

DP 2861

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta  
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

# STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ NA LOŽISCÍCH ZLATA KASEJOVICKÉ OBLASTI

Diplomová práce

Barbora Šulcová



Vedoucí diplomové práce: Dr. Jiří Zachariáš, Ph.D.

Praha 2007

Prohlašuji, že jsem na předložené diplomové práci pracovala samostatně pod vedením svého školitele Dr. J. Zachariáše. Veškeré údaje z publikované literatury a nepublikovaných zpráv, které jsem použila, jsou řádně citovány v textu a uvedeny v seznamu literatury.

Svoluji k půjčování své diplomové práce pro studijní účely a žádám, aby byla vedena evidence o výpůjčkách a převzaté údaje byly řádně citovány.

Barbora Šulcová  
*Šulcová*

### **Poděkování**

Zde bych velmi ráda poděkovala především svému školiteli Dr. Jiřímu Zachariášovi z Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK za cenné rady a stálou pozornost, kterých se mi od něj dostalo, stejně jako za zapůjčení studijních materiálů.

Poděkovat bych také chtěla Mgr. V. Kollárové ze Štátného geologického ústavu Dionýze Štúra v Bratislavě za pomoc při studiu katodové luminescence (SEM-CL).

Dále děkuji za pomoc a stálé zprostředkování kapalného dusíku Ing. M. Pudilové.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým rodičům za morální a finanční podporu, kterých se mi od nich dostávalo po celou dobu studia.

Tato diplomová práce je součástí projektu GAČR 205/06/0702: Korelace krystalochemie komplexních sulfidů a teluridů a pTX charakteristik zdrojových hydrotermálních fluid jehož nositelem je Dr. J. Zachariáš. Děkujeme grantové agentuře GAČR za prostředky na výzkum.

## ABSTRAKT

Kasejovicko-bělčické území patří k oblastem, kde se zlato získávalo s přestávkami od 14. století. Celková produkce zlata během 14. až 20. století byla však menší než 1 t. Na druhou stranu tento revír patří po jílovském revíru k parageneticky nejzajímavějším výskytům Au mineralizace v Českém masívu. Mimo jiné zde byly poprvé popsány výskyty telluridů bismutu v Čechách.

Kasejovická oblast se skládá z východního a západního revíru. Východní revír, který se nachází mezi Bělčicemi a Lnáři, je budovaný horninami chanovické apofýzy středočeského plutonu, typický je zde blatenský granodiorit. Převládající směr rudních žil je SV-JZ. Křemenné žíly mají čočkovitý charakter a vedle zlata obsahují zvýšené obsahy wolframu, jehož nositelem je scheelit. Západní revír se rozkládá mezi Kasejovicemi, Oselci a Nekvasovy a je tvořen migmatity kasejovického výběžku šumavského moldanubika. Zlatonosné křemenné žíly, které zde vystupují v rulách moldanubika a migmatitech, jsou součástí ložiskové zóny s četnými akumulacemi Au, Mo a W mineralizace žilného a žilnickového typu. Fluidní inkluze byly studovány v křemenu. Na základě salinity a teploty celkové homogenizace (Th-tot) bylo vyčleněno celkem pět odlišných genetických skupin fluid (F1-F5). Raná H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluida (F1) mají salinitu <3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot od 280 do 320 °C. Z těchto fluid vznikala nejstarší křemenná žilovina (Q1) v hloubce 9±2 km za litostatického tlaku.

Během dalšího vývoje mineralizace výrazně převažovala fluida H<sub>2</sub>O typu. Vznik křemene Q2, s nímž je pravděpodobně spjata i mineralizace zlata (Au-I), souvisí s H<sub>2</sub>O roztoky (F2) o nízké salinitě (1-2 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a vysoké teplotě zachycení (~300 °C), které jsou nejspíše produktem heterogenizace H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid. Elektrum (Au-II) a pestrá asociace telluridů a sulfosolí se naopak srážela z vodných fluid (F3 až F5) za teplot cca 230 až 170 °C a tlaků 30-70 MPa. Vznik nejmladšího křemene Q3 byl pravděpodobně spjat s vodnými fluidy (F3) o nejvyšší salinitě (8-10 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>). Nízká teplota homogenizace (Th-tot~150 °C) a nízká salinita (<3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) pozdních fluid (F5) svědčí o jejich meteorickém původu. Jsou reprezentovány inkluzemi pouze sekundárního charakteru a přítomny ve všech vzorcích. Data ze studia fluidních inkluzí potvrzují příslušnost kasejovického revíru k mesotermálnímu typu Au-mineralizace (nízká salinita fluid, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> typ fluid s nízkými obsahy CO<sub>2</sub>), kde vývoj probíhal od metamorfních fluid k fluidům s převahou meteorické složky.

## ABSTRACT

Gold has been intermittently mined in the Kasejovice-Bělčice district since 14<sup>th</sup> century. Total gold production (14<sup>th</sup>-20<sup>th</sup> century) is, however, estimated less than 1t. Although the production was small, the Kasejovice-Bělčice ore district represents one of the most paragenetically interesting gold districts in the Bohemian Massif (with the exception of the Jílové district). Among others, first occurrence of bismuthian tellurides from the Czech Republic was documented from the Kasejovice mine.

Kasejovice gold district can be divided into western and eastern parts. Eastern part, is located between Bělčice and Lnáře, is made by the magmatic rocks of the Central Bohemian Plutonic Complex (CBPC), typically by granodiorite of the Blatná type. Ore veins strike NE-SW. Quartz veins, lenticular in form, contains besides gold also elevated contents of tungsten (as scheelite). Western part between Kasejovice, Oselce and Nekvasovy is formed by Moldanubian migmatites. Gold-bearing quartz veins herein are an integral part of a broad Au - Mo - W vein/veinlet ore zone.

Fluid inclusions were studied in the quartz only. Based on salinity and temperature of total homogenization (Th-tot) five different genetic groups of fluids were distinguished (F1 trough F5). Early H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid (F1) has salinity lower than 3 wt.% NaCl<sub>eqv.</sub> and Th-tot from 280 to 320 °C. The older quartz veins (Q1) developed from these fluids in the depth of about 9±2 km under conditions of lithostatic pressure.

During next stages, fluids of H<sub>2</sub>O type were dominant. Formation of Q2, that is likely connected with gold precipitation (Au-I), occurred from aqueous fluids (F2) of low salinity (1-2 wt.% NaCl<sub>eqv.</sub>) and of high temperature of trapping (~300 °C). They may represent product of a heterogenization of H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> parent fluid (F1 ?). Electrum (Au-II) and associated tellurides and sulfosalts precipitated from H<sub>2</sub>O fluids (F3 - F5) under decreasing temperatures and pressures (230-170 °C and 70-30 MPa).

Formation of the youngest quartz (Q3) is connected with aqueous fluids (F3) of highest salinities (8-10 wt.% NaCl<sub>eqv.</sub>). Low temperature (150 °C) and low salinity (<3 wt.% NaCl<sub>eqv.</sub>) nature of F4-F5 fluids correlates well with their supposed meteoric origin.

Fluid inclusion data from this study acknowledge pertinence of Kasejovice district to the mesothermal type of Au-mineralization (low salinity fluids; H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> type of fluids with low contents CO<sub>2</sub>), where the evolution started with the metamorphic fluids and proceeded towards the dominance of meteoric fluids.

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. VŠEOBECNÉ INFORMACE O LOKALITĚ</b>	<b>2</b>
2.1. Lokalizace, geografická charakteristika oblasti	2
2.2. Historie těžby a průzkumu kasejovického revíru	3
<b>3. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA KAS.-BĚL. OBLASTI</b>	<b>4</b>
3.1. Geologická stavba	4
3.2. Ložisková situace	6
3.3. Geologická a mineralogická charakteristika dolu Jakub	8
<b>4. FLUIDNÍ INKLUZE</b>	<b>9</b>
4.1. Úvod	9
4.2. Vznik fluidních inkluzí	9
4.3. Klasifikace fluidních inkluzí	9
4.4. Fázové změny v soustavách H <sub>2</sub> O-soli a H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> -(N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S)-soli	10
<b>5. METODIKA STUDIA VZORKŮ</b>	<b>12</b>
5.1. Výběr a příprava vzorků	12
5.2. Pozorování v mikroskopu	12
5.3. Optická mikrotermometrie	13
5.4. Katodová luminescence (SEM-CL)	14
5.5. Studium mikrochemismu fází (EDAX systém)	14
<b>6. VÝSLEDKY</b>	<b>15</b>
6.1. Texturní zonálnost křemenné žiloviny	15
6.2. Studium plynokapalných uzavření	16
6.2.1. Vzorek KAJ – 1/1	16
6.2.2. Vzorek KAJ – 8	20
6.2.3. Vzorek KAL – 16	24
6.2.4. Vzorek KAJ – 5	27
6.2.5. Vzorek KAH – 2	30
6.3. Studium křemene v katodové luminescenci (SEM-CL)	33
6.4. Doplnkové mineralogické studium (identifikace min. fází)	35
<b>7. DISKUZE</b>	<b>36</b>
7.1. Shrnutí výsledků mikrotermometrie	36
7.2. Heterogenizace fluid	40
7.3. Odhad pT podmínek vzniku	41
<b>8. SROVNÁNÍ S NĚKTERÝMI LOŽISKY AU V ČESKÉM MASÍVU</b>	<b>43</b>
<b>9. ZÁVĚR</b>	<b>45</b>
<b>10. SEZNAM LITERATURY</b>	<b>46</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Geologické schéma střeđočeské metalogenetické zóny a okolních oblastí (podle Zachariáše et al. 1997).
- Obr. 2. Ložiskově-geologická mapa kasejovicko-bělčické oblasti (podle Váni et al. 1989).
- Obr. 3. Bělčický revír – mapa starých prací v oblasti Hory (podle Koutka 1948).
- Obr. 4. Rozmístění různých genetických typů fluidních inkluzí uvnitř hostitelského krystalu (podle Benešová a Ďurišová 1980).
- Obr. 5. Proces necking down (podle Roedder 1984 a Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).
- Obr. 6. Srovnávací nákres pro odhad stupně zaplnění trojrozměrných plynokapalných inkluzí (podle Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).
- Obr. 7. Vzorek KAJ-1 s jasně patrnými třemi generacemi křemene.
- Obr. 8. Fázové změny ve vodné inkluzi.
- Obr. 9. Dvoufázové H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze.
- Obr. 10. Shluk velkých vodných inkluzí nepravidelných tvarů.
- Obr. 11. Trail vodných inkluzí v čiré zóně křemene.
- Obr. 12. Trail dvoufázových inkluzí různých tvarů.
- Obr. 13. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) – vzorek KAJ-1/1.
- Obr. 14. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O) – vzorek KAJ-1/1.
- Obr. 15. Th-tot × salinita - vzorek KAJ-1/1.
- Obr. 16. Shluk jednofázových H<sub>2</sub>O inkluzí typu B.
- Obr. 17. Dvoufázová vodná inkluze nepravidelného tvaru.
- Obr. 18. Trail vodných inkluzí se stejným stupněm zaplnění.
- Obr. 19. Velké dvoufázové H<sub>2</sub>O inkluze nepravidelného tvaru.
- Obr. 20. Trail dvoufázových H<sub>2</sub>O inkluzí.
- Obr. 21. Světlá okrajová zóna krystalu téměř bez přítomnosti inkluzí.
- Obr. 22. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O) – vzorek KAJ-8.
- Obr. 23. Th-tot × salinita – vzorek KAJ-8.
- Obr. 24. H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze s patrnou vodnou fází a odděleným plynným a kapalným CO<sub>2</sub>.
- Obr. 25. H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze s pevnou fází.
- Obr. 26. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) – vzorek KAL-16.
- Obr. 27. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O) – vzorek KAL-16.
- Obr. 28. Th-tot × salinita – vzorek KAL-16.
- Obr. 29. Shluk dvoufázových vodných inkluzí nepravidelného tvaru.
- Obr. 30. Vtroušená H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze větší velikosti mezi traily drobných vodných inkluzí.
- Obr. 31. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) – vzorek KAJ-5.
- Obr. 32. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O) – vzorek KAJ-5.
- Obr. 33. Th-tot × salinita – vzorek KAJ-5.
- Obr. 34. Odlišnosti ve stupni zaplnění inkluzí.
- Obr. 35. Vtroušená H<sub>2</sub>O inkluze v čiré zóně křemene.
- Obr. 36. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) – vzorek KAH-2.
- Obr. 37. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O) – vzorek KAH-2.
- Obr. 38. Th-tot × salinita – vzorek KAH-2.
- Obr. 39. Vyznačené 2 generace křemene ve vzorku KAJ-1/1.
- Obr. 40. Mladší generace křemene (Q2), která vytváří lem kolem starší generace křemene Q1.
- Obr. 41. Nejmladší křemen (Q3) s velmi silnou luminescencí a patrnou růstovou zonálností.
- Obr. 42. Studované oblasti ve vzorku KAJ-1/1 pomocí EDAXu.
- Obr. 43. Souborný graf pro všechny studované vzorky: Th-tot (°C) × salinita (hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>).
- Obr. 44. Souborný histogram teplot tání pevného CO<sub>2</sub> (T<sub>m</sub>-CO<sub>2</sub>).
- Obr. 45. Souborný histogram teplot homogenizace CO<sub>2</sub> (Th-CO<sub>2</sub>).

- Obr. 46. Souborný histogram teplot celkové homogenizace (Th-tot) pro inkluze H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> typu.
- Obr. 47. Souborný histogram teplot celkové homogenizace (Th-tot) pro inkluze H<sub>2</sub>O typu.
- Obr. 48. Heterogenizace H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> systému.
- Obr. 49. Heterogenizace fluid ve vzorku KAH-2.
- Obr. 50. Rekonstrukce pravděpodobných pT podmínek vzniku jednotlivých generací fluidních inkluzí.
- Obr. 51. Kolísání tlaku během vývoje žil (podle Sibson 2000).
- Obr. 52. PT podmínky hydrotermálních systémů v CBMZ (podle Zachariáše et al. 1997).

## **SEZNAM TABULEK**

- Tab. 1. Mocnosti a kovnatosti křemenných žil z oblasti Kasejovice-Bělčice (podle Morávka et al. 1992).
- Tab. 2. Hmotnostní % oxidů ve vzorku KAJ-1/1.
- Tab. 3. Hmotnostní % prvků ve vzorku KAJ-1/1.
- Tab. 4. Shrnutí mikrotermometrických dat z fluidních inkluzí.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CBMZ	Central Bohemian Metallogenic Zone (středočeská metalogenetická zóna)
CBPZ	Central Bohemian Plutonic Complex (středočeský plutonický komplex)
F	Stupeň zaplnění
FI	Fluidní inkluze
hm.% NaCl <sub>ekv.</sub>	Salinita vodného roztoku (vyjádření salinity pomocí NaCl ekvivalentu)
L	Kapalná fáze
P	Tlak (MPa)
Q, q	Křemen
S	Pevná fáze
T nebo t	Teplota (°C)
T <sub>d</sub>	Teplota dekrepitace (teplota při níž došlo k porušení inkluze) (°C)
T <sub>e</sub>	Teplota eutektika (°C)
T <sub>FM</sub>	Teplota prvního tání (teplota prvního rozeznatelného vzniku kapalné fáze v kompletně vymražené inkluzi; T <sub>FM</sub> = T <sub>e</sub> ) (°C)
T <sub>h</sub>	Teplota homogenizace (3 způsoby: L-na kapalinu, V-na plyn, C-kriticky) (°C)
T <sub>h-CO<sub>2</sub></sub>	Teplota homogenizace CO <sub>2</sub> -fáze (°C)
T <sub>h-tot</sub>	Celková teplota homogenizace (°C)
T <sub>m</sub>	Teplota tání (°C)
T <sub>m-CLA</sub>	Teplota tání klatrátů (podle ní se určuje salinita v H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> systému) (°C)
T <sub>m-CO<sub>2</sub></sub>	Teplota tání pevného CO <sub>2</sub> (°C)
T <sub>m-ice</sub>	Teplota tání ledu (°C)
V	Plynná fáze (pára)

## 1. ÚVOD

Území mezi Bělčicemi na východě a Nekvasovy na západě označované též jako kasejovicko – bělčický revír patří po jílovském revíru k parageneticky nejzajímavějším výskytům Au mineralizace v Českém masivu. Z dolu Jakub u Kasejovic byly poprvé popsány výskyty telluridů bismutu v Čechách (Hofmann, 1906).

Mineralogickým studiem Au zrudnění se zabýval zejména Hofmann (1906), Hofmann a Slavík (1913) a později Sobotka (1959, 1960, 1966). V návaznosti na výsledky výzkumů uvedených autorů bylo později provedeno podrobné studium rudní paragenese, zejména zlatonosného a polymetalického stádia s důrazem na chemické složení a paragenetické vztahy rudních minerálů. Tímto studiem se dále zabýval Litochleb (1984), Litochleb a Mrázek (1984), Litochleb et al. (1990), Litochleb a Šrein (1994) a nedávno Vymazalová (1997). Koutek (1946) byl první, který zaznamenal neobyčejně hojnou přítomnost fluidních inkluzí v křemenné žilovině. První výsledky mikrotermometrických studií fluidních inkluzí z této oblasti prezentovali Zachariáš a Pudilová (2002).

Ložiska zlata vyskytující se v blízkém okolí středočeského plutonického komplexu (CBPC) byla formována v úzkém časovém intervalu (350-340 Ma, Zachariáš a Stein 2001) a jsou téměř identická s intruzemi z CBPC (Holub et al. 1997).

Kasejovicko-bělčický zlatonosný revír je jedním z více maloobjemných oblastí s výskytem zlata, které jsou lokalizované podél sz. okraje středočeského plutonického komplexu, v tzv. středočeské metalogenetické zóně (CBMZ; Morávek 1995).

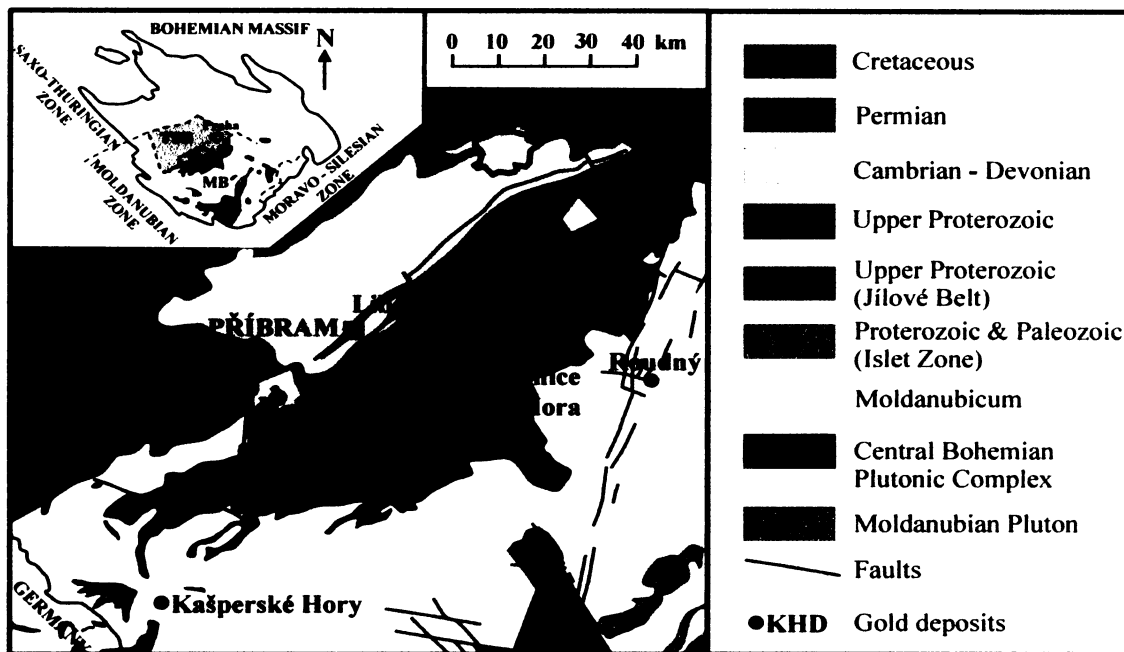
Primární mineralizační stupně zlata byly uloženy v CBMZ a jsou charakterizovány hlubokokorovými, nízko až středněsalinními, H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> metamorfními fluidy, zatímco pozdější stupně mineralizace jsou doprovázeny pouze nízkosalinními H<sub>2</sub>O fluidy (Zachariáš et al. 1997). Tyto dvě oblasti si jsou mineralogicky velmi podobné, odlišné jsou pouze v charakteru hostitelských hornin: metamorfní horniny (Kasejovice) a granitoidy (Bělčice), a v relativním nadbytku molybdenitu a scheelitu. Navíc kasejovická oblast je vyjímečná přítomností wolframitu

Těžba zde probíhala především v 18. až 19. století a na začátku 20. století. Celková produkce zlata během 14. až 20. století není přesně známa, ale byla pravděpodobně mnohem menší než 1 t.

Hlavním cílem této práce bylo přispět k objasnění teplotně-tlakových podmínek vzniku křemene na ložisku v Kasejovicích. Mezi hlavní metody, které pomohli určit fyzikálně-chemické podmínky vzniku, patří studium fluidních inkluzí a katodová luminescence.

## 2. VŠEOBECNÉ INFORMACE O LOKALITĚ

### 2.1. Lokalizace, geografická charakteristika oblasti



Obr. 1. Geologické schéma středočeské metalogenetické zóny a okolních oblastí (podle Zachariáše et al. 1997).

Kasejovicko-bělčická oblast se nachází v jižní části středočeského plutonu a skládá se z východního a západního revíru. Východní revír se nachází mezi Bělčicemi a Lnářmi. Západní revír se rozkládá mezi Kasejovicemi, Oselci a Nekvasovy.

#### *Bělčický revír*

Bělčické území patří administrativně do okresu Strakonice, severní část náleží do okresu Příbram a malá část na západě spadá do okresu Písek.

Toto území náleží podle morfologického členění k blatenské a benešovské pahorkatině. Celkově má parovinný ráz. Mírnou členitost reliéfu podmiňují masívy granitoidů středočeského plutonu, proterozoické a paleozoické horniny rožmitálské kry, horniny mirovického metamorfovaného ostrova a zlomová tektonika. Východozápadní elevace zejména v jižní části území jsou tvořeny žilnými horninami, odolnějšími proti větrání. Nejvíce morfologicky členitá je sz. část území, kde relativní převýšení dosahují hodnot přes 100 m. V této oblasti se nachází i dominantní území – vrchol Stráž (638 m n.m.), tvořený hrubozrnnou žulou. Nejnižší bod území (449 m n.m.) je v údolí Závěšinského potoka. Hodnoty relativního převýšení jsou maximálně 50 m. (Žežulková et al., 1989)

#### *Kasejovický revír*

Kasejovické území patří podle regionálního členění k horažďovické pahorkatině a nepomucké vrchovině, které náleží k blatenské pahorkatině. Celkový geomorfologický ráz je parovinný. Modelace terénu je určována petrografickým složením skalního podkladu a puklinovou nebo zlomovou tektonikou. Převážná část území, kde se vyskytují granitoidy středočeského plutonu, má reliéf mírně zvlněný s nevýraznými vz. elevacemi, které jsou tvořeny žilnými horninami. V okolí Oselců vystupují moldanubické migmatitizované ruly, relativní převýšení v oblasti metamorfovaných hornin je větší než v oblasti granitoidů a dosahuje až 60 m. Vodní toky jsou v rulovém terénu více zaklesnuté a aluviální nivy poměrně úzké. Zvláštní ráz celé

krajíně dává velké množství rybníků, které jsou propojeny drobnými potůčky a stokami. Administrativně patří toto území do okresů Plzeň-jih, Strakonice a Klatovy, které zároveň zastupují dva kraje. Celá oblast má zemědělský charakter bez průmyslových středisek. Poměrně zalesněné a zemědělsky obdělávané plochy je asi 1:2. Orné půdy je relativně méně, protože v této oblasti připadá zvýšený podíl na louky, mokřiny a vodní plochy. Vůdčí zemědělskou plodinou jsou brambory.

I když na tomto území je několik lomů v provozu, dobývání nerostných surovin vážněji nenarušilo malebnost krajiny a životní prostředí. Jámové lomy, v nichž se těží stavební a dekorační kámen, nepoznamenávají nepříznivě ráz krajiny. Pro místní potřeby se těží eluvium granodioritu jako stavební písek. Pískovny, které jsou z velké části příležitostné, jsou rozměrově menší. Jejich životnost je zpravidla omezená. Zakládány jsou většinou na příkrých svazích, kde není zemědělská půda ani lesní porost. Po určité době zarůstají vegetací a neovlivňují podstatně ráz krajiny. (Tonika et al., 1980)

## 2.2. Historie těžby a průzkumu kasejovického revíru

Rozsáhlé území mezi Bělčicemi a Nekvasovy patří k oblastem, kde se v minulosti získávalo zlato. Svědčí o tom řada dodnes patrných stop činnosti jak rýžovnické, tak i hornické. První dochované písemné záznamy pocházejí ze 14. století a vztahují se především k rýžování. Velké plochy sejpů v povodí Závíšínského potoka, v okolí Blatné, Kasejovic, Kotlině, Oselců a Nekvasov ukazují na intenzivní rýžovnickou činnost. Zpracovávány byly jak fluviální sedimenty recentní a subrecentní říční sítě, tak i eluvia a deluvia v oblasti primárních výskytů. S přechodem k těžbě ve větších hloubkách na křemenných žilách došlo k úpadku dolování. Drobné báňské práce probíhající v 18. a 19. století se nesetkaly s větším úspěchem. Počátek 20. století přináší s rozvojem nových technologií i obnovení těžebních pokusů. Poslední těžbu prováděla protektorátní správa v letech 1941-1944 v oblasti Hor u Kocelovic a šachty Jakub u Kasejovic. Ložiska jsou přes lokálně vysoké koncentrace zlata pro nepravidelný vývoj a malou mocnost hodnocena jako nedobyvatelná (Morávek et al., 1992).

Ložiskové a mineralogické poměry zlatonosných žil v okolí Kasejovic (důl Jakub) a Kocelovic (důl Hory) jsou poměrně dobře známy díky Hofmannově a Slavíkové monografii z let 1912-1913 a zejména studii Koutka (1946) spolu s revizními mineralogickými výzkumy Sobotky z let 1954-1959 (Sobotka 1959, 1960, 1966). Studium fluidních inkluzí se zde již zabýval Zachariáš a Pudilová (2002).

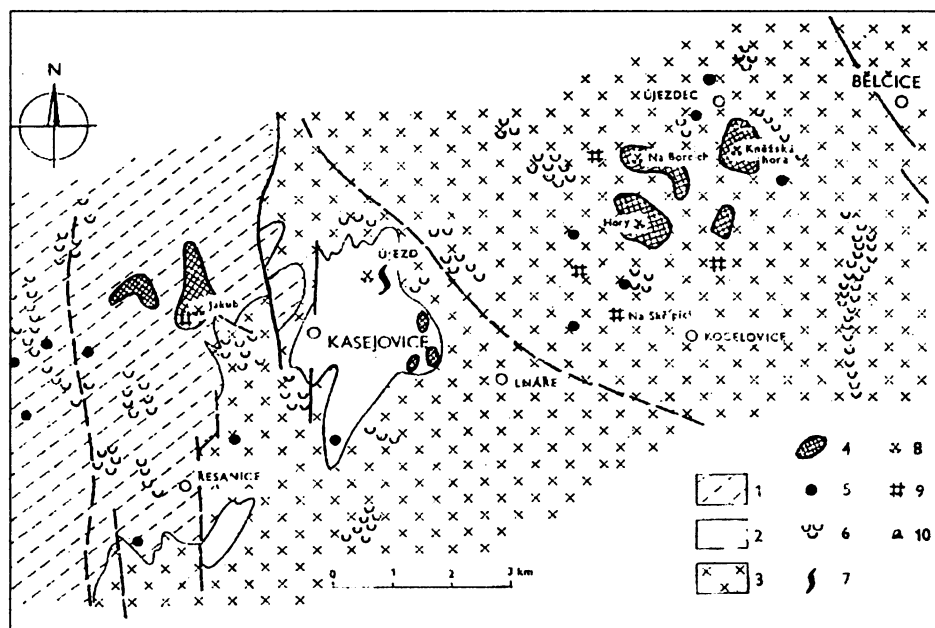
lokality	mocnost (cm)	kovnatost (rozsah hodnot, g/t)	kovnatost (průměr, g/t)	délka rudního intervalu (m)
východní revír:				
Kněžská hora	10 – 42	5,2 - 14,4	9,7	10 - 20
štola Barbora	6 - 85	0,2 - 30,5	8,2	20 - 50
šachtice Na Borku	12 - 30	0,2 - 37,2	8,8	50
šachtice Na Skřípici	10 - 50	0,5 - 32,0	26,4	15
šachta Hory	10 – 50	11,6 - 28,0	17	12
štola Hory	3 - 25	1,3 - 35,0	8,9	80
západní revír:				
šachta Jakub	3 – 150	0,2 - 49,0	3,03	20
šachtice Johan	5 - 40	0,1 - 7,5	-	15
šachtice Jan	5 - 10	0,5 - 33,5	-	-
šachtice Alois	5 – 22	0,2 - 31,2	-	30
šachtice V Újezdě	120	20,5	-	-
šachtice Vráž	3 - 20	0,1 - 23,0	-	10

Tab. 1. Mocnosti a kovatosti křemenných žil z oblasti Kasejovice-Bělčice (podle Morávka et al. 1992).

### 3. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA KASEJOVICKO-BĚLČICKÉ OBLASTI

#### 3.1. Geologická stavba

Celou oblast je možno rozdělit do dvou celků podle koncentrace starých prací a odlišného geologického prostředí: na východní revír mezi Bělčicemi a Lnářmi budovaný horninami chanovické apofýzy středočeského plutonu, a na západní revír mezi Kasejovicemi, Oselci a Nekvasovy tvořený převážně migmatity kasejovického výběžku šumavského moldanubika (obr. 2.).



Obr. 2. Ložiskově-geologická mapa kasejovicko-bělčické oblasti (podle Váni et al. 1989):

1-moldanubické krystalinikum; 2-vulkanosedimentární horniny kasejovického metamorfovaného ostrova; 3-granitoidy středočeského plutonu; 4-rozsah starých prací na Au-zrudnění; 5-jednotlivé výskyty Au-zrudnění; 6-rýžoviště; 7-stratiformní Cu,Zn(Au,Ag)-zrudnění; 8-šachty; 9-šachtice; 10-ústí štol.

#### *Bělčický revír*

Z geologického a stratigrafického hlediska lze bělčické území rozdělit na tři základní jednotky:

- mirovický metamorfovaný ostrov,
- rožmitálská kra
- středočeský pluton.

Mirovický metamorfovaný ostrov je horninově velmi pestrá jednotka, která zaujímá východní část bělčického území. Svým průběhem tvoří směrné pokračování jílovského pásma, které je zde zastoupeno amfibolity a křemennými amfibolity s vložkami leptynitů. Kromě této vulkanické horninové asociace, metamorfované v amfibolitové facii, tvoří značnou část ostrova ortoruly. Výše uvedené horniny jsou prekambričského stáří. Pruhu vulkanosedimentárních hornin, ve kterých se střídají fylity až fylitické břidlice, místy s vložkami grafitických břidlic, epidotických amfibolitů a leptynitů, jsou označovány jako paleozoikum-proterozoikum. Pruh sedimentárních hornin tvořený kontaktně metamorfovanými svory s pestrými vložkami byl zařazen do spodního paleozoika. Metamorfní postižení hornin ve svorovém pruhu je způsobeno tím, že leží přímo v jedné ze střížných zón, které jsou pro oblast středočeského plutonu typickým jevem.

Rožmitálská kra zasahuje na bělčickém území do sz. a sv. části. Severovýchodní část je od samotné rožmitálské kry oddělena horninami plutonu. V rožmitálské kře jsou zastoupeny horniny proterozoického a paleozoického stáří. Proterozoické horniny tvoří pruh sz.-jv. směru, tektonicky zaklesnutý v plutonu. Patří k nim slabě kontaktně metamorfované břidlice, v nichž lze určit původní prachovce, jílovce a droby. Jihovýchodní pokračování pruhu za tektonickou linií tvoří vulkanity ryolitového složení s polohami epidot-amfibolického rohovce (patrně původní pyroklastika) a kontaktně metamorfované břidlice, které také patří k proterozoiku. Výskyt paleozoika je tektonicky podmíněn zaklesnutím několika ker podle sz.-jv. zlomových linií souběžných s jáchymovským hlubinným zlomem. Tento sz.-jv. směr je kolmý k průběhu směru v mirovickém metamorfovaném ostrově. V tomto souvrství jsou dosti časté vložky ryodacitu až ryolitu a jejich tufů. Horniny vykazují pouze kontaktní přeměnu, která dosahuje facie amfibolických rohovců a místy až facie pyroxenických rohovců.

K nejmladším horninám skalního podkladu patří granitoidy středočeského plutonu, které tvoří více než polovinu území a jsou zastoupeny třemi faciemi (základní, tmavou a porfyrickou) granodioritu blatenského typu, hrubozrnnou leukokrání žulou a jejich žilným doprovodem. Vyskytuje se zde také drobně porfyrický kontaminovaný granodiorit, který je protnut žilami granodioritového a monzodioritového porfyritu, uzavírá četné kry rohovců a ortorul a má společné strukturní znaky s biotitickými a amfibol-biotitickými ortorulami. (Žežulková et al., 1989)

#### *Kasejovický revír*

Z geologického hlediska patří kasejovické území ke dvěma jednotkám:

- a) k moldanubiku, tj. k výběžku plánicko-kasejovickému a
- b) k středočeskému plutonu.

Katazonálně metamorfované horniny moldanubika kasejovického výběžku vystupují v okolí Oselců. Kromě tohoto výběžku se vyskytují moldanubické horniny jako uzavřené kry.

Podle horninové asociace patří k pestré sérii moldanubika, která je charakterizována vložkami erlanů a amfibolitů. Podle poměru vložkových hornin je tento výběžek shodný s pestrá sérií sušicko-votickou.

V severovýchodní části kasejovického výběžku zcela převládají erlany, zatímco amfibolity jsou zastoupeny v podřadném množství. Kvarcity chybějí a množství ortorul je nepatrné. Amfibolity a ortoruly, které se nacházejí na v. okraji kasejovického výběžku, mohou geneticky souviset s proterozoikem kasejovického metamorfovaného ostrova, který je oddělen sj. dislokační linií od moldanubika.

Z hornin moldanubika převažuje sillimanit-biotitická migmatitizovaná pararula, místy s cordieritem. Různá intenzita migmatitizace a variabilita textur ztěžuje bližší petrografické rozdělení. Též vztah migmatitizované pararuly a perlové ruly není zcela zřejmý. Koutek (1946) zjistil, že část perlové ruly má strukturu hlubinné vyvřeliny.

Regionální metamorfóza hornin plánicko-kasejovického výběžku odpovídá katazóně. Podle minerální asociace cordierit, sillimanit, K-živec jde o převládající typ metamorfózy v oblasti moldanubika. Kontaktní metamorfóza je vázána na středočeský pluton, a je tedy variská. Otázka migmatitizace rul moldanubika není zcela jednoznačná. Z nového terénního pozorování vyplývá, že migmatitizace není bezprostředně svázána se středočeským plutonem. Migmatitizace, pokud je svázána s variskou plutogenezí, musela proběhnout ještě před intruzí středočeského plutonu jako počáteční fáze variského cyklu, nebo ještě dříve. Stupeň migmatitizace, který se mění od místa k místu bez ohledu na blízkost plutonu, je závislý na petrografickém složení původních hornin a na složení vložkových hornin (erlany, amfibolity). Perlovou rulu lze přiřadit k migmatitizovaným pararulám, i když v ní nejsou přítomny indexové minerály. (Tonika et al., 1980)

Středočeský pluton je reprezentován hlubinnými vyvřelinami a intruzemi žilných hornin. Granodiorit blatenského typu je nejrozšířenější hornina ve zdejší oblasti. Jeho složení je na velkém území velmi stálé. Podle strukturních znaků lze blatenský granodiorit dělit na tři typy:

- a) typ stejnoměrný zrnitý,
- b) typ porfyrický a
- c) typ usměrněný, místy kataklastický (Tonika et al., 1980).

Jednotlivé typy do sebe pozvolna přecházejí. Problematický zůstává vztah blatenského granodioritu a kataklastické žuly poláneckého typu (Koutek 1946), která připomíná svým vzhledem někdy tzv. okrajový typ středočeského plutonu.

S červenským granodioritem je blatenský typ spojen pozvolnými přechody. Červenský typ je označován jako okrajová facie blatenského typu (Kodym jun. 1961). Petrografická příbuznost obou hornin ztěžuje jejich přesnější ohraničení. Blatenský typ vznikl za relativně vyšší teploty v poměrně tektonicky klidném prostředí a červenský typ tvoří patrně jeho okrajovou část.

Pro toto území je charakteristický hojný výskyt žilných hornin. Jsou zde zastoupeny hlavně lamprofyry a monzodioritové porfyry. Žíly aplitů, pegmatitů a žilných žul jsou někdy velmi nepravidelné a jejich délka nepřesahuje 1 km, kdežto lamprofyry dosahují délky až 5 km.

### 3.2. Ložisková situace

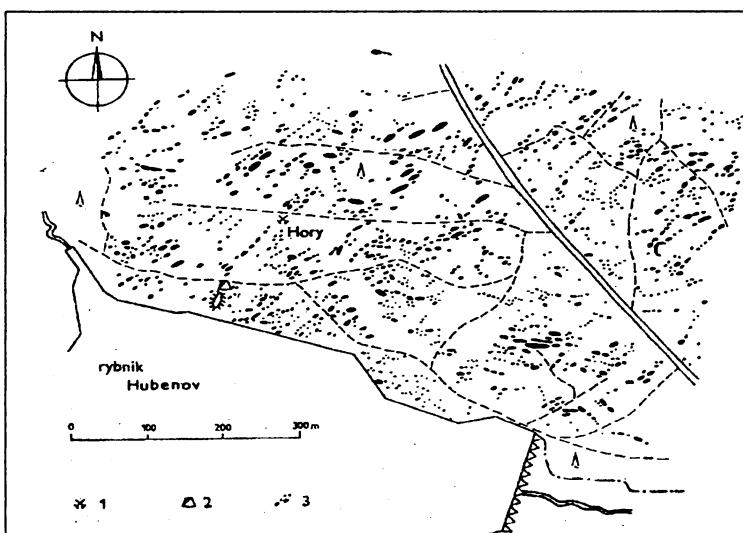
#### *Bělčický revír*

Východní bělčický revír je situován v granitoidech středočeského plutonu; převládající směr rudních žil je SV-JZ. V severní části revíru se tento směr kříží s okrajem mohutného zlomového pásma sz.-jv. směru, náležejícího k jáchymovskému zlomu. V celé oblasti je dochováno množství starých prací. Severní část revíru byla zpřístupněna štolou Barbora u Újezdce a šachticemi na Kněžské a Zadní hoře. Štola má překopový charakter a překřížila 45 křemenných žil a žilek. Střední část revíru byla sledována šachtou Hory u Kocelovic (obr. 3.), Na Borku a několika kutacími šachticemi. Jižní část revíru byla otevřena šachticemi Na Skřípici.

Staré těžební práce byly povětšinou prováděny bez předchozího podrobnějšího průzkumu a nepřesáhly hloubku 20 m. Novější práce byly ukončeny v hloubce okolo 100 m.

Křemenné žíly mají čočkovitý charakter a místy značně nepravidelný průběh, nezřídka jejich vertikální rozměr přesahuje horizontální. Vedle zlata obsahují zvýšené obsahy wolframu, jehož nositelem je scheelit.

Obsahy zlata v žilovině bělčického revíru často vykazují nepřímou závislost na mocnosti (mocné křemenné čočky mívají obsah nižší). Oproti západnímu revíru však vykazují větší stálost. Okolní granodiorit není výrazně hydrotermálně alterován. (Morávek et al., 1992)



Obr. 3. Bělčický revír - mapa starých prací v oblasti Hory (podle Koutka 1948):

1-šachtice; 2-ústí štol; 3-pinky a odvaly.

### *Kasejovický revír*

Zlatonosné žíly v z. okolí Kasejovic jsou součástí ložiskové zóny s četnými akumulacemi Au, Mo a W mineralizace žilného a žilníkového typu. Tato zóna probíhá na vzdálenost cca 36 km mezi Nekvasovy a Kramolínem na Z a Bělčicemi na V.

V západním kasejovickém revíru vystupují převážně zlatonosné křemenné žíly v rulách moldanubika a migmatitech. Ve většině případů mají charakter krátce čočkovitých solitérních žil, lokalizovaných na poruchách souhlasných s foliací. Ojedinele v místech většího tektonického porušení přecházejí v málo mocné (1-2 m) žilníkové struktury krátkého průběhu. Alterace v okolí žil jsou nevýrazné, časté je slabé prokřemenění a pronikání křemene do příčných poruch.

Staré práce se soustřeďují u Kamejku (u Kasejovic), kde se nalézají šachta Jakub a šachtice Alois, Johan a Jan. Důl Jakub dosáhl hloubky 69,7 m, hlavní překopové práce byly provedeny na 2. patře. Zastihly větší počet křemenných žil a žilek, z nichž tři se daly báňsky sledovat ve větším rozsahu (celkem 550 m chodeb). I ty však byly vzhledem k čočkovitému vývoji a nepravidelnému zrudnění nedobyvatelné. Ostatní šachtice v okolí jakubského dolu sledují obdobné struktury a mají převážně malou hloubku. (Morávek et al. 1992)

Staré práce v oblasti Újezda u Kasejovic, Životic, Kotouně a Oselců jsou menšího rozsahu a ve většině případů k nim chybějí údaje. Orientační vzorky křemenné žiloviny prokázaly obdobné obsahy Au a charakter zrudnění je stejný jako na dole Jakub. Charakteristickým rysem těchto žil je obsah wolframu vázaný na wolframit, na rozdíl od výskytu scheelitu ve východním revíru. Výskyt wolframitu má však pouze mineralogický charakter.

Z křemenné žiloviny a ze šlichových vzorků byla popsána přítomnost zlata dvou ryzostí (Malec – Novák 1982): jednak zlato vysoké ryzosti (900-1000), náležející k zlatonosnému vývojovému stádiu, jednak zlato nižší ryzosti (700-875), se zvýšeným podílem Hg, pravděpodobně náležející k polymetalickému vývojovému stádiu.

Revizní práce provedené v 80. letech 20. století v bělčickém revíru (půdní metalometrie, rýhy, orientační vrty) potvrdily dříve zjištěný charakter žilného zrudnění (většinou malá mocnost a nepravidelné, místy však vyšší obsahy Au), což by umožnilo pouze selektivní těžbu malého rozsahu. Přítomnost žilníkového nebo impregnačního zrudnění nebyla zjištěna. Rovněž nebyly potvrzeny předpoklady o významnosti scheelitového zrudnění žilného typu.

Vývoj zlatonosného žilného zrudnění v kasejovickém revíru je ještě nepříznivější než v bělčickém, (Morávek et al., 1992).

### *Kasejovický metamorfovaný ostrov*

V oblasti mezi východním a západním revírem se nachází kasejovický metamorfovaný ostrov, budovaný komplexem vulkanosedimentárních hornin svrchnoproterozoického stáří, regionálně a kontaktně metamorfovaných ve facii amfibolických rohovců; z horninových typů převládají tufy a tufity, místy s polohami bazických i kyselých láv. Novým průzkumem bylo v těchto horninách u bývalé šachty Uranových dolů Újezd u Kasejovic zjištěno kyzové polymetalické zrudnění stratiformního charakteru s obsahy Au a Ag.

Mocnost kyzových polymetalických rudních těles se pohybuje od 0,5 do 7,0 m a jejich směrná délka nepřesahuje 200 m. Zrudnění má charakter páskovaných impregnací, místy přecházejících do poloh masivních sulfidů. Hlavním rudním materiálem je pyrit, v menší míře pyrhotin spolu se sfaleritem a chalkopyritem. Akcesoricky se vyskytuje markazit, baryt, galenit, tetraedrit a ryzí zlato ve formě inkluzí v pyritu. V pěti vrtech byly zjištěny průměrné obsahy 0,39 % Cu, 0,98 % Zn, 2,2 g/t Ag a 0,3 g/t Au, v jednotlivých segmentech maximálně 4,5 % Cu, 30 % Zn, 76 g/t Ag a 5 g/t Au. Indicie obdobného zrudnění byly zjištěny geochemickým a geofyzikálním průzkumem na mnoha dalších místech kasejovického metamorfovaného ostrova, (Morávek et al., 1992).



Pro celou oblast kasejovicko – bělčického revíru vyčlenil Váňa et al. (1988) tři základní surovinové typy:

- 1) samostatné křemenné žíly: mocnost X cm-1 m, směrná délka 30-250 m, ověřená vertikální stálost 50 m, 2-20 g/t Au;
- 2) žilníky: síť drobných žilek a prokřemenělé okolní horniny, okolo 1 g/t Au;
- 3) poruchová pásma (sz.-jv. směr) doprovázená mylonitizací a výraznými nízkoteplotními hydrotermálními alteracemi (hematitizace, chlorotizace, argilitizace). Mylonitizovaná pásma často obsahují čočky křemene (1 m max. délka a do 0,5 m mocné) – v těchto úsecích pak obsahy Au dosahují až 30 g/t, jinak jsou v průměru okolo 2 g/t.

### 3.3. Geologická a mineralogická charakteristika dolu Jakub

Zlatonosné křemenné žíly kasejovického revíru, ověřovaného v minulosti důlním průzkumem zejména v úseku dolu Jakub západně od Kasejovic, patří v rudní oblasti středočeského plutonu po jilovském revíru k parageneticky nejzajímavějším. Z historického pohledu představují Kasejovice první lokalitu v Čechách, kde byly nalezeny a popsány telluridy bismutu (Hofmann 1906). Mineralogickým studiem Au zrudnění se zabývali zejména Hofmann a Slavík (1913) a později Sobotka (1959, 1960, 1966).

#### *Ložisková situace*

Důlními pracemi do úklonné hloubky 70 m v úrovni dvou horizontů byl ověřován systém čočkovitých křemenných žil převážně sv. směru s úklonem 40 - 80° k JV. Rudní žíly v moldanubických migmatitech sledují poruchové zóny s šedozelelou mylonitovou výplní, dislokované strmými sz. poruchami a nejmladšími s. až ssz. poruchovými pásmy s hematitizací. Místy je průběh křemenných žil porušen žilou lamprofyru. Kromě sv. žil s relativně pravidelnějším, ale krátce čočkovitým vývojem (mocnost do 0,5 m, vzácně více), obsahy ojedinele až 50 g Au/t a pestrá paragenéza rudních minerálů je chudší

Au-mineralizace vázána též na systém drobných, místy naduřujících, vzájemně se křížících a rozmršťujících se žilek mm-cm mocnosti různého směru. Největší příznivý směrný (170 m) a vertikální (70 m) vývoj Au-zrudnění byl zjištěn na hlavní žíle č.1, která v úrovni 1. patra dolu Jakub čočkovitě naduřovala až do mocnosti 3,5 m. Tato křemenná čočka s průměrnou kovnatostí 16,5 g Au/t a 12 g Au/t byla bohatá vtroušenými tzv. šedými rudami (Bi-sulfotelluridy, polymetalické sulfosoli), zlatem a wolframitem. (Litochleb, 1994)

#### *Paragenetická charakteristika*

Výplň většiny žil lze charakterizovat silně proměnlivou mocností, čočkovitým vývojem s častým vykliňováním a rozmršťováním, variabilní kovnatostí včetně poměru Au/Ag (1:1 až 1:2), výraznými intermineralizačními pohyby a složitými paragenetickými vztahy. Textura žilné výplně je čočkovitá, páskovaná, brekciovitá, masivní a drúzovitá. Vlastní zrudnění má nejčastěji charakter drobnozrnných až jemně disperzních vtroušenin s lokální tvorbou bohatších makroskopických akumulací.

Na základě studia makrotextur, mikroskopického pozorování a paragenetického výzkumu vyčlenil Litochleb (1984) 4 vývojová stádia Au-mineralizace:

1. křemenné - wolframit, scheelit, křemen I, apatit, rutil, turmalín, arsenopyrit a pyrit I;
2. zlatonosné - křemen II, muskovit, chlorit, pyrit II, chalkopyrit I, ryzí bismut, bismutin, Bi-sulfotelluridy, zlato I;
3. polymetalické – Sb-bismutin, kobellit, jamesonit, Bi-berthierit, antimonit, Ag-tetraedrit, chalkopyrit II, zlato II;
4. kalcitové – kalcit, dolomit, pyrit III.

## 4. FLUIDNÍ INKLUZE

### 4.1. Úvod

Charakter paleofluid lze sledovat pomocí jejich reliktních, uchovaných v minerálech zlatonosných paragenezí – fluidních inkluzí (Roedder 1984).

Studium fluidních inkluzí poskytuje údaje o teplotě, tlaku, hustotě a složení fluid a přispívá k pochopení procesu vzniku akumulací zlata.

V Českém masívu probíhá výzkum fluidních inkluzí přibližně od 60-tých let. Zkoumána byla kyzová a zlatonosná ložiska Jeseníků (Zlaté Hory, Zlatý Chlum, Suchá Rudná), ložiska z oblasti jílovského pásma (Čelina, Mokrsko) a moldanubického krystalinika (Orlík u Humpolce, Kašperské Hory) aj.

### 4.2. Vznik fluidních inkluzí

Krystaly během svého růstu nebo rekrystalizace zachycují a hermeticky v sobě uzavírají nevelké objemy roztoku nebo taveniny, z nichž vznikaly. Relikty těchto fluid, které zůstaly uchovány v minerálech po dlouhá geologická období, jsou označovány jako fluidní inkluze (uzavřeniny). Představují zbytky původního prostředí, které minerál obklopovalo v době jeho růstu nebo jež působilo na vykrystalizovaný minerál během následujících geologických událostí. Fluidní inkluze jsou jediným přímým zdrojem informací o složení a termodynamických vlastnostech fluid v hlubinných částech zemské kůry (Ďurišová et al. 1991).

### 4.3. Klasifikace fluidních inkluzí

Důležitá je genetická klasifikace fluidních inkluzí, která vychází ze vztahu inkluzí k hostitelskému minerálu a umožňuje inkluze zařadit v souvislosti s nerostotvornými procesy. Podle této klasifikace rozdělujeme fluidní inkluze na primární, pseudosekundární a sekundární (obr. 4.).

#### *Primární fluidní inkluze*

Roztok ze kterého rostl krystal může být při procesech jež brání ideálnímu růstu krystalu zachycen v nerovnostech nebo strukturních defektech růstových ploch. Při pokračujícím růstu krystalu je pak hermeticky uzavřen. Inkluze, které vznikají tímto způsobem, se označují jako primární.

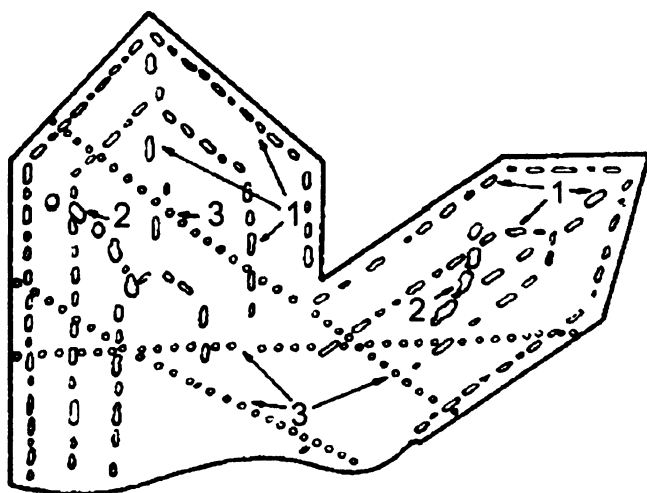
#### *Pseudosekundární fluidní inkluze*

K uzavření roztoku (fluida) může docházet nejen na povrchových nerovnostech, ale i na puklinách uvnitř hostitelského minerálu. Jestliže tyto pukliny vznikaly a byly vyhojeny fluidem ještě při růstu krystalu, pak obsahují inkluze tohoto typu. Vyhojení pukliny končí na následující růstové zóně krystalu. Pseudosekundární inkluze vznikají tedy uvnitř krystalu během jeho růstu a souvisejí s podmínkami krystalizace určitých růstových zón.

#### *Sekundární fluidní inkluze*

Sekundární inkluze vznikají po ukončení růstu hostitelského minerálu při vyhojování puklin fluidy spojenými s pozdějšími nerostotvornými procesy. Pukliny s těmito inkluzemi protínají povrch krystalu a v krystalických agregátech procházejí několika krystaly.

Roedder (1984) uvádí více než dvacet empirických kritérií, která lze používat při identifikaci primárních inkluzí. Důvodem je obtížné a často nejednoznačné rozlišení primárních a sekundárních inkluzí v krystalických agregátech nebo horninotvorných minerálech.



Obr. 4. Rozmístění různých genetických typů fluidních inkluzí uvnitř hostitelského krystalu: 1-primární; 2-pseudosekundární; 3-sekundární (podle Benešová a Ďurišová 1980).

#### 4.4. Fázové změny v soustavách $H_2O$ -soli a $H_2O$ - $CO_2$ - $(N_2, CH_4, H_2S)$ -soli

##### *$H_2O$ -soli*

Nenasycené vodné inkluze obsahují při nízkých teplotách tyto hlavní stabilní fáze: kapalinu, plyn, led a hydráty solí.

Dvousložková soustava  $H_2O$ -NaCl je nejčastější a velmi vhodný příklad k vysvětlení důležitých teplot a charakteristických fázových změn.

Snižujeme-li teplotu nenasyčeného roztoku, vymrazuje se v závislosti na jeho koncentraci led nebo hydrohalit. V praxi vymrazujeme až do teploty kdy dochází k metastabilní solidifikaci (při teplotě nižší než eutektická teplota;  $-20,8\text{ }^\circ\text{C}$ ). Při zahřívání vymrazeného roztoku začínají při  $T_e$  (eutektická teplota;  $-20,8\text{ }^\circ\text{C}$ ) tát pevné fáze buď ledu nebo hydrohalitu. Eutektická teplota je někdy též označována jako teplota prvního tání ( $T_{FM}$ ). Podle teploty prvního tání se určuje typ rozpuštěných solí v roztoku (nezávisí na koncentraci roztoku, ale na jeho složení).

Koncentrace roztoku se určuje podle teploty tání posledního krystalu ledu ( $T_m$ -ice) a bývá uváděna v tzv. NaCl ekvivalentu. Tento ekvivalent udává celkovou salinitu roztoku vyhodnocenou zjednodušeně podle fázového diagramu pro soustavu  $H_2O$ -NaCl, která je nejrozšířenějším typem solných roztoků v přírodních fluidech. Další soli přítomné v roztoku snižují teplotu tání ledu.

Fázové změny, které nastávají při zahřívání, jsou popisovány teplotou homogenizace ( $T_h$ ), kdy obsah inkluze se stává homogenním. Homogenizace může probíhat třemi způsoby:

na kapalinu, na plyn nebo kritickým způsobem. Je důležité odlišovat tuto teplotu od skutečné teploty vzniku inkluze, která se označuje jako teplota zachycení  $T_t$  (trapping). Společně s údaji získanými ochlazováním, slouží  $T_h$  k výpočtu celkové hustoty fluida.

Pokud byly inkluze zachyceny z vroucích fluid (tzn. koexistence kapalina + plyn), teplota homogenizace se rovná teplotě zachycení. Největší počet inkluzí je však zachycen nad křivkou varu a rozdíl  $T_t - T_h$  je označován jako tlaková korelace, která je funkcí tlaku a hustoty. Teplota homogenizace je minimální možná teplota vzniku inkluzí.

## $H_2O-CO_2$

V inkluzích tohoto typu probíhá značný počet fázových změn a jejich výzkum vyžaduje pečlivé a systematické studium. Důvodem je omezená vzájemná mísitelnost mezi vodou a  $CO_2$  při pokojové teplotě a přítomnost solí (hl. NaCl) a dalších plynů ( $CH_4$ ,  $N_2$ ) v inkluzích.

Měření těchto inkluzí je velmi náročné, protože se při ochlazování objevuje nejméně pět fází (kapalná voda, led, klatrát  $CO_2$ ,  $CO_2$ -pevné,  $CO_2$ -kapalné a  $CO_2$ -plynné). Při ochlazování dochází k interakci mezi fázemi  $H_2O$  a  $CO_2$  a vzniku plynných hydrátů, označovaných jako klatráty, které uzavírají velké množství plynu a vody, a narušují tak chování vodných a bezvodých složek. Probíhající fázové změny se pozorují při pomalém zahřívání inkluzí, které byly nejprve prudce hluboko vymrazeny.

Při ochlazování z pokojové teploty se za teplot okolo  $-95$  až  $-180$  °C metastabilně vymrazuje z kapalného  $CO_2$  pevné  $CO_2$ .

Při zahřívání taje nejprve pevné  $CO_2$  ( $T_m-CO_2$ ), tato teplota je ovlivněna přítomností jiných plynů ( $CH_4$  nebo  $N_2$  snižují teplotu trojného bodu). Tání pevného  $CO_2$  je doprovázeno náhlým objevením kapalného  $CO_2$  kolem bubliny plynného  $CO_2$ .

Po roztání posledního krystalu ledu bývá plynná bublina zřetelně deformovaná a je držena na místě obtížně pozorovatelnou pevnou fází – klatrátem. Tání klatrátu ( $T_m-cla$ ) je obtížně pozorovatelné a vyžaduje často cyklování teplotních změn. Teplota tání klatrátu je funkcí salinity vodné fáze.

Homogenizace  $CO_2$  ( $T_h-CO_2$ ) probíhá za teplot nižších než teplota celkové homogenizace inkluze, buď na kapalinu, plyn nebo kritickým způsobem. Kritická teplota  $CO_2$  je  $+31,1$  °C.

Dalším zahříváním je dosaženo teploty celkové homogenizace, kdy jsou  $H_2O$ -bohatá a  $CO_2$ -bohatá fáze dokonale mísitelné. Inkluze, které mají vysoký poměr  $CO_2/H_2O$ , homogenizují vymizením  $H_2O$  bohaté fáze. Inkluze mající tento poměr nízký, homogenizují vymizením  $CO_2$  bohaté fáze. Inkluze se složením blízko kritické hodnotě homogenizují kritickým způsobem – postupným vymizením menisku.

Při teplotě vyšší než je  $T_h$  se v inkluzi může objevit malá plynná bublinka. To znamená, že došlo k porušení inkluze (dekrepitaci), způsobenému vysokým vnitřním tlakem. Během porušení je část fluida ztracena, takže se sníží celková hustota inkluze. Některé inkluze mohou dekrepitovat ještě před konečnou homogenizací kvůli vysokému vnitřnímu tlaku. Díky tomu se provádějí všechna kryometrická měření dříve než zahřívání.

## 5. METODIKA STUDIA VZORKŮ

### 5.1. Výběr a příprava vzorků

Studované vzorky pochází z povrchového sběru haldového materiálu Dr. Zachariáše z let 1996-2006. Oblast kasejovického revíru byla zastoupena vzorky z odvalů dolu Jakub, oblast bělčického revíru z dolu Hory u Kocelovic. Z vybraných vzorků byly zhotoveny oboustranně leštěné preparáty o tloušťce 200 až 300  $\mu\text{m}$  pro studium fluidních inkluzí.

### 5.2. Pozorování v mikroskopu

Z celkem asi 20 preparátů bylo vybráno 5 reprezentativních k detailnímu studiu. Vzorky byly studovány v optickém polarizačním mikroskopu značky Leica, jak ve světle procházejícím tak odraženém (požívané objektivy 10 $\times$ , 20 $\times$ , 50 $\times$ ).

Zhotovena byla fotodokumentace inkluzí a jejich skupin, stejně jako detailní nákresy (při malých zvětšeních byla snaha o zachycení celkového obrysu úlomku minerálu a pozicí skupin inkluzí v rámci vzorku, při větším zvětšení byla detailně zakreslena poloha inkluzí v rámci skupiny). Fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem značky Olympus (C-2000 Zoom). Při pozorování v procházejícím světle byla studována distribuce, tvar, velikost, stupeň zaplnění, fázové složení a chronologie vzniku inkluzí. Tyto vlastnosti jsou rozhodující pro zařazení do rozdílných klasifikačních skupin, založených na těchto kritériích.

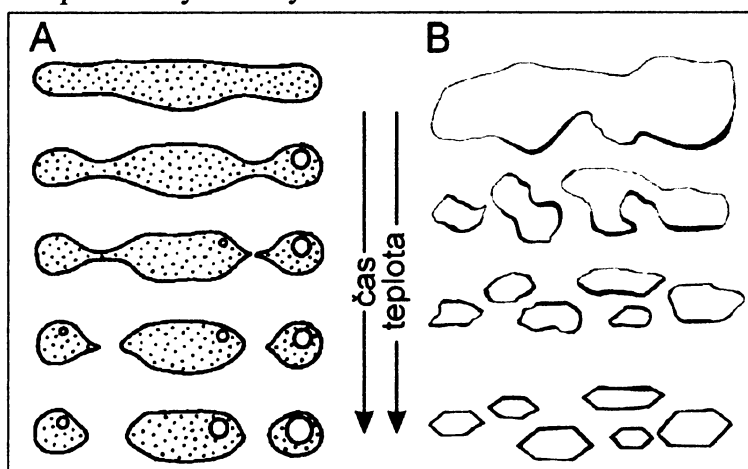
#### *Velikost*

Velikost inkluzí se pohybovala v rozmezí od 1 do 100  $\mu\text{m}$ , častěji však dosahovala malých velikostí (kolem 5  $\mu\text{m}$ ). Na optickou mikrotermometrii byly vybrány inkluze větších velikostí, u kterých byly lépe pozorovatelné fázové změny.

#### *Tvar*

Sekundární a pseudosekundární inkluze, u kterých je vznik většinou spojený s vyhojováním trhlin, jsou po uzavření ploché a mají nepravidelný tvar. Takový tvar je z energetického hlediska velmi nestabilní, protože se vyznačuje velkým povrchem. Energeticky nejstabilnější je tvar negativního krystalu, který se při daném objemu vyznačuje nejmenším povrchem.

Tvar inkluzí může posloužit jako pomocné kritérium při určování jejich relativního věku, přičemž platí, že trojrozměrné a zaoblené inkluze jsou starší než ploché inkluze s nepravidelnými tvary.



Zaznamenan byl také proces **necking down** (obr. 5.), který představuje změnu tvaru inkluze spojenou se vznikem více inkluzí z jedné původní, a to vlivem rekrytalizace hostitelského minerálu. Tímto procesem z velkých inkluzí nepravidelného tvaru vznikají inkluze energeticky i tvarově výhodnější, ale menších rozměrů.

Obr. 5. A) s heterogenizací fluida (oddělením plynné fáze) během procesu rekrytalizace, B) se zachováním homogenního stavu fluida. (Podle Roedder 1984 a Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).

### Fázové složení

Jedním z klasifikačních kritérií fluidních inkluzí je počet fází, které byly pozorovány při pokojové teplotě. Takto byly rozeznány jednofázové inkluze, které byly při pokojové teplotě homogenní, a dvoufázové skládající se ze dvou fází. Zaznamenány byly také třífázové inkluze, které obsahovaly mimo plynné a kapalné fáze také fázi pevnou.

Inkluze s převahou kapalné fáze jsou označovány jako kapalné, s převahou plynné fáze jako plynné.

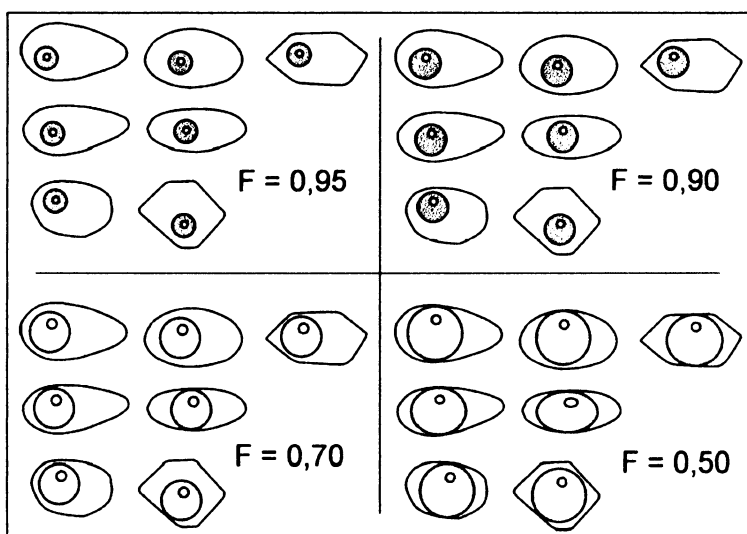
Nejčastějším typem inkluzí jsou ty, které obsahují plynnou fázi a vodný roztok.

### Stupeň zaplnění

Stupeň zaplnění (F) je definován jako poměr objemu jedné fáze v inkluzi (nejčastěji kapaliny) vůči objemu celé inkluze. Jeho přesné stanovení je velmi obtížné, lze jej však odhadnout pomocí srovnávacího nákresu (obr. 6.). U plochých inkluzí je chyba v odhadu stupně zaplnění nižší, než u inkluzí prostorového tvaru.

Stupeň zaplnění je důležitým kritériem pro rozlišení inkluzí vzniklých z homogenního fluida (všechny mají podobný F), či z heterogenního fluida (proměnlivý F), či pro určení inkluzí druhotně porušených (F výrazně odlišný v porušených inkluzích).

Přesné stanovení stupně zaplnění je důležité pro výpočet celkové hustoty fluida v inkluzi a tím i pro výpočet isochor. U  $H_2O-CO_2$  inkluzí musí být toto stanovení vždy pečlivě provedeno, zatímco u vodných inkluzí k výpočtu isochor plně postačí mikrotermometrické údaje (Zachariáš, 2000).



Obr. 6. Srovnávací nákres pro odhad stupně zaplnění trojrozměrných plynokapalných inkluzí (podle Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).

### 5.3. Optická mikrotermometrie

Základní metodou výzkumu fluidních inkluzí je optická mikrotermometrie. Je to nedestruktivní metoda založená na měření a interpretaci teplot fázových přechodů a jejich porovnávání s experimentálními fázovými diagramy systémů známého složení. Takto je možné odvodit chemické složení a hustotu uzavřeného fluida. Podmínkou aplikace optické mikrotermometrie je pozorovatelnost fluidních inkluzí v procházejícím světle (Ďurišová et al. 1991).

Teploty fázových přechodů byly měřeny pomocí mikrotermometrického stolku značky Linkam THMSG 600, který je zabudovaný na mikroskopu Olympus BX-50 s objektivy 20× a 50× ULWD. Aparatura se skládá z komory se zabudovanou topnou spirálou, přívodu pro chladicí lázeň a teplotního čidla. Komora, umístěná na stolku polarizačního mikroskopu, je napojena na elektronické zařízení pro regulaci a záznam teploty a na chladicí zařízení s kapalným dusíkem. Stolek je ochlazován kapalným dusíkem a umožňuje pozorování v rozsahu od -196 až do přibližně 600 °C. Chyby přístroje při měření v oblasti extrémně nízkých a vysokých teplot dosahují  $\pm 3$  °C, při -56 °C  $\pm 0,2$  °C a v okolí 0 °C  $\pm 0,1$  °C.

Před začátkem měření byl mikrotermometrický stolek zkalibrován. Na kalibraci se používají přírodní anebo syntetické fluidní inkluze známého chemického složení.

Obvykle se nejdříve provádí pozorování při nízkých teplotách a později při vyšších. Pouze v případě snadno štěpných minerálů (karbonáty, baryt, fluorit) je vhodné postup obrátit, neboť při vymrazování může dojít k částečnému porušení hermetičnosti inkluze vlivem tlaku vzniklého ledu. Následně měřené teploty homogenizace by byly pak vyšší než skutečné.

Měření teplot fázových změn při kryometrii se neprovádí při procesu vymrazování, ale teprve až při následném zahřívání již vymražené inkluze. Důvodem je, že při vlastním vymrazování mají fázové změny většinou metastabilní charakter (tzn., že teplota nukleace fáze při vymrazování se nerovná teplotě jejího tání/homogenizace při ohřívání).

Byly měřeny následující teploty: teplota prvního tání ( $T_{FM}$ ), podle které se určuje typ rozpuštěných solí v roztoku; teplota tání posledního krystalu ledu ( $T_{m-ice}$ ), ta slouží k výpočtu salinity ve vodném systému; teplota tání klatrátu ( $T_{m-cla}$ ), podle níž se určuje salinita v  $H_2O-CO_2$  systému; teplota tání pevného  $CO_2$  ( $T_{m-CO_2}$ ); teplota homogenizace  $CO_2$ -fáze ( $T_{h-CO_2}$ ); celková teplota homogenizace ( $T_{h-tot}$ ), případně teplota dekrepitace ( $T_d$ ; teplota při níž došlo k porušení inkluze). Homogenizace byla nejčastěji na kapalinu (L) nebo na plyn (V), někdy i kritickým způsobem (C).

Salinity byly spočítány jako hm.%  $NaCl_{ekv.}$  pomocí rovnic Bodnara (1993; pro  $H_2O$  fluida) a Diamonda (1992; pro  $H_2O-CO_2$  fluida).

Pro výpočet izochor byla použita rovnice autorů Zhanga a Frantze (1987) pro systém  $H_2O-NaCl$  a Bakker (1999) pro  $H_2O-CO_2(\pm CH_4-N_2)$  systém.

#### 5.4. Katodová luminescence (SEM-CL)

Katodová luminescence byla použita na pozorování textur v křemenu, které nelze sledovat v polarizačním mikroskopu a dále na pozorování mikrotextr spojených s procesy reekvilibrace fluidních inkluzí. Byla použita horká katodová luminescence instalovaná na elektronovém mikroskopu (SEM-CL). Bombardováním povrchu preparátu elektronovým svazkem excituje světelné záření, jehož barva závisí na přítomnosti stopových prvků či strukturních nehomogenit v krystalové mřížce minerálů. Například vysokotermální magmatický křemen obsahuje vysoké koncentrace  $Al^{3+}$  a bude excitovat záření odpovídající modré barvě. Naopak, diagenetický křemen s nevýznamným obsahem  $Al^{3+}$  nebude vykazovat žádnou luminescenci. Vlnová délka excitovaného záření se s časem mění. Pomocí katodové luminescence můžeme pozorovat například oscilační růstovou zonálnost, anebo procesy rekrystalizace a jednoznačně tak identifikovat primární a sekundární inkluze. Tato metoda byla prováděna v laboratoři Štátního geologického ústavu Dionýze Štúra v Bratislavě s pomocí operátorky Mgr. Viery Kolárové.

#### 5.5. Studium mikrochemismu fází (EDAX systém)

Při studiu luminescence křemene bylo v několika případech využito energiově – disperzního mikroanalyzátoru (EDAX) k ověření či zjištění chemismu minoritních pevných fází uzavřených v křemenné žilovině.

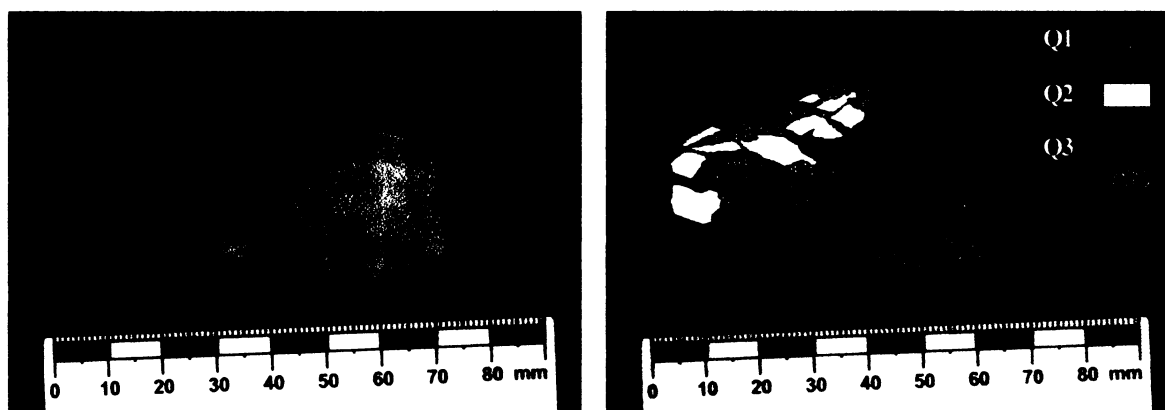
## 6. VÝSLEDKY

### 6.1. Texturní zonálnost křemenné žiloviny

Celkem byly studovány 4 vzorky z oblasti dolu Jakub a 1 vzorek z Hory u Kocelovic. Fluidní inkluze byly sledovány pouze v křemenu.

Mikroskopický charakter křemene, petrografické typy fluidních inkluzí a z velké části i mikrotermometrické charakteristiky z jednotlivých lokalit se výrazně neliší.

Pro oba revíry je charakteristický čirý, zčásti hypautomorfně omezený křemen bez výrazných stop duktilní deformace či rekrystalizace. Obsahuje různě hojné primární i sekundární fluidní inkluze.



Na obr. 7. je znázorněn vzorek KAJ-1, z kterého byly zhotoveny 4 výbrusy, jeden z nich (KAJ-1/1) byl mikrotermometricky naměřen. Na této fotce jsou jasně patrné 3 generace křemene, z toho generace Q1 je nejstarší masivní křemen mléčného zabarvení, s hojným obsahem jak vodných tak i  $H_2O-CO_2$  inkluzí (primárních i sekundárních). Generace Q2 je mladšího stáří a vznikla vykrytím křemene v žilné dutince. Křemen Q3 vytmelil okolní prostor, je nejmladšího stáří a neobsahuje vůbec žádné fluidní inkluze.



## 6.2. Studium plynokapalných uzavření

### 6.2.1. Vzorek KAJ - 1/1

#### Popis vzorku:



Výbrus se skládá z jednoho masivního krystalu křemene (automorfní omezení), označeného jako Q1 a zóny malých automorfních (většinou) krystalků křemene (Q3), které na něj narůstají. V SEM-CL bylo možno dále rozlišit růstovou zonalitu: slabě luminescentní krystal Q1 (nejstarší); nesouvislá zóna karbonátových krystalků velikosti do cca 5 mm narůstajících na jednu z krystalových ploch křemene Q1; mladší křemennou zónou (Q3) s výraznou

luminescencí, tvořenou drobnými krystalky syntaxiálně obrůstající starší křemen Q1 s karbonáty. Ve zkřížených nikolech rozdíl mezi Q1 a Q3 není patrný, výrazný je však na SEM-CL.

**Křemen Q1:** Tmavší a hůře průhledná část krystalu obsahuje hodně pásů a trailů fluidních inkluzí (rovnoběžně i kolmo s okrajem krystalu). Pásky obsahují převážně malé sekundární inkluze, vzácně jsou mezi nimi vtroušeny větší dvoufázové inkluze (20-30  $\mu\text{m}$ ). Druhá, světlejší část krystalu (periferní zóna) je lépe průhledná a obsahuje menší počet trailů a shluků inkluzí, zato větších rozměrů. Inkluze jsou převážně dvoufázové, různých tvarů (negativních krystalů, oválných či nepravidelných tvarů) a velikostí (5 až dokonce 100  $\mu\text{m}$ ). Ve vzorku se vyskytují jak  $\text{H}_2\text{O}$ , tak především  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluze.

**Křemen Q3:** Mladší křemen má výraznou luminescenci s dobře patrnou růstovou zonalitou a v zóně Q3B i sektorovou zonálností. Starší zóna (Q3A) neobsahuje téměř žádné měřitelné fluidní inkluze (v jednom případě byl pozorován klastr jednofázových inkluzí velmi malých rozměrů - neměřitelné), mladší zóna (Q3B) neobsahuje vůbec žádné inkluze.

#### Mikrotermometrie:

	Q1 křemen $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluze	Q1 křemen $\text{H}_2\text{O}$ inkluze
Tm- $\text{CO}_2$	-58,4 až -56,7	
Th- $\text{CO}_2$	22,5 až 29 (V)	
Tm-cla	8,5 až 9,8	
Tm-ice		-3,5 až -0,4
Th-tot	279,3 až 339 (L,V)	108,1 až 213,2 (L)
Max.četnost	280 až 300 (L)	160 až 180 (L)
Salinita	kolem 6,0	0,7 až 5,7
F	0,5 až 0,7	0,9 až 0,95

#### $\text{H}_2\text{O}$ inkluze v Q1:

Vodné inkluze mají homogenní stupeň zaplnění okolo 0,9 až 0,95. Velikost inkluzí se pohybovala od 5 do 80  $\mu\text{m}$ , častější byly menší velikosti. Tvary především nepravidelné či oválné a protáhlé. Inkluze byly uspořádány především v trailech, pásech či shlucích.

Vzorek byl ochlazován do úplného vymrznutí (-30 až -40  $^{\circ}\text{C}$ ). K úplnému roztátí ledu došlo v intervalu od -3,5 až -0,4  $^{\circ}\text{C}$  (maximum hodnot leží mezi -1,4 až -0,9  $^{\circ}\text{C}$ ). Salinita se

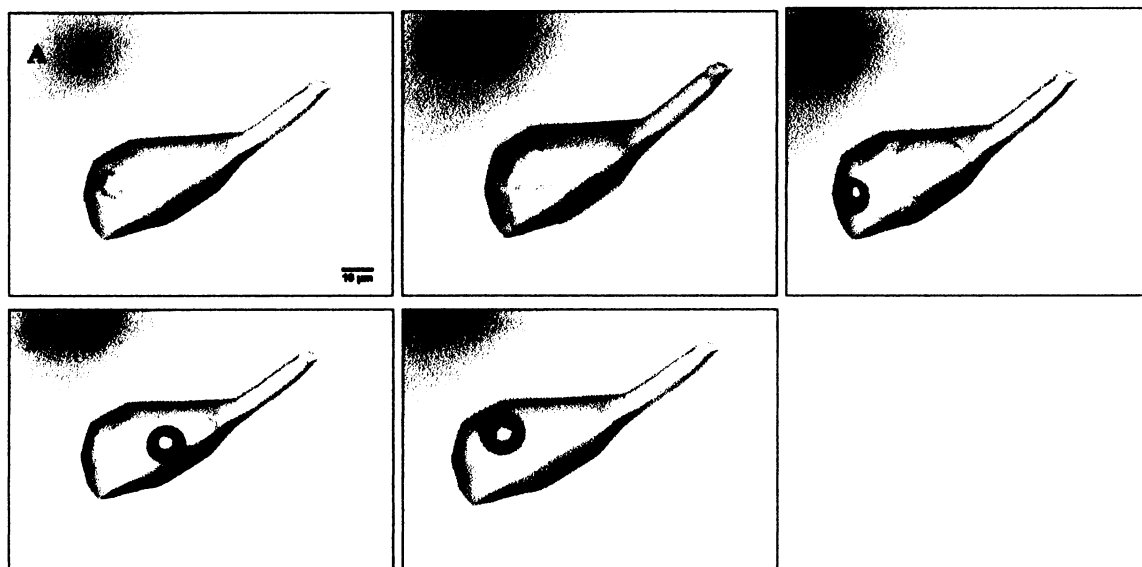
pohybuje nejčastěji kolem 0,7 až 2,4 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> Homogenizace H<sub>2</sub>O na kapalinu probíhala převážně za teplot 160 až 180 °C.

#### H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze v Q1:

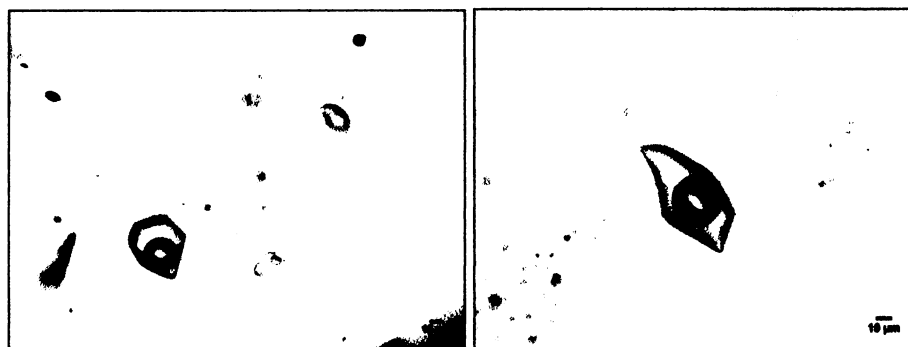
V tomto vzorku dosahovaly H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze velikostí až 100 μm, samozřejmě zde byly také inkluze menších velikostí. Tento vzorek obsahoval značné množství velkých a dobře pozorovatelných inkluzí, takže nebyl problém s výběrem inkluzí k mikrotermometrickému měření. Inkluze byly většinou oválného, hruškovitého tvaru, ale také zde byly pozorovány tvary negativních krystalů (obr. 9.). Rozmístění H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí ve vzorku bylo v trailech nebo shlucích. Tyto inkluze mají stupeň zaplnění 0,5 až 0,7.

H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze byly vymrazeny do teplot kolem -120 °C. Pevné CO<sub>2</sub> taje při teplotách -58,4 až -56,7 °C a klatrát mizí okolo +8,5 až +9,8 °C.

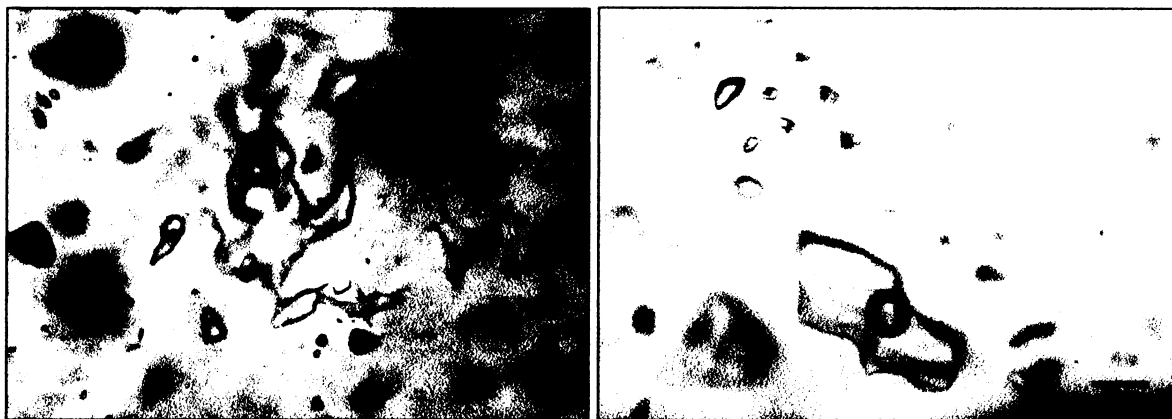
Homogenizace CO<sub>2</sub> probíhala vždy na plyn v intervalu od +22,5 do +29 °C (max. v intervalu +25 až +28,5 °C). U části inkluzí se nedalo přesně určit kdy k ní došlo, protože plynná a kapalná fáze neměla přesnou hranici, ale jen široký tmavý lem. První tání se nedalo vůbec zaznamenat, stejně jako tání posledního ledu u H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí. Celková homogenizace na kapalinu je nejčastěji okolo teplot +280 až +300 °C. Vyskytly se také dva případy homogenizace na plyn a to při teplotách +331,5 a +339 °C.



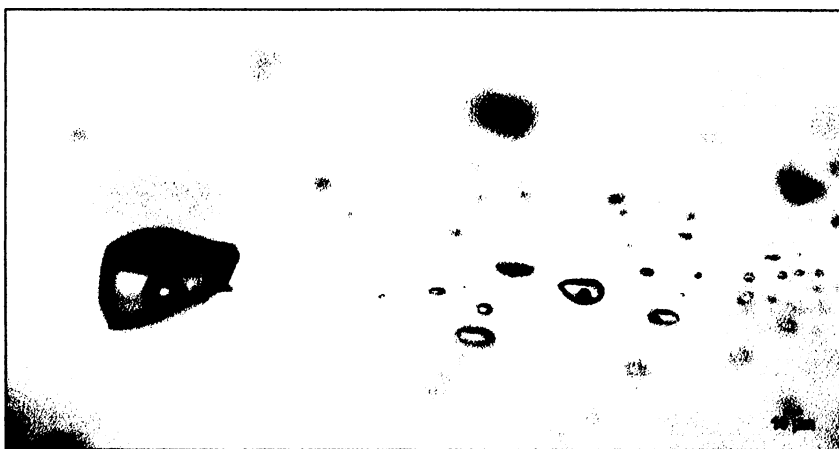
Obr. 8. Fázové změny ve vodné inkluzi: z pokojové teploty byla inkluze ochlazována až do úplného vymražení (-30 °C) viz. obr. A; při následovném zahřívání došlo k tání krystalů ledu (-3,8 °C obr. B, -1 °C obr. C); na obr. D je zachycen led těsně před roztáním (-0,6 °C) a na obr. E je již inkluze bez přítomnosti ledu (-0,4 °C=T<sub>m</sub>-ice).



Obr. 9. Dvofázové H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze, tvaru negativního krystalu, F~0,5.



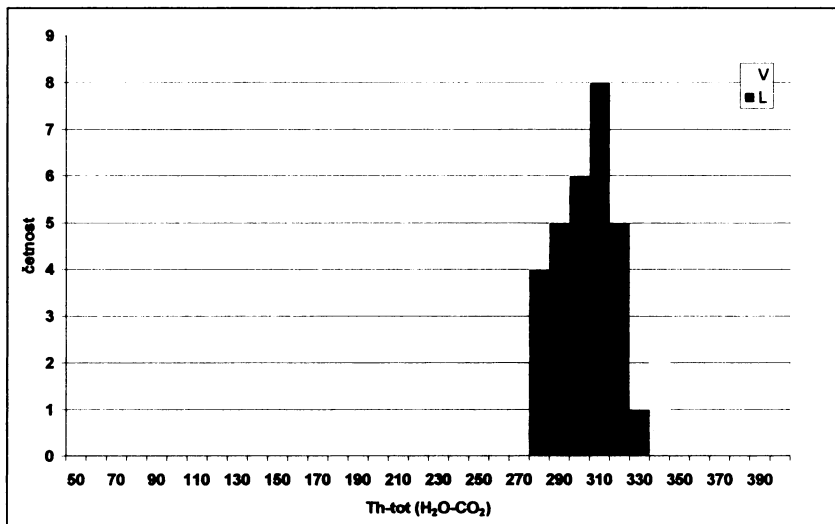
Obr. 10. Shluk velkých vodných inkluzí nepravidelných tvarů, F~0,9.



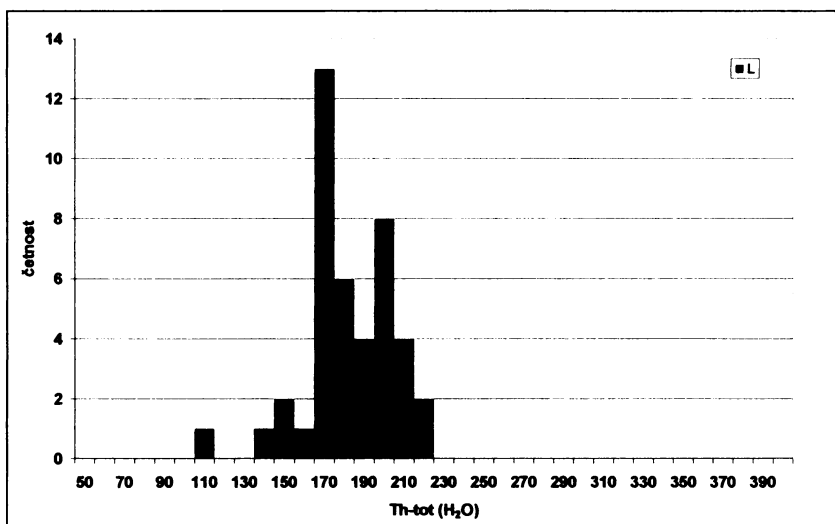
Obr. 11. Trail vodných inkluzí v čiré zóně křemene, F~0,9.



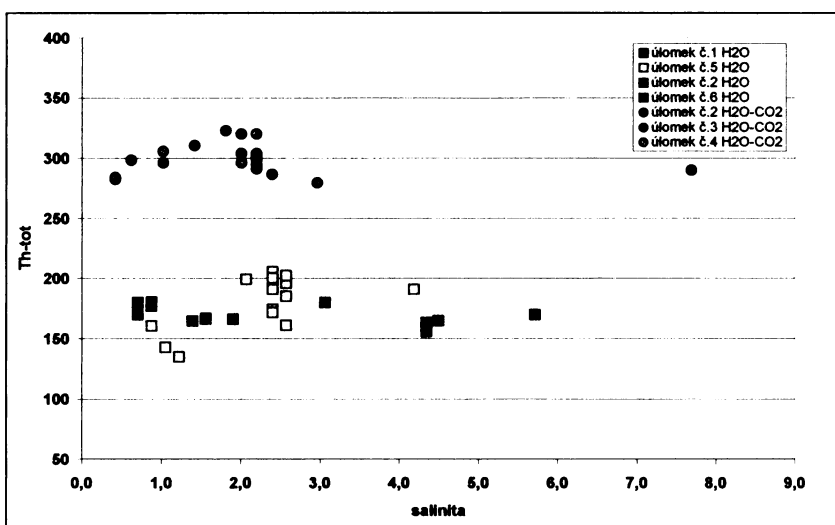
Obr. 12. Trail dvoufázových inkluzí různých tvarů, F~0,9 až 0,7.



Obr. 13. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>).



Obr. 14. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O).



Obr. 15. Th-tot x salinita.

## 6.2.2. Vzorek KAJ-8

### Popis vzorku:



Výbrus je tvořen třemi automorfními krystaly křemene (až 1 cm v řezu kolmo na krystalografickou osu *c*). Krystaly jsou lemovány cca 1 mm tlustou přírůstkovou zónou čirého křemene Q3 (obr. 21.) s výraznou luminescencí. Většina krystalu (jádro, Q1) je však hůře průhledná vzhledem k hojnému výskytu fluidních inkluzí. Vzácně bylo v čírem křemenu pozorováno zrno pyritu (ověřeno EDAX).

Starší křemen Q1 obsahuje velké množství fluidních inkluzí, ve formě klastřů, trailů a izolovaných inkluzí. Všechny inkluze jsou pouze H<sub>2</sub>O typu. Stupeň zaplnění byl ve většině inkluzí stejný a pohyboval se v rozmezí od 0,9 do 0,95, bylo zde i pár případů s větším stupněm zaplnění ( $F \sim 0,7$ ). Velikost inkluzí se pohybuje v rozmezí 4-20  $\mu\text{m}$  (nejčastěji 8-10  $\mu\text{m}$ ), tvar inkluzí je obvykle oválný, vzácně tvaru negativních krystalů. Větší inkluze bývají též nepravidelně omezené. Některé traily kopírují růstové zóny křemenných zrn (primární inkluze), jiné tyto traily protínají (pseudosekundární). Sekundární inkluze vyhojují trhlinky nebo protínají pásy a traily inkluzí ostatních typů. Traily jsou obvykle krátké, tj. neprocházejí celým krystalem. Tento typ inkluzí je označován jako A. Mladší křemen Q3 obsahuje velmi vzácné sekundární inkluze, které však při SEM-CL studiu patrně částečně dekrepitovaly. Před aplikací SEM-CL byly tyto inkluze výlučně jednofázové kapalinové. Po aplikaci SEM-CL byly pozorovány i inkluze dvoufázové. Na jednom místě byly navíc pozorovány 2D shluky homogenní populace subsometrických dvoufázových H<sub>2</sub>O inkluzí ( $F: 0,95-0,90$ ) v jedné rovině zaostření a shluky jednofázových H<sub>2</sub>O inkluzí v jiné rovině zaostření, (tj. asi 2 traily). Vznik homogenní populace H<sub>2</sub>O inkluzí s konstantním stupněm zaplnění tepelným účinkem SEM-CL je nepravděpodobný. Patrně jde o původní primární inkluze. Oba tyto shluky nikdy nevycházely až na okraj krystalu, ale vždy byly od okraje odděleny zónou čirého křemene bez inkluzí, mohly by být proto pseudosekundárního charakteru. V textu jsou dále označovány jako typ B (obr. 16.).

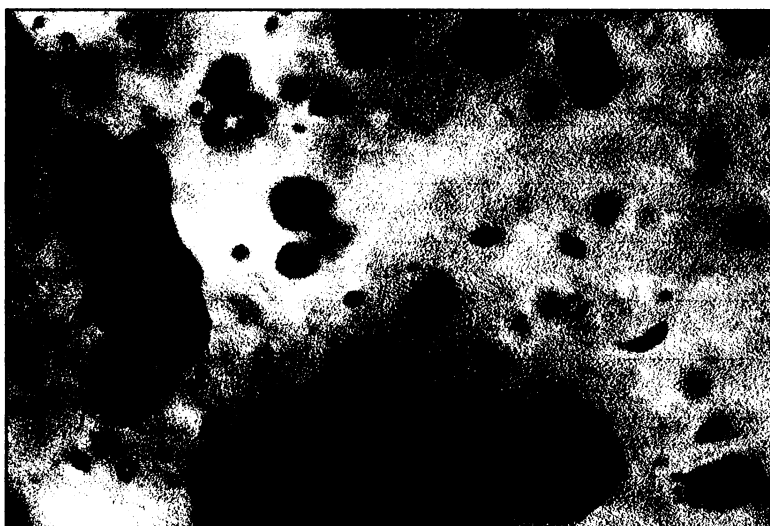
### Mikrotermometrie:

	H <sub>2</sub> O inkluze, typ A	H <sub>2</sub> O inkluze, typ B
T <sub>m-ice</sub>	-2,1 až +2,1	+2 až +5,7 (-1,4)
Max. četnost	-1,1 až -0,9	
Th-tot (L)	120 až 272,5	128 až 146
Max. četnost	150 až 170	
Salinita	1,1 až 8,8	
F	0,9 až 0,95	0,9 až 0,95

Vzorek byl ochlazován z pokojové teploty (+23 °C), při teplotách -30 až -40 °C došlo k vymrznutí všech inkluzí. Teplotu prvního tání nebylo možno přesně zaznamenat. K úplnému roztání ledu v inkluzích typu A došlo v intervalu -2,1 až +2,1 °C, maximum hodnot leží v intervalu -1,1 až -0,9 °C. Inkluze typu B metastabilně tály až při +2,0 až +5,7 °C. Vzorek byl dále zahříván až k teplotám úplné homogenizace (na kapalinu), které se nacházely v intervalu 120 až 272,5 °C (max. v intervalu 150-170 °C).



Obr. 16. Shluk jednofázových H<sub>2</sub>O inkluzí typu B.



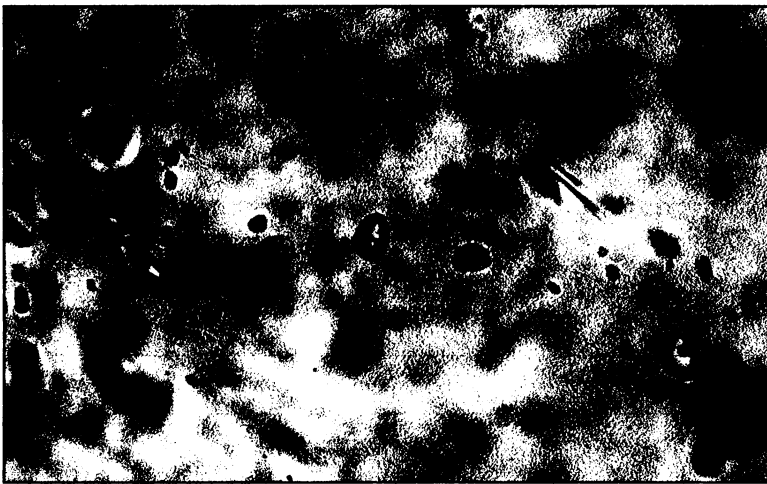
Obr. 17. Dvoufázová vodná inkluze nepravidelného tvaru, F~0,7.



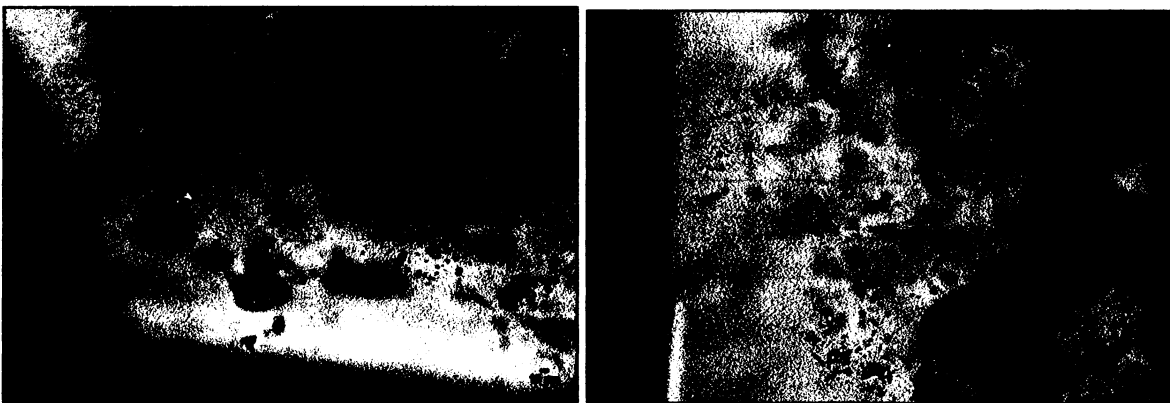
Obr. 18. Trail vodných inkluzí se stejným stupeň zaplnění, F~0,7.



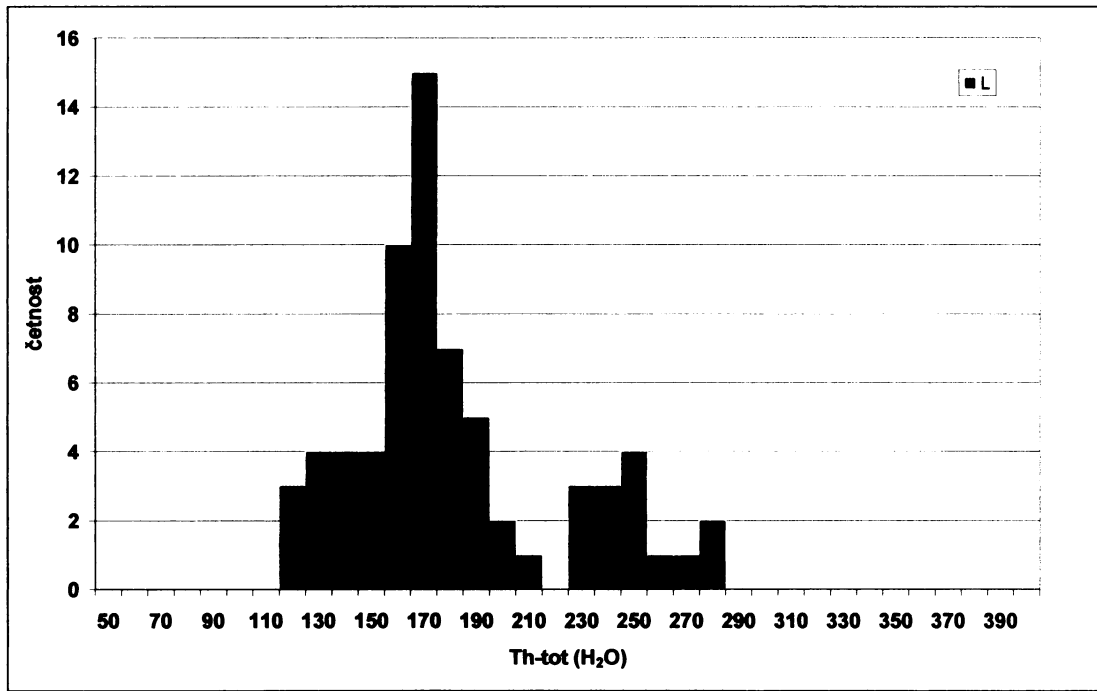
Obr. 19. Velké dvoufázové H<sub>2</sub>O inkluze nepravidelného tvaru, malý stupeň zaplnění, F~0,95.



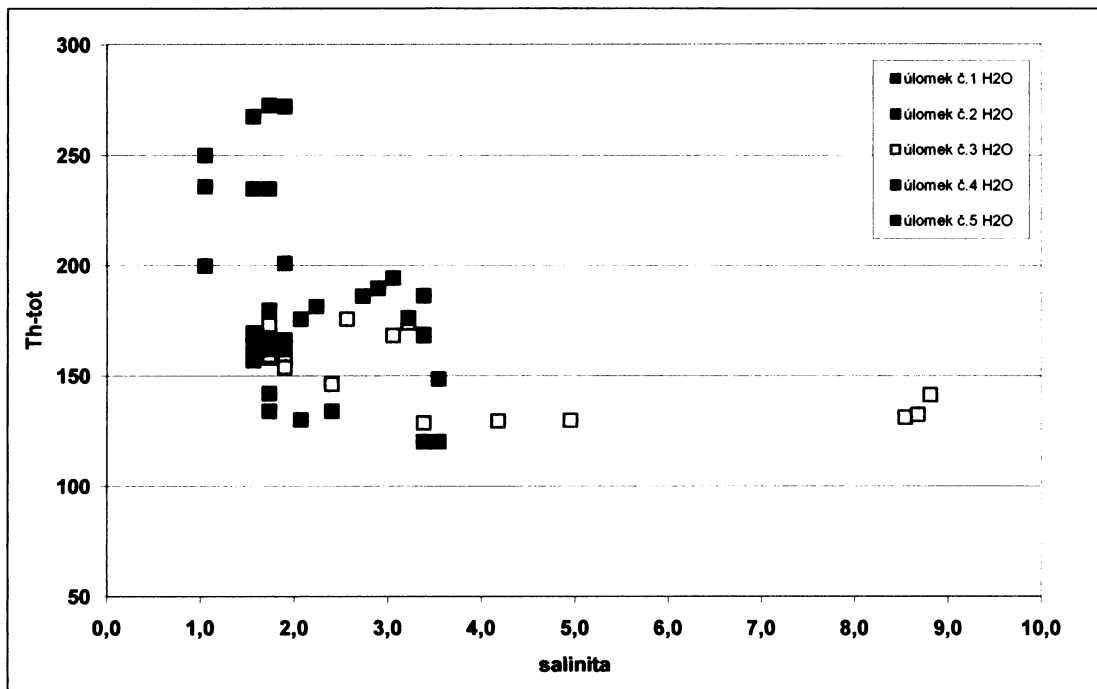
Obr. 20. Trail dvoufázových H<sub>2</sub>O inkluzí, F~0,9.



Obr. 21. Světlá okrajová zóna krystalu téměř bez přítomnosti inkluzí. Drobné trailly pseudosekundárních inkluzí jsou ukončeny v nejmladší přírůstkové zóně.



Obr. 22. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O).

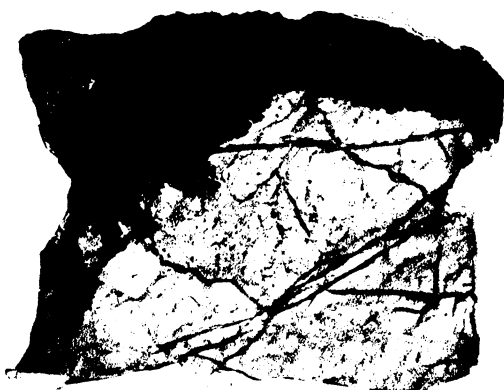


Obr. 23. Th-tot x salinita.



### 6.2.3. Vzorek KAL – 16

Popis vzorku:



Destička je přibližně ze dvou třetin složena z křemenné masivní žiloviny a z jedné třetiny z masivního polykrystalického agregátu arsenopyritu.

Křemen tvořený xenomorfními zrny vykazující undulózní zhášení je (slabě) duktilně deformovaný. Celý vzorek je špatně průhledný, zčásti díky velkému množství inkluzí. Obsahuje mnoho prasklin, trhlin a trailů (pásů) s dvoufázovými sekundárními inkluzemi

malých rozměrů (~5  $\mu\text{m}$ ) a oválných tvarů, občas s vtroušenou větší dvoufázovou inkluzí (do 30  $\mu\text{m}$ ). Traily jsou rovnoběžné a stejně zprohýbané. Nachází se zde také shluky větších dvoufázových inkluzí nepravidelných tvarů, větších rozměrů a menšího zaplnění ( $F \sim 0,9$ ).

Arsenopyritový agregát je tvořen srůstem drobných krystalů, vzácně jsou mezi nimi přítomny malá zrna čirého křemene chudá na fluidní inkluze. V zóně čirého křemene na styku s arsenopyritem (úloмок č. 2) byly nalezeny pouze dvoufázové vodní inkluze sekundárního charakteru.

V křemenu byly nalezeny jak  $\text{H}_2\text{O}$  tak i  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluze. V úloмку č.1 byla zaznamenána a mikrotermometricky naměřena  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluze obsahující pevnou fázi čiré barvy a krychlového tvaru, zabírající přibližně 1/3 objemu inkluze (obr. 25.). Při zahřívání až na 315,7  $^\circ\text{C}$  se s pevnou fází nic nedělo.

Mikrotermometrie:

	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluze	$\text{H}_2\text{O}$ inkluze
Tm- $\text{CO}_2$	-59,5 až -56,8	
Th- $\text{CO}_2$	12 až 26,7	V
	25,3 a 26,4	L
Tm-cla	8,5 až 12	
Tm-ice		-3 až 4
Th-tot	253,7 až 315,7	L
	298,9	V
Max. četnost	270 až 290	150 až 170
Salinita	kolem 5	1,7 až 6,4
F	0,5 až 0,9	0,8 až 0,95

$\text{H}_2\text{O}$  inkluze:

Vodné inkluze mají většinou stupeň zaplnění okolo 0,9 až 0,95. Velikost inkluzí byla malá, pohybovala se od 5 do 20  $\mu\text{m}$ , se špatnou viditelností. Nejčastěji nepravidelných či protáhlých tvarů. Uspořádání inkluzí bylo hlavně ve shlucích.

Ochlazování vzorku bylo prováděno do -40  $^\circ\text{C}$ , při této teplotě byly všechny vodné inkluze již vymrazeny. Úplné roztátí ledu probíhalo v intervalu od -3 do 4  $^\circ\text{C}$  (maximum hodnot leží mezi -3 až -1  $^\circ\text{C}$ ). Díky tomu se salinita pohybuje kolem 1,7 až 6,4 hm.%  $\text{NaCl}_{\text{ekv}}$ . Homogenizace  $\text{H}_2\text{O}$  na kapalinu probíhala převážně za teplot 150 až 170  $^\circ\text{C}$ .

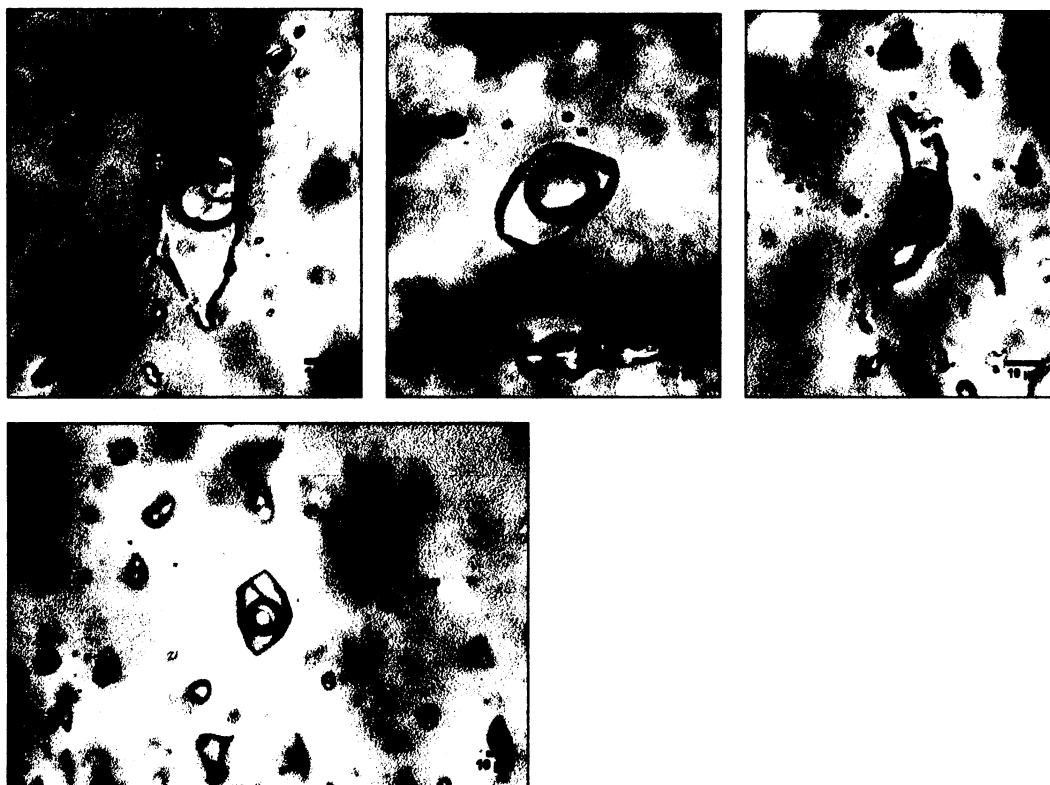
$\text{H}_2\text{O}$  inkluze byly pozorovány hlavně v blízkosti styku křemene s arsenopyritem, zdály se být sekundárního původu.

### H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze:

Stejně jako u H<sub>2</sub>O inkluzí tak i H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze nedosahují velkých rozměrů, pohybují se kolem 5 až 20 μm, výjimečně 30 μm. Inkluze byly většinou oválného či nepravidelného tvaru. Rozmístění H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí ve vzorku bylo v trailech nebo shlucích. Tyto inkluze mají stupeň zaplnění 0,5 až 0,7. Tento vzorek byl jedinečný, protože zde bylo za pokojové teploty dobře patné oddělení vodné fáze, plynného a kapalného CO<sub>2</sub> (obr. 24.).

H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze byly vymrazeny do teplot kolem -120 °C. Pevné CO<sub>2</sub> taje při teplotách -59,5 až -56,8 °C a klatrát mizí okolo +8,5 až +12 °C.

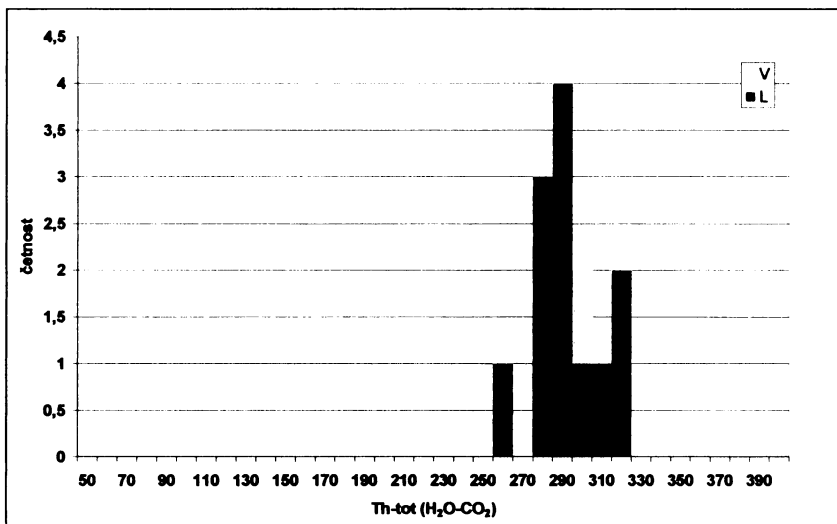
Homogenizace CO<sub>2</sub> byla buď na plyn a to v intervalu od 12 do 26,7 °C nebo na kapalinu za teplot od 25,3 do 26,4 °C. Celková homogenizace byla rovněž jak na kapalinu (253,7 až 315,7 °C) tak i na plyn (298,9 °C). Maximální četnost byla okolo teplot 270 až 290 °C.



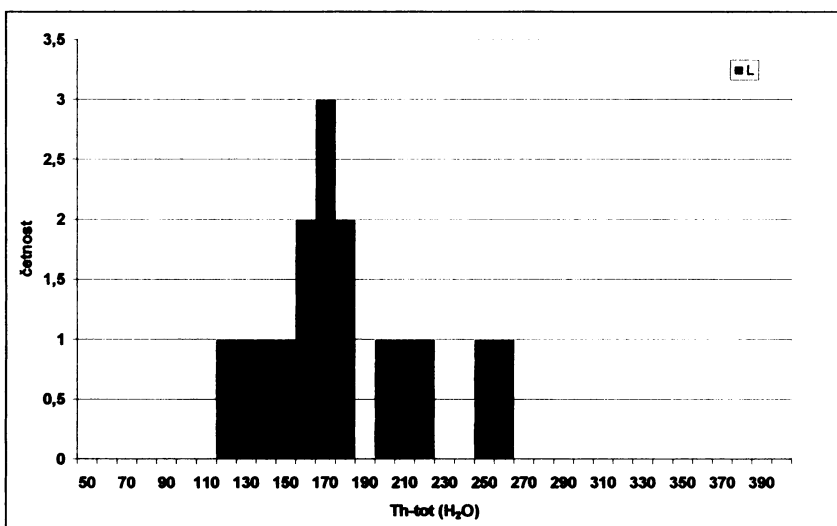
Obr. 24. H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze s patnou vodnou fází a odděleným plynným a kapalným CO<sub>2</sub>.



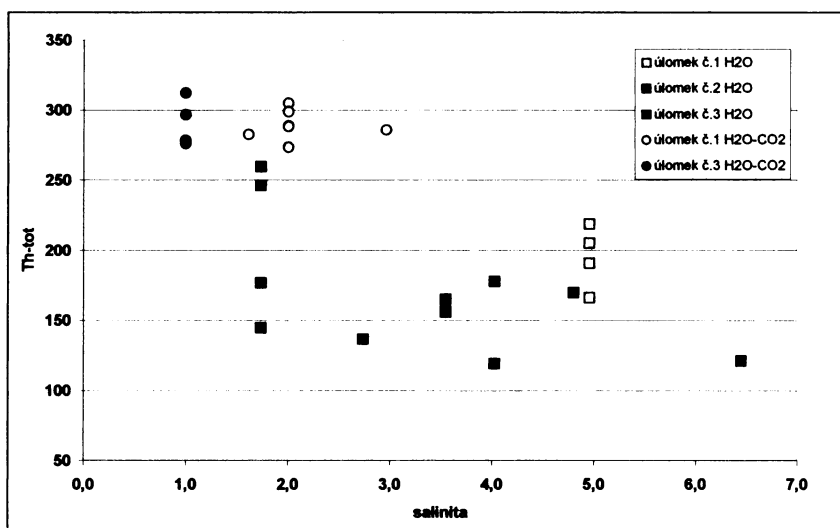
Obr. 25. H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze s pevnou fází.



Obr. 26. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>).



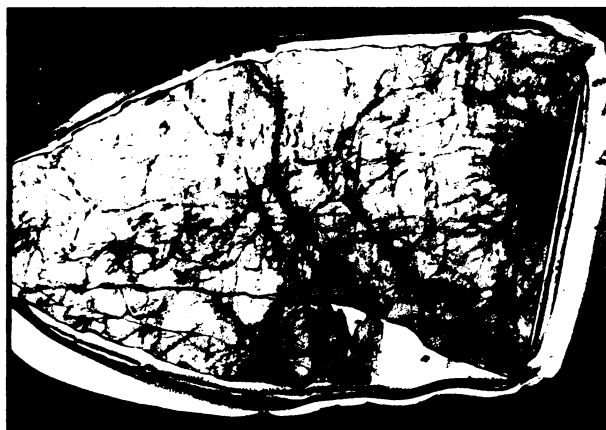
Obr. 27. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O).



Obr. 28. Th-tot x salinita.

#### 6.2.4. Vzorek KAJ – 5

##### Popis vzorku:



Tato destička je zhotovena z kusu masivní, z velké části čiré, křemenné žiloviny jedné generace. Na fotce výbrusu je dobře patrná jeho čirost a průhlednost, i průběh prasklin a trailů inkluzí, které jsou uspořádány rovnoběžně nebo se různě protínají. Traily jsou tvořeny především malými (kolem 5  $\mu\text{m}$ ) dvoufázovými inkluzemi. Poměrně často se v asociaci inkluzí  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  i pouze  $\text{H}_2\text{O}$  typu vyskytly tmavé inkluze s výraznou převahou plynné fáze. V některých případech bylo možno odhadnout stupeň zaplnění

kolem 0,2 až 0,1. Vzácně se vyskytly traily s výraznou převahou pouze plynných  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluzí.

Nejstarší jsou patrně jednosměrně orientované paralelní traily o délce 100 – 200  $\mu\text{m}$  s  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluzemi a s variabilním, ale i konstantním ( $F \sim 0,8$ ) stupněm zaplnění.

Vzorek byl rozlámán na tři části, které byly prozkoumány. Nachází se zde dvoufázové  $\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluze.

##### Mikrotermometrie:

	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluze	$\text{H}_2\text{O}$ inkluze
Tm- $\text{CO}_2$	-56,9 až -56,7	
Th- $\text{CO}_2$	24 až 28 (L)	
Tm-cla	7,9 až 8,3	
Tm-ice		-3 až -2,3
Th-tot	298,3 až 373,1 (C,L)	138,6 až 232,5 (L,V)
Max.četnost	kolem 300 (C)	190 až 200 (L)
Salinita	3,3 až 4,1	4 až 5
F	0,7 (vyjímečně 0,5)	0,9 až 0,95 (vyjímečně 0,5)

##### $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluze :

Velikost inkluzí se pohybuje od 5 do 10  $\mu\text{m}$ . Díky takto malým rozměrům nebylo možné zaznamenat všechny parametry. Tvar inkluzí je oválný nebo nepravidelný, stupeň zaplnění se pohyboval hlavně kolem 0,7 (vyjímečně 0,5). Tyto inkluze jsou vtroušeny do trailů, které obsahují velké množství malých a neměřitelných inkluzí (velikosti méně než 5  $\mu\text{m}$ ).

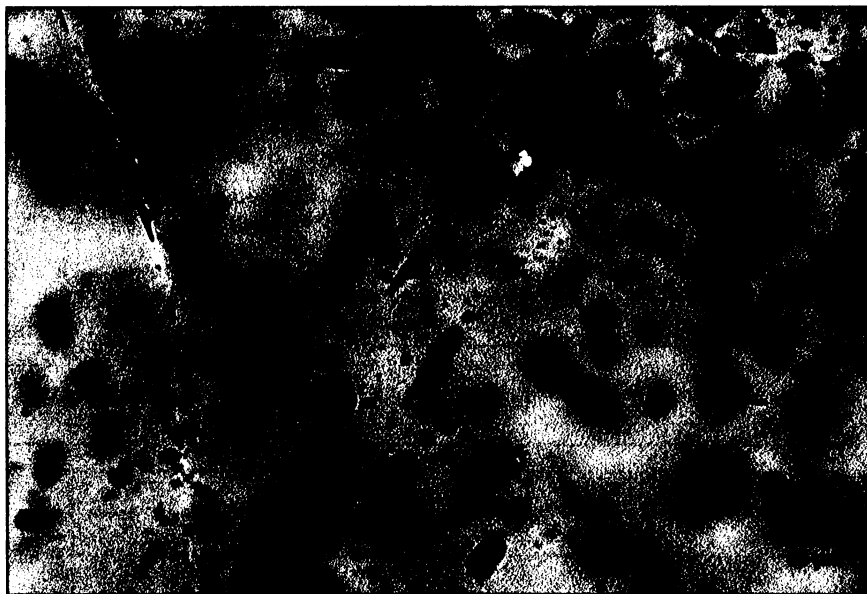
$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluze byly vymrazeny do teplot  $-120^\circ\text{C}$ . Pevné  $\text{CO}_2$  taje při teplotách  $-56,9$  až  $-56,7^\circ\text{C}$  a klatrát mizí okolo  $+7,9$  až  $+8,3^\circ\text{C}$ .

Tyto inkluze nejčastěji homogenizovaly za teplot kolem  $300^\circ\text{C}$  na kapalinu nebo kriticky.

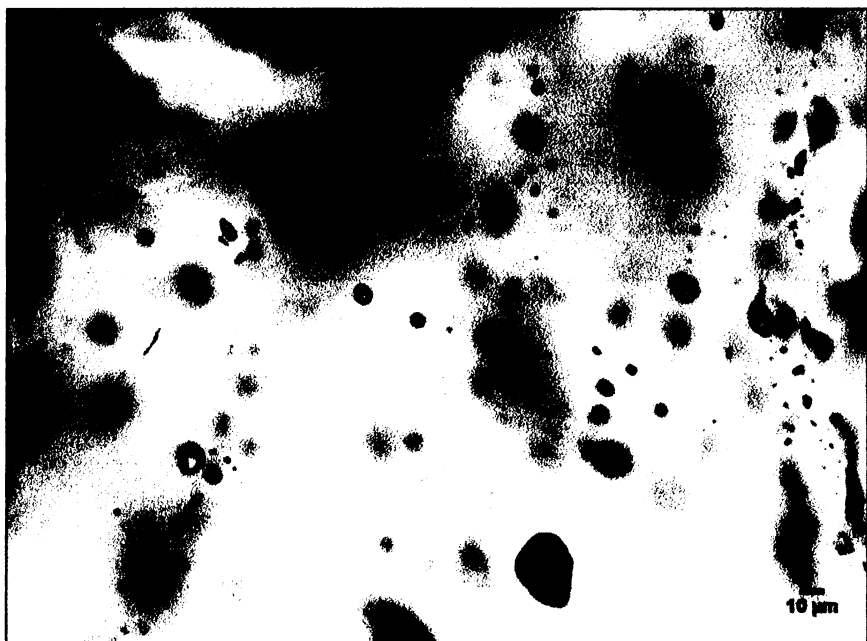
##### $\text{H}_2\text{O}$ inkluze :

Velikost inkluzí je stejně jako u  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  inkluzí okolo 5 až 10  $\mu\text{m}$ . Tvar inkluzí je oválný, protáhlý či nepravidelný. Stupeň zaplnění je především kolem 0,9 až 0,95 (vyjímečně 0,5). Vodné inkluze jsou uspořádány do pásů či trailů inkluzí a vtroušené mezi menší a těžko měřitelné inkluze stejné populace.

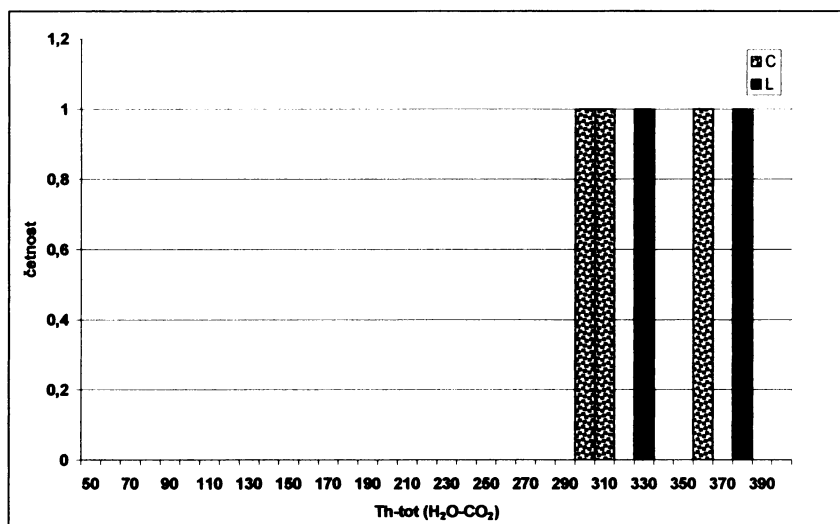
Z pokojové teploty (asi 26 °C) byly inkluze vymrazeny do -40 °C. K úplnému roztátí ledu došlo při teplotách -3 až -2,3 °C, salinita se pohybuje kolem 4 až 5 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> Inkluze homogenizovaly za teplot 138,6 až 232,5 °C (nejčastěji však kolem 190 až 200 °C) na kapalinu, až na dvě vyjímky, které zhomogenizovaly na plyn.



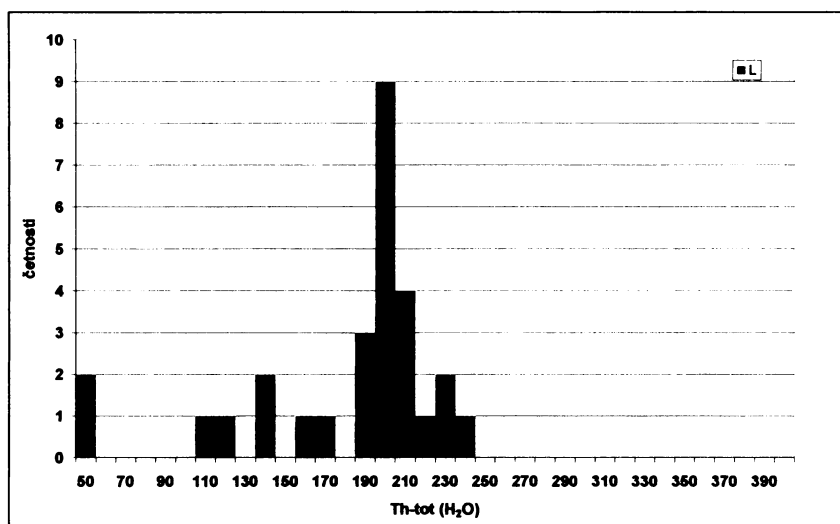
Obr. 29. Shluk dvoufázových vodních inkluzí nepravidelného protáhlého tvaru, F~0,95.



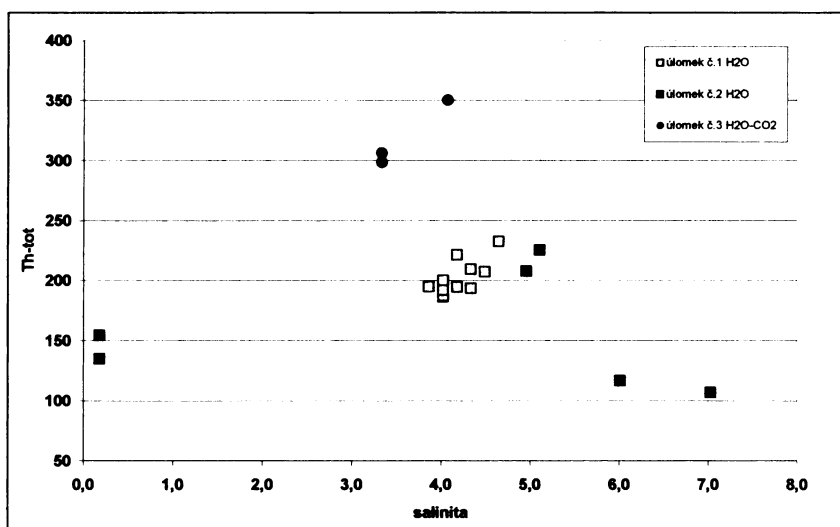
Obr. 30. Vtroušená H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze větší velikosti mezi trailly drobných vodních inkluzí.



Obr. 31. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>).



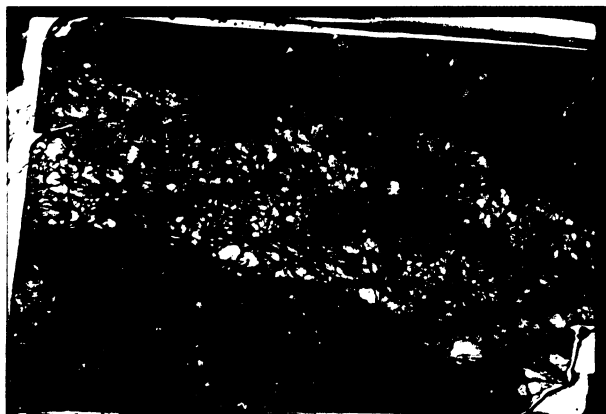
Obr. 32. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O).



Obr. 33. Th-tot x salinita.

## 6.2.5. Vzorek KAH – 2

### Popis vzorku:



Křemenná žíla 1 cm mocná v granodioritu, přibližně polovinu vzorku zabírá křemen a polovinu granodiorit. V křemeni byla studována především světlá, čirá zrna.

Ve vzorku byly nalezeny jak H<sub>2</sub>O tak i H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze, které jsou uspořádány do trailů či shluků. V této destičce bylo studováno pět úlomků.

### Mikrotermometrie:

	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> inkluze	H <sub>2</sub> O inkluze (dvoufázové)	H <sub>2</sub> O inkluze (jednofázové)
Tm-CO <sub>2</sub>	-58,6 až -54,9		
Th-CO <sub>2</sub>	17,2 až 25,3 (V,C)		
Tm-cla	7,7 až 9,5		
Tm-ice		-4,9 až -3,1	-0,5 až +1,5
Th-tot	268,8 až 345 (L)	152,8 až 193,4 (L,C)	
Max.četnost	280 až 300 (L)	160 až 180 (L)	
Salinita	1,0 až 4,4	5,1 až 7,7	0,5 až 2,6
F	0,5 až 0,7	0,9 až 0,95	

### H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze :

Velikost inkluzí se pohybuje od 2 do 20 μm, měřeny byly inkluze větších velikostí. Inkluze jsou uspořádány do trailů nebo shluků. Tvar inkluzí je oválný, protáhlý nebo nepravidelný. Stupeň zaplnění se pohybuje kolem 0,7. V úlomku č.3 byl naměřen trail inkluzí (obr. 34.) s proměnlivým stupněm zaplnění (rozmezí od 0,5 do 0,7), což by mohlo být výsledkem heterogenizace fluida. Nalezena byla také jedna inkluze s pevnou fází (čiré barvy, čtvercového tvaru), která zabírá přibližně 1/6 objemu inkluze. Po celou dobu měření se s pevnou fází neděly žádné změny.

Z pokojové teploty (25 °C) byl vzorek vymražen do -120 °C, při následném ohřívání došlo v rozmezí od -58,6 do -54,9 °C k tání pevného CO<sub>2</sub> a k tání klatrátu při teplotách kolem 9 °C. K celkové homogenizaci na kapalinu došlo za teplot od 280 do 300 °C.

### H<sub>2</sub>O inkluze (dvoufázové) :

Inkluze dosahují velikostí od 5 do 20 μm, jejich tvar je oválný, nepravidelný i podobný negativnímu krystalu. Stupeň zaplnění je v rozmezí od 0,9 až 0,95. Uspořádání inkluzí je buď do trailů nebo shluků. V jednom případě byla nalezena inkluze s pevnou částí (velmi malé velikosti) se kterou se po celou dobu měření nic nedělo.

K vymrznutí všech inkluzí došlo při -50 °C, všechny led roztál v rozmezí od -4,9 do -3,1 °C. Salinita se pohybuje nejčastěji okolo 5 až 7 hm. % NaCl<sub>ekv</sub>. K homogenizaci došlo za teplot od 152,8 do 193,4 °C a to na kapalinu, pouze v jednom případě kriticky.

H<sub>2</sub>O inkluze (jednofázové) :

Tyto inkluze dosahují velikostí od 5 do 20 μm, tvary jsou nepravidelné a uspořádání do shluku.

Inkluze byly vymrazeny do -60 °C, okolo -20 °C začíná tát první led a v rozmezí od -0,5 do +1,5 °C dojde k úplnému roztání ledu.

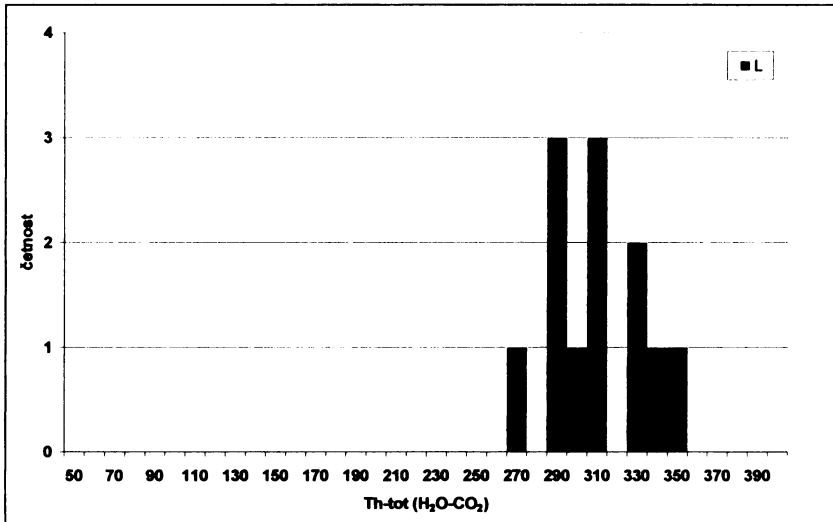


Obr. 34. Odlišnosti ve stupni zaplnění inkluzí (F~0,5 až 0,9) v tomto případě možná indikují lokálně probíhající procesy heterogenizace fluid.

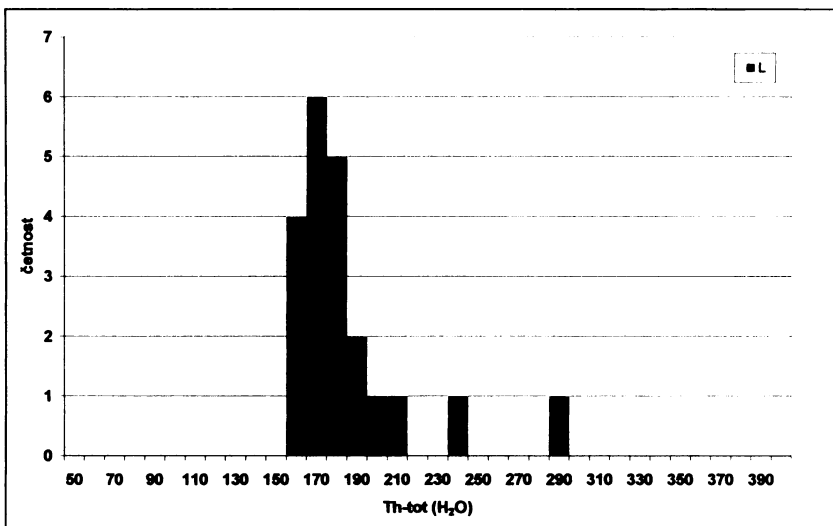


Obr. 35. Vtroušená H<sub>2</sub>O inkluze v čiré zóně křemene, F~0,95.

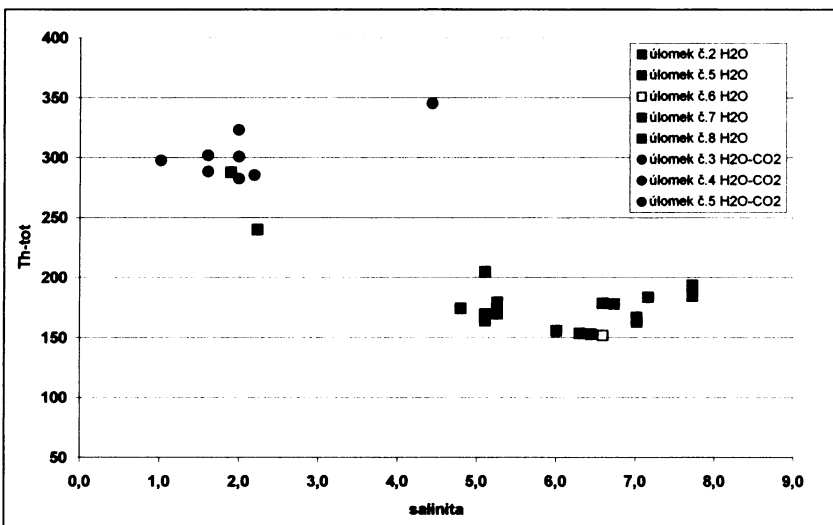




Obr. 36. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>).



Obr. 37. Histogram Th-tot (H<sub>2</sub>O).



Obr. 38. Th-tot x salinita.

### 6.3. Studium křemene v katodové luminescenci (SEM-CL)

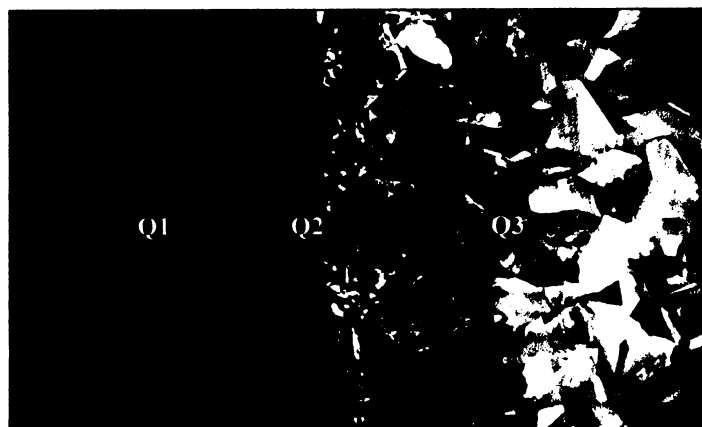
Na studium pomocí této metody bylo vybráno 6 vzorků, které měly reprezentovat a přispět ke studiu mikrotextr a generací křemene.

Byly rozlišeny následující 3 generace křemene:

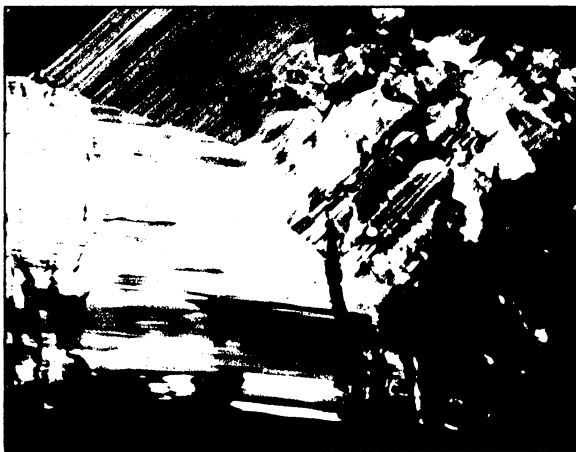
- Nejstarší masivní křemen Q1 mléčného zabarvení, který dominoval ve všech vzorcích, vykazoval velmi slabou luminescenci (šedavý odstín na SEM-CL fotografiích).
- Mladší křemen Q2 (obr. 40.) s téměř nulovou luminescencí (černá barva na SEM-CL fotografiích) tvořil lemy a narůstal na krystaly Q1 v dutinkách uvnitř žilné výplně.
- Nejmladší křemen (Q3) má velmi výraznou luminescenci (světle žlutavou), výraznou růstovou i sektorovou zonálnost (obr. 41.). Vzácně je doprovázen plaménkovitou texturou svědčící o rychlé krystalizaci. Neobsahoval žádné fluidní inkluze.



Obr. 39. Vyznačené 2 generace křemene ve vzorku KAJ-1/1.



Obr. 40. Na této fotografii je dobře patrná mladší generace křemene (Q2), která vytváří lem kolem starší generace křemene Q1. Jsou zde reprezentovány všechny tři generace křemene.



Obr. 41. Nejmladší křemen Q3 s velmi silnou luminescencí a patrnou růstovou zonálností.

## 6.4. Doplnkové mineralogické studium



Obr. 42. Ve vzorku KAJ-1/1, který byl studován pomocí EDAXu, byli sledovány tyto oblasti: 1-masa křemene; 2-masa křemene na okraji vzorku; 3, 4-okrajové nárůstové krystaly novotvořeného křemene.

Analýza	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total	SEM-CL
1	100,9919	0,0047	0,045	0	0,0158	0,0014	0,0132	101,072	tmavá zóna
2	99,1527	0	0,018	0	0	0,0139	0,0129	99,1975	světlá zóna
3	101,1383	0	0,0201	0	0	0	0,0178	101,176	světlá zóna
4	100,0454	0	0,0133	0,0087	0	0,0211	0,0088	100,097	světlá zóna

Tab. 2. Hmotnostní % oxidů ve vzorku KAJ-1/1.

Analýza	Na	Si	Al	K	Fe	Ti	Mn	O	Total
1	0,001	47,2063	0,0238	0,0109	0,0123	0,0028	0	53,8148	101,0719
2	0,0103	46,3466	0,0095	0,0107	0	0	0	52,8204	99,1975
3	0	47,2747	0,0106	0,0147	0	0	0	53,876	101,176
4	0,0156	46,7639	0,007	0,0073	0	0	0,0067	53,2966	100,0971

Tab. 3. Hmotnostní % prvků ve vzorku KAJ-1/1.

Mikrochemismus jednotlivých generací křemene byl pokusně studován pomocí elektronové mikroanalýzy (WDX systém, CAMEBAX SX 100, ŠGÚ DŠ Bratislava). Jednotlivé analýzy si jsou velmi podobné, neznačí žádné velké rozdíly mezi studovanými oblastmi.

Jedná se o čistý křemen, který pouze v oblasti č.1 (hlavní masa křemene, Q1) obsahuje nepatrné množství TiO<sub>2</sub> (0,0047 %) a zvýšené množství Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,045 %) oproti ostatním naměřeným zónám.

## 7. DISKUZE

### 7.1. Shrnutí výsledků mikrotermometrie

Z celkem 20 vzorků byly vybrány 4 vzorky z oblasti dolu Jakub u Kasejovic a 1 vzorek z dolu Hory u Kocelovic k detailnímu mikrotermometrickému studiu. Fluidní inkluze byly studovány pouze v křemenu.

Mikroskopický charakter křemene, petrografické typy fluidních inkluzí a z velké části i mikrotermometrické charakteristiky fluidních inkluzí z jednotlivých lokalit i revírů se výrazně neliší.

Byly zde nalezeny a studovány dva hlavní typy fluidních inkluzí: H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze s příměsí CH<sub>4</sub>, či N<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O inkluze s příměsí NaCl. Z hlediska generací bylo možné pozorovat primární, pseudosekundární a sekundární fluidní inkluze. Ačkoliv ne vždy bylo dobře patrné a určitelné ke které generaci ta daná inkluze či trail patří.

Typ	Tm-CO <sub>2</sub> (max.četnost)	Th-CO <sub>2</sub> (max.čet.)	Tm-cla	Tm-ice (max.četnost)	Th-tot (max.četnost)	Salinita	F
H <sub>2</sub> O				-4,9 až +4 (2F) (-3 až -0,9) -0,5 až +1,5 (1F)	108 až 272 (150 až 180)	0,2 až 9,9	0,8 až 0,95
H <sub>2</sub> O- CO <sub>2</sub>	-59,5 až -54,9 (-57 až -56,6)	12 až 29 (23 až 27)	7,7 až 12		253 až 373 (280 až 320)	0,4 až 4,4	0,5 až 0,7

Tab. 4. Shrnutí mikrotermometrických dat z fluidních inkluzí.

#### Teplota prvního tání

Odhadnuté teploty prvního tání ledu se pohybují přibližně v rozmezí -40 až -30 °C a jsou obdobné u primárních, pseudosekundárních i sekundárních typů inkluzí. To poukazuje na přítomnost dalších solí vedle NaCl (teplota eutektika = -21,2 °C).

Teploty prvního tání byly obecně velmi obtížně měřitelné, proto je interpretace dat složitá.

#### Salinita

Salinita u H<sub>2</sub>O inkluzí byla určena pomocí teploty tání ledu (Bodnar, 1993), u H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí z teploty tání klatrátů (Diamond, 1992).

Salinity vodných inkluzí mají širokou škálu a to od 0,2 do 9,9 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>, zatímco u H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí je maximální četnost okolo 1-3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>

Vzhledem k salinitě a celkové teplotě homogenizace inkluzí bylo vyčleněno několik genetických skupin fluid (obr. 43.):

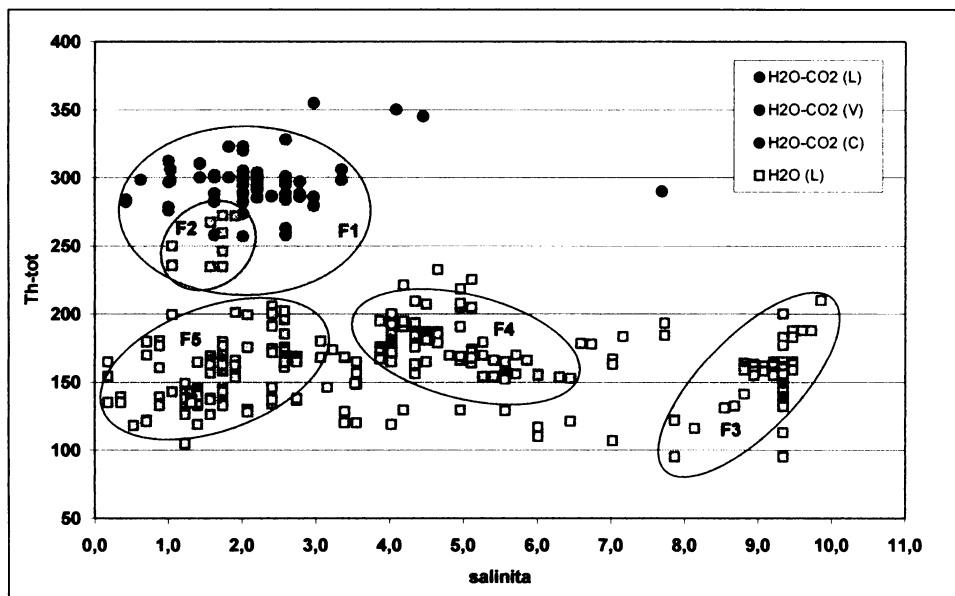
**F1.** H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluida se salinitou <3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot nejčastěji okolo 280 až 320 °C tvoří primární inkluze.

**F2.** H<sub>2</sub>O fluida o salinitě 1 až 2 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot mezi 240 až 270 °C, která spadají do oblasti F1, vznikla nejspíš při procesu heterogenizace fluid, jsou primárního charakteru (KAJ-8).

**F3.** H<sub>2</sub>O fluida o nejvyšší salinitě (8 až 10 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a Th-tot od 100 do 200 °C tvoří primární nebo sekundární inkluze (KAJ-8). V rámci této skupiny lze pozorovat celkem značný pokles salinity s teplotou celkové homogenizace.

**F4.** H<sub>2</sub>O fluida se salinitou v rozmezí od 4 do 6 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot 150 až 220 °C budou tvořit nejspíš sekundární či pseudosekundární inkluze (KAJ-5, KAH-2).

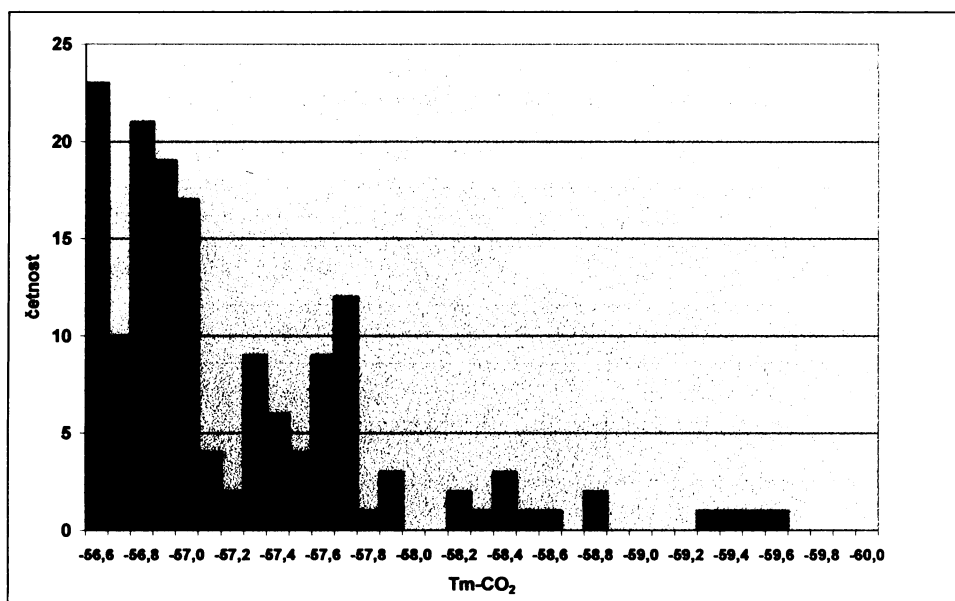
**F5.** H<sub>2</sub>O fluida, která mají salinitu od 0,2 do 3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot 120 až 200 °C jsou sekundárního charakteru. Přítomny ve všech vzorcích.



Obr. 43. Souborný graf pro všechny studované vzorky: Th-tot (°C) × salinita (hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>).

### Teplota tání pevného CO<sub>2</sub> (obr. 44.)

Teplota tání pevného CO<sub>2</sub> se pohybuje ve značně širokém intervalu -59,5 až -54,9 °C, ale maximální četnost naměřených teplot je od -57 do -56,6 °C, což odpovídá téměř čistému CO<sub>2</sub>. Kromě CO<sub>2</sub> je v některých případech přítomna příměs CH<sub>4</sub> (5 až 10 mol.%) nebo N<sub>2</sub>.

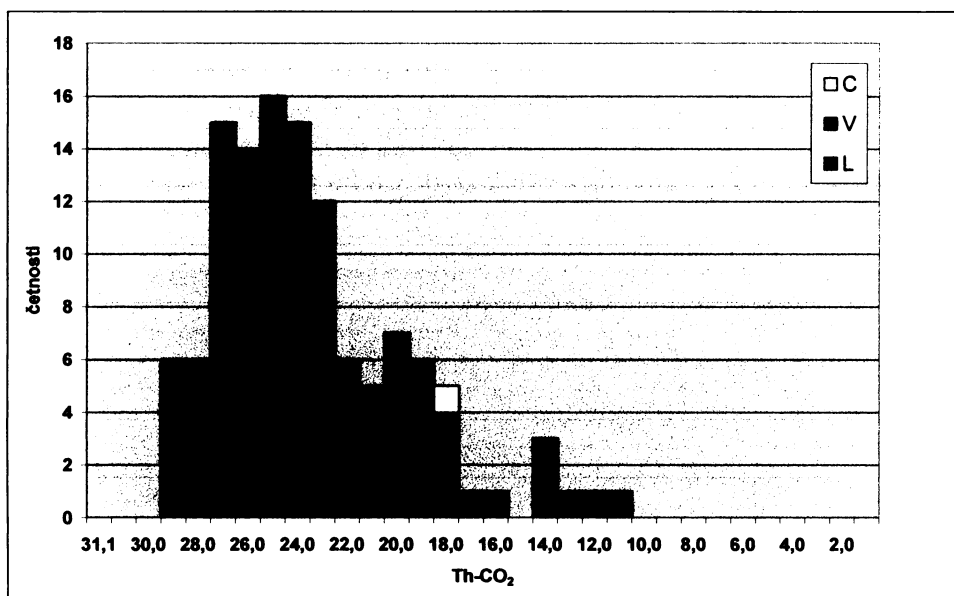


Obr. 44. Souborný histogram teplot tání pevného CO<sub>2</sub> (Tm-CO<sub>2</sub>).

### Teplota homogenizace CO<sub>2</sub> (obr. 45.)

Homogenizace CO<sub>2</sub> probíhala především na kapalinu, v několika případech na plyn a pouze v jednom případě kritickým způsobem (vzorek KAH-2).

Rozmezí naměřených teplot je od 12 do 29 °C, což může znamenat rozdíly v hustotách plynné fáze inkluzí. Tyto variace byly pravděpodobně způsobeny kolísáním tlaku fluid během jednotlivých fází vývoje mineralizace.

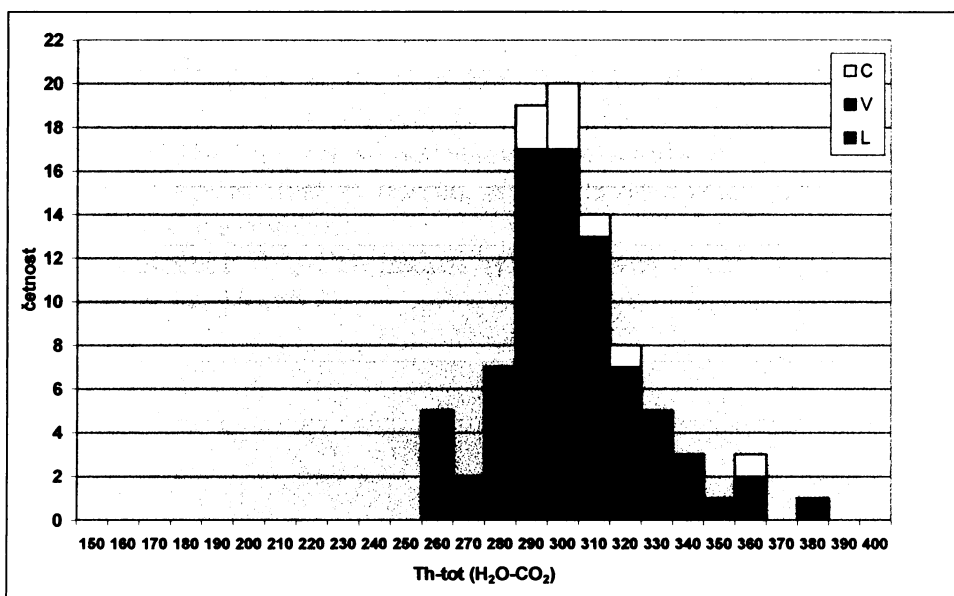


Obr. 45. Souborný histogram teplot homogenizace CO<sub>2</sub> (Th-CO<sub>2</sub>).

#### Teploty celkové homogenizace (obr. 46. a 47.)

H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze homogenizují v teplotním intervalu od 253 do 373 °C (nejčastější hodnoty jsou od 280 do 320 °C) a to především na kapalinu, méně častěji na plyn a výjimečně kritickým způsobem.

V několika případech plynem bohatých CO<sub>2</sub>>>H<sub>2</sub>O inkluzí se nepodařilo naměřit celkovou homogenizaci, protože při takto nízkém stupni zaplnění (F~0,2) a homogenizaci na plyn je velmi těžké odlišit, kdy jsou ještě přítomny obě fáze a kdy již došlo k jejich splnutí. Tento typ inkluzí také v pár případech dříve zdekripitoval než stačil homogenizovat.

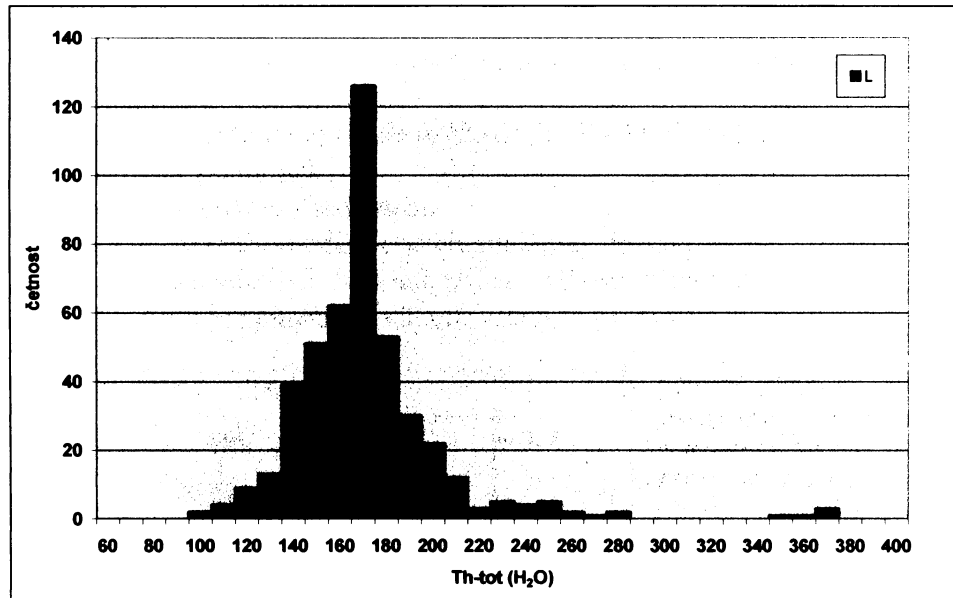


Obr. 46. Souborný histogram teplot celkové homogenizace (Th-tot) pro inkluze H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> typu.

H<sub>2</sub>O inkluze homogenizovaly pouze na kapalinu a to při teplotách od 108 do 272 °C (maximální četnost od 140 do 190 °C).

Primární vodné inkluze homogenizují přibližně za teplot 240 až 270 °C a sekundární inkluze v širším intervalu od 100 do 220 °C.

Homogenizace vodných inkluzí byla dobře viditelná a přesně zaznamatelná.



Obr. 47. Souborný histogram teplot celkové homogenizace (Th-tot) pro inkluze H<sub>2</sub>O typu.

### Stupeň zaplnění

Ve většině H<sub>2</sub>O inkluzí stupeň zaplnění kolísal pouze v malém rozsahu (0,9 až 0,95), což naznačuje vznik těchto inkluzí z homogenního fluida. Ve vzorku KAJ-5 byly nalezeny vodné inkluze se stupněm zaplnění mezi 0,5 až 0,7.

Primární H<sub>2</sub>O inkluze se stupněm zaplnění 0,8-0,95 homogenizovaly na kapalinu v rozmezí od 240 do 270 °C. V případě, že H<sub>2</sub>O inkluze odpovídají zachycení koncových členů v systému H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> v oblasti pod solvem, lze nejnižší změřené teploty homogenizace (240-270 °C) považovat za teplotu, při níž došlo k heterogenizaci fluida a vzniku křemene, který tyto inkluze obsahuje.

Stupeň zaplnění u H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluzí byl pozorován v rozmezí od 0,5 do 0,7 (vyjíměčně až 0,9 ve vzorku KAL-16 či 0,2).



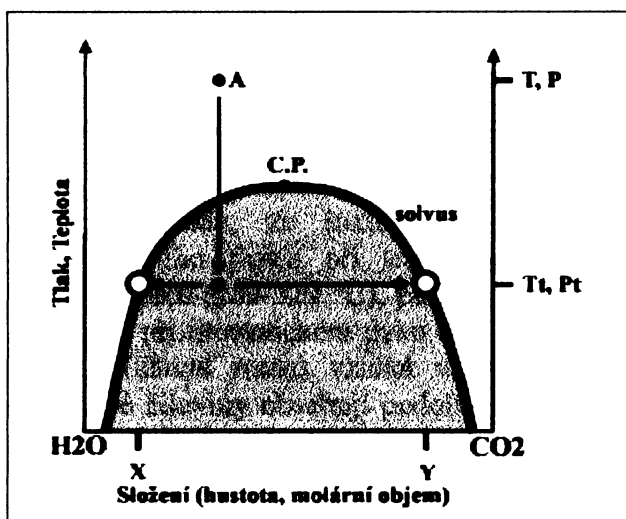
## 7.2. Heterogenizace fluid

Zjištěny zde byly také projevy heterogenizace fluid, při níž dochází k odlišnostem ve stupni zaplnění (od plynem bohatých až ke kapalinou bohaté inkluze), k variabilitě hustot a složení. Vznik heterogenního fluida souvisí jednak s procesy varu fluid (vodné roztoky) a jednak také s vzájemnou nemísivostí mezi dvěma členy výrazně odlišných vlastností (např. mezi  $H_2O$  a  $CO_2$ ). PT podmínky nemísivosti názorně vyznačuje křivka solvu (obr. 48.). Pod ní neexistuje jedna homogenní fáze, ale dvě fáze odlišných hustot a složení (jedna se hustotou blíží plynu a druhá kapalině).

K rozpadu homogenního fluida může dojít vlivem několika procesů:

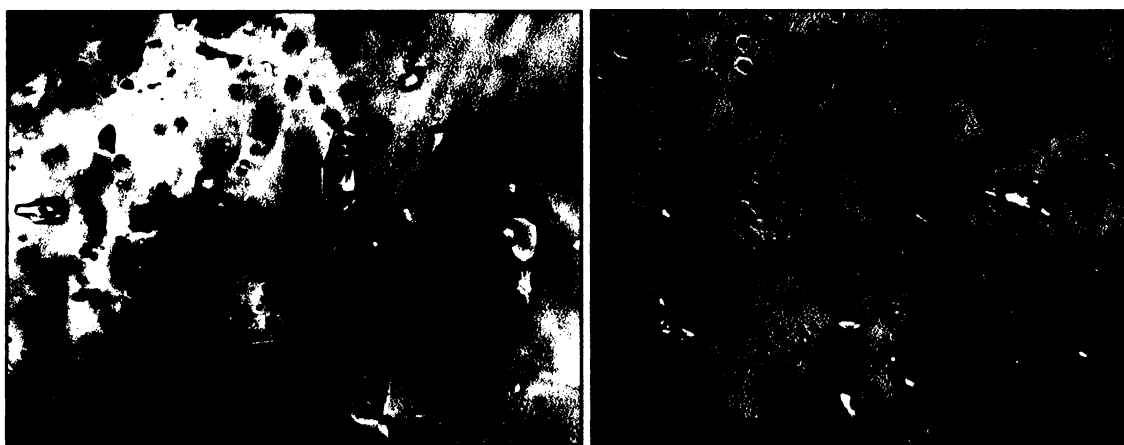
- 1) změnou pT podmínek,
- 2) změnou chemismu fluida nebo
- 3) mísením dvou fluid odlišného chemického složení.

Zatímco k varu vodných roztoků dochází vlivem změny pT podmínek, tak nemísivost  $H_2O$ - $CO_2$  fluid je způsobena vlivem všech tří procesů.



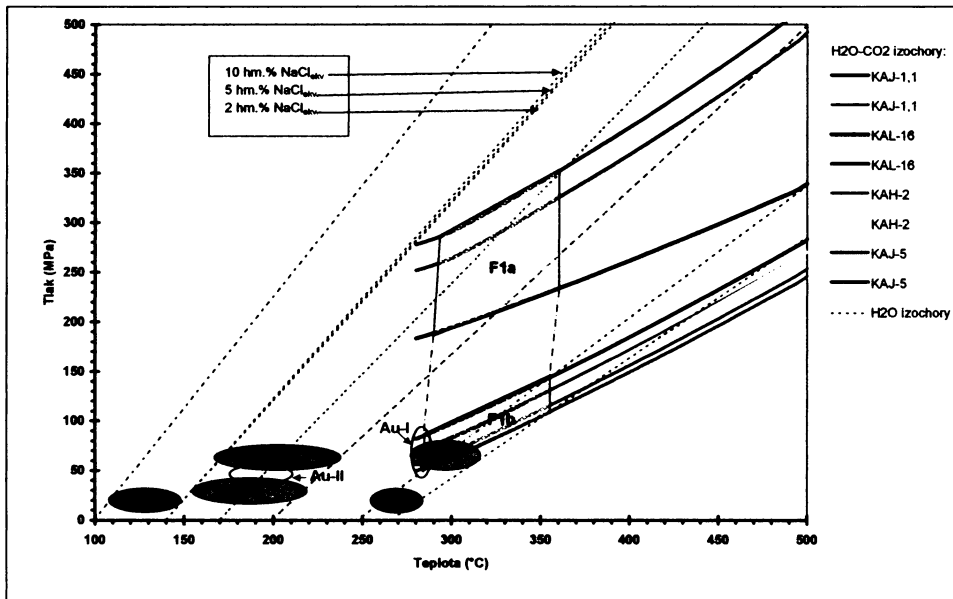
Obr. 48.  $H_2O$ - $CO_2$  systém: oblast nemísivosti je znázorněna šedým polem, bod A vyznačuje homogenní fluidum, které při poklesu pT podmínek pod hranice solvu (černý bod) se rozpadne na plynem a kapalinou bohaté členy (žluté body). V tom okamžiku dojde k heterogenizaci, kdy jsou přítomna fluida o složení nejen krajních bodů, ale i jejich mechanické směsi v různém poměru ležící mezi body X a Y (Zachariáš, 2000).

Z toho je patrné, že pouze teploty homogenizace obou krajních členů mají pro nás význam, protože odpovídají teplotě a tlaku při kterých došlo k heterogenizaci fluida. Tudiž teploty homogenizace inkluzí o smíšeném složení jsou vždy vyšší než byla teplota heterogenizace.



Obr. 49. Ve vzorku KAH-2 byla sledována odlišnost ve stupni zaplnění inkluzí (kolísání od 0,95 do 0,5), která by mohla určovat právě heterogenizaci inkluzí. Tento jev jde velmi špatně zdokumentovat, jelikož inkluze se nachází v několika rovinách zaostření.

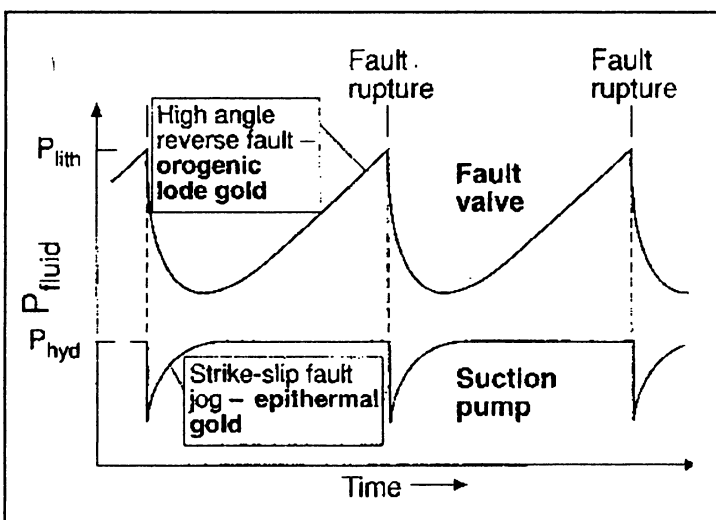
### 7.3. Odhad pT podmínek zachycení jednotlivých generací fluid



Obr. 50. Rekonstrukce pravděpodobných pT podmínek vzniku jednotlivých generací fluidních inkluzí (čísla v barevných polích).

Za předpokladu, že inkluze  $H_2O-CO_2$  primárního charakteru (typ F1a) vznikaly z homogenního fluida při teplotách shodných nebo jen o málo vyšších než teploty homogenizace (280-320 °C), pak by se tlak při jejich vzniku pohyboval v rozmezí 200-350 MPa, což při litostatickém tlaku odpovídá hloubce 7,5-13,5 km. Z toho vyplývá, že nejstarší křemen (hlavní masa) vzniká v hloubkách  $9 \pm 2$  km. Texturně mírně mladší části téže křemenné žiloviny obsahují podobné  $H_2O-CO_2$  inkluze, avšak o nižší hustotě zachyceného fluida. Tyto inkluze byly zachyceny při výrazně nižších tlacích (F1b): 60-140 MPa. Tento tlak odpovídá stejné hloubce ale hydrostatickému tlaku. Při vzniku křemenné žiloviny se tak uplatňoval mechanismus přetlaku fluid a náhlého tlakového uvolnění na křehkých zlomových stukturách („fault valve“, obr. 51.).

Inkluze spadající mezi pole F1a a F1b (znázorněno čerchovanou čarou) odpovídají tlakům od podmínek blízkých litostatickému po podmínky hydrostatickému a opět ukazují na kolísání tlaku během vzniku výplně žilných struktur (obr. 51.).



Obr. 51. Kolísání tlaku během vývoje žil (podle Sibson 2000).

Podmínky za kterých se sráželo ryzí zlato (Au-I) se nepodařilo bezpečně stanovit. Pravděpodobně k tomu došlo při heterogenizaci H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid na konci vývoje fluid F1, tj. za teplot cca 280-300 °C a tlaků 50-80 MPa (pole shodné s pozdějšími fluidy F2a). Elektrum (Au-II) a pestrá asociace teluridů a sulfosolí se naopak srážela z vodných fluid (F3 až F5) za teplot cca 230 až 170 °C a tlaků 30-70 MPa.

Generace vodných fluid pozdního typu byla uzavřena za teplot kolem 100-150 °C a malých tlaků (20 MPa). Je reprezentována inkluzemi pouze sekundárního charakteru.

## 8. SROVNÁNÍ S NĚKTERÝMI LOŽISKY AU V ČESKÉM MASÍVU

Hlavní výskyty zlatonosné mineralizace Českého masívu jsou soustředěny do mobilní zóny mezi barrandienským a moldanubickým blokem do oblasti podél severozápadního okraje Středočeského plutonického komplexu (Středočeská metalogenetická zóna; Morávek, 1995). Většina Au-mineralizací v této oblasti odpovídá mezotermálnímu typu ložisek (Jílové, Mokrsko, Libčice, Kasejovice-Bělčice) s výjimkou porfyrového typu ložiska Petráčkova hora. Mineralogická a geologická data a přehled starších prací týkajících se těchto ložisek lze najít v publikacích Morávek (1971), Morávek et al. (1992), Litochleb a Šrein (1994) a Morávek ed. (1995), hlavní poznatky o fyzikálně-chemických podmínkách hydrotermálních procesů těchto ložisek jsou shrnuty v práci Zachariáše et al., 1997.

Paragenetické poměry většiny těchto ložisek jsou charakterizovány převážně křemennou žilovinou, vysokou ryzostí zlata, přítomností pyritu, pyrhotinu, arsenopyritu a doprovodných minerálů As, Bi, Te, Mo a W. Minerální parageneze většinou vznikala během několika stadií, rané stadium vzniku žilné výplně bývá představované především starší generací křemene, karbonáty a sulfidy; precipitace zlata většinou následovala během pozdějších stadií.

Látkovým zdrojem těchto mineralizací byly pravděpodobně vulkanosedimentární bimodální komplexy barrandienského svrchního proterozoika s primárně zvýšenými obsahy zlata (Morávek et al., 1992).

Termický gradient spjatý s intruzí variských granitoidů středočeského plutonu umožnil cirkulaci fluid během raných stadií mineralizací. V průběhu následujících stadií (počínaje stadiem s Au-mineralizací) se při vzniku žilných struktur společně s dehydratací hornin v kontaktní zóně uplatňovaly i hluboce cirkulující meteorické vody. Ložiskové koncentrace vznikaly v závislosti na strukturních podmínkách. Zrudnění je vyvinuto převážně jako žilná a žilníková pásma ve zlomových strukturách nebo jako žilníky v horninových žilách.

Raná fluida, z nichž precipitovala hlavní výplň žilných struktur, vykazují metamorfní charakter a jejich složení je regionálně proměnlivé. Raná fluida jsou představována H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> roztoky s různou příměsí ostatních plynů (N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) a relativně nízkou salinitou vodné fáze (do 10 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>).

PT podmínky odhadnuté na základě studia fluidních inkluzí, stabilních izotopů a minerálních asociací pro raná stadia vzniku žilných struktur jsou na jednotlivých lokalitách značně odlišné: od relativně vysokých teplot a tlaků (přes 400 °C a 2 kbar; hloubky až 10 km) na ložiscích Petráčkova hora nebo Mokrsko k nižším hodnotám (cca 300 °C a 2 kbar), do kterých spadá kasejovicko-bělčická oblast nebo ložisko Libčice.

Vznik Au-mineralizace probíhal na všech mezotermálních ložiscích ve středočeské zóně v teplotním intervalu 330-200 °C (±50 °C) a byl spjat s relativně úzkým hloubkovým intervalem (3-6 km při uvažovaném litostatickém tlaku). Na některých lokalitách dochází též ke vzniku druhé generace zlata o nižší ryzosti za menších teplot a tlaků (Libčice, Jílové, Kasejovice-Bělčice).

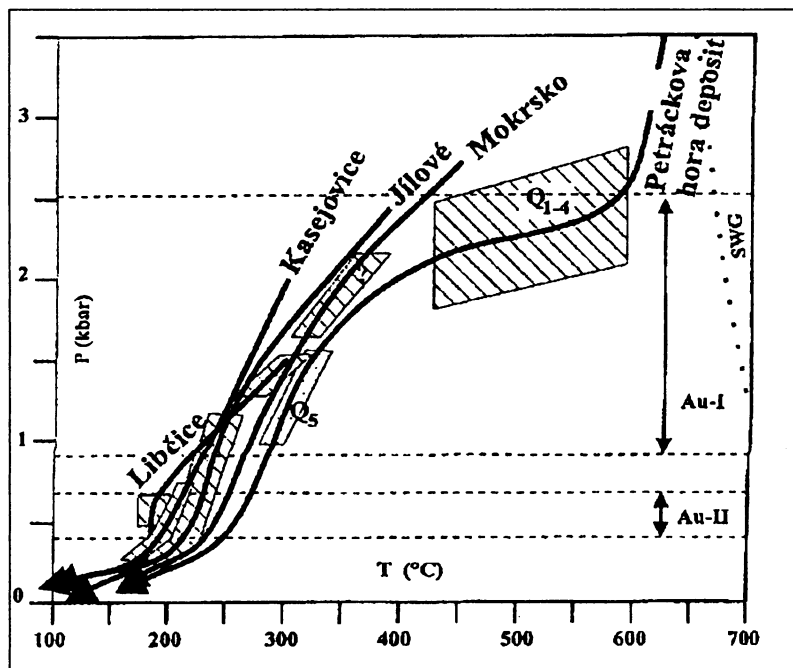
Na jednotlivých ložiscích se během vzniku Au-mineralizace uplatňovala fluida různého složení. Například na ložisku Jílové byla zjištěna fluida jak H<sub>2</sub>O, tak H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> s velmi proměnlivým obsahem CO<sub>2</sub>, Th-tot 190-250 °C a salinitou 1-8 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> (Fričová, 1997). V kasejovické oblasti se ryzí zlato nejspíše sráželo kolem teploty 300 °C z výšeteplotních vodných fluid za spoluúčasti procesu heterogenizace H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid.

Izotopové složení kyslíku u zlatonosných fluid vykazovalo na všech lokalitách s výjimkou Petráčkovy hory posun směrem k nižším hodnotám, což ukazuje na vyšší uplatnění meteorických vod cirkulujících ve svrchněkorovém horninovém prostředí a malé hloubky vzniku Au-mineralizace.

Pozdní typy fluid, které už neměly souvislost s precipitací Au, jsou na většině ložisek představovány vodnými roztoky o nízké salinitě (pod 6 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a teplotě pod 200 °C.

Jedním z charakteristických rysů křemenné žiloviny z kasejovické oblasti jsou sekundární fluidní inkluze. Na žádné jiné lokalitě Au v Českém masívu nebyla zjištěna tak bohatá pestrost sekundárních vodných fluid co se týká jejich složení či petrografických typů (generací). Všechny sekundární fluidní inkluze obsahují fluida vodného typu bez příměsi CO<sub>2</sub> nebo jiných plynů. Zatímco na některých ložiscích (Petráčkova hora, Libčice, Kašperské Hory) byly nalezeny samostatné sekundární fluidní inkluze obsahující N<sub>2</sub> či CH<sub>4</sub>.

Na základě jednotného, relativně úzkého hloubkového intervalu a teplotního rozmezí vzniku hlavního stadia Au-mineralizace v celé střežočeské metalogenetické zóně je předpokládán relativně krátký interval jejich vzniku, který je spjatý se vznikem Střežočeského plutonického komplexu (cca 350 Ma) a dosažením příslušné hloubky eroze.



Obr. 52. P-T podmínky hydrotermálních systémů v CBMZ (založeno na výsledcích studia fluidních inkluzí, stabilních izotopů a mineralogických studií) podle Zachariáše et al. (1997).

## 9. ZÁVĚR

Z kasejovicko-bělčického revíru bylo vybráno ke studiu křemenné žiloviny a jejích plynokapalných uzavřenin celkově 20 vzorků. Po pečlivém mikroskopickém studiu bylo k mikrotermometrickým měřením použito 5 preparátů a ke studiu pomocí katodové luminescence (SEM-CL) 6 vzorků.

Ve vzorcích byly rozlišeny primární, sekundární, občas i pseudosekundární typy fluidních inkluzí. Z hlediska složení byly zjištěny roztoky H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> typu a H<sub>2</sub>O typu a bylo vyčleněno několik genetických skupin fluidů:

- H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluida se salinitou <3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot 280-320 °C, které jsou primárního charakteru.
- H<sub>2</sub>O fluida o salinitě 1-2 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub> a Th-tot kolem 240-270 °C vznikla heterogenizací.
- H<sub>2</sub>O fluida s vysokou salinitou (8-10 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a Th-tot 100-200 °C.
- H<sub>2</sub>O fluida se střední salinitou (4-6 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a Th-tot 150-220 °C jsou sekundárního či pseudosekundárního charakteru.
- H<sub>2</sub>O fluida s nízkou salinitou (0,2-3 hm.% NaCl<sub>ekv.</sub>) a Th-tot 120-200 °C, která mají sekundární charakter, jsou přítomna ve všech vzorcích.

Z naměřených dat a vypočteného složení fluidů byly zkonstruovány izochory a odhadnuty pT podmínky vzniku jednotlivých generací fluidních inkluzí.

Za přispění katodové luminescence byly rozlišeny následující tři generace křemene:

- Nejstarší masivní křemen (Q1) mléčného zabarvení, který dominoval ve všech vzorcích, vykazoval velmi slabou luminescenci (šedavý odstín na SEM-CL fotografiích). Tento typ křemene obsahoval velké množství fluidních inkluzí, především H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inkluze primárního charakteru a H<sub>2</sub>O inkluze sekundárního či pseudosekundárního charakteru.
- Mladší křemen (Q2) s téměř nulovou luminescencí (až černá barva na SEM-CL fotografiích) tvořil lemy kolem zrn teluridů, ryzího bismutu a elektra. Vzácně, narůstal na krystaly Q1 v dutinách uvnitř žilné výplně.
- Nejmladší křemen (Q3) má velmi výraznou luminescenci (světle žlutavou), výraznou růstovou i sektorovou zonálnost. Vzácně je doprovázen plaménkovitou texturou svědčící o rychlé krystalizaci. Neobsahoval žádné fluidní inkluze.

Hlavní a zároveň nejstarší křemenná masa (Q1), která vzniká za teplot přibližně kolem 300-350 °C, tlaků 200-250 MPa a v hloubkách 9±2 km. Odpovídá křemennému stadiu mineralizace. Vedle křemene I byly pozorovány: pyrit, arsenopyrit, wolframit.

Zlatonosné stadium mineralizace je nejspíš spjaté s výskytem raných vodných fluidů, která vznikla heterogenizací H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluidů za teplot kolem 250-300 °C a tlaků asi 50-150 MPa.

I když v mých studovaných vzorcích se vyskytovalo jen málo rudních minerálů, je zřejmé, že minerály polymetalického stádia vznikaly z H<sub>2</sub>O fluidů za teplot cca 250-150 °C.

Studium dále prokázalo kolísání tlaků během starších i mladších mineralizačních stádií, které odpovídaly variacím mezi litostatickými a hydrostatickými podmínkami.

H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluida mají povahu metamorfních fluidů, fluida H<sub>2</sub>O typu se blíží fluidům s převahou meteorické složky.

## 10. SEZNAM LITERATURY

- Benešová, Z. a Ďurišová, J. (1980): Plynokapalné uzavřeniny a jejich význam pro geologii.- Výzkumné práce ÚÚG, 23, 80 str., Praha
- Bodnar, R.J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solutions. *Geochemica et Cosmochemica Acta* 57: 683-684
- Diamond, L.W. (1992): Stability of CO<sub>2</sub> clathrate hydrate+CO<sub>2</sub> liquid+CO<sub>2</sub> vapour+aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. *Geochemica et Cosmochemica Acta* 56: 273-280
- Ďurišová, J. a Hurai, V. (1991): Fluidní inkluze v minerálech. *Rozpravy Československé Akademie Věd, Academia*, 105, Praha
- Fričová, A. (1997): Studium plynokapalných uzavřenin na ložisku Jílové u Prahy. – MS DP, ÚGMNZ, PřF UK, Praha, 130 str.
- Hofmann, A. a Slavík, F. (1912-1913): O zlatonosném obvodu kasejovickém. – *Rozpr. Čs. Akad. Věd. Um., Tř. II*, 21, 27; 22, 19. Praha
- Holub, M. (1997): Vztahy polymetalické mineralizace v okolí Včelákova, Křížové a Starého Ranska ke geologické stavbě oblasti. – *Korelace proterozoických a paleozoických stratiformních ložisek*, V. Úst. geol. věd přírodověd. fak. Univ. Karl., 183-194. Praha
- Huraiová, M., Hurai, V. a Slobodník, M. (2002): Základy studia fluidních inkluzí v minerálech. – PřFMU Brno
- Kodym, O. jun. (1961): Geologické a petrografické poměry v území jihovýchodně od Nepomuku. – *Sbor. Ústř. Úst. geol., Odd. geol.*, 18, 1-48, Praha
- Koutek, J. (1946): Geologické poměry oblasti kasejovické se zřetelem k novým kutacím pracím na zlato. – *SGÚ ČSR*, 13, 127-187, Praha
- Litochleb, J. (1984): Zlatonosné žíly v Újezdci u Bělčic. *Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích. Přírodní vědy*, 24, 73-80
- Litochleb, J. (1994): Mineralogie zlatonosného zrudnění z dolu Jakub u Kasejovic (jz. Čechy)
- Malec, J. a Novák, F. (1982): Mineralogicko-geochemické studium těžkých minerálů pro úkol šlichová prospekce jz. části Českého masívu. – MS Ústav nerost. surovin. Kutná Hora
- Morávek, P. (1971): Ore-deposits structure and mineralizations of the Jílové gold-mining district. – *Sbor. Geol. Věd, LG* 13: 1-170
- Morávek, P. et al. (1992): Zlato v Českém masívu. – ČGÚ, Praha
- Morávek, P. (1995): Gold deposits of the central and SW part of the Bohemian Massif. *Excursion Guide, Third Biennial SGA Meeting, August 28-31, Prague, Czech Republic, Czech Geol. Surv.*, 104 pp.
- Roedder, E. (1984): Fluid inclusions. *Mineral. Soc. Am., Rev. Mineral.* 12, 12-35, Washington, D.C.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. a Alderton, D.H.M. (1985): A practical guide to fluid inclusions studies. Blackie, London, 293
- Sibson, R.H. (2000): Fluid involvement in normal faulting. *Journal of geodynamics*, 29, 469-499
- Sobotka, M. (1990): Možnosti využití metody řečištních sedimentů pro vyhledávání ložisek zlata. – *Geol. Průzk.*, 32, 214-216. Praha
- Tonika, J. et al. (1980): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 21-143, Oselce. – Ústřední ústav geologický, Praha
- Váňa, T., Hron, M., Látal, J., Janatka, J., Fatková, J., Neumannová, Š. a Koroš, I. (1988): Český Masív - ověřování prognózy Au, 01-81-2101, Kasejovice - Bělčice
- Vlašimský, P. a Piša, M. (1985): Prognózy zrudnění W-Mo v bělčickém rudním revíru. – MS ČGÚ, 55 str., Praha

- Zachariáš, J., Pudilová, M., Žák, K., Morávek, P., Litochleb, J., Váňa, T. a Pertold, Z. (1997): P-T conditions, fluid inclusions and O, C, S isotope characteristics of gold-bearing mineralizations within the Central Bohemian Metallogenic Zone. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, 41, 167-178
- Zachariáš, J. (2000): Úvod do studia plynokapalných inkluzí. – ÚGMNZ, PřFUK Praha
- Zachariáš, J. and Stein, H. (2001): Re-Os ages of Variscan hydrothermal gold mineralizations, Central Bohemian Metallogenic Zone, Czech Republic
- Zachariáš, J. a Pudilová, M. (2002): Fluid inclusion and stable isotope study of the Kasejovice gold district, central Bohemia. – *Czech Geological Survey*, 77, 157-165
- Zachariáš, J., Litochleb, J., Vymazalová, A., Kašpar, P., Váňa, T. a Pudilová, M.: Mineralizace kasejovicko – bělčické oblasti a podmínky jejího vzniku
- Zhang, Y.G. a 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. *Chemical Geology* 64: 335-350
- Žežulková, V. et al. (1989): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 22-142, Bělčice. – Ústřední ústav geologický, Praha

