené zlatinky o velikosti 0,0X mm a srůstá s chalkopyritem v přímém sousedství sfaleritu a pyrhotinu (Hauk a Odehnal 1989).

4. typ zlata: Zlatinky o velikosti 0,0X-X mm různých tvarů. Plíškovité zlato s průměrnou ryzostí do 850 a oválné nebo masivní o vysoké ryzosti až 991. V poruchových partiích byla nalezena izometrická individua s nedokonalými krystalovými tvary. Tento typ zlata je považován za cementační zlato (Fojt et al. 1987, Fojt a Hauk 1984).

### **3.3 Studované lokality**

#### **3.3.1 Štola Anna**

Štola Anna se nachází na západním svahu kóty Výrův kámen v 730 m n. m. v úseku Zlaté Hory-sever poblíž nápadných Sovích skal (obr. 5). Směr štoly je zpočátku severo-jihní, ale po 40 metrech uhýbá o 90° k západu (obr. 6). V 52. metru je komín, kterým je snadný přístup do rozšířené dobývky. Ta je ukloněna a její spodní část je zatopena vodou. Štola má celkovou délku 71 metrů. Počátek štoly je ražen v grafitických fylitech vrbenské skupiny s hojnými křemennými čočkami na levém boku štoly. Směrem ke styku se sericitickými kvarcity přibývá kvarcitických vložek. Oba typy hornin (kvarcity a fylity) jsou disharmonicky zvrásněny. Po odbočení štoly k západu se v sericitických kvarcitech objevuje fylitická vložka, která zasahuje až do stěn komína. Dobývka tvořená kvarcity je asi 17 metrů dlouhá a asi 6 metrů široká. Zvrásněné kvarcity tu tvoří jakousi antiklinálu porušenou četnými puklinami (Zítek 1955).

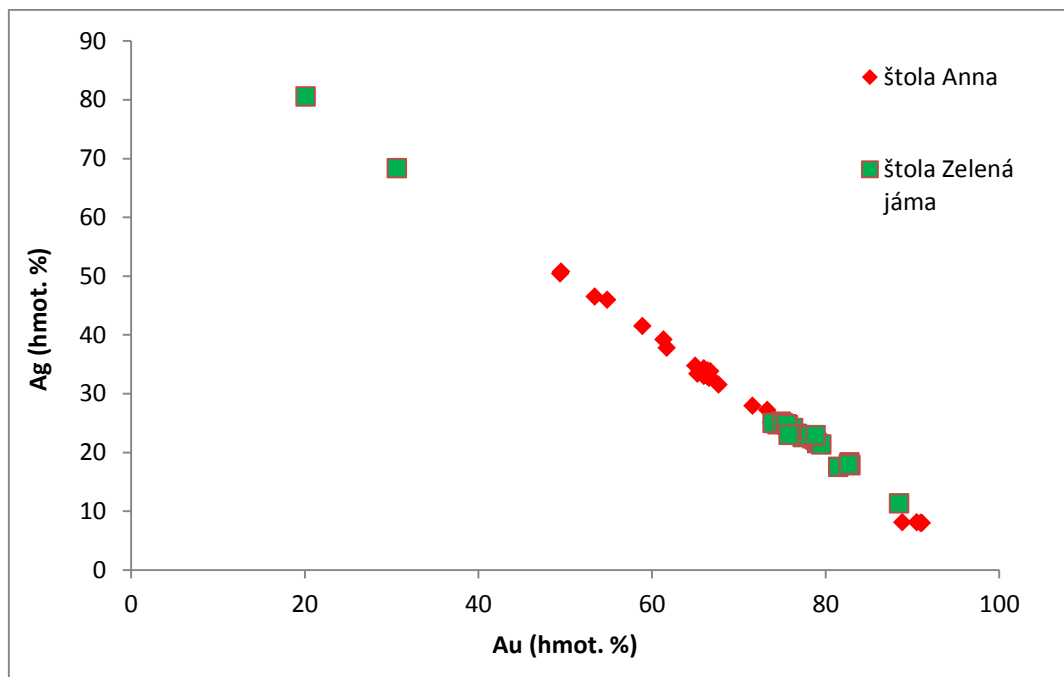


Obr. 6: Důlní mapa Annenské štoly (Zítek 1955).

Zrudnění štoly Anna je vázáno na styk grafitických fylitů a sericitických kvarcitů a je tvořeno vtroušeným až žilkovitým chalkopyritem, který doprovází pyrhotin, akcesoricky sfalerit a velmi výjimečně pyrit s galenitem. (Zítek 1955). Horniny mají směr SSZ-JJV s proměnlivým úklonem k VSV. Matrice muskovitických fylitů je téměř výhradně složena z paralelních proužků krenulačně zvrásněných agregátů světlých slíd, méně často se v ní vyskytují čočkovité agregáty křemene s karbonátem. Jedinou výraznou akcesorii tvoří jemně tyčinkovitá individua tmavě zbarveného rutilu. Drobná izometrická zrna apatitu jsou zastoupena jen ojediněle. Ve foliačních plochách fylitů se vyskytují křemen-karbonátové ložní žíly s akcesorickým obsahem zlata, které mají čočkovitý vývin. Mocnost žil kolísá v rámci centimetrů až decimetrů (Nepejchal et al. 2013).

V křemen-karbonátových žilách se zlatem výrazně převládají agregáty hrubozrnného křemene, který typicky undulózně zháší. Vyskytují se zde i rekrystalované shluky jemnozrnného křemene v prostoru intergranulár. Křemen, který v dutinách tvoří drobné krystalky, je značně korodovaný. Křemen v sobě běžně uzavírá útržky okolních fylitů. Při okrajích křemenných žil jsou nejčastěji soustředěny karbonáty. Převládající složkou karbonátů je ankerit, který vytváří až centimetrová, místy automorfní zrna a bývá obklopen a uzavírán v kalcitu s ostrůvky Fe-dolomitu. V křemen-karbonátových žilách se objevují i značně přeměněné hnízdovité shluky živců (albit). Jako akcesorie se v žilách vyskytuje anatas a rutil. Ze sulfidů je nejčastěji přítomen chalkopyrit, který tvoří zrna s růstovými lamelami nebo drobné nepravidelné agregáty, které bývají výjimečně provázené pyrhotinem. V chalkopyritu se často objevují inkluze kostrovitého sfaleritu. Vzhledem k přítomnosti vtroušenin chalkopyritu v žilách, je poměrně hojně zastoupeným sekundárním minerálem malachit v podobě náteků, radiálně paprscitých agregátů i ježkovitých shluků. Ojediněle byl zjištěn i supergenní chalkopyrit (Nepejchal et al. 2013).

Zlato se vyskytuje v křemeni, ale i v karbonátu, kde je jeho výskyt hojnější. Zlatinky dosahují velikosti od desítek mikrometrů do 1,5 mm. Zrna zlata tvoří rozeklané plíšky, červíkovité formy i zaoblená zrna s náznakem automorfního vývinu v podobě nedokonalých oktaedrů. Na základě chemismu zde lze vyčlenit 2 typy zlata (obr. 7). První typ zlata je charakterizován jako elektrum až stříbrnaté zlato (49-77 hmot. % Au). Druhý typ zlata má větší ryzost, ale není tak častý a složením je méně variabilní. Vyšší obsahy zlata byly soustředěny do centrální části zrn. Zlato o vyšší ryzosti (840-850) vzniklo pravděpodobně v procesu supergeneze / cementace. Toto zlato bylo zjištěno jen ve vyrýžovaném podílu v asociaci s ryzí mědí a v jeho složení, je na rozdíl od ostatních méně ryzích zlatinek, zastoupena i měď (Nepejchal et al. 2013).



Obr. 7: Chemismus zlata z lokalit Anna a Zelená jáma v diagramu Au vs. Ag. Data převzata z Nepejchala et al. (2013, 2014).

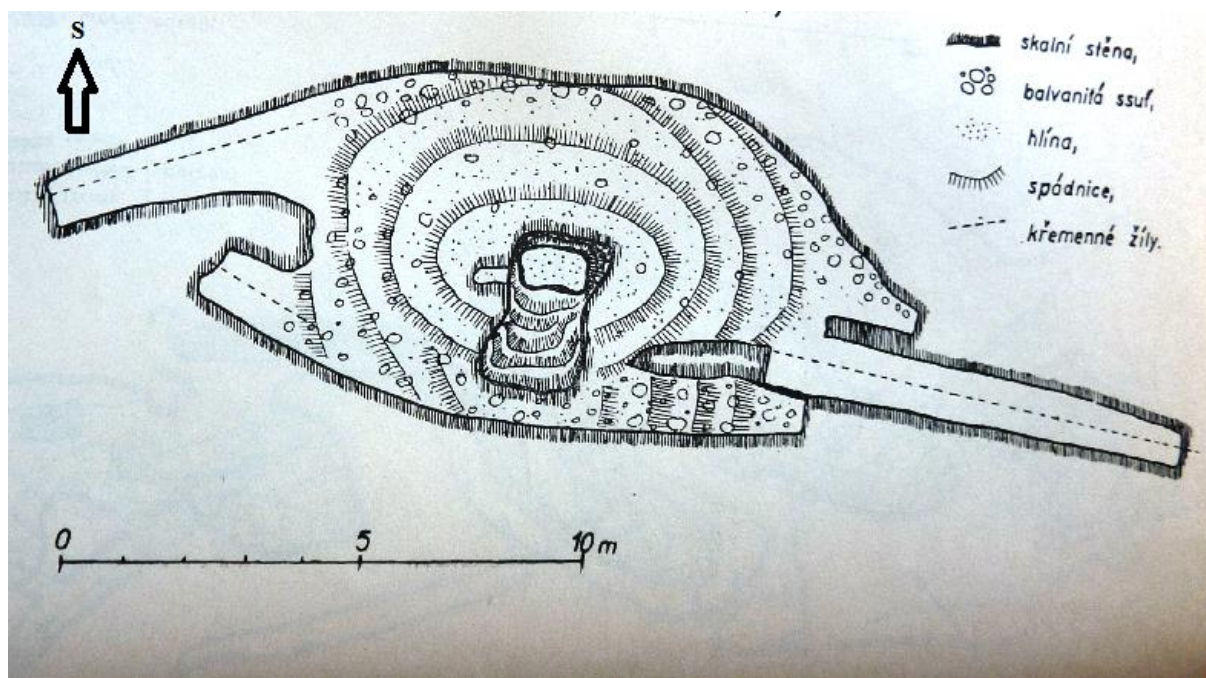
### 3.3.2 Štola Zelená jáma

Štola Zelená jáma byla dříve známá pod názvem Štola č. IV (Bartas 1950) nebo Štolka v lesním oddělení 33 (Stuchlíková-Kotrčová 1955). Novodobý název vznikl při asanačních pracích v oblasti. Na rozdíl od blízké Zelené štolky se zmíněná jáma nachází již mimo území zelených břidlic (Nepejchal et al. 2014).

Štola Zelená jáma se nachází také v úseku Zlaté Hory-sever (obr. 5) v nadmořské výšce 723 m n. m. Jedná se o důlní dílo s přilehlými šachticemi asi 400 m jjv. od kostela Panny Marie Pomocné, 4 km jižně od města Zlaté Hory. V oblasti kolem ohlubně šachtice je ve směru JZ-SV v délce asi 90 m řada malých pinek a odvalů (Nepejchal et al. 2014). Směr JZ-SV naznačuje průběh žilného pásma, který je kosý vůči metamorfní břidličnatosti okolních kvarcitických břidlic směru SSV-JJZ (Stuchlíková-Kotrčová 1955). Bartas (1950) uvádí, že z počvy šachtice byly raženy krátké štolky ve směru zjištěných třech žil (obr. 8). Křemenné žíly dosahují mocnosti v řádech desítek centimetrů. Výrazným morfologickým znakem křemenných žil je jejich dlouze čokovitý vývin se sporadickými ložními proniky podél foliačních ploch do okolních hornin. Křemenné žíly se nalézají v kvarcitových břidlicích. V této hornině se střídají proužky granoblastických shluků křemene s lepidoblastickými smouhami jemných slíd (sericitu) s drobnými automorfními krystalky akcesorického rutilu

a ojediněle i monazitu. Na foliačních plochách slídnatých shluků je patrná výrazná metamorfní lineace (Nepejchal et al. 2014).

Matrice křemenných žil se zlatem se skládá z křemenných zrn s granoblastickou stavbou, které tvoří plošně paralelní čočkovité smouhy a obklopují větší, mírně laločnatá křemenná individua, která typicky undulózně zhášejí. Karbonát je zcela limonitizován a ojediněle v sobě uzavírá zrnka rutilu či barytu. V křemenné matrici jsou uzavírána sloupečkovitá zrna rutilu a běžně i úlomky okolních hornin. Ze sulfidů byl zjištěn pyrit a jeho goethitizované pseudomorfozy s relikty původního sulfidu s droboučkými zlatinkami. Galenit se vyskytl pouze v jednom vzorku rýžovnického koncentrátu z křemenné žíly. Smyčková textura limonitu a přítomnost Cu v limonitizovaných patriích naznačují možnou přítomnost chalkopyritu, který podlehl supergenní přeměně. Sekundární fáze jsou reprezentované goethitem (Nepejchal et al. 2014).



Obr. 8: Topografická skica štoly Zelená jáma (Bartas 1950).

Zlato se vyskytuje velmi sporadicky jak v křemenu, tak i v limonitizovaném karbonátu, kde je ovšem výskyt zlata o něco častější a méně často se vyskytuje v limonitizovaném pyritu. Tvoří izometrické shluky jemných, nepravidelných na sebe narůstajících plíšků nebo prorůstajících se keříčků či červíkovitých forem. Velikost těchto agregátů zlata se pohybuje v desítkách mikrometrů, výjimečně byly nalezeny shluky o rozměru 0,3 x 0,6 mm.

Většina zlata vykazuje jednoduché, nepatrně proměnlivé složení. Většina zlata svým chemismem odpovídá elekturu (obsahy 73,5 až 82,9 hmot. % Au) a sporadicky zlatnatému stříbru (obr. 7). Pouze u jediné izolované zlatinky, která pochází z umělého šlichu, byla prokázána relativně vysoká ryzost zlata (88,45 hmot. % Au). Původ této zlatinky nelze bezpečně identifikovat, pravděpodobně se však jedná o zlato cementační (Nepejchal et al. 2014).

## 4. DOSAVADNÍ VÝZKUMY FLUIDNÍCH INKLUZÍ

### 4.1 Zlatohorský rudní revír

Đurišová (1990) studovala fluidní inkluze ve vzorcích z ložiska Zlaté Hory-jih a to z křemenných poloh v kvarcitech a ze žilné výplně typu Katanga. Z ložiska Zlaté Hory-západ (štola Mír) byly odebrány vzorky z křemenných poloh v kvarcitech s Pb a Zn zrudněním a z ložiska Zlaté Hory-sever (v prostoru Osikového vrchu) byly odebrány vzorky z muskovitické břidlice až kvarcitů, kde se křemen objevuje v podobě čoček a je doprovázen karbonátem a vtroušeným pyritem a pyritem. Inkluze byly P, PS a S. Na všech těchto lokalitách byla změřena  $T_{mice} = -11,9/-2,6$  °C,  $T_e = -29,9/-22,2$  °C. Na těchto lokalitách se objevují fluidní systémy H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fázového složení L1+L2/L+V ( $T_{hcar} = -9,1/+30,5$  °C (V/L),  $T_{mCO_2} = -58,8/-56,6$  °C,  $T_{mcla} = 8,5/14,2$  °C,  $T_{htot}$  nestanovena) a NaCl-H<sub>2</sub>O fázového složení L/L+V ( $T_f = -46,0/-40,0$  °C,  $T_e = -29,5/-21,0$  °C,  $T_{mice} = -5,5/-0,5$  °C,  $T_h(L) = 141/285$  °C). Salinita vodných inkluzí byla od 2 do 10 hmot. % NaCl ekv., salinita inkluzí s CO<sub>2</sub> od 2 do 16 hmot. % NaCl ekv. Dále se zde vyskytovaly fluidní systémy typu H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> s příměsí CH<sub>4</sub> (z lokality Osikový vrch), kde CO<sub>2</sub> je v inkluzích přítomno také jako plyn ( $T_{mCO_2} = -68,0/-83,8$  °C) a na ložiscích Zlaté Hory-jih a západ je to systém H<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub>, kde inkluze byly fázového složení L+V či L nebo V ( $T_{hcar} = -87,3/-80,7$  °C,  $T_{mCH_4} = -99,0/-87,0$  °C,  $T_{mcla} = 17,7/20,8$  °C) obsahující kapalný nebo plynný metan, v některých případech je stěží patrný lem vodního roztoku jen na stěnách inkluzí. Hustota CO<sub>2</sub> v inkluzích z lokality Zlaté Hory-sever se pohybuje od 0,130 do 0,980 g/cm<sup>3</sup> a hustota CH<sub>4</sub> v inkluzích z lokality Zlaté Hory-jih a západ je v intervalu od 0,105 do 0,231 g/cm<sup>3</sup>. Vzorky žilného křemene obsahují ve fluidních inkluzích i zrnka rutilu, který je též uzavírán jako vrostlice přímo v křemeni. Ve vzorcích křemene ze žil z ložiska Zlaté Hory-jih je nejvíce fluidních inkluzí soustředěno ve spodní části krystalu. Inkluze jsou rozmístěny nahodile nebo na plochách, které zčásti představují pukliny vzniklé při růstu. Zcela zde převládají inkluze směsi H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, ale směrem k vrcholu krystalu jsou nahrazeny inkluzemi typu H<sub>2</sub>O.



Tyto systémy ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ) se často vyskytují společně na jedné ploše, což svědčí o jejich společném vzniku a toto potvrzuje i výskyt rutilu, který byl pozorován v obou typech inkluzí. Inkluze  $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$  se vyskytují společně s inkluzemi  $\text{H}_2\text{O}$ , ale nikdy nebyl pozorován společný výskyt inkluzí  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$ , což svědčí o tom, že při vzniku inkluzí neexistovaly  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  jako dvě oddělené nemísitelné fáze. Bylo pozorováno poškození inkluzí s  $\text{CO}_2$  na křížení puklin a jejich zaplnění  $\text{CH}_4$ , což vypovídá o tom, že inkluze s  $\text{CH}_4$  jsou mladší. Zlaté Hory patří do granátové zóny ( $450-500^\circ\text{C}$ ) a tlak při působení inkludovaných roztoků přesahoval 400 MPa. Křemenné žíly typu Katanga vznikaly z roztoků, jejichž složení bylo podobné metamorfním roztokům. Podmínky vzniku křemenných žil typu Katanga a žilek křemene alpské parageneze byly velmi obdobné. Přítomnost  $\text{CH}_4$  může být způsobena lokálními litologickými faktory a indikuje změnu redox-potenciálu v konečné fázi formování žil (Ďurišová 1990).

## 4.2 Další zlatonosné mineralizace silezika

### Andělskohorský revír

Lokality Hláška a Vysoká hora se nacházejí v severní části andělskohorského revíru. Vyskytují se v něm zlatonosné žíly, jejichž horninové prostředí tvoří polyschematické sericitové fylity vrbenské skupiny. Z lokality Vysoká hora byly Fojtem et al. (2012) odebrány dva vzorky žilného křemene a z kóty Hláška byl odebrán vzorek křemene a karbonátu. Pro porovnání byl ještě odebrán vzorek křemen-ankeritové žiloviny (vrt SRS-14) z centrální části andělskohorského revíru. Fluidní inkluze byly P, PS a S. Primární a pseudosekundární inkluze z obou lokalit i z vrtu SRS-14 byly typu  $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ . Za pokojové teploty měly velmi kolísavé fázové složení  $\text{L}_1+\text{L}_2+\text{V}$  nebo  $\text{L}_1+\text{L}_2/\text{V}$  ( $T_{\text{hcar}} = -25,6/+29,1^\circ\text{C}(\text{L})$ ,  $T_{\text{mCO}_2} = -65,1/-56,7^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{mcla}} = 7,1/13,5^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{mice}}$  (stanoveno pouze u staršího křemene z vrtu SRS-14) =  $-0,5^\circ\text{C}$ ,  $T_e$  nestanoveno,  $T_{\text{htot}}(\text{L}) = 198/362^\circ\text{C}$ ). Salinita vodného roztoku v P a PS inkluzích nepřesáhla 6 hmot. % NaCl ekv. Sekundární inkluze, protínající v průběžných řádcích celé zrno křemene, jsou vodné a mají fázové složení  $\text{L}+\text{V}$  ( $T_f = -42,0/-37,0^\circ\text{C}$ ,  $T_e$  nestanoveno,  $T_{\text{mice}} = -12,9/-0,8^\circ\text{C}$ ,  $T_h(\text{L}) = 110/232^\circ\text{C}$ ). Salinita vodných fluid v sekundárních inkluzích se pohybovala od 1,4 do 16,8 hm. % NaCl ekv. V inkluzích byla prokázána i přítomnost metanu (1-11 mol. %), která se vysvětluje dvěma způsoby. Buď došlo v metamorfitech bohatých na grafit k reakci, která vedla ke vzniku směsi  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  ( $2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) nebo zdrojem metanu mohou být slabě metamorfované flyšové sedimenty andělskohorského souvrství. Vyšší obsah metanu ze vzorku z vrtu SRS-14 může nasvědčovat širší cirkulaci fluid během formování žilkovité zlatonosné mineralizace. Variabilní fázová

složení P a PS inkluzí byla pravděpodobně způsobena zachycením heterogenní směsi nevodné fáze a vodného roztoku nebo zaškrfováním a částečnou dekrepitací spojenou s únikem části obsahu inkluzí. Na lokalitě Vysoká hora byly P-T podmínky stanoveny na 220-320°C a tlak 0,5-2,0 kbar a na kótě Hláška 270-320°C a tlak 0,7-1,4 kbar. Obě studované lokality představují „díličí časový a látkový úsek“ vývoje mineralizace v andělskohorském rudním revíru (Fojt et al. 2012).

Další lokalitou, která se nachází v centrální části andělskohorského rudního revíru, je Suchá Rudná. Vzorky ze Suché Rudné představují žilný křemen se shluky karbonátu, který se nachází v grafitických fylitech vulkanosedimentárního komplexu vrbenské skupiny a hrubozrnný kavernózní křemen se shluky pyritu (od štoly Barbora). Fluidní inkluze (P, PS, S) jsou typu H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fázového složení L1+L2 ( $T_{\text{hcar}} = 20,2/29,9$  °C(L),  $T_{\text{mCO}_2} = -58,8/-56,6$  °C,  $T_{\text{mcla}} = 4,6/10,5$  °C,  $T_{\text{mice}} = -11,9/-2,6$  °C,  $T_e = -29,9/-22,2$  °C,  $T_{\text{htot}}$  nestanoveno) a salinitou od 2 do 16 hmot. % NaCl ekv. a NaCl-(MgCl<sub>2</sub>)-H<sub>2</sub>O fázového složení L/L+V ( $T_f = -46,0/-40,0$  °C,  $T_e = -32,2/-22,0$  °C,  $T_{\text{mice}} = -8,0/-5,8$  °C,  $T_h(L) = 117/125$  °C), kde salinita inkluzí je od 10 do 13 hmot. % NaCl ekv. Hustota CO<sub>2</sub> je v intervalu 0,593-0,775 g/cm<sup>3</sup>. Suchá Rudná patří do chloritové zóny (350 °C) a tlak při působení inkludovaných roztoků byl nižší než 150 MPa. Při metamorfním procesu existovaly odděleně dva typy fluid, jeden bohatý na CO<sub>2</sub> a druhý bohatý na H<sub>2</sub>O (Ďurišová 1990).

### Zlatý Chlum

Na lokalitě Zlatý chlum studovala Ďurišová (1990) vzorky zlatonosného křemene z polohy na kontaktu kvarcitů se svory rejvízské skupiny. Fluidní inkluze byly P, PS a S. Vyskytují se zde fluidní inkluze typu H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fázového složení L1+L2 ( $T_{\text{hcar}} = -8,5/+17,8$  °C (L),  $T_{\text{mCO}_2} = -58,8/-56,6$  °C,  $T_{\text{mcla}} = 7,8/11,1$  °C,  $T_{\text{mice}} = -11,9/-2,6$  °C,  $T_e = -29,9/-22,2$  °C,  $T_{\text{htot}}$  nestanovena) a salinitou od 2 do 19 hmot. % NaCl ekv. Obě složky vyplňují inkluze jako dvě nemísitelné kapaliny. Hustota CO<sub>2</sub> je v intervalu 0,789-0,976 g/cm<sup>3</sup>. Dále se zde vyskytují fluidní inkluze typu NaCl-H<sub>2</sub>O fázového složení L/L+V ( $T_f = -46,0/-40,0$  °C,  $T_e = -28,0/-22,3$  °C,  $T_{\text{mice}} = -8,3/-2,1$  °C,  $T_h(L) = 178-286$  °C), kde salinita inkluzí je od 6 do 14 hmot. % NaCl ekv. Inkluze se nacházejí na plochách drobných paralelních puklin. Podle intenzity metamorfních dějů lze zařadit Zlatý chlum do silimanitové zóny (teploty vyšší než 510°C). Při působení inkludovaných roztoků přesahoval tlak 470 MPa. Malé rozměry, distribuce inkluzí a vysoká hustota svědčí o tom, že jde o relikty roztoků, které pronikaly horninami při metamorfóze. Rozdílná koncentrace CO<sub>2</sub> v jednotlivých inkluzích dokazuje, že

při metamorfóze existovaly odděleně dva typy fluid, jeden bohatý na CO<sub>2</sub> a druhý bohatý na H<sub>2</sub>O (Ďurišová 1990).

## 5. METODIKA

Vzorky pro studium fluidních inkluzí (odebrané v terénu M. Nepejchalem) mi poskytl vedoucí bakalářské práce. Z těchto vzorků byly zhotoveny oboustranně leštěné destičky. Destičky byly lepeny za studena pomocí vteřinového lepidla. Při leštění na leštičce Struers RotoPol-35 byly použity diamantové suspenze o zrnitosti 3 a 0,25 μm. Poté byly destičky podrobeny petrografickému studiu v optickém polarizačním mikroskopu Olympus BX 50 v procházejícím světle. Následně byly uloženy do nitrometanu na cca 24 hodin, což způsobilo odlepení destiček od podložního skla. Po odlepení byly rozlámány na úlomky vhodné pro mikrotermometrické studium fluidních inkluzí. V úlomcích vhodné velikosti byly zkoumány fluidní inkluze pomocí optické mikrotermometrie na přístroji LINKAM THMSG 600 na Katedře geologie PřF UP Olomouc.

V inkluzích byly studovány následující parametry:  $T_f$  - teplota zamrznutí,  $T_{mCO_2}$  - teplota tání CO<sub>2</sub>,  $T_{mHh}$  - teplota tání hydrohalitu,  $T_e$  - teplota iniciálního tání,  $T_{mice}$  - teplota tání ledu,  $T_{mcla}$  - teplota tání klatrátu,  $T_{hear}$  - teplota parciální homogenizace CO<sub>2</sub>,  $T_h$  - teplota celkové homogenizace (v inkluzích vodných roztoků),  $T_{htot}$  - teplota totální homogenizace (v inkluzích s obsahem CO<sub>2</sub>). Salinity vodných roztoků byly vypočítány podle Bodnara (1993). Složení fluid, hustoty a izochory vodných roztoků byly vypočteny pomocí programu FLINCOR (Brown 1989) s kalibrací podle Zhanga a Frantze (1987). Pro výpočet salinity, složení a hustoty inkluzí s CO<sub>2</sub> bylo využito programu ICE s kalibrací podle Duana et al. (1992a, b) a pro výpočet izochor bylo využito programu ISOC (Bakker 2003).

## 6. VÝSLEDKY

### 6.1 Štola Zelená jáma

Pro studium fluidních inkluzí ze štoly Zelená jáma byl použit vzorek křemene z pravé žíly, která je mírně kosá vůči foliaci hornin. Křemen byl mléčné až šedé barvy, v některých místech zbarven do oranžova limonitem a neobsahoval příměsi sulfidů (obr. 9). Ve výbruse tvořil křemen izometrická zrna velikosti do 1 mm s xenomorfním omezením. Zrnitost křemenných zrn byla rovnoměrná. V XPL vykazoval typické undulózní zhášení.



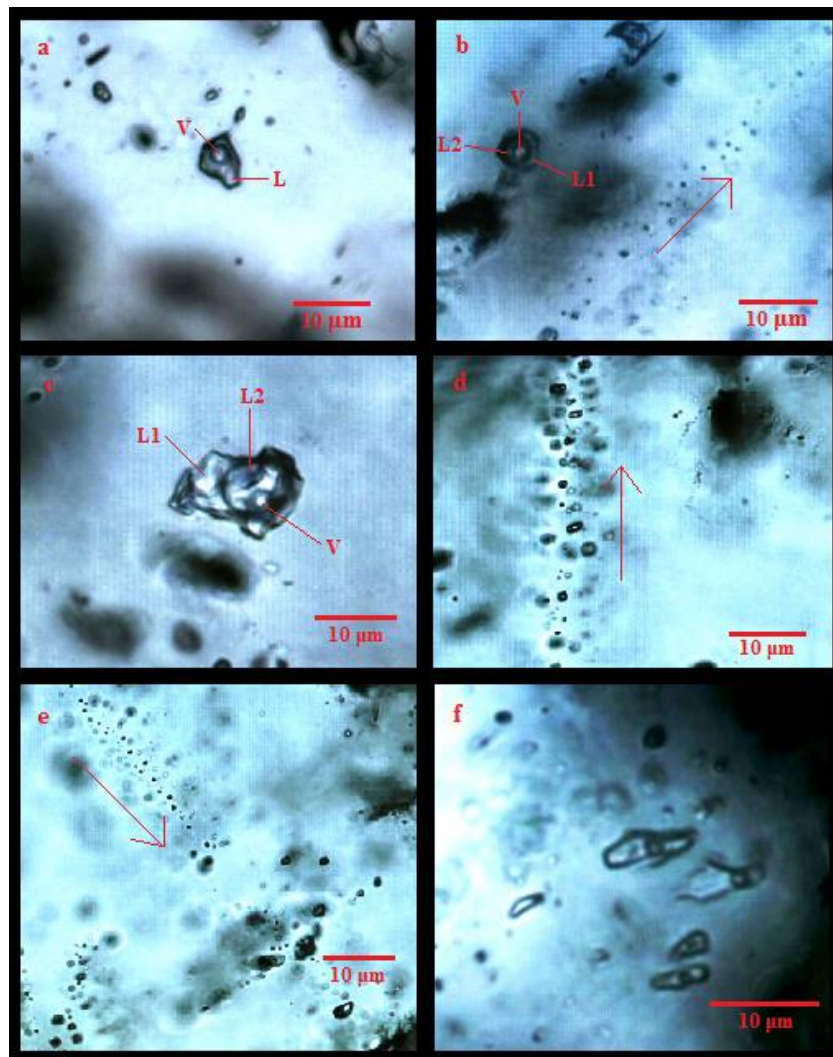
Obr. 9: Žilný křemen ze štoly Zelená jáma.

#### 6.1.1 Petrografie inkluzí

Ve zkoumaném vzorku byly obsaženy všechny genetické typy fluidních inkluzí, a to primární (P), pseudosekundární (PS) a sekundární (S), rozlišené podle kritérií Zachariáše (2000). V některých případech nebylo odlišení inkluzí jasné, proto se například v tomto vzorku setkáváme s označením inkluzí PS-S (obr. 10d). Nejčastěji se zde vyskytovaly P a PS inkluze, výskyt S inkluzí nebyl tolik častý a často se špatně odlišovaly od PS inkluzí.

Primární inkluze dosahovaly největších rozměrů od 8 do 30  $\mu\text{m}$ , vyskytovaly se nahodile jako solitérní na okrajích zrn nebo v drobných shlucích ve středech zrn (obr. 10a, b, c). Tvary P inkluzí byly velmi variabilní od nepravidelných přes zašpičatělé až po zaoblené inkluze. Za pokojové teploty z hlediska fázového složení lehce převládaly trojfázové P inkluze (L1+L2+V) se dvěma kapalnými a jednou plynnou fází nad dvoufázovými (L+V). Stupeň zaplnění (F) se pohyboval od 0,50 do 0,90. Pseudosekundární inkluze tvořily krátké

neprůběžné řádky (obr. 10e, f) a jejich tvar byl často zakulacený, protáhlý, oválný nebo i nepravidelný. Vyskytovaly se zde dvoufázové PS inkluze (L+V) nebo jednofázové (L) a dokonce i trojfázové (L1+L2+V) PS inkluze malých rozměrů v porovnání s P inkluzemi tohoto fázového složení. PS inkluze dosahovaly velikosti od 2 do 14  $\mu\text{m}$  a F se pohyboval od 0,70 do 0,95. Sekundární inkluze tvořily různé dlouhé řádky (10b). Zpravidla měly oválný či okrouhlý tvar nebo byly lehce protáhlé a vyskytovaly se podél drobných trhlin protínající celé zrno. Velikost do 2  $\mu\text{m}$  neumožňovala mikrotermometrické měření. S inkluze byly převážně jednofázové (L) ojediněle se vyskytovaly dvoufázové (L+V).



Obr. 10: Příklady fluidních inkluzí v žilném křemenu z lokality Zelená jáma: (a) dvoufázová primární inkluze (L+V), (b) trojfázové P inkluze (L1+L2+V) a řádek jednofázových S inkluzí (šipka), (c) trojfázová primární inkluze (L1+L2+V), (d) řádek jednofázových a dvoufázových PS-S inkluzí (šipka), (e) neprůběžný řádek jednofázových PS inkluzí (šipka), (f) dvoufázové PS inkluze.

### 6.1.2 Mikrotermometrie

Mikrotermometrickému měření ze štolý Zelená jáma bylo podrobena 61 inkluzí. Většinu měřených inkluzí představovaly primární inkluze. Byly zde zjištěny jak inkluze vodných roztoků, tak i inkluze s CO<sub>2</sub>, které byly vždy trojfázové.

#### 6.1.2 a) Inkluze vodných roztoků

Výsledky měření pro inkluze vodných roztoků jsou uvedeny v tab. 1.

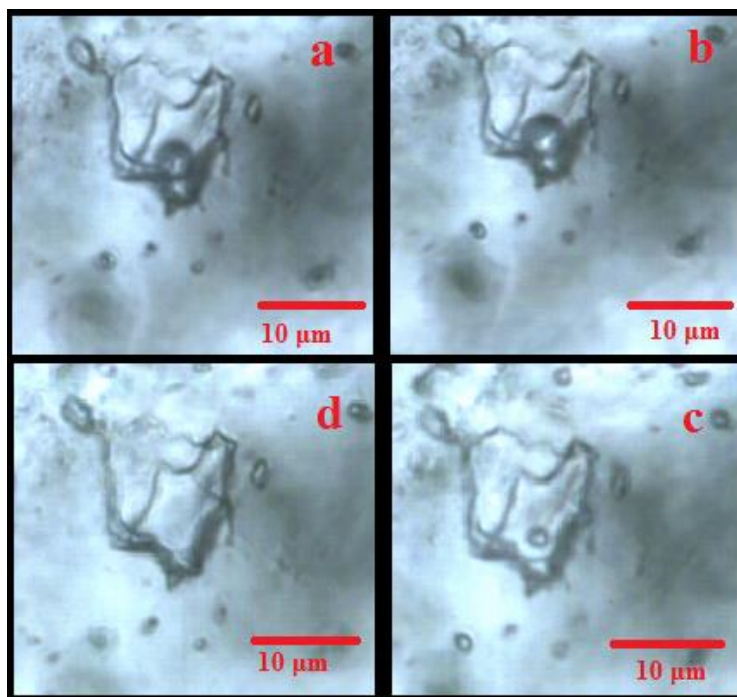
Tab. 1: výsledky termometrických měření pro inkluze vodných roztoků ze vzorku Zelená jáma

vzorek	geneze	fázové složení	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>mice</sub> (°C)	Salinita (hmot. % NaCl ekv.)
křemen	PS-S	L	n.a.	-33,1/-30,2	n.d.	-4,3/-2,2	3,6 až 6,8
křemen	PS-S	L+V	122/243(L)	-39,4/-28,7	n.d.	-5,0/-0,7	1,2 až 7,9
křemen	P	L+V	178/291(L)	-45,4/-28,9	-21,2	-11,5/-0,3	0,5 až 15,5
křemen	P	L+V	325(V)	-28,9	-18,0	-1,7	2,9

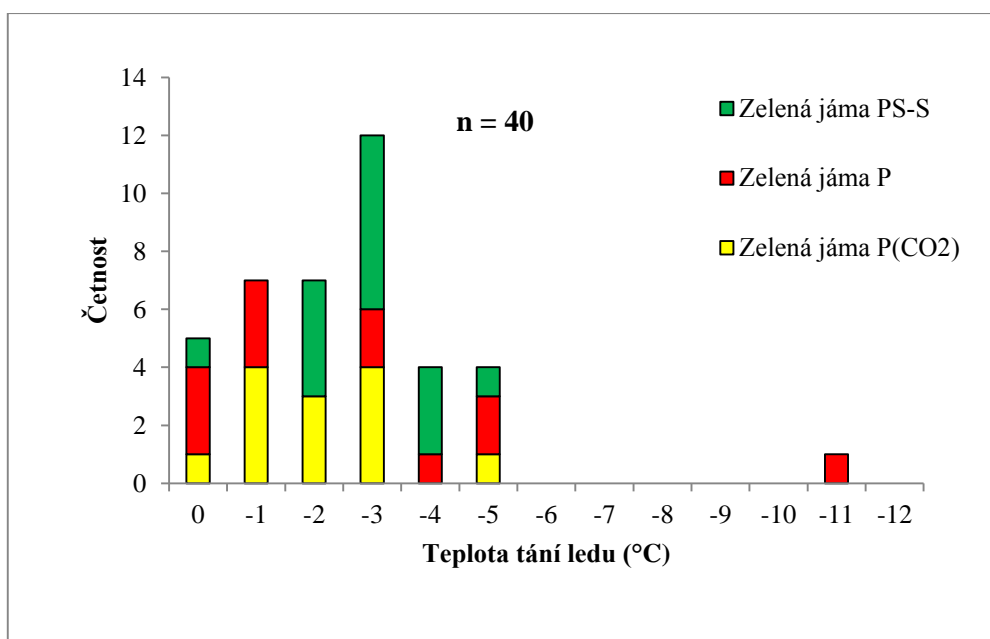
Vysvětlivky: *n.a.* – nelze aplikovat, *n.d.* – nezměřeno, (L) – kapalina, (V) – plyn.

Fluidní inkluze vodných roztoků zamrzaly v rozsahu teplot -45,4 až -28,7 °C (tab. 1). Vymrznutí bylo většinou dobře viditelné a projevovalo se ztmavnutím a vznikem granulární struktury obsahu inkluze nebo deformací či zmenšením (někdy až vymizením) plynné bubliny (obr. 11a). Postupným zahříváním byla naměřena teplota iniciálního tání T<sub>e</sub>, při níž došlo k prosvětlení obsahu inkluze a objevení první kapaliny. Hodnoty T<sub>e</sub>, které se podařilo naměřit pouze ve dvou primárních dvoufázových inkluzích, dosahovaly -18,0 a -21,2 °C (tab. 1).

Dalším naměřeným parametrem během postupného zahřívání zmrazených inkluzí byla teplota tání posledního ledu T<sub>mice</sub>. U jednofázových PS-S inkluzí dosahovala T<sub>mice</sub> -4,3 až -2,2 °C (tab. 1, obr. 12), což odpovídá salinitě 3,6 až 6,8 hmot. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). T<sub>mice</sub> dvoufázových PS-S inkluzí dosahovala hodnot -5,0 až -0,7 °C, což odpovídá salinitě 1,2 až 7,9 hmot. % NaCl ekv. (Bodnar 1993). Homogenizační teplota T<sub>h</sub> dvoufázových PS-S inkluzí byla naměřena v intervalu 122 až 243 °C. Všechny PS-S inkluze homogenizovaly na kapalinu (obr. 13).



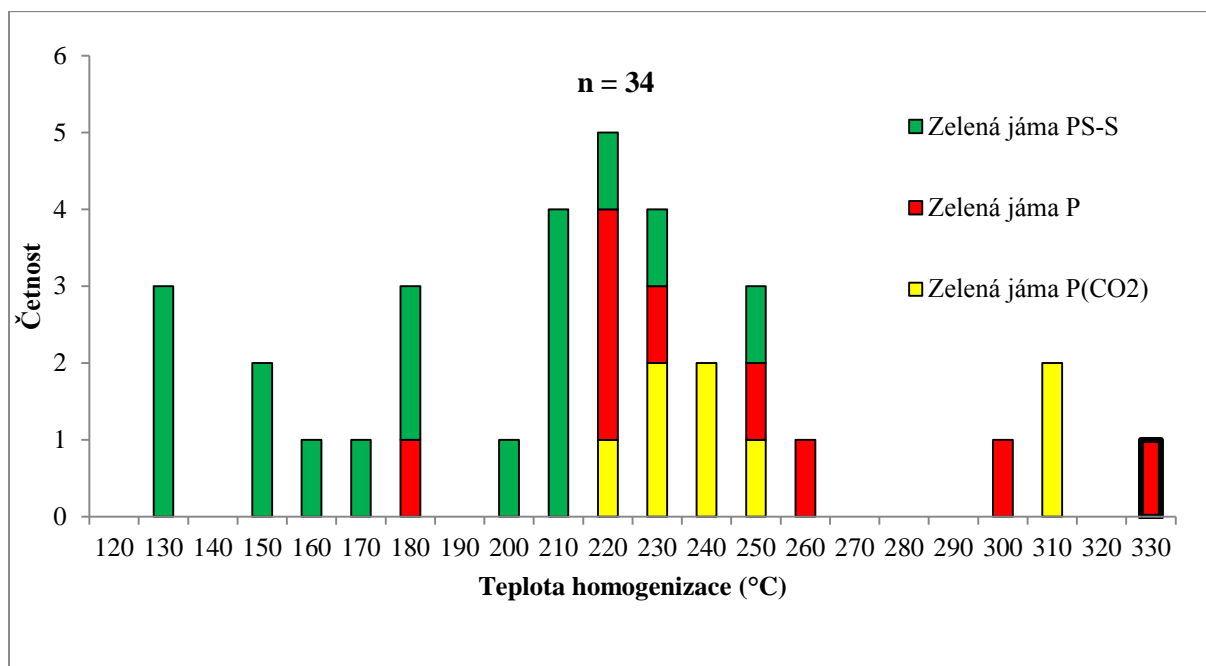
Obr. 11: Dvoufázová P inkluze v žilném křemenu z lokality Zelená jáma: (a) zmrzlá P inkluze při  $-37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (b) P inkluze při pokojové teplotě, (c) postupné zahřívání P inkluze a zmenšování plynné fáze při teplotě  $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (d) konečná homogenizace P inkluze na kapalinu při  $215\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 12: Histogram naměřených teplot tání ledu všech typů inkluzí ze vzorku Zelená jáma.

U primárních dvoufázových inkluzí byla zjištěna teplota tání ledu v rozmezí od  $-11,5$  do  $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (obr. 12). Salinita byla stanovena na 0,5 až 15,5 hmot. % NaCl ekv. (Bodnar 1993).  $T_h$  primárních vodných inkluzí dosahovala hodnot od 178 do  $291\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přičemž

nejčastější  $T_h$  byly nad 200 °C (obr. 13). Většina P inkluzí homogenizovala na kapalinu (obr. 11b, c, d) až na jedinou, která homogenizovala při 325 °C na plyn (obr. 13).



Obr. 13: Histogram homogenizačních teplot všech typů inkluzí ze vzorku Zelená jáma. Černou konturou je zvýrazněna jediná vodná primární inkluze homogenizující na plyn.

#### 6.1.2 b) Inkluze s $CO_2$

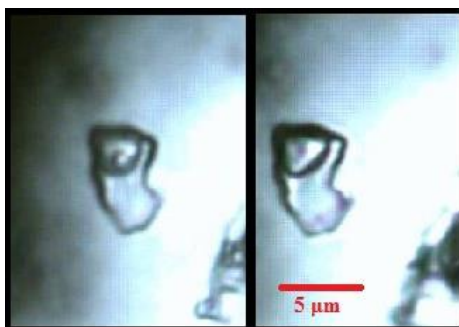
Inkluze s  $CO_2$  se ve vzorku Zelená jáma vyskytovaly společně s inkluzemi vodných roztoků. Jednalo se vždy o trojfázové inkluze, většinou primární, ale byl zde zaznamenán i výskyt drobných trojfázových PS, PS-S inkluzí, které vzhledem k nepatrné velikosti nebylo možné podrobit mikrotermometrickému měření. Výsledky měření inkluzí s  $CO_2$  jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze s  $CO_2$  z lokality Zelená jáma.

vzorek	geneze	Fázové složení	$T_{hcar}$ (°C)	$T_f$ (°C)	$T_{mCO_2}$ (°C)	$T_{mice}$ (°C)	$T_{mcla}$ (°C)	$T_{htot}$ (°C)
křemen	P	L1+L2+V	2,4/29,2 (L)	-103/-93	-60,6/ -56,9	-5,3/-1,2	4,2/10,5	215/242 (L)
křemen	P	L1+L2+V	17,6/27,4(L)	-98/-94	-57,5/ -57,1	-3,1/-0,7	6,4/9,8	230/308 (V)

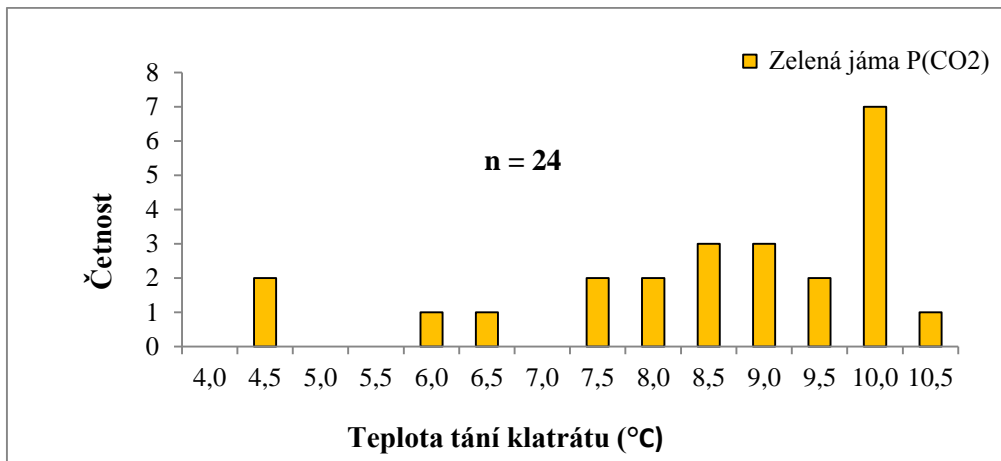


Prvním parametrem, který jsem měřila u trojfázových inkluzí s CO<sub>2</sub>, byla teplota parciální homogenizace CO<sub>2</sub> fáze ( $T_{\text{hcar}}$ ), která byla v rozmezí hodnot 2,4 až 29,2 °C (tab. 2). Nejčastější hodnoty  $T_{\text{hcar}}$  byly nad 20 °C, pouze u dvou inkluzí byla hodnota pod 5 °C (2,4 a 4,1 °C). Parciální homogenizace CO<sub>2</sub> fáze byla vždy na kapalinu (obr. 14).



*Obr. 14: Trojfázová primární inkluze s CO<sub>2</sub> v žilném křemenu z lokality Zelená jáma, nalevo při pokojové teplotě, napravo parciální homogenizace CO<sub>2</sub> na kapalinu při teplotě 24,1 °C.*

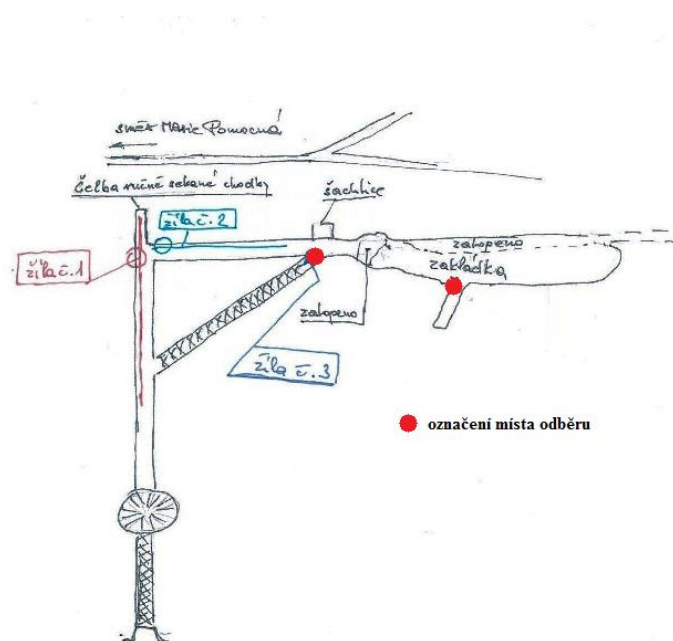
Trojfázové primární inkluze s CO<sub>2</sub> zamrzaly v rozmezí teplot -103 až -93 °C (tab. 2), což se projevilo deformací bubliny nebo ztmavnutím obsahu inkluze. Nejčastější hodnoty  $T_f$  byly za teplot -95 až -99 °C. Při následném postupném zahřívání bylo možné sledovat teplotu tání CO<sub>2</sub> ( $T_{\text{mCO}_2}$ ), která se pohybovala v rozmezí hodnot -60,6 až -56,9 °C a projevovala se jako prosvětlení oblasti nevodné fáze. Dalším pomalým zahříváním bylo možno u některých inkluzí stanovit teplotu iniciálního tání ( $T_e$ ).  $T_e$  však nebyla vždy dobře viditelná, podařilo se ji naměřit pouze u 5 inkluzí (-28,8/-27,3 °C). Teplota tání ledu se pohybovala v intervalu od -5,3 do -0,7 °C (obr. 12). Jako poslední pevná fáze tál klatrát za teplot od 4,2 do 10,5 °C (obr. 15), což odpovídá salinitě vodného roztoku 0,2 až 10,3 hmot. % NaCl ekv. Teplota totální homogenizace ( $T_{\text{htot}}$ ) byla naměřena v širokém rozsahu od 215 do 308 °C, přičemž u většiny inkluzí došlo před totální homogenizací k dekrepitaci.  $T_{\text{htot}}$  se podařilo naměřit pouze u 8 inkluzí (obr. 13) a fluidní inkluze homogenizovaly jak na kapalinu (5 inkluzí), tak i na plyn (3 inkluze). Homogenizace na kapalinu byla v rozmezí hodnot od 215 do 242 °C a homogenizace na plyn v intervalu od 230 do 308 °C.



Obr. 15 : Histogram teplot tání klatrátu inkluzí s CO<sub>2</sub> v žilném křemenu z lokality Zelená jáma.

## 6.2 Štola Anna

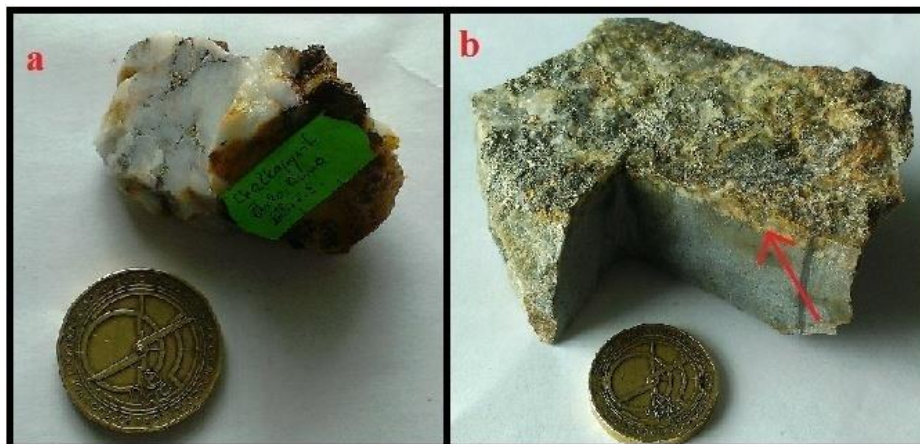
Fluidní inkluze byly zkoumány z ložní křemenné žíly č. 3 a z křemene s karbonátem ze zakládky (obr. 16).



Obr. 16: Náčrt štoly Anna s vyznačením míst odběru vzorků (upraveno podle nepublikovaného nákresu M. Nepejchala z r. 2012).

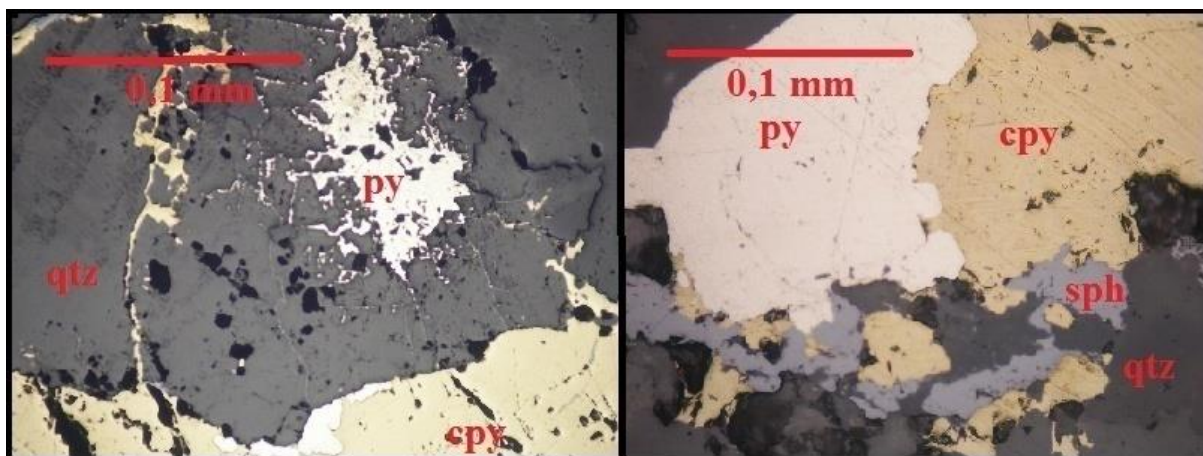
Vzorek křemene z žíly č. 3 byl mléčně bílý až naředlý, na povrchu zbarven do oranžova díky přítomnosti limonitu a s obsahem sulfidů (makroskopicky patrná zrna chalkopyritu do 2 mm, obr. 17a). Křemen s karbonátem ze zakládky se vyskytoval v podobě tenké žilky o mocnosti 0,5 cm s příměsí sulfidů (opět byla makroskopicky patrná zrna

chalkopyritu do 3 mm). Křemen byl bílý až šedý, karbonát byl bohužel silně limonitizovaný, takže se z něj nepodařilo získat žádná data (obr. 17b).



Obr. 17: Makrovzorky ze štoly Anna použité ke studiu fluidních inkluzí: (a) vzorek křemene z ložní žíly č. 3 s chalkopyritem, (b) tenká žilka křemene s karbonátem ze zakládky s patrnými zrny chalkopyritu na povrchu.

Z těchto vzorků byl nejdříve zhotoven nábrus, který byl prozkoumán v odrazovém mikroskopu pro identifikaci sulfidů a posléze, z nich byly zhotoveny oboustranně leštěné destičky, které byly podrobeny studiu v optickém mikroskopu. Křemen typicky undulózně zhášel a vytvářel izometrická zrna velikosti 0,01 až 1 mm s xenomorfním a někdy i hypautomorfním omezením. Ve vzorku křemenné žíly č. 3 byla rovnoměrná velikost křemenných zrn (0,5 až 1 mm), ale ve vzorku křemene ze zakládky byla nerovnoměrná velikost křemenných zrn (vyskytovaly se zde i podstatně menší zrna křemene o velikosti až 0,01 mm). Mezi nejčastěji zastoupené sulfidy patřil chalkopyrit, v odrazovém mikroskopu pak byl identifikován i pyrit a sfalerit. (obr. 18). Chalkopyrit tvořil nepravidelná zrna velikosti do 1,5 mm s xenomorfním až hypautomorfním omezením, která byla rozptýlena v křemenné žilovině. Některá zrna chalkopyritu v sobě uzavírala hypautomorfně omezená zrna křemene. Zrna pyritu dosahovala velikosti až 0,5 mm. Pyrit tvořil nepravidelná zrna s xenomorfním až hypautomorfním omezením. Izometrická zrna sfaleritu dosahovala velikosti do 0,2 mm a byla xenomorfně omezena.



Obr. 18: Nábrus z ložní křemenné žíly č. 3 a z křemene ze zakládky ze štoly Anna, obrázek nalevo: asociace sulfidů v ložní křemenné žíle č. 3 v odraženém světle: (py) pyrit, (cpy) chalkopyrit, (qtz) křemen, obrázek napravo: sulfidické minerály ze žilky ze zakládky v odraženém světle: (py) pyrit, (cpy) chalkopyrit, (qtz) křemen, (sph) sfalerit.

### 6.2.1 Petrografie inkluzí

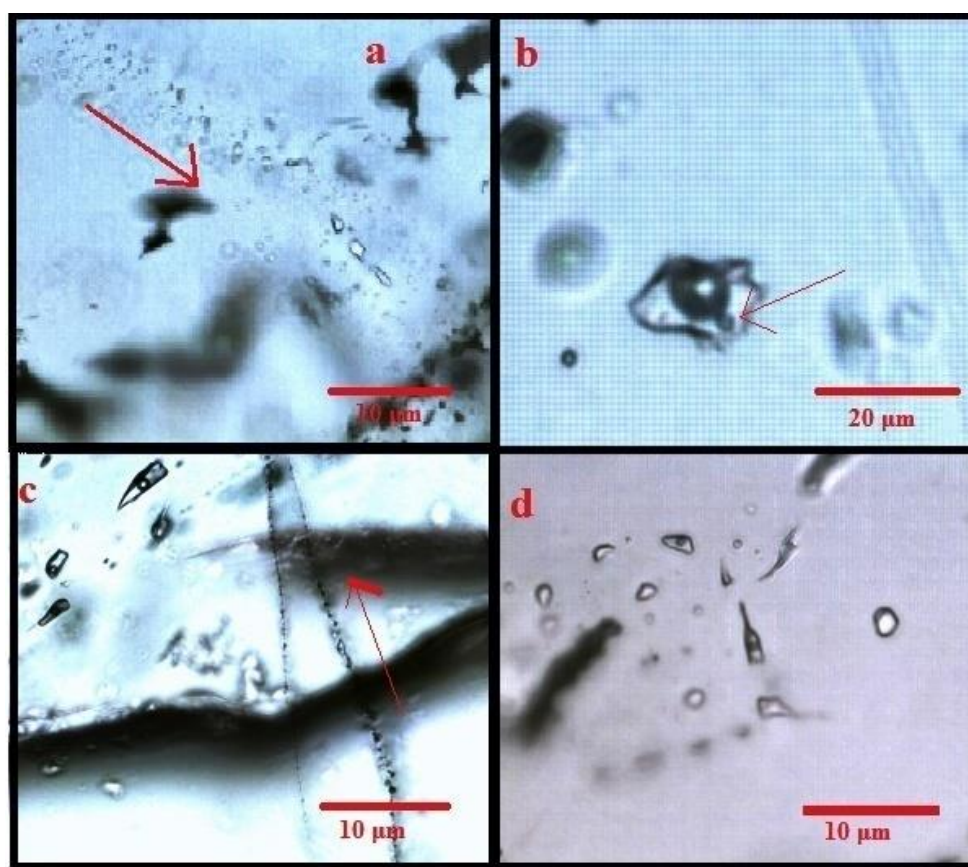
I v těchto vzorcích jsem našla všechny genetické typy fluidních inkluzí. Často se zde vyskytovaly velmi drobné sekundární inkluze do 1  $\mu\text{m}$ , které však nebyly měřitelné. Z hlediska fázového složení lehce převládaly dvoufázové inkluze (L+V) nad jednofázovými (L). V obou vzorcích se častěji vyskytovaly primární inkluze než inkluze pseudosekundární.

V obou vzorcích se primární inkluze vyskytovaly nahodile nebo soliterně ve středu nebo na okrajích minerálních zrn a dokonce i v drobných shlucích (obr. 19d). Inkluze měly velmi proměnlivé tvary od nepravidelných přes měňavkovité až po protáhlé či zaoblené. P inkluze dosahovaly největších rozměrů (od 6 do 20  $\mu\text{m}$ ), ale v obou vzorcích se ojediněle vyskytovaly i inkluze větších rozměrů (až 36 nebo 44  $\mu\text{m}$ ). Za pokojové teploty převládaly dvoufázové P inkluze nad jednofázovými. Stupeň zaplnění P inkluzí se pohyboval od 0,5 do 0,95. U tří P inkluzí ze vzorku ze zakládky byla viditelná pevná fáze. V PPL byla bílá až bezbarvá, tvarem blízká klenci a v XPL měla bílou interferenční barvu vyššího řádu. Pravděpodobně se jednalo o karbonát (obr. 20c). Jedna P inkluze z ložní křemenné žíly č. 3 obsahovala blíže nespecifikovanou pevnou fázi, která v PPL byla bezbarvá a tvarem připomínala zaoblený klenec a při zkřížení nikolů měla žlutou až oranžovou interferenční barvu II. řádu (obr. 19b).

Pseudosekundární inkluze většinou tvořily drobné řádky nedosahující až k okraji křemenného zrna. Z hlediska tvaru byly převážně oválné, zakulacené nebo lehce protáhlé

s ostrými výběžky, v některých případech i nepravidelné (obr. 19c). Převažovaly dvoufázové (L+V) PS inkluze nad jednofázovými (L) PS inkluzemi. Stupeň zaplnění se pohyboval od 0,7 do 0,95, ve vzorku ze zakládky dokonce až 0,5. PS inkluze nedosahovaly tak velkých rozměrů jako P inkluze, jejich rozměry se pohybovaly mezi 6 až 14  $\mu\text{m}$ .

Sekundární inkluze byly velmi drobné (obr. 19c), většinou do 1  $\mu\text{m}$ , ojediněle do 2  $\mu\text{m}$ , vzhledem k jejich velikosti je nebylo možné mikrotermometricky změřit. Většinou byly jednofázové (L), avšak někdy jsem pozorovala i dvoufázové (L+V) S inkluze. Jejich tvar byl kulatý, oválný, lehce protáhlý a někdy i nepravidelný (obr. 19a). Byly uspořádané v řádcích, které protínaly celá zrna.



Obr. 19: Příklady fluidních inkluzí z lokality Anna: (a) řádek jednofázových S inkluzí z křemene ze zakládky (šipka), (b) P inkluze z ložní křemenné žíly č. 3 s blíže neurčenou pevnou fází (šipka), (c) vlevo neprůběžný řádek dvoufázových PS inkluzí, napravo řádek drobných S inkluzí (šipka), vzorek křemene ze zakládky, (d) shluk jednofázových a dvoufázových P inkluzí z křemene ze zakládky.

### 6.2.2 Mikrotermometrie

Celkem bylo mikrotermometrickému měření ze štoly Anna podrobena 156 inkluzí. Z toho většina inkluzí byla primárních, zbytek pak zahrnoval pseudosekundární inkluze. Jednalo se především o měření dvoufázových (L+V) inkluzí. Jednofázových inkluzí bylo změřeno pouze 20, a to buď kvůli jejich drobné velikosti, nebo špatné pozorovatelnosti fázových změn v obsahu inkluze. Postupným měřením bylo zjištěno, že na této lokalitě se nacházejí pouze inkluze vodných roztoků.

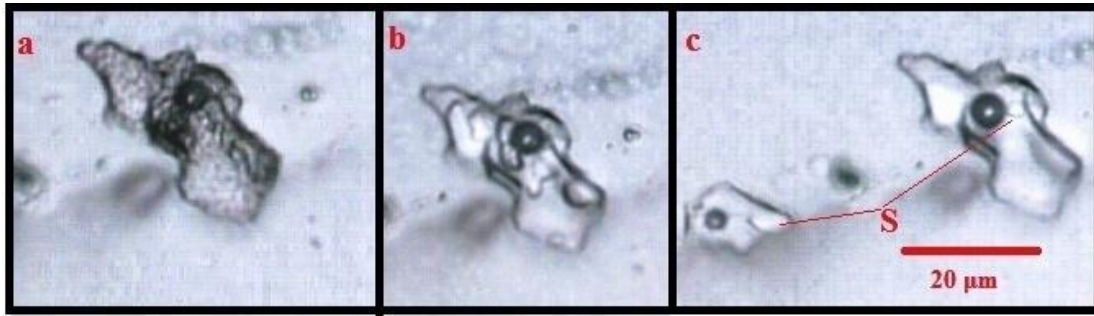
#### 6.2.2 a) Inkluze vodných roztoků

Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze vodných roztoků jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3: Výsledky mikrotermometrických měření pro inkluze vodných roztoků ze štoly Anna.

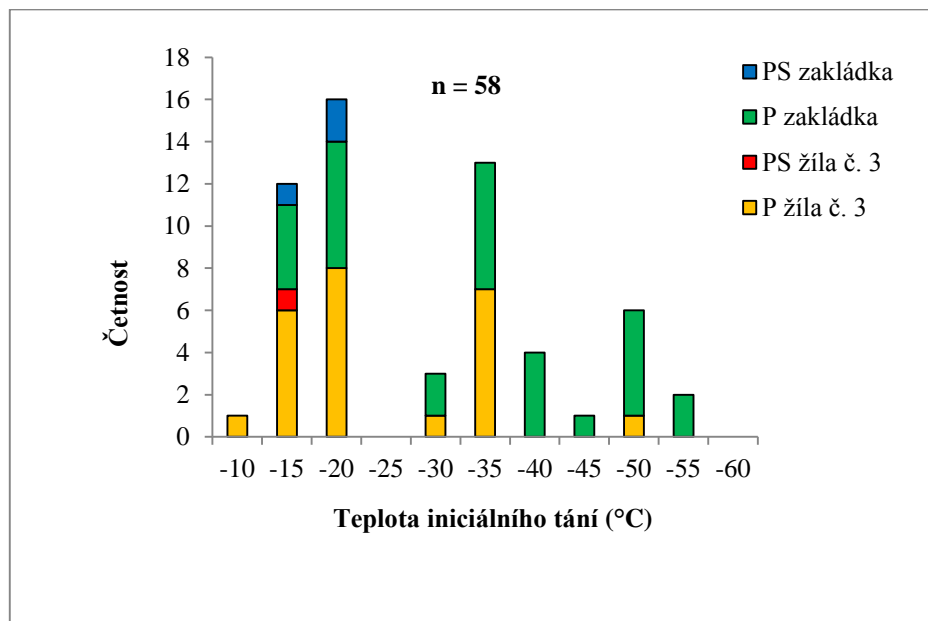
vzorek	geneze	fázové složení	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>mice</sub> (T <sub>mHh</sub> )(°C)
křemen ze zakládky	P	L/L+V	149/352(L)	-72,2/-31,2	-55,2/-17,9	-25,4/-0,2 (-40,7)
křemen ze zakládky	P	L+V	442(V)	-40,5	n.d.	-2,3
křemen ze zakládky	PS	L+V	146/259(L)	-45,5/-35,4	-35,6/-19,7	-3,2/-0,2
křemen ze zakládky	PS	L+V	299/302(V)	-44,2/-43,9	n.d.	-3,1/-2,9
křemenná žíla č. 3	P	L/L+V	132/390(L)	-75,8/-24,4	-52,8/-14,9	-22,2/-0,3
křemenná žíla č. 3	P	L+V	264(V)	-47,7	-35,1	-8,1
křemenná žíla č. 3	PS	L+V	167/251(L)	-42,3/-32,2	-16,2	-4,2/-0,3

Vodné fluidní inkluze zamrzaly v širokém rozsahu teplot od -24,2 do -75,8 °C (tab. 3). Vyšší hodnoty teplot zamrznutí vykazovaly jak jednofázové, tak i dvoufázové P inkluze. Vymrznutí se projevilo vznikem granulární struktury a ztmavnutím obsahu inkluze (obr. 20a) nebo deformací či zmizením plynné bubliny.



Obr. 20: Dvoufázová P inkluze v křemenu ze zakládky, (a) vymrznutí P inkluze při  $-60,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (b) prosvětlování obsahu inkluze a postupné tání ledu při  $-31,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (c) inkluze při pokojové teplotě, S – pevná fáze (pravděpodobně karbonát).

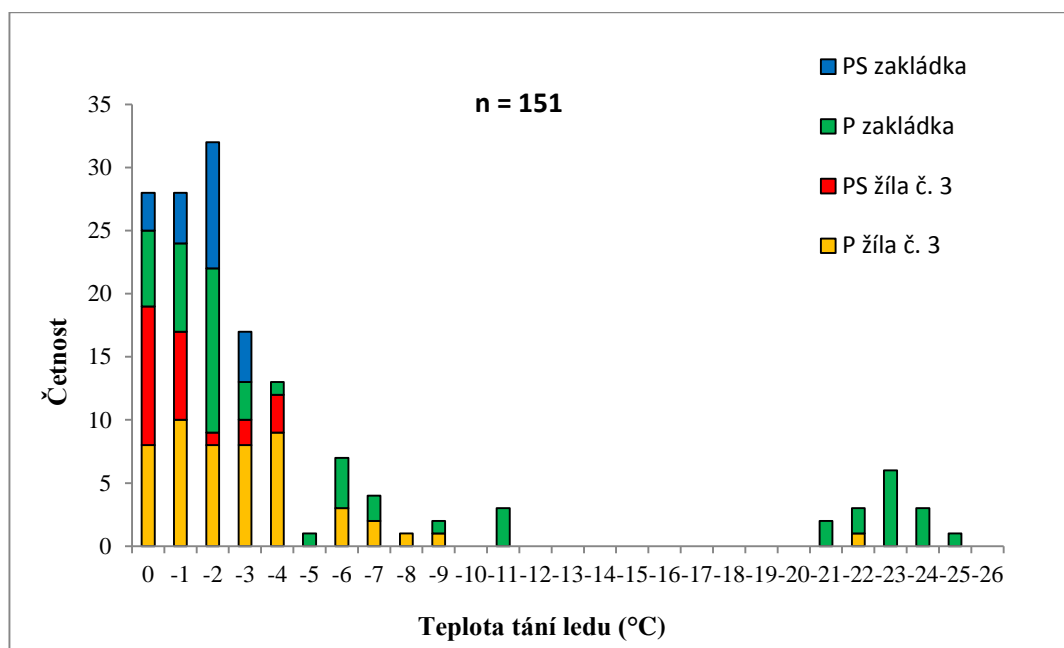
Pomalým zahříváním bylo možné pozorovat prosvětlení obsahu inkluze (obr. 20b), tedy teplotu iniciálního tání ( $T_e$ ), která se pohybovala v intervalu  $-14,9$  až  $-55,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  $T_e$  se nedařilo naměřit u všech inkluzí. Nejčastěji byla vidět u P inkluzí, kde také dosahovala nejnižších hodnot (tab. 3, obr. 21). U PS inkluzí se  $T_e$  podařilo naměřit jen u 4 inkluzí ze vzorku křemene ze zakládky a pouze u jediné z ložní křemenné žíly č. 3 (tab. 3, obr. 21).



Obr. 21: Histogram teplot iniciálního tání všech typů inkluzí z lokality Anna.

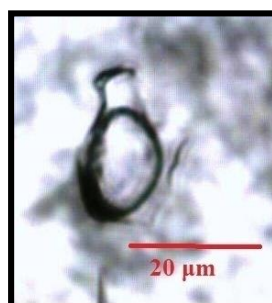
Dalším postupným zahříváním bylo možné pozorovat tání posledního ledu. Tání ledu však nebylo vždy dobře viditelné, jak z důvodu drobné velikosti inkluzí, tak i špatného fázového kontrastu v obsahu inkluzí.  $T_{mice}$  se pohybovala v intervalu od  $-0,2$  do  $-25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a opět u P inkluzí v obou vzorcích dosahovala nejnižších hodnot (tab. 3, obr. 22). U jediné

inkluze ze vzorku křemene ze zakládky se podařilo naměřit teplotu tání hydrohalitu ( $T_{mHh} = -40,7\text{ °C}$ ), který tál mnohem dříve než led a byl dobře viditelný v podobě krystalků s vyšším reliéfem vůči ledu.



Obr. 22: Histogram teploty tání ledu všech typů inkluzí ze štoly Anna.

Teploty homogenizace ( $T_h$ ) byly u obou vzorků velice variabilní.  $T_h$  primárních inkluzí u vzorku křemene ze zakládky dosahovaly hodnot 149 až 352 °C, nejčastěji však spadaly do intervalu 180 až 230 °C (obr. 24). Všechny tyto inkluze homogenizovaly na kapalinu, ale jedna P inkluze s velkou plynnou bublinou homogenizovala na plyn při teplotě 442 °C (obr. 23) a jedna dokonce před konečnou homogenizací dekrepitovala.

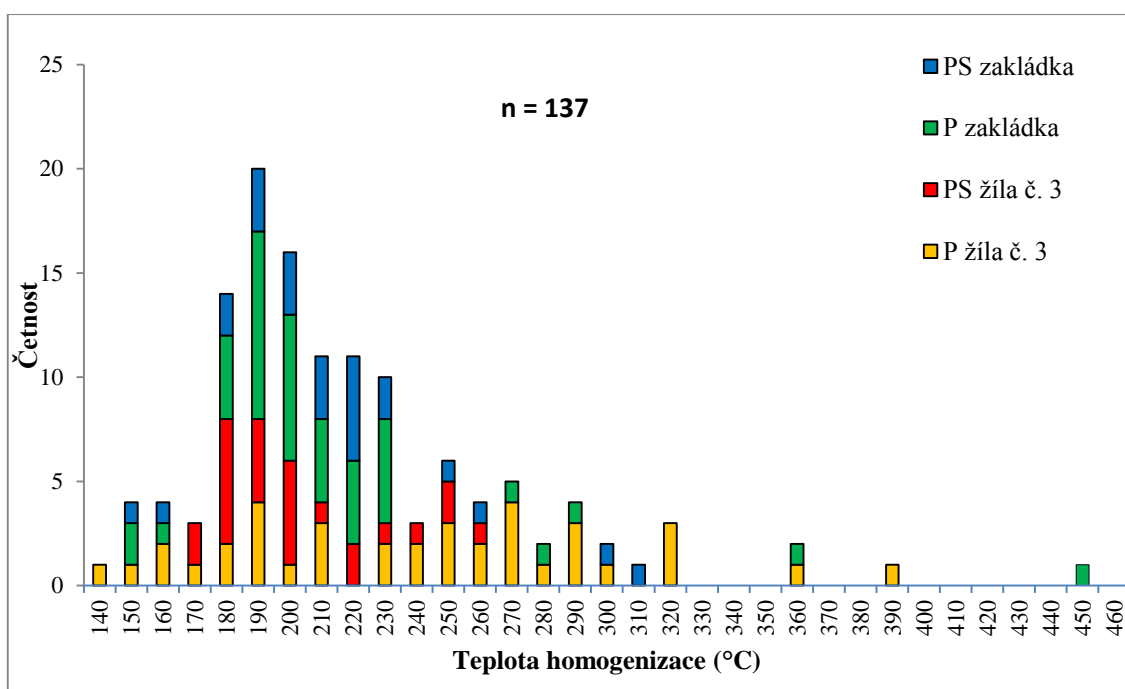


Obr. 23: P inkluze s velkou plynnou bublinou ( $F = 0,5$ ) z křemene ze zakládky z lokality Anna, tato inkluze homogenizovala při 442 °C na plyn.



$T_h$  pseudosekundárních inkluzí ze vzorku křemene ze zakládky byly zaznamenány v užším intervalu hodnot od 146 do 259 °C na kapalinu. Dvě inkluze s velkou plynnou bublinou ( $F = 0,5$ ) homogenizovaly na plyn při teplotách 299 a 302 °C.

Primární inkluze z ložní křemenné žíly č. 3 homogenizovaly v širokém intervalu od 132 do 390 °C na kapalinu, přičemž nejčastější  $T_h$  byla v rozmezí od 190 do 270 °C (obr. 24). Pouze jediná P inkluze homogenizovala na plyn při teplotě 264 °C a u 5 inkluzí, které ale neměly vysoký stupeň zaplnění, došlo k dekrepitaci. Všechny PS inkluze z ložní křemenné žíly č. 3 homogenizovaly na kapalinu v rozmezí 166 až 251 °C (obr. 24).



Obr. 24: Histogram homogenizačních teplot všech typů inkluzí ze štoly Anna.

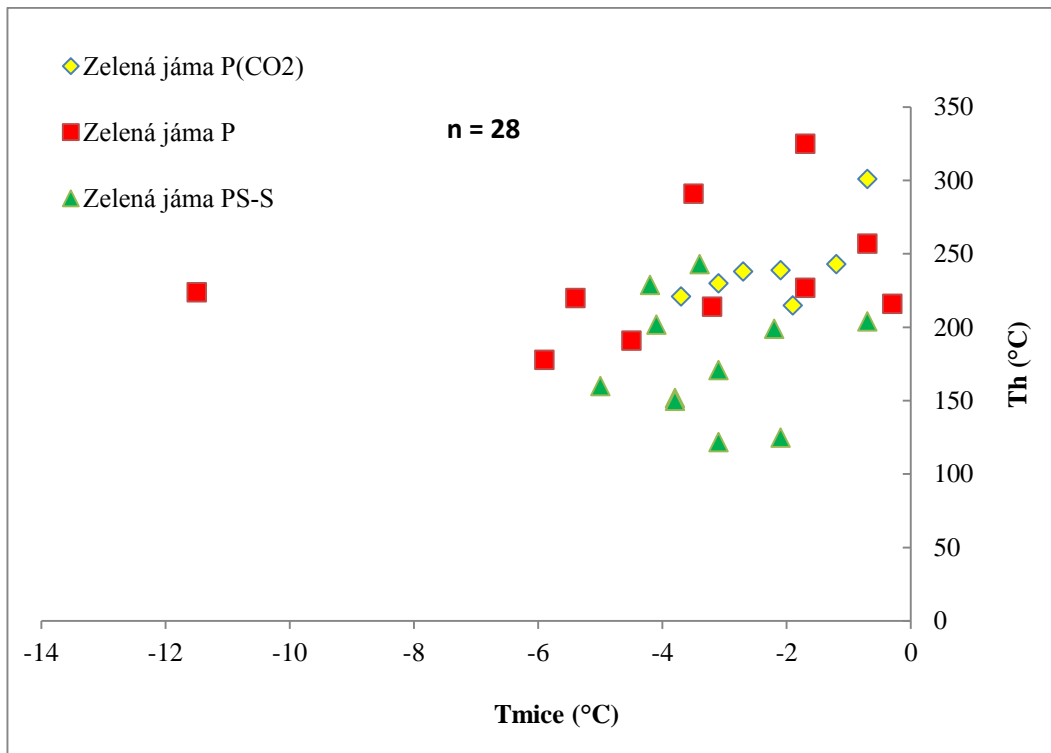
## 7. DISKUZE

### 7.1 Chemické složení inkluzí ze štoly Zelená jáma

Teplota iniciálního tání ( $T_e$ ) byla naměřena pouze u dvou P dvoufázových inkluzí vodných roztoků a dosahovala hodnot -21,2 a -18,0 °C. Tyto hodnoty naznačují přítomnost systému  $H_2O-NaCl$ . Z teploty tání posledního ledu ( $T_{mice}$ ) byla vypočítána salinita jednofázových PS-S inkluzí na 3,6-6,8 hmot. % NaCl ekv. U dvoufázových PS-S inkluzí  $T_e$  nebyla naměřena, salinita dvoufázových PS inkluzí byla stanovena na 1,2-7,9 hmot. % NaCl ekv. Z  $T_{mice}$  dvoufázových P inkluzí byla vypočtena salinita 0,5-15,5 hmot. % NaCl ekv.

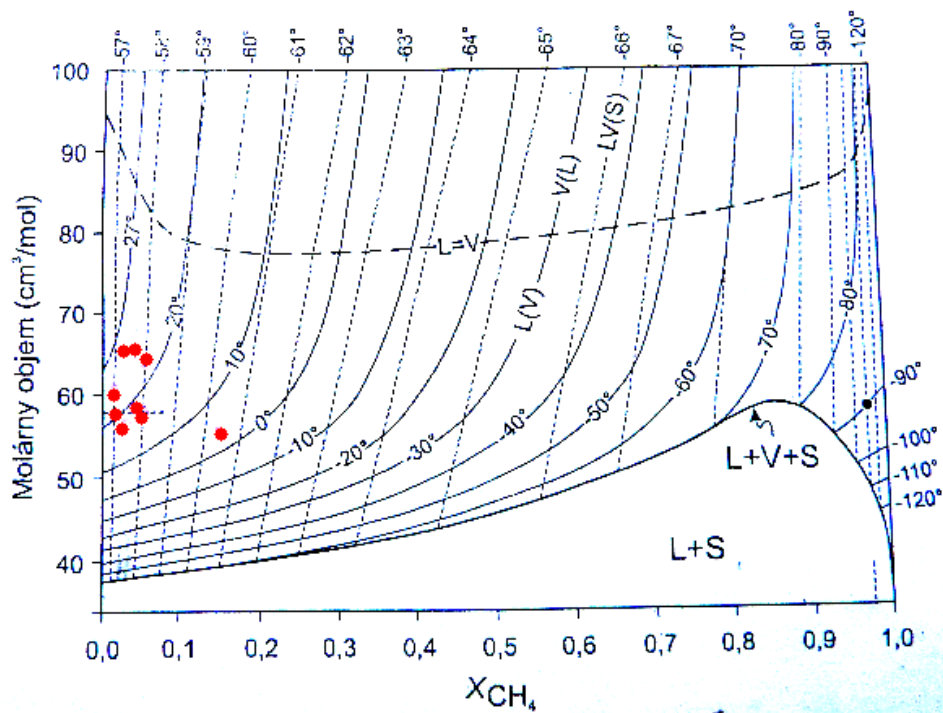
Můžeme tedy říci, že inkluze vodných roztoků ze štoly Zelená jáma jsou nízkosalinní až středněsalinní.

Fluidní inkluze s obsahem  $\text{CO}_2$ , se vyskytovaly společně s inkluzemi vodných roztoků. Byly vždy trojfázové L1+L2+V, s variabilním stupněm zaplnění od 0,9 až do 0,5.  $T_e$  inkluzí s  $\text{CO}_2$  byla naměřena pouze u 6 inkluzí a pohybovala se v intervalu od -27,3 do -28,8 °C, což neodpovídá žádnému známému systému. Naměřené hodnoty  $T_e$  jsou nejspíše důsledkem pozdního zaregistrování tání obsahu inkluze. Skutečná  $T_e$  by tedy měla být nižší než naměřená, což může nasvědčovat přítomnosti chloridů dvojjvalentních kovů (Mg, Fe - Borisenko 1977 in Zachariáš 2000) vedle NaCl. Jedná se tedy o fluida se složením  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CO}_2$ -soli. Modelujeme-li složení fluid systémem  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{CO}_2$ -NaCl, potom z naměřených hodnot teploty tání klatrátu bylo vypočteno v programu FLINCOR následující složení fluid a salinita: 58,0-75,6 mol. %  $\text{H}_2\text{O}$ , 40,2-24,4 mol. %  $\text{CO}_2$ , 0,1-2,1 mol. % NaCl, 1-16 mol. %  $\text{CH}_4$  a salinita vodného roztoku 0,2 až 10,3 hmot. % NaCl ekv. Můžeme tedy říci, že inkluze s  $\text{CO}_2$  jsou stejně jako inkluze vodných roztoků nízko až středně salinní. Hustota nevodné fáze odpovídající naměřeným hodnotám  $T_{\text{hcar}}$  se pohybuje mezi 0,348-0,786 g/cm<sup>3</sup>. Celkový molární objem nevodné fáze je 55 až 65 cm<sup>3</sup>/mol. Pevný  $\text{CO}_2$  tál od -60,6 do -56,9 °C. Jelikož ani u jedné inkluze nebylo dosaženo hodnoty  $T_{\text{mCO}_2} = -56,6$  °C, která by nasvědčovala přítomnosti čistého  $\text{CO}_2$ , můžeme předpokládat, že nižší hodnoty  $T_{\text{mCO}_2}$  indikují příměsi  $\text{CH}_4$  (od 1 do 5 mol. %, u jedné inkluze dokonce až 16 mol. %, obr. 26),  $\text{N}_2$  či jiných plynů (Zachariáš 2000). Jelikož se jedna hodnota  $T_{\text{hcar}}$  pohybovala v těsné blízkosti hodnoty kritické teploty  $\text{CO}_2$  (29,2 °C), lze předpokládat i příměs  $\text{H}_2\text{S}$  či vyšších uhlovodíků (Huraiová et al. 2002).



Obr. 25: Diagram  $T_h - T_{mice}$  pro všechny typy inkluzí ze štoly Zelená jáma.

Homogenizační teploty ( $T_h$ ) všech inkluzí ze štoly Zelená jáma se pohybují v širokém intervalu teplot. Homogenizace byla většinou na kapalinu, pouze u jediné vodné inkluze, která měla stupeň zaplnění (0,7), proběhla homogenizace na plyn při nejvyšší teplotě (325 °C) a tři inkluze s CO<sub>2</sub>, které byly za pokojové teploty výrazně bohatší na CO<sub>2</sub>, také homogenizovaly na plyn za vyšších teplot. Velký rozptyl teplot a homogenizací jak na plyn, tak i na kapalinu u inkluzí s CO<sub>2</sub> by mohl naznačovat zachycení inkluzí z heterogenního fluida. Teploty homogenizací a teploty tání ledu všech inkluzí ze štoly Zelená jáma byly vyneseny do grafu (obr. 25). Z malého množství naměřených dat můžeme interpretovat jen náznaky trendů. U primárních inkluzí vodných roztoků (Zelená jáma P) je náznak trendu izotermálního mísení různě salinních fluid. U PS-S inkluzí vodných roztoků (Zelená jáma PS-S) lze pozorovat mísení fluid s variabilními salinitami i teplotami a u primárních inkluzí s CO<sub>2</sub> (Zelená jáma P(CO<sub>2</sub>)) lze pozorovat náznak trendu, kde se během vzniku inkluzí příliš neměnila teplota. Jedná se o vysokoteplotní nízkosalinní inkluze.

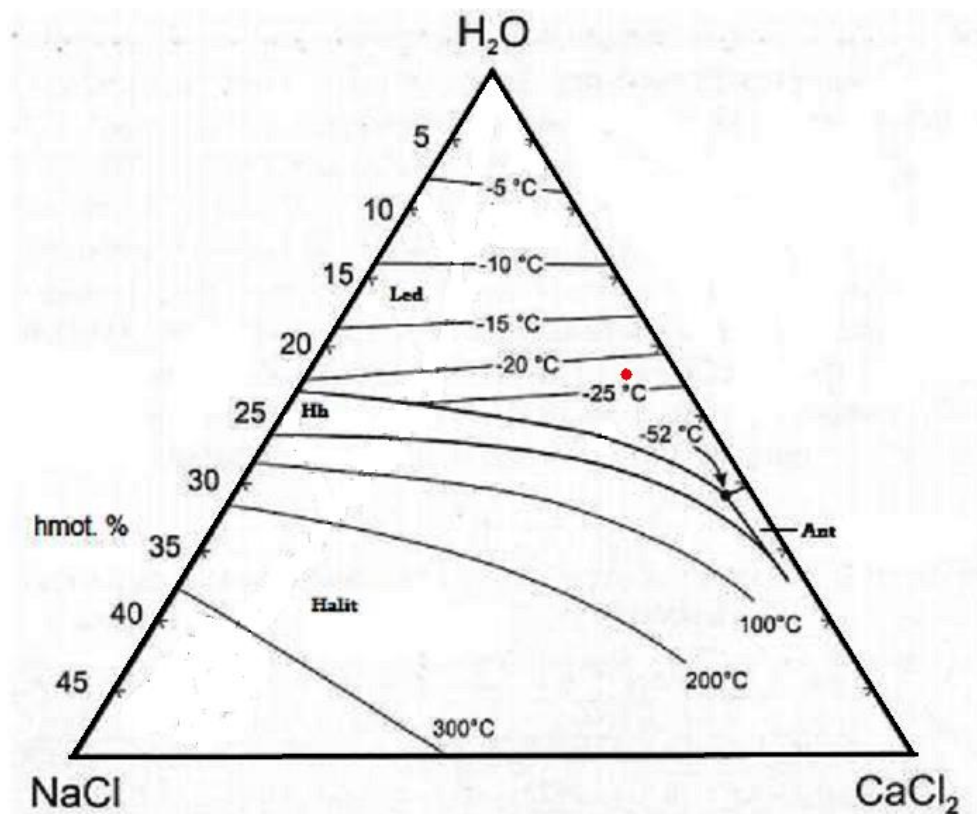


Obr. 26: Diagram pro vizualizaci složení a molárního objemu  $\text{CO}_2\text{-CH}_4$  směsi na základě naměřených hodnot  $T_{m\text{CO}_2}$  a  $T_{\text{hcar}}$  na kapalinu v inkluzích z žilného křemene z lokality Zelená jáma (Huraiová et al. 2002).

## 7.2 Chemické složení inkluzí ze štoly Anna

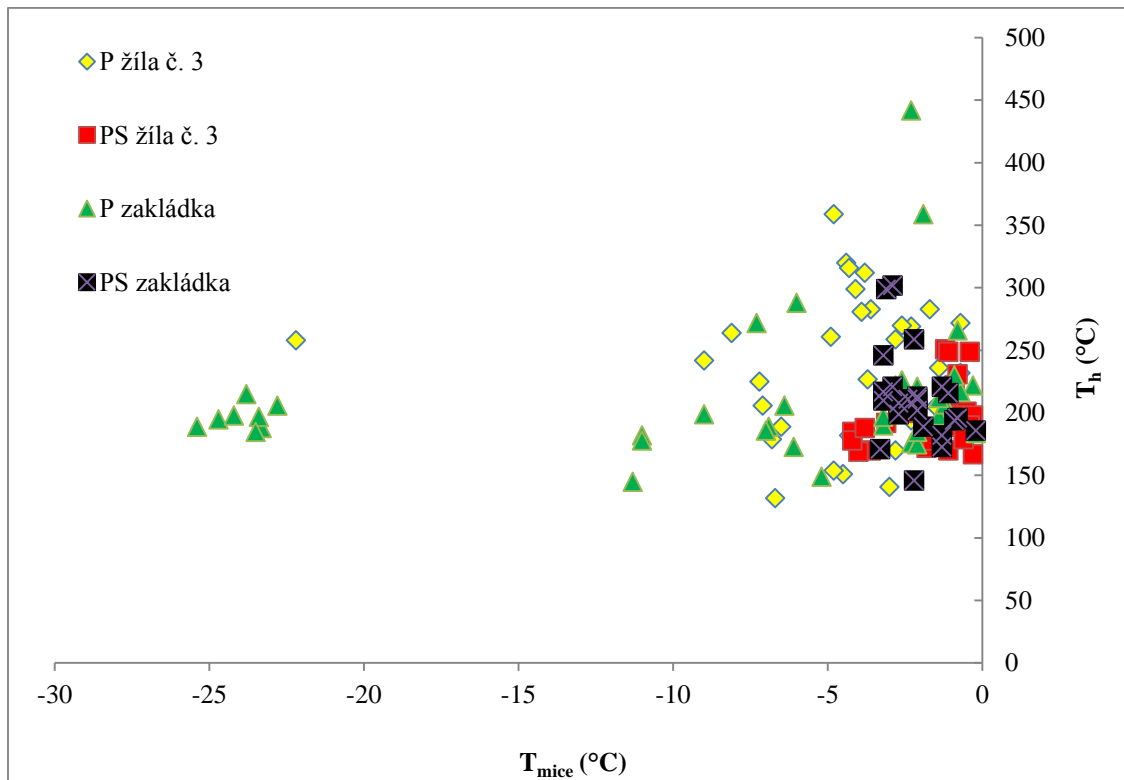
U inkluzí vodných roztoků ze štoly Anna byl naměřen široký rozptyl  $T_e$  (-14,9/-55,2 °C). Dle těchto naměřených teplot iniciálního tání lze identifikovat několik druhů vodných roztoků. Nejčastější jsou roztoky s NaCl (pro  $T_e = -23,3/-14,9$  °C ze vzorku křemenné žíly č. 3 a  $-21,7/-17,9$  °C ze vzorku křemene ze zakládky). Dalšími fluidy, která jsou zastoupena především v inkluzích ze vzorku křemene ze zakládky, jsou roztoky s NaCl a  $\text{CaCl}_2$  (pro  $T_e = -55,2/-41,9$  °C ze vzorku křemene ze zakládky, a pouze 1 inkluze s  $T_e = -52,8$  °C ze vzorku křemenné žíly č. 3) a pravděpodobně jsou v inkluzích obsaženy i roztoky s Mg nebo Fe, čemuž nasvědčují  $T_e$  od  $-36,8$  do  $-35,1$  °C ze vzorku křemene ze zakládky a  $T_e$  od  $-37,4$  do  $-34,9$  °C ze vzorku křemenné žíly č. 3. Systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl}$  byl zaznamenán ve všech typech mnou změřených inkluzích (primární (L)/(L+V), pseudosekundární (L+V)) u obou vzorků. Systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl-CaCl}_2$  se vyskytoval především v inkluzích ze vzorku křemene ze zakládky a to pouze v jednofázových nebo dvoufázových P inkluzích a pouze v jediné dvoufázové P inkluzi ze vzorku křemenné žíly č. 3. Systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl-MgCl}_2$  nebo systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl-FeCl}_2$  byl detekován u dvoufázových P i PS inkluzí ze vzorku křemene ze zakládky a pouze u dvoufázových P inkluzí ze vzorku křemenné žíly č. 3.

Široký rozptyl naměřených teplot tání ledu nasvědčuje variabilní salinitě uzavíraných roztoků. U fluidních inkluzí obsahujících solný systém  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  nebo roztoky s chloridy Fe či Mg byla naměřena salinita od 0,5 do 15,0 hmot. % NaCl ekv, jedná se tedy o nízkosalinní až středněsalinní roztoky. U fluidních inkluzí obsahujících roztoky s chloridy Na a Ca byla vypočítána salinita 9,6 až 25,6 hmot. % NaCl ekv. S použitím naměřených hodnot  $T_{\text{mice}}$  a  $T_{\text{mHh}}$  jsme schopni v trojúhelníkovém diagramu  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$  vyjádřit vzájemný poměr chloridů Na a Ca, který je v našem případě 1:4 (obr. 27).



Obr. 27: Projekce teplot tání ledu a hydrohalitu v inkluzi ze vzorku křemene ze zakládky ve fázovém diagramu  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ , (upraveno podle Huraiové et al. 2002).

Teploty homogenizace inkluzí se pohybují v širokém intervalu hodnot. Ze 156 inkluzí pouze 4 homogenizovaly na plyn (mohlo u nich dojít k částečné dekrepitaci spojené s únikem části obsahu inkluze; Fojt et al. 2012) a zbytek na kapalinu. Teploty homogenizace a teploty tání ledu byly vyneseny do grafu (obr. 28), ze kterého je možná interpretace trendů. U P inkluzí z obou vzorků je patrný trend mísení dvou roztoků o různých salinitách. Tento velký rozptyl salinit může naznačovat míchání solanek a srážkových vod. PS inkluze obou vzorků jsou také velice podobné, jedná se tedy o nízkosalinní vysokoteplotní inkluze.



Obr. 28 : Diagram  $T_h - T_{mice}$  pro všechny typy inkluzí ze štoly Anna.

### 7.3 Srovnání výsledků s dosavadními výzkumy fluidních inkluzí v sileziku

V křemenech z metamorfitů ze Zlatých Hor a Zlatého Chlumu byly zjištěny P, PS a S inkluze se složením  $H_2O-NaCl$  s nízkou až střední salinitou (od 2 do 10 hmot. %  $NaCl_{ekv.}$ , Ďurišová 1990). Námi naměřené hodnoty v P a PS inkluzích ze štoly Anna a P, PS-S inkluzích ze štoly Zelená jáma mají velmi podobnou salinitu (do 16 hmot. %  $NaCl_{ekv.}$ ). Teploty homogenizací P, PS a S inkluzí ze Zlatých Hor a Zlatého Chlumu mají menší rozptýlení hodnot, než námi naměřené teploty. Nelze vyloučit obdobný původ fluid, který je spojován s variskou metamorfózou (Ďurišová 1990). Obdobnou salinitu uvádí také Steinerová (2013) z inkluzí z ložní křemenné žilky z desenské ruly a z křemen-karbonát barytové žíly na lokalitě Zámčisko.

Fluida o složení  $H_2O-NaCl-CaCl_2$  byly doloženy v sileziku na lokalitách Černá Voda (inkluze z křemenné žilky z biotitického granitu a hrubě krystalického křemene a živce z horniny pegmatoidního charakteru), Stříbrník u Nýznerova (inkluze z žilného křemene a barytu z metamorfovaných hornin staroměstského pásma), Vidly (inkluze z úlomků křemenné výplně v blastomylonitech) a Žulová-Andělské domky (inkluze z křišťálů ze žulovského masivu, Ďurišová 1990), Vernířovice (inkluze z křišťálů z mineralizace alpské

parageneze, Kontár 2011), Žulová (inkluze z křemenné žíly, Kontár 2008), Zámčisko (inkluze z křemen-karbonát-barytové žíly, Steinerová 2013). Podobná salinita fluidních inkluzí s chloridy Na a Ca (až 26 hmot. % NaCl ekv.) byla zjištěna téměř na všech uvedených lokalitách.  $T_h$  P, PS a S inkluzí z lokality Vidly a Černá Voda jsou velice podobné našim teplotám homogenizací P inkluzí s chloridy Na a Ca na obou lokalitách. Steinerová (2013) považuje fluida s chloridy Na a Ca v barytové mineralizaci z lokality Zámčisko za prevariská a připisuje jim vyšší stáří než fluidům s chloridy Na. Podle Kontára (2011) jsou fluida s chloridy Na a Ca z lokality Vernířovice považována za povariská.

Inkluze s možnou přítomností chloridů Mg nebo Fe uvádí autoři v sileziku na lokalitách Zámčisko (Steinerová 2013) a Suchá Rudná (Ďurišová 1990). Salinity inkluzí z těchto lokalit (10 až 13 hmot. % NaCl ekv.) jsou podobné našim naměřeným salinitám (do 10 hmot. % NaCl ekv.). Na některých těchto lokalitách, jako je Žulová-Andělské domky a Stříbrník u Nýznerova (Ďurišová 1990) byly zjištěny vyšší celkové salinity (od 23 do 29 hmot. % NaCl ekv.), můžeme však říci, že naše naměřené hodnoty nejsou tolik rozdílné, tudíž nejsou v rozporu s uvedenými údaji.

Inkluze s CO<sub>2</sub> byly již dříve popsány v sileziku na lokalitách Zlatý Chlum, Zlaté Hory, Vidly, Suchá Rudná (Ďurišová 1990), Vernířovice (Kontár 2011, Novotný a Zimák 2003), ale zde se jednalo pouze o dvoufázové (L1+L2/L+V) nebo jednofázové (L/V) inkluze. Trojfázové (L1+L2+V) primární a pseudosekundární inkluze s CO<sub>2</sub> byly zaznamenány na lokalitách Hláska a Vysoká hora (inkluze z žilného křemene, křemene a karbonátu a z křemen-ankeritové žiloviny z vrtu SRS-14, Fojt et al. 2012), Zámčisko (inkluze z ložní křemenné žilky z desenské ruly, Steinerová 2013), Jelení hřbet a Hutisko (inkluze z křemene z granátovce z páskovaných železných rud desenské skupiny, Kropáč 2012). Námi naměřené inkluze s CO<sub>2</sub> byly trojfázové (L1+L2+V) o složení H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-soli, s hustotou nevodné fáze od 0,348 do 0,786, salinitou vodného roztoku 0,2-10,3 hmot. % NaCl ekv. a přítomností menšího množství CH<sub>4</sub>. Inkluze o složení H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-soli byly doloženy z lokalit Zlaté Hory (i s příměsí CH<sub>4</sub>), Suchá Rudná (Ďurišová 1990) nebo Hutisko a Jelení hřbet (Kropáč 2012). Vyšší salinita inkluzí je velmi podobná salinitám P, PS a S inkluzí na lokalitách Hutisko a Jelení hřbet, kde fluidní inkluze s CO<sub>2</sub> vykazují typické rysy metamorfních fluid spjatých s variskou metamorfózou. Na některých lokalitách jsou salinity poněkud nižší (do 6 hmot. % NaCl ekv.), ale nejsou ve velkém rozporu s našimi údaji.  $T_{hear}$  je nejvíce podobná inkluzím z lokality Hláska a Vysoká hora (Fojt et al. 2012), kde parciální homogenizace CO<sub>2</sub> fáze je také pouze na kapalinu. Hustota CO<sub>2</sub> fáze na všech těchto lokalitách je variabilní, avšak naše

hodnoty tam spadají. Teploty totální homogenizace jsou také v souladu s uvedenými údaji z těchto lokalit a liší se pouze tím, že inkluze s CO<sub>2</sub> z lokality Zelená jáma homogenizovaly (T<sub>tot</sub>) jak na kapalinu, tak i na plyn, což naznačuje zachycení inkluzí z heterogenního fluida. Myšlenku o zachycení inkluzí s CO<sub>2</sub> z heterogenního fluida již vyslovili Fojt et al. (2012) u inkluzí z lokality Hláska a Vysoká hora, dále Novotný a Zimák (2003) na lokalitě Vernířovice-Mísečky a Steinerová (2013) na lokalitě Zámčisko.

#### 7.4 P-T podmínky

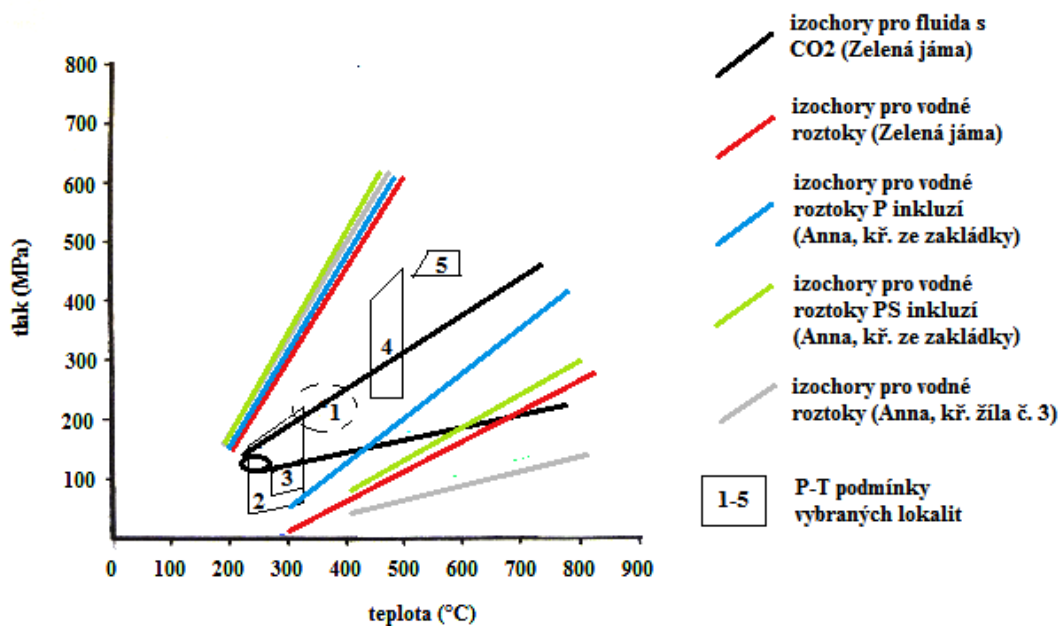
Fluidní inkluze s CO<sub>2</sub> ze Zelené jámy za pokojové teploty vykazují variabilní stupeň zaplnění (0,5-0,9) a rozdílné způsoby homogenizace jak na plyn, tak i na kapalinu. Tři inkluze homogenizovaly na plyn a pět inkluzí na kapalinu, přičemž tyto primární inkluze s CO<sub>2</sub> spolu koexistovaly. Z toho můžeme usuzovat, že inkluze s CO<sub>2</sub> ze Zelené jámy byly zachyceny z heterogenního fluida. Teploty totální homogenizace by v tom případě odpovídaly skutečným teplotám zachycení fluid (Zachariáš 2000). V P-T diagramu (obr. 29) bylo vymezeno pole elipsovitého tvaru, které by mělo odpovídat pravděpodobným P-T podmínkám zachycení fluidních inkluzí v křemenné žíle ze štoly Zelená jáma. Pravděpodobné P-T podmínky zachycení fluid se pohybují za teplot cca 215 až 230 °C a tlaků cca 110 až 130 MPa.

Inkluze vodných roztoků z obou lokalit vykazují poměrně stálé fázové poměry (homogenizaci na plyn, která byla velmi výjimečná, můžeme připsat částečné dekrepitaci spojené s únikem části obsahu inkluzí; Fojt et al. 2012), lze tedy předpokládat zachycení inkluzí z homogenního fluida. Teplota zachycení fluid je s největší pravděpodobností vyšší, než námi zaznamenané teploty homogenizací. Pro stanovení reálných P-T podmínek zachycení fluid by bylo zapotřebí použití nezávislých termometrů či barometrů (Huraiová et al. 2002, Zachariáš 2000).

Do P-T diagramu byly vyneseny krajní izochory pro P inkluze s CO<sub>2</sub> ze Zelené jámy, vypočtené podle rovnice Bowerse a Helgesona (1983) a izochory vodných roztoků P a PS-S inkluzí ze Zelené jámy a P, PS inkluzí z křemene ze zakládky a z křemenné žíly č. 3 ze štoly Anna, vypočtené podle rovnice Zhanga a Frantze (1987). Pro srovnání byly také vyneseny P-T podmínky pro fluida v ložní křemenné žilce z desenské ruly z lokality Zámčisko (Steinerová 2013, pole č. 1, obr. 29), dále P-T podmínky pro fluida z žilného křemene a křemene s karbonátem z lokalit Vysoká hora a Hláska (Fojt et al. 2012, pole č. 2,3, obr. 29) a také P-T podmínky pro fluida z křemenných poloh v kvarcitech a ze zlatonosného křemene



na kontaktu kvarcitů a svorů z lokalit Zlaté Hory a Zlatý Chlum (Ďurišová 1990, pole č. 4 a 5, obr. 29).



Obr. 29: P-T diagram s vynesnými krajními izochorami a vymezením P-T podmínek zachycení fluid ze štoly Zelená jáma, izochory byly sestrojeny na základě výpočtu v programu FLINCOR a kombinace programů ISOC a ICE, pole elipsovitého tvaru znázorňuje pravděpodobné P-T podmínky zachycení inkluzí s CO<sub>2</sub> v křemenné žíle ze štoly Zelená jáma, pole č. 1 znázorňuje P-T podmínky pro fluida z lokality Zámčisko (Steinerová 2013), pole č. 2 znázorňuje P-T podmínky pro fluida z lokality Vysoká hora (Fojt et al. 2012), pole č. 3 znázorňuje P-T podmínky pro fluida z lokality Hláska (Fojt et al. 2012), pole č. 4 znázorňuje P-T podmínky pro fluida z lokality Zlaté Hory (Ďurišová 1990), pole č. 5 znázorňuje P-T podmínky pro fluida z lokality Zlatý Chlum (Ďurišová 1990).

## 8. ZÁVĚR

Fluidní inkluze byly zkoumány v pravé křemenné žíle ze štoly Zelená jáma a v ložní křemenné žíle č. 3 a v žilném křemenu ze zakládky ze štoly Anna. Byly zde odlišeny všechny genetické typy inkluzí, ale změřeny byly pouze primární a pseudosekundární inkluze. Fluidní inkluze byly nejčastěji dvofázové (L+V), ojediněle jednofázové (L). Vyskytovaly se zde i trojfázové inkluze (L1+L2+V), ale pouze ve vzorku ze štoly Zelená jáma.

Ve štole Zelená jáma byly stanoveny fluidní systémy  $\text{H}_2\text{O-NaCl}$  a  $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-soli}$ . Salinita inkluzí vodných roztoků byla nízká až střední (0,5 až 15,5 hmot. % NaCl ekv.). V systému  $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-soli}$  byly kromě chloridů Na nejspíše rozpuštěny i chloridy Mg a Fe a salinita inkluzí s  $\text{CO}_2$  vypočítaná z teplot disociace klatrátu byla 0,2 až 10,3 hmot. % NaCl ekv., jedná se tedy o nízko až středně salinní inkluze. Fluida obsahují 58,0-75,6 mol. %  $\text{H}_2\text{O}$ , 40,2-24,4 mol. %  $\text{CO}_2$ , 0,1-2,1 mol. % NaCl, 1-16 mol. %  $\text{CH}_4$  a hustota nevodné fáze odpovídající  $T_{\text{hcar}}$  se pohybovala mezi 0,348 a 0,786  $\text{g/cm}^3$ . Kromě  $\text{CO}_2$  byly pravděpodobně v inkluzích přítomny i jiné plyny jako je  $\text{CH}_4$  (1-5 mol. %, u jedné inkluze až 16 mol. %),  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  či vyšší uhlovodíky. Inkluze vodných roztoků, které nevykazovaly značnou variabilitu fázového složení, byly nejspíše zachyceny z homogenního fluida, zatímco inkluze s  $\text{CO}_2$  s výraznou variabilitou ve stupni zaplnění (0,5-0,9) i ve způsobu totální homogenizace (na kapalinu i na plyn), byly nejspíše zachyceny z heterogenního fluida, tudíž teploty naměřených totálních homogenizací (215-230°C) by měly představovat skutečné teploty zachycení inkluzí. P-T podmínky vzniku inkluzí (i křemenné žiloviny) byly stanoveny na cca 215-230 °C a 110-130 MPa. Tato fluida pravděpodobně pochází z retrogradní fáze variské metamorfózy.

Ve štole Anna byl nejčastějším systémem fluidní systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl}$  nebo  $\text{H}_2\text{O-NaCl}$  s přítomností rozpuštěných chloridů Mg či Fe, který byl přítomen ve všech inkluzích obou studovaných vzorků. Salinita pro tyto systémy odpovídá 0,5 až 15,0 hmot. % NaCl ekv., jedná se tedy o nízko až středně salinní inkluze. Dalším stanoveným systémem byl systém  $\text{H}_2\text{O-NaCl-CaCl}_2$ , který se vyskytoval především v primárních inkluzích ze vzorku křemene ze zakládky a pouze v jediné P inkluzi ze vzorku křemenné žíly č. 3. U fluidních inkluzí obsahujících roztoky s chloridy Na a Ca byla vypočítána salinita 9,6 až 25,6 hmot. % NaCl ekv. Rozptyl salinit může naznačovat míchání solanek a srážkových vod. Vzhledem k tomu, že inkluze vodných roztoků ze štoly Anna vykazovaly poměrně stálé fázové poměry, můžeme předpokládat, že byly zachyceny z homogenního fluida během variské metamorfózy a námi naměřené teploty homogenizací, tak představují minimální možné teploty zachycení fluid.

## 9. LITERATURA

- Bakker R. J. (2003): Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. – *Chem. Geol.*, 194: 3–23.
- Bartas F. (1950): Geologické a petrografické poměry území Zlaté Hory – Heřmanovice. – Přír. sbor. Ostrav. kraje, 11: 134-162. Ostrava.
- Bártková V. (2010): Zlatonosná mineralizace na historickém ložisku zlata Marie Pomocné ve zlatohorském rudním revíru, – MS, bakalářská práce, PřF UP Olomouc.
- 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.
- Bowers T. S., Helgeson H. C. (1983): Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl on phase relations in geologic systems: equation of state for H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl fluids at high pressures and temperatures. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 1247 – 1275.
- Brown Ph. E. (1989): FLINCOR: A fluid inclusion data reduction and exploration program. – Second biennial Pan-American conference on reasearch on fluid inclusions, program with abstracts, 14.
- Duan Z., Moller N., Weare J. H. (1992a): An equation of state for the CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system: I pure systems from 0 to 1000°C and 0 to 8000 bar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 2605 – 2617.
- Duan Z., Moller N., Weare J. H. (1992b): An equation of state for the CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system: II mixtures from 50 to 1000°C and 0 to 1000 bar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 2619 – 2631.
- Ďurišová J. (1990): Charakteristika nerostotvorného prostředí na vybraných lokalitách Jeseníků na základě studia fluidních inkluzí. – *Sbor. Geol. Věd, Ložisk. geol. mineral.*, 29: 167 – 186. Praha.
- Fojt B. (1993): Stručná charakteristika metalogenetických poměrů území Moravy a Slezska. – In: Přichystal A., Obstová V., Suk M.: *Geologie Moravy a Slezska*, pp. 79 – 86. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU, Brno.

- Fojt B., Dolníček Z., Nepejchal M. (2012): Zlato v křemenných žilách lokalit Hláska a Vysoká Hora – severní část revíru Andělská Hora. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 97, 2: 47 – 67. Brno.
- Fojt B., Hauk J. (1984): Parageneze zlata ze Zlatých hor a Zlatého Chlumu u města Jeseníku. – Sbor. konf. Komplexní výzkum a využití Ag-Au surovin, 56 – 60. Dům techn. ČS VTS Ústí n. Labem. Jeseník
- Fojt B., Hauk J., Vodová E. (1987): Zlato jesenických stratiformních ložisek. – Sbor. symp. Zlato v Západných Karpatoch, 35 – 39. GÚDŠ Bratislava.
- Fojt B., Hladíková J., Kalenda F. (2001): Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách. Část 2.: C. Geologie D. Mineralogie E. Geochemie stabilních izotopů. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 86: 3 – 58. Brno.
- Fojt B., Mixa P. (2002): Kamenná hora u Ferdinandova – Primární výskyt zlata při hranici desenské a vrbenské skupiny silezika (Jeseníky). – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 87: 61 – 73. Brno.
- Fojt B., Vavrošová-Konečná J., Dolníček Z. (2007): Stručná charakteristika železnorudného výskytu Skály u Rýmařova, Nízký Jeseník. – Čas. Slez. Muz. (A), 56: 1 – 22. Opava.
- Fojt B., Večeřa J. (2000): Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách. Část 1.: A. Historie těžby. B. Přehled literárních poznatků. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 85: 3 – 45. Brno.
- Hanžl P. (1997): Předdevonský metakonglomerát v mylonitech severní části desenské klenby. – Acta Mus. Moraviae, Sci. nat., 81: 66 – 72. Brno.
- Hauk J., Odehnal F. (1989): Studium morfologie zlata z několika výskytů v Hrubém Jeseníku. – Věst. Ústř. úst. geol., 64, 5: 297-300. Praha.
- Huraiová M., Hurai V., Slobodník M. (2002): Základy štúdia fluidných inklúzií v mineráloch. – PřF MU. Brno.
- Cháb J., Fediuková E., Fišera M., Novotný P., Opletal M. (1990): Variská orogeneze v silesiku. – Sbor. geol. Věd, ložisk. geol. mineral., 29: 9 – 39. Praha.

- Cháb J., Breitr K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J., Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Vydavatelství ČGS. Praha.
- Cháb J., Mixa P., Vaněček M., Žáček V. (1994): Geology of the NW part of the Hrubý Jeseník Mts. (the Bohemian massif, Central Europe). – Bull. Czech Geol. Surv., 69, 3: 17 – 26. Praha.
- Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2011): Geologická minulost České republiky. 2. vyd. – Academia. Praha.
- Janák J., Augusta L. (1969): Nové názory na vývoj a vyhodnocení ložiska Zlaté Hory - jih. – Geol.Průzk., 11, 35 – 40. Praha.
- Kalenda F. (1986) : Nové poznatky z ověřování prognóz rudních struktur ložiska Zlaté Hory-západ. – Sbor. symp. Hor. Příbram ve vědě a technice, sekce geologie: 221 – 237. Příbram.
- Kalenda F. (1998): Stručný přehled geologických poměrů zlatohorského rudního revíru. – Minerál, 6, 3: 171 – 176. Brno.
- Kalenda F., Večeřa J. (2002-2004): Ložisková charakteristika. – In: Grygárek J., Rambousek P.: Hornicko ekologické zhodnocení zlatohorského rudního revíru po ukončení těžby a zpracování rud a prognóza jejího dalšího vývoje. pp. 35 – 48. – MS, Česká geologická služba Praha a Vysoká škola báňská v Ostravě.
- Kontár M. (2008): Studium fluidních systémů v inkluzích žilných křemenů z okolí Žulové. – MS, bakalářská práce, PřF MU Brno.
- Kontár M. (2011): Kontrastní typy fluid v inkluzích křemenů z alpské parageneze z oblasti sobotínského masivu. – Geol. výzk. Mor. Slez., 2: 138 – 142. Brno.
- Koverdinský B. (1933): Geologické problémy silezika. – In: Přichystal A., Obstová V., Suk M.: Geologie Moravy a Slezska, pp. 31 – 40. Moravské zemské muzeum a Sekce geol. věd PřF MU, Brno.
- Kropáč K. (2012): Mineralogie a geneze páskovaných železných rud desenského krystalinika. – MS, disert. práce, PřF MU Brno.

- Misař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív. – SPN. Praha.
- Morávek P., Aichler J., Doškář Z., Duda J., Ďurišová J., Hauk J., Janatka J., Kalenda F., Klomínský J., Květoň P., Litochleb J., Malec J., Mrázek I., Novák F., Pouba Z., Pudilová M., Punčochář M., Skácel J., Soukup B., Studničková B., Sztacho P., Šponar P., Tásler ml. R., Váňa T., Vaněček M., Veselý J. (1992): Zlato v Českém masivu – Vydavatelství ČGÚ Praha.
- Nepejchal M., Dolníček Z., Fojt B., Mičudová K. (2013): Zlato historického důlního díla „Anna“ – Zlaté Hory v Jeseníkách. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 98, 2: 25 – 37. Brno.
- Nepejchal M., Dolníček Z., Fojt B., Mičudová K. (2014): Zlato křemenných žil „Zelené jámy“ – Zlaté Hory v Jeseníkách. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., v tisku.
- Novotný P., Zimák J. (2002): Chemismus zlata v křemenné žíle štoly Maria Hilfe I ve Zlatých Horách. – Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat“, 67-69. Olomouc.
- Novotný P., Zimák J. (2003): Puklinová mineralizace alpského typu na lokalitách „Mísečky“ a „Černý důl“ u Vernířovic. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 88: 123 – 138. Brno.
- Řehoř F. (1988): Přehled historické geologie a regionální geologie České republiky, Ostravská univerzita v Ostravě.
- Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodym O. ml., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Pouba Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J. (1964): Regionální geologie ČSSR I, Český masív, Krystalinikum. – Ústřední ústav geologický. Praha.
- Steinerová L. (2013): Fluidní inkluze v barytové mineralizaci z lomu Zámčisko (Hrubý Jeseník). – MS, bakalářská práce, PřF UP Olomouc.
- Stuchlíková-Kotrčová K. (1955): Geologické mapování území mezi Zlatými Horami a Heřmanovicemi. – MS, dipl. Práce, PřF MU Brno.
- Večeřa J., Večeřová V. (2010): Historie zlatohorských dolů. – Vydavatelství Viera Večeřová – PINKA. Jeseník.

Zachariáš J. (2000): Úvod do studia plynokapalných inkluzí. – PřF UK. Praha

Zhang Y. G., Frantz J. D. (1987): Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. – Chem. Geol., 64: 335 – 350.

Zimák J., Novotný P., Fojt B., Večeřa J., Losos Z., Vávra V., Večeřová V., Skácel J., Kopa D. (2003): Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách v okolí Javorníku, Jeseníku a Zlatých Hor. – Vydavatelství UP Olomouc. 64 stran.

Zítek B. (1955): Geologické mapování oblasti jižně Zlatých Hor – úsek Miserich-sever. – MS, dipl. práce, PřF MU Brno.