

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

Fluidní inkluze v křemenné žilovině z dolu Jakub u Kasejovic

Diplomová práce

Ivana Kusá



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

Praha 2009

Prohlašuji, že jsem na předložené diplomové práci pracovala samostatně pod vedením svého školitele RNDr. 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.

Ivana Kusá



Poděkování

Srdečné poděkování patří především mému školiteli RNDr. Jiřímu Zachariášovi z Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za bezmeznou trpělivost, cenné rady, stálou péči a pozornost a také za poskytnutí studijních materiálů.

Dále bych ráda poděkovala Ing. Martě Pudilové za zabezpečení přísunu kapalného dusíku, Mgr. Vieře Kollárové z Geologického institutu D. Štúra v Bratislavě za pomoc při studiu katodové luminiscence a Mgr. Radkovi Procházkovi z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za analýzy EDX a BSE fotografie.

Tato diplomová práce byla finančně podpořena projekty GAČR 205/93/0991 a výzkumným záměrem MŠM 0021620855.

Samozřejmě bych také chtěla velmi poděkovat mým rodičům, bratrovi a babičce za nepolevující morální a finanční podporu.

ABSTRAKT

Křemenné žíly se zlatem, Bi-sulfoteluridy a Bi-Sb sulfosolemi z dolu Jakub u Kasejovic patří k variské Au-mineralizaci Českého masívu, k typu "orogenic gold deposits". Hlavní systém zlatonosných křemenných žil vyplňuje preexistující dislokace v pararulách až migmatitech pestré skupiny moldanubika. Žíly jsou charakterizovány proměnlivou mocností (vzácně nad 0,5 m), čočkovitým vývojem, variabilní kovnatostí (obsahy Au od 0,3 do 49 g/t) a velmi pestrými paragenetickými vztahy, které lze rozčlenit na 4 vývojová stadia: křemenné, zlatonosné, polymetalické a kalcitové.

Na základě nálezu unikátního vzorku, studia katodové luminiscence a mikrotermometrických údajů rozlišujeme tři hlavní generace křemene oproti dříve rozlišovaným (Litochleb 1984a) dvěma generacím: Q1 - nejstarší křemen tvořící hlavní podíl žiloviny, v jehož rámci vydělujeme pozdější fázi precipitace - čirý křemen na kontaktu s rudními minerály; Q2 - idiomorfni krystaly velmi malých rozměrů narůstající na Q1, které lze dále dělit na subgeneraci Q2a (většina hmoty krystalů) a Q2b (nejmladší růstové zóny krystalů a výplň trhlin v Q2a i Q1). Křemen Q2 tvoří též lemy minerálů zlatonosného a polymetalického stádia. Křemen Q3 se rovněž dělí na dvě subgenerace: starší Q3a, která je charakteristická svojí velmi výraznou luminiscencí, díky které lze s jistotou říci, že Q3a není v asociaci s žádnými rudními minerály zlatonosného ani polymetalického stádia a nejmladší křemen Q3b, po němž následuje vznik dolomitu a pozdního pyritu, které uzavírají sukcesní schéma.

Křemen 1. generace (Q1) precipitoval z H₂O-CO₂ fluid o nízké salinitě (< 2,4 % NaCl_{ekv.}) s nulovou nebo nízkou příměsí ostatních plynů (CH₄/N₂). Odhadované podmínky vzniku křemene Q1 se pohybují kolem teplot 320 až 360 °C za tlaků ~ 300 MPa, což odpovídá hloubce zhruba 11 km za předpokladu litostatického tlaku. Pozdější fáze Q1b vznikala za stejných teplot, ale podstatně nižších tlaků 50 až 100 MPa, které nejspíše odpovídají přechodu na hydrostatický tlak.

Vznik křemene 2. a 3. generace je spojen s fluidy H₂O typu. Starší subgenerace křemene Q2 (Q2a) vznikala z roztoků o nízké salinitě (< 3,1 % NaCl_{ekv.}) za teplot 200 až 230 °C a tlaků 50 ± 20 MPa (interpretováno jako hydrostatický tlak, hloubka 5 ± 2 km). Mladší subgenerace Q2b precipitovala z roztoků o ještě nižší salinitě (< 1,7 % NaCl_{ekv.}) při teplotách 170 až 200 °C za stejných nebo nižších tlaků. Tento křemen je pravděpodobně asociován s minerály zlatonosného/polymetalického stádia. Salinita fluid spjatých s nejmladší generací křemene Q3 je podstatně vyšší (až 11 % NaCl_{ekv.}). Teplotní interval vzniku je poměrně široký: 120 až 170 °C.

ABSTRACT

The quartz veins of the historical Jakub mine (Kasejovice region) with gold, Bi-sulphotellurides and Bi-Sb sulphosalts belong to variscan Au-mineralization of the Bohemian Massif (the orogenic gold deposits type). The gold-bearing quartz veins fill pre-existing dislocations in gneisses and migmatites of the Moldanubian Drosendorf unit. Main veins are usually ~ 0,5 m thick and lenticular in shape; gold grade varies from 0,3 to 49 g/t and they are characterized by diversified paragenetic relationships. Four mineralization stages can be distinguished (Litochleb 1984a): quartz, gold-bearing, base metal “polymetallic” and calcite stage.

Based on the unique sample discovery, cathodoluminescence study and fluid inclusions microthermometry we distinguish three main generations of quartz in comparison with formerly known (Litochleb 1984a) two generations: Q1 – the oldest quartz, that forms the main portion of gangue, we also discern Q1b (younger phase of precipitation, pellucid quartz in contact with ore minerals); Q2 – divided into Q2a (tiny pellucid euhedral crystals) and Q2b (fills in fractures in Q2a and in Q1); Q2 also form thin discontinuous rims around ore minerals of gold-bearing and polymetallic stage; Q3 – also divided into two subgenerations: older Q3a, which has very distinct luminescence and therefore we are confident that it is not associated with any ore minerals; and finally the youngest Q3b (afterwards creation of dolomite and late pyrite closes the succession scheme).

Quartz Q1 precipitated from low salinity (< 2,4 % NaCl_{eq}) aqueous-carbonic fluid with no or minor methane/nitrogen admixture. Estimated PT conditions of formation are 320 to 360 °C and ~ 300 MPa (depth about 11 km under lithostatic pressure). Younger phase Q1b precipitated at same temperatures, but the pressure was significantly lower: 50 to 100 MPa (probably transition to hydrostatic pressure).

Formation of quartz Q2 and Q3 is associated with aqueous fluids. Q2a occurred from low salinity (< 3,1 % NaCl_{eq}) fluids at 200 to 230 °C and 50 ± 20 MPa (depth about 5 ± 2 km under hydrostatic pressure). Q2b precipitated from fluids with even lower salinity (< 1,7 % NaCl_{eq}) at 170 to 200 °C and either same or lower pressure. This quartz is supposedly cogenetic with minerals of gold-bearing/polymetallic stage. The Q3 formed from higher salinity (up to 11 % NaCl_{eq}) aqueous fluids at wide range of temperatures (120 to 170 °C).

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. OBECNÉ INFORMACE O LOKALITĚ	2
2.1 Geologicko-geografické vymezení studované oblasti	2
2.2 Historie těžby a průzkumu zlata v kasejovicko-bělčické oblasti	3
3. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA KASEJOVICKO-BĚLČICKÉ OBLASTI... 5	
3.1 Geologická stavba.....	5
3.2 Ložisková charakteristika kasejovické oblasti	7
3.3 Mineralogická charakteristika kasejovických křemenných žil	10
3.4 Ložisková charakteristika bělčické oblasti	11
4. FLUIDNÍ INKLUZE.....	13
4.1 Definice fluidních inkluzí.....	13
4.2 Vznik a klasifikace fluidních inkluzí	13
4.3 Reekvilibrace fluidních inkluzí	14
4.4 Obecný postup při studiu fluidních inkluzí	15
4.5 Stupeň zaplnění	15
4.6 Měření teploty fázových přechodů.....	17
5. METODIKA STUDIA	19
6. CHARAKTER KŘEMENNÉ ŽILOVINY	20
6.1 Křemen 1. generace.....	20
6.2 Křemen 2. generace.....	21
6.3 Křemen 3. generace.....	22
6.4 Studium pomocí katodové luminiscence (SEM-CL).....	23
6.5 Doplnkové mineralogické studium	25
7. STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ	28
7.1 Vzorek KAL-60	28
7.2 Vzorek KAL-61	33
7.3 Vzorek KAJ-1	36
7.4 Vzorek KA-8	39
7.5 Vzorek K 12 AN.....	43
7.6 Vzorek KAL-53	49
8. SHRNUÍ VÝSLEDKŮ	53
8.1 Shrnutí mikrotermometrických dat	53
8.2 Paralelizace generací křemene a minerální sukcese	61

8.3 Odhad PT podmínek vzniku jednotlivých generací křemene	62
9. DISKUZE	65
9.1 Srovnání s předchozími pracemi z kasejovického revíru	65
9.2 Srovnání s bělčickým rudním revírem	66
9.3 Srovnání s ostatními Au ložisky střeďočekské metalogenetické oblasti	67
10. ZÁVĚR.....	69
11. POUŽITÁ LITERATURA	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Přibližné vymezení kasejovického revíru. Výřez z turistické mapy 1: 50 000 Brdy a Třemšínsko.
- Obr. 2. Poloha nejvýznamnějších Au ložisek ve středočeské metalogenetické oblasti (přejato ze Zachariáše a Pudilové 2002).
- Obr. 3. Geologická mapa kasejovického revíru a blízkého okolí (přejato z Žežulkové 1987).
- Obr. 4. Ložisková geologická mapa kasejovicko-bělčické oblasti (podle Váni et al. 1989 in Morávek et al. 1992).
- Obr. 5. Profil kasejovickým ložiskem - důl Jakub (přejato z Koutka 1946).
- Obr. 6. Příklad nepravidelného průběhu drobné křemenné žilky, důl Jakub, I. patro (přejato z Koutka 1946).
- Obr. 7. Genetická klasifikace FI.
- Obr. 8. Srovnávací nákres pro odhad stupně zaplnění trojrozměrných FI inkluzí (podle Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).
- Obr. 9. Rekrystalizace FI procesem „necking down“ (podle Roeddera 1984 a Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).
- Obr. 10. H₂O inkluze zachycené při varu roztoků, křemen ze sekundárních kvarcitů, lokalita Šobov u Bánské Štiavnice (přejato ze Oružinský – Hurai in Huraiová et al. 2002).
- Obr. 11. Schematické znázornění solvu v H₂O-CO₂ systému a oblasti nemísivosti (přejato ze Zachariáše 2000).
- Obr. 12. Část fázového diagramu H₂O (podle Fischera 1976 in Ďurišová a Hurai 1991).
- Obr. 13. Vzorek KAJ-1 se třemi přítomnými generacemi křemene Q1 až Q3 (foto: J. Zachariáš).
- Obr. 14. Křemen Q1, vlevo nedeformovaná žilovina, místy s patrným hypautomorfním omezením zrna; vpravo žilovina výrazně duktilně rekrystalizovaná (zkřížené nikoly - obě fotografie).
- Obr. 15. Křemen první generace krystalizující do dutiny s patrnou „feathery“ texturou při okrajích krystalů (zkřížené nikoly).
- Obr. 16. Průřez idiomorfním krystalem křemene 2. generace kolmým na osu c (vlevo); vpravo detail vějířovitých/snopkovitých agregátů chloritů zvýrazňujících růstové zóny.
- Obr. 17. Křemenné lišty lemované rudními fázemi (černé) a místy Q3 (vpravo); vlevo detail inkluzí karbonátu (zkřížené nikoly-obě fotografie).
- Obr. 18. Křemen 3. generace krystalizující do volné dutiny (zkřížené nikoly).
- Obr. 19. Příčný řez (1,8 x 0,7 cm) studovanou žilkou křemene (vzorek K 12 AN) Q3 v katodové luminiscenci. Foto: T. Hrstka.
- Obr. 20. Fotografie SEM-CL křemenné lišty lemované Q3 s rozlišenými 3 generacemi křemene (foto: J. Zachariáš).
- Obr. 21. Fotografie SEM-CL: A, B – křemen 2. generace pronikající do starší žiloviny, s patrnými přírůstkovými zónami; C, D – rudní fáze lemované křemenem 2. generace; fotografie BSE: E – detail rudní fáze (ryzí Bi zatlačovaný bismutinem); F – krystaly muskovitu zarostlé v mladší Bi-Te fázi, krystalizace do dutiny Q1.
- Obr. 22. Přejít křemene 1. a 2. generace; trhliny vyplněné Q2, které prostupují oběma generacemi, ale nepokračují přes oblast podrcení (pravý dolní roh).
- Obr. 23. Kompoziční diagram chloritů založený na oktaedrických kationtech R^{2+(vi)}, R^{3+(vi)}, tetraedrických kationtech R^{3+(iv)} a na podílu neobsazených oktaedrických pozic (□). Podle Wiewióra a Weisse 1990 in Weiss a Kužvart 2005.
- Obr. 24. Fotografie BSE: agregát galenitu (bez příměsí, světlá šedá) zatlačovaný galenitem se zvýšeným obsahem Ag (tmavší šedá) ve vzorku KAL-60.
- Obr. 25. Téměř dokonale omezené křemenné zrna (zkřížené nikoly), vzorek KAL-60.

- Obr. 26. Vlevo agregát galenitu pronikající po trhlinách v křemeni; vpravo detail galenitu obrůstaneho muskovitem, vzorek KAL-60.
- Obr. 27. H₂O-CO₂ inkluze se zachycenou pevnou fází, vzorek KAL-60.
- Obr. 28. Pozice H₂O-CO₂ inkluzí při okraji úlomku se zřetelným třífázovým obsahem, vzorek KAL-60.
- Obr. 29. Třífázová H₂O-CO₂ plynem bohatá inkluze s F ~0,50; součástí krátkého trailu, vzorek KAL-60.
- Obr. 30. Trail dvoufázových, kapalinou bohatých H₂O inkluzí, vzorek KAL-60.
- Obr. 31. Souhrnný histogram teplot tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) ve vzorku KAL-60.
- Obr. 32. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita ve vzorku KAL-60.
- Obr. 33. Okraj destičky s rudním agregátem a vyznačenou pozicí měřeného zrna (červená šipka), vzorek KAL-61.
- Obr. 34. Detail Pb-Sb fází pronikající starší žilovinou, vzorek KAL-61.
- Obr. 35. Samostatná H₂O-CO₂ inkluze; F ~0,70, vzorek KAL-61.
- Obr. 36. Histogram teplot tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) ve vzorku KAL-61.
- Obr. 37. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita ve vzorku KAL-61.
- Obr. 38. Křemen 1. generace: ostrý přechod do čiré zóny téměř bez inkluzí (vlevo); „feathery“ textura (vpravo, zkřížené nikoly), vzorek KAJ-1.
- Obr. 39. Křemenné lišty lemované sulfidy (černé) a 3. generací křemene (zkřížené nikoly), vzorek KAJ-1.
- Obr. 40. Detail křemenné lišty (na předchozím obr. 39 modrozelená) s patrnými fluidními inkluzemi a inkluzí karbonátu (zkřížené nikoly), vzorek KAJ-1.
- Obr. 41. H₂O-CO₂ inkluze; F ~0,70, vzorek KAJ-1.
- Obr. 42. Histogram teplot tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1.
- Obr. 43. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1
- Obr. 44. Rudní fáze lemující hranice zrn křemene 1. generace, vzorek KA-8.
- Obr. 45. Rudní fáze tvořící „rudní traily“ v žilovině 1. generace, vzorek KA-8.
- Obr. 46. Průřez krystalem křemene 2. generace, vzorek KA-8.
- Obr. 47. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemeni Q2.
- Obr. 48. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v křemeni Q2.
- Obr. 49. Výbrus (2 x 2 cm), kontakt horniny a křemene Q3.
- Obr. 50. H₂O kapalinou bohatá inkluze s pevnou fází snopkovitého habitu (patrně náhodně zachycený muskovit), vzorek K 12 AN.
- Obr. 51. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemeni Q3a.
- Obr. 52. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v křemeni Q3a.
- Obr. 53. Populace jednofázových H₂O inkluzí tvaru negativních krystalů, vzorek K 12 AN.
- Obr. 54. H₂O dvoufázové kapalinou bohaté nepravidelné inkluze růstové zóny, vzorek K 12 AN.
- Obr. 55. H₂O inkluze asociace varu: inkluze dvoufázové kapalinou bohaté, jednofázové plynné a přechody mezi nimi.
- Obr. 56. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemeni Q3b.
- Obr. 57. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v křemeni Q3b.
- Obr. 58. Vlevo pozice měřeného čirého zrna v rámci destičky; vpravo detail zrna s viditelnými přírůstkovými zónami, vzorek KAL-53.
- Obr. 59. Růstová zóna s pásy plynem bohatých inkluzí a inkluzí vysoce salinních; typických pro asociaci varu roztoků, vzorek KAL-53.
- Obr. 60. Kapalinou bohatá inkluze s drobnou opakní fází při okraji (vlevo); vpravo kapalinou bohatá inkluze s červenou tabulkovitou fází (hematitem?), vzorek KAL-53.

- Obr. 61. Samostatná polyfázová inkluze s $F \sim 0,80$; kromě plynné fáze a kubického krystalu halitu (NaCl) můžeme pozorovat další 3 neidentifikované pevné fáze (viz šipky), vzorek KAL-53.
- Obr. 62. Graf teploty tání halitu (Ts-NaCl) x teplota homogenizace.
- Obr. 63. Souborný histogram teplot tání pevného CO_2 ($T_m\text{-CO}_2$) v křemenu 1. generace (Q1).
- Obr. 64. Souborný histogram teplot homogenizace CO_2 ($T_h\text{-CO}_2$) v křemenu 1. generace (Q1).
- Obr. 65. Souborný histogram celkové homogenizace $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ inkluzí ($T_h\text{-tot}$) v křemenu 1. generace (Q1).
- Obr. 66. Souborný graf teploty celkové homogenizace ($T_h\text{-tot}$) x salinita pro křemen Q1.
- Obr. 67. Histogram teplot homogenizace ($T_h\text{-tot}$) H_2O inkluzí v křemenu Q2.
- Obr. 68. Graf teploty celkové homogenizace ($T_h\text{-tot}$) x salinita pro křemen Q2.
- Obr. 69. Histogram teplot homogenizace ($T_h\text{-tot}$) H_2O inkluzí v křemenu Q3.
- Obr. 70. Souborný graf teploty celkové homogenizace ($T_h\text{-tot}$) x salinita pro křemen Q3.
- Obr. 71. Graf teploty tání halitu (Ts-NaCl) x teplota homogenizace.
- Obr. 72. Souborný graf teploty celkové homogenizace ($T_h\text{-tot}$) x salinita pro všechny generace křemenné žiloviny (Q1-Q3).
- Obr. 73. Grafické znázornění izochor pro jednotlivé generace křemene (Q1-Q3).
- Obr. 74. Odhadované PT podmínky vzniku jednotlivých mineralizačních stádií (vysvětlení viz text) stanovené na základě minerální termometrie (Chlo = chlorit, Asp = arsenopyrit) a výpočtu izochor. Přejato ze Zachariáše a Nováka 2009.

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1. Obsah zlata v křemenných žilách, důl Jakub (data přejata z Váni et al. 1989).
- Tab. 2. Abecední přehled minerálů Bi a Te z kasejovické oblasti (dle Litochleba a Šreina 1994).
- Tab. 3. Klasifikace inkluzí podle jejich obsahu za pokojové teploty (podle Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).
- Tab. 4. Chemická analýza 8 nerudních fází na růstových zónách Q2 ve vzorku KA-8.
- Tab. 5. Shrnutí mikrotermometrických údajů $\text{H}_2\text{O-CO}_2$; H_2O inkluzí ve vzorku KAL-60.
- Tab. 6. Shrnutí mikrotermometrických údajů $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ inkluzí ve vzorku KAL-61.
- Tab. 7. Shrnutí mikrotermometrických údajů $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ inkluzí v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1.
- Tab. 8. Shrnutí mikrotermometrických údajů H_2O inkluzí v křemenu Q2.
- Tab. 9. Shrnutí mikrotermometrických údajů H_2O inkluzí v křemenu Q3a.
- Tab. 10. Shrnutí mikrotermometrických údajů H_2O inkluzí v křemenu Q3b.
- Tab. 11. Shrnutí mikrotermometrických údajů vysoce salinních H_2O inkluzí ve vzorku KAL-53.
- Tab. 12. Shrnutí mikrotermometrických údajů $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ inkluzí v křemenu Q1.
- Tab. 13. Shrnutí mikrotermometrických údajů H_2O inkluzí v křemenu Q3.
- Tab. 14. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-6) vybraných pro výpočet $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ izochor (křemen Q1) zobrazených na obr. 73.
- Tab. 15. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-4) vybraných pro výpočet H_2O izochor (křemen Q2) zobrazených na obr. 73.
- Tab. 16. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-6) vybraných pro výpočet H_2O izochor (křemen Q3) zobrazených na obr. 73.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SČPK	Středočeský plutonický komplex
LP-HT	Nízkotlaké - vysokoteplotní
FI	Fluidní inkluze
P	Primární charakter
PS	Pseudosekundární charakter
S	Sekundární charakter
Lr	Dvoufázové kapalinou bohaté
Vr	Dvoufázové plynem bohaté
F	Stupeň zaplnění
T	Teplota
P	Tlak
PT podmínky	Teplotně – tlakové
Tt	Teplota zachycení (tj. při vzniku inkluze)
Pt	Tlak při vzniku inkluze
T _{FM}	Teplota prvního tání
Te	Teplota eutektika
T _{m-ice}	Teplota tání posledního krystalu ledu
Hm. % NaCl _{ekv.}	Vyjádření salinity pomocí NaCl ekvivalentu
Th	Teplota homogenizace
Th (L/V/C)	Homogenizace na kapalinu/plyn/kritický způsob
Ts	Teplota tání pevné fáze
Ts-NaCl	Teplota tání halitu
T _{m-CO₂}	Teplota tání pevného CO ₂
T _{m-cla}	Teplota tání klatrátu CO ₂
Th-CO ₂	Teplota homogenizace CO ₂
Th-tot	Teplota celkové homogenizace
T _(DEC)	Teplota dekrepitace
Q1	Křemen 1. generace
Q2	Křemen 2. generace
Q3	Křemen 3. generace
SEM-CL	Skenovací elektronová mikroskopie – katodová luminiscence
BSE	Elektronová mikroskopie – zpětně odražené elektrony
WDX	Vlnově disperzní analýza
EDX	Energiově disperzní analýza
3D distribuce	Trojrozměrná distribuce
H	Halit

1. ÚVOD

Kasejovicko-bělčický rudní revír je možné řadit mezi klasické oblasti v Českém masivu, kde se v minulosti získávalo zlato, a jako takový byl podroben poměrně intenzivnímu studiu. Zvláštní pozornost byla věnována mineralogickým charakteristikám kasejovické oblasti, zde byly poprvé v Čechách nalezeny a popsány telluridy (Hofmann 1906 in Koutek 1946).

Oblast byla důkladně geologicky prozkoumána a zmapována zejména Koutkem (1946), který při studiu křemenné žiloviny mj. pozoroval, že: “Křemen je plný tekutých do řádků spořádaných vrostlic, které následkem totální reflexe způsobují onu bílou, mléčnou barvu křemene“; jedná se o první popis fluidních inkluzí z této lokality. V letech 1986 až 1988 zde byly provedeny revizní práce za účelem ověření možnosti výskytu většího ložiskového objektu (Váňa et al. 1989).

Mikrotermometrické studium fluidních inkluzí bylo zahájeno v 90. letech, první výsledky byly publikovány Zachariášem et al. (1997), pouze kasejovické oblasti se pak věnuje práce Zachariáše a Pudilové (2002) a diplomová práce Šulcové (2007), která ve své práci vymezila tři generace křemene (oproti předchozím studiím, kde byly vymezovány pouze dvě) a poté se detailně věnovala identifikaci teplotního a látkového vývoje fluid spjatých s nejstarší, 1. generací.

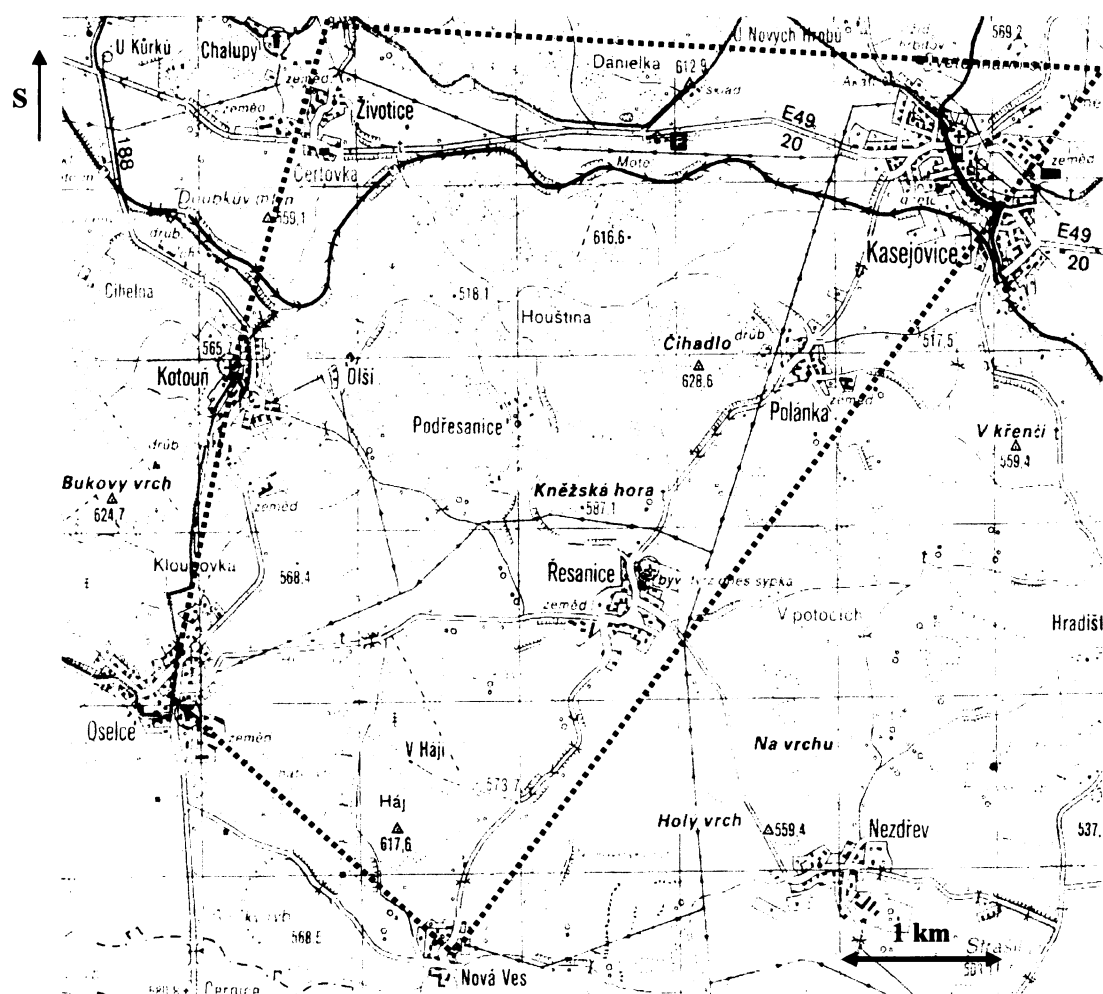
Cílem mé diplomové práce bylo pokračovat v mikrotermometrickém studiu křemene 1. generace a především pak zabývat se studiem 2. a 3. (nejmladší) generace; dále se pokusit vymezit podmínky vzniku mineralizace zlatonosného (a polymetalického) stadia.

2. OBECNÉ INFORMACE O LOKALITĚ

2.1 Geologicko-geografické vymezení studované oblasti

Kasejovicko-bělčická oblast se nachází přibližně 80 km jz. směrem od Prahy. Obec Kasejovice náleží Plzeňskému kraji, okres Plzeň-jih; Bělčice spadají do Jihočeského kraje, okres Strakonice. Oblast se obvykle dělí na kasejovický (západní) a bělčický (východní) revír na základě rozmístění starých hornických prací a charakteru hostitelských hornin. Kasejovický revír lze vymezit spojnicemi obcí Kasejovice – Nová Ves – Oselce – Kotouň – Životice (obr. 1); Bělčický revír je ohraničen spojnicemi obcí Bělčice – Kocelovice – Lnáře – Předmít – Břeží – Újezdec u Bělčic.

Obr. 1. Přibližné vymezení kasejovického revíru (modrá přerušovaná čára). Výřez z turistické mapy 1: 50 000 Brdy a Třemšínsko.

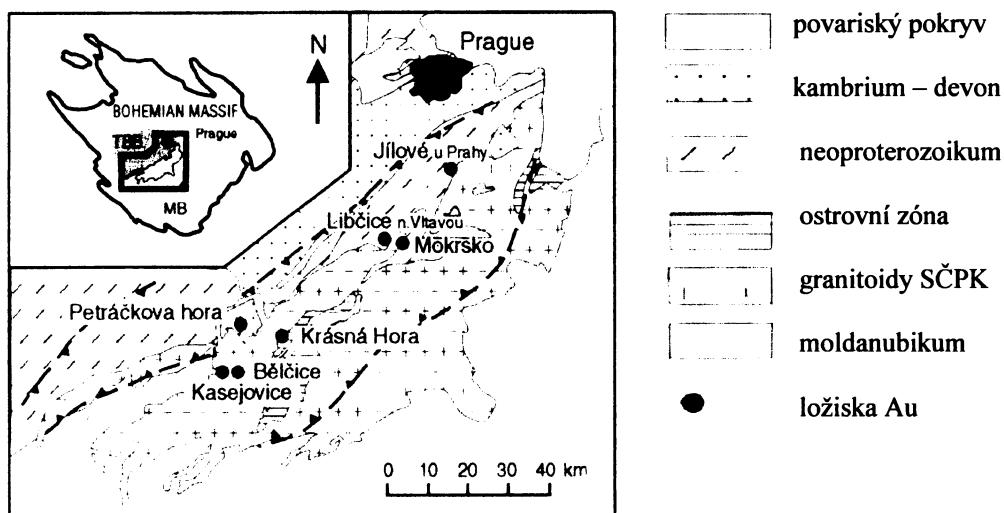


Z hlediska geomorfologického je oblast řazena k jižnímu předhůří Brd s charakterem mírně zvlněné pahorkatiny, oblast je odvodňována systémem malých vodotečí Závašinského potoka.

Z hlediska ložiskové geologie se kasejovicko-bělčický revír nachází v oblasti tzv. středočeské metalogenetické zóny (obr. 2) vymezené Morávkem (1996), což je hraniční oblast

podél severozápadního okraje střeďočekšského plutonického komplexu (SČPK) s několika významnými ložisky zlata, jako např. Jílové u Prahy nebo Mokrsko. Všechna ložiska této zóny se dají označit jako mesotermální typ mineralizace variského stáří; datování molybdenitu metodou Re-Os z ložisek Mokrsko, Kasejovice-Bělčice poskytlo údaj 349-339 mil. let (Zachariáš a Stein 2001). Celkové zásoby zlata v této oblasti jsou odhadovány okolo 200 t, přičemž největší zásoby mají ložiska Mokrsko (100-120 t), Jílové (15 t) a Petráčkova hora (30 t) (Zachariáš et al. 1997).

Obr. 2. Poloha nejvýznamnějších Au ložisek ve střeďočekšské metalogenetické oblasti (vymezené přerušovanou čarou), její pozici v rámci Českého masivu znázorňuje menší výřez (přejato ze Zachariáše a Pudilové 2002). MB – moldanubikum, TBB – tepelsko-barrandienská oblast



2.2 Historie těžby a průzkumu zlata v kasejovicko-bělčické oblasti

Kasejovicko-bělčické území patří k oblastem, kde se zlato získávalo již ve 14. století, první historická zmínka o těžbě pochází z let 1336-1338 ze zástavní listiny krále Jana Lucemburského. Zlato se těžilo zejména povrchově rýžováním, kdy o rozsáhlé rýžovnické činnosti svědčí velké plochy sejpů. Zpracovávány byly jednak fluviální sedimenty, tak i eluvia a deluvia v oblasti primárních výskytů.

Hornická činnost na šachtě Jakub západně od Kasejovic byla obnovena v letech 1786 - 1805 a práce dosáhly hloubky cca 20 m, nejvyšší zjištěné obsahy ryzího zlata činily 5,8 g/t (Hofmann a Slavík 1913 in Koutek 1946), nicméně s přechodem k těžbě ve větších hloubkách došlo k úpadku dolování. Další pokusy o těžbu zlata (např. od roku 1906 do 1. světové války) se neseťkaly s větším úspěchem, očekávaných výsledků dosaženo nebylo. Oblast byla znovu důkladně prozkoumána protektorátní správou v letech 1939 až 1944; průzkum se na základě předchozí hornické činnosti omezil jen na nejnadějnější místa oblasti – šachtu Jakub a lokalitu Hory u Kocelovic. Průzkum potvrdil předešlé domněnky: nepravidelnou kovnatost a ve svém průměru chudé obsahy nepravidelných, krátce čočkovitých žil. Ložiska byla zhodnocena jako nedobyvatelná (Koutek 1946).

Kromě výše zmíněných lokalit se dolování v oblasti soustředilo také na výskyt Au u Újezdce u Bělčic (zejména štola Barbora), důl Na Borcích, Na Skřipici atd. východně od Kasejovic. Západně od Kasejovic se nacházely doly Jakub, Alois, Johan.

Celková produkce zlata (14. - 20. století) není známa, ale pravděpodobně byla mnohem nižší než 1 t (Zachariáš a Pudilová 2002).

V letech 1986 – 1988 byl proveden průzkum větší části kasejovicko-bělčického revíru v rámci úkolu „Český masív – ověřování prognóz Au“, jehož orientace směřovala k zachycení většího ložiskového objektu s větším potenciálem zásob. Z výsledků revizních prací vyplývá, že v bělčické oblasti je možná těžba pouze selektivního rozsahu a v kasejovické oblasti je situace ještě nepříznivější (Váňa et al. 1989).

3. GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA KASEJOVICKO-BĚLČICKÉ OBLASTI

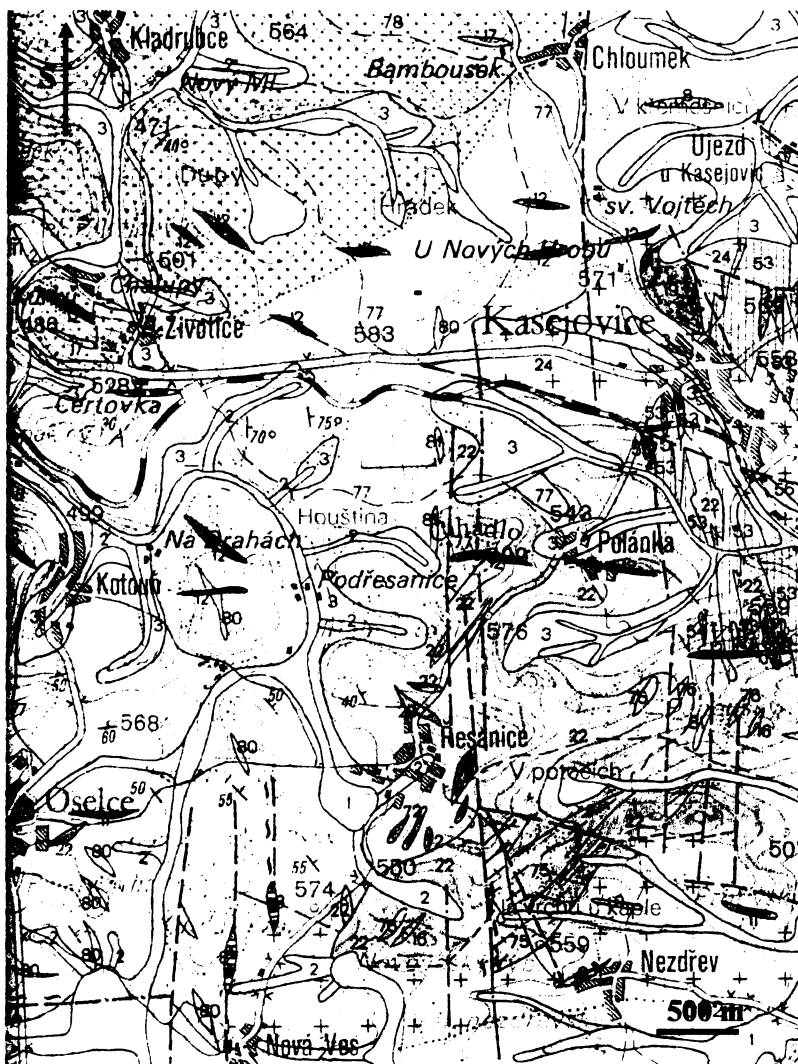
3.1 Geologická stavba

Kasejovicko-bělčická oblast je obklopena na západě klatovskou apofýzou střeďočeského plutonického komplexu (SČPK), dále na západ a sever proterozoikem tepelsko-barrandienské oblasti. Na východě se nachází ukončení jílovského pásma a mirovický metamorfovaný ostrov. Revír je omezován na severovýchodě systémem jáchymovského hlubinného zlomu, na severozápadě klatovským hlubinným zlomem.

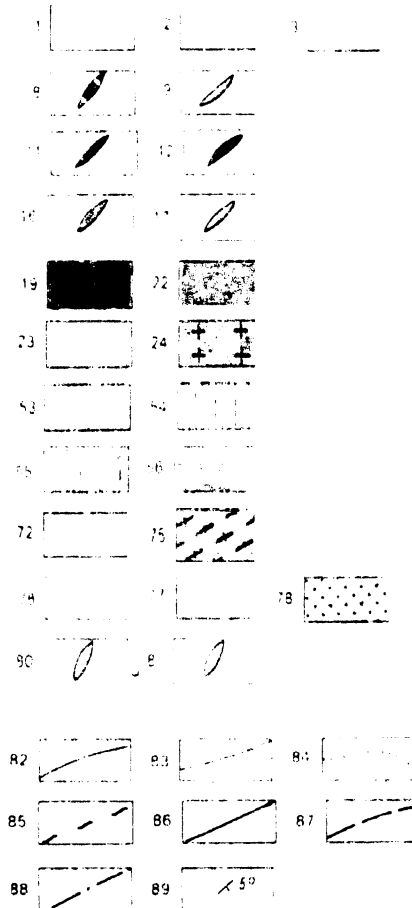
Na geologické stavbě kasejovicko-bělčického revíru se podílejí 3 hlavní jednotky (obr. 3):

1. pestrá skupina moldanubika, konkrétně plánicko – kasejovický pruh vystupující západně od kasejovického poruchového pásma směru S - J. Převažujícím horninovým typem jsou LP-HT cordierit-biotitické pararuly až migmatity, dále cordieritické perlové ruly. Migmatity mají různý texturní vývoj od nebulitů přes agmatity až k výrazně páskovaným formám; perlové ruly mají v mnoha případech stavbu blízkou vyvřelinám a jejich vztah k okolí není zcela jasný. Časté jsou polohy erlánů, amfibolitů a výskytů žilných hornin, zejména granitových porfyrů (Žežulková 1987; Váňa et al. 1989).
2. granitoidy střeďočeského plutonického komplexu jsou reprezentovány blatenským typem, tj. biotitickým granodioritem s amfibolem, popř. jeho tmavou varietou. Tento typ je v jižní části SČPK nejrozšířenější. Jižně od Kasejovic se vyskytuje biotitický kataklastický granit, tzv. polánecký typ. Z geochemického hlediska jsou oba tyto typy řazeny Holubem et al. (1997) do vápenatoalkalické až šošonitové draslíkem bohaté skupiny. V menší míře se vyskytují různé typy žilných hornin, převážně žilné granity a granitové porfyry.
3. kasejovický metamorfovaný ostrov patří k tzv. ostrovní zóně, která je tvořena izolovanými zbytky pláště střeďočeského plutonu mezi JV okolím Prahy a Blatnou; jedná se o komplex vulkanosedimentárních hornin svrchnoproterozoického stáří (popř. částečně spodnopaleozoického stáří), regionálně a kontaktně metamorfovaných ve facii amfibolických rohovců. Sporné je začlenění hornin ortorulového typu, které se vyskytují jak uvnitř ostrova v menších tělesech, tak ve větších při jeho okrajích.

V 80. letech zde bylo zjištěno sulfidické polymetalické zrudnění stratiformního charakteru s obsahy Au a Ag. Zrudnění má charakter rozptýlených impregnací s polohami masivních rud; nejhojněji zastoupeným sulfidem je pyrit, v menší míře se vyskytuje markazit, pyrhotin, chalkopyrit, sfalerit. Rudní polohy v průměru obsahují 0,1-2,1 % Cu; 0,1-4,3 % Zn; 1,3-36 g/t Ag a 0,1-2,2 g/t Au (Váňa 1984).



Obr. 3. Geologická mapa kasejovického revíru a blízkého okolí (přejato z Žezulkové 1987).



Kvartér – holocén: 1-fluviální písčité hlíny, hlinité písky, jíly a sedimenty umělých vodních nádrží; 2-deluviofluviální hlinité písky, písčité a jílovité hlíny;

holocén – pleistocén: 3-deluviální a deluviálně soliflukční jílovito-písčité a písčité hlíny a hlíny s úlomky hornin;

Paleozoikum – střežočeský pluton: 8-žilný křemen; 9-aplit; 11-žilný granit; 12-granitový porfyr; 16-granodioritový porfyr; 17-dioritový porfyr; 19-drobnozrný dvojslídny a biotitický granit; 22-kataklastický biotitický granit (polánecký typ); 23-biotitický granodiorit s amfibolem (základní varieta blatenského typu); 24-amfibol-biotitický granodiorit a křemenný diorit (tmavá varieta blatenského typu);

Proterozoikum – kasejovický metamorfovaný ostrov: 53-pyroxen-amfibolické, amfibol-biotitické rohovce s složkami biotitických a muskovit-biotitických rohovců; 54-křemenný rohovec s grafitem; 55-metamorfovaný ryolit a ryodacit a jejich pyroklastika; 56-amfibolická a biotitická ortorula;

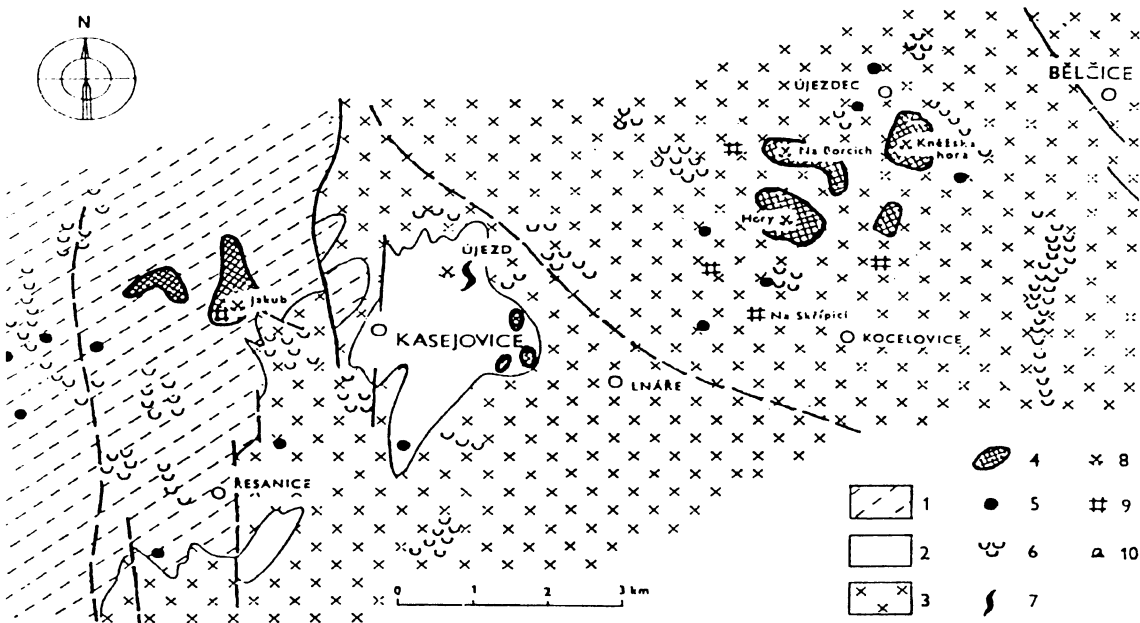
mirovický metamorfovaný ostrov: 72- biotitická ortorula;

Moldanubikum: 75-biotitická ortorula; 76-biotitická a sillimanit-biotitická pararula; 77-cordierit-biotitická migmatizovaná pararula; 78-masivní cordieritická perlová rula; 80-erlán; 81-amfibolit;

82-zjištěná hranice hornin; 83-pravděpodobná, přesně nezjištěná hranice hornin; 84-petrografický přechod hornin; 85-mylonitizace; 86-zlom známého průběhu; 87-zlom předpokládaný; 88-zlom předpokládaný, zakrytý mladšími útvary; 89-směr a sklon vrstev

Jak již bylo uvedeno, kasejovicko-bělčická oblast je obvykle dělena na kasejovický (západní) a bělčický (východní) revír. Toto dělení vychází mj. ze závěrů geologického mapování (1941-1944), kdy bylo oproti některým předchozím předpokladům zjištěno, že kasejovická ložiska nepokračují k Újezdcu (u Bělčic) v souvislé zóně, nýbrž jsou oddělena jalovými partiemi beze stop mineralizace (Koutek 1946). Oba revíry se navzájem odlišují zejména charakterem hostitelských hornin (obr. 4): bělčické křemenné žíly se nacházejí v granitoidech střeodočeského plutonu, kasejovické žíly v rulách moldanubického krystalinika.

Obr. 4. Ložisková geologická mapa kasejovicko-bělčické oblasti (podle Váni et al. 1989 in Morávek et al. 1992).



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

3.2 Ložisková charakteristika kasejovické oblasti

Centrum těžby bylo soustředěno západně od Kasejovic do oblasti dolu Jakub, kde se zachovala historická dokumentace o starých báňských pracích. Důl Jakub patřil k nejvýznamnějším lokalitám v rámci kasejovicko-bělčické oblasti. Ostatní šachtice v jeho okolí sledují obdobné struktury a mají převážně malou hloubku (Alois, Johan). Na rozdíl od bělčické oblasti zde zbytky starých prací nejsou časté a v mnoha případech nelze jednoznačně určit, zda se jedná o báňské práce nebo rýžoviště.

Důl Jakub

Důl Jakub se nachází v západním kasejovickém revíru cca 1,5 km severozápadním směrem od obce Kasejovice v pararlách až migmatitech pestré skupiny moldanubika, těsně při kontaktu s horninami SČPK. Samotná obec Kasejovice je situována v prostoru kasejovického metamorfovaného ostrova.

Obnovené báňské práce v letech 1941 až 1944 měly k dispozici starou šachtu Jakub dosahující hloubky 20,7 m. Šachta byla spojena se starými patry z 18. a počátku 19. století, které byly dříve označovány jako patro I. (hloubka 7,4 m) a II. patro (hl. 9,3 m). Jako III. patro bylo dříve označováno dnešní I. patro v hloubce cca 20 m. Šachta byla prohloubena na úroveň 69,7 m a hlavní průzkumné práce byly prováděny z nového II. patra. V této úrovni byly raženy tři hlavní překopy: jižní (směru jjv.), severní (směr sv.) a západní, jejichž celková délka činila 438 m.

Důlní práce byly raženy převážně v migmatitech různých texturních typů, dále se vyskytuje biotitická rohovcová rula, žilky a hnízda apelitů a pegmatitů a cca 1 m mocná žíla kersantitu směru sz.-jv. Celkem bylo zastiženo 45 křemenných žil a žilek, většinou bezvýznamných; na větší vzdálenost byly sledovány pouze 3 žíly směru sv.-jz. Délka sledných chodeb přesahovala 550 m; celková délka všech chodeb na II. patře dosáhla téměř 1 km.

Rozlišit můžeme dva typy žil (Koutek 1946):

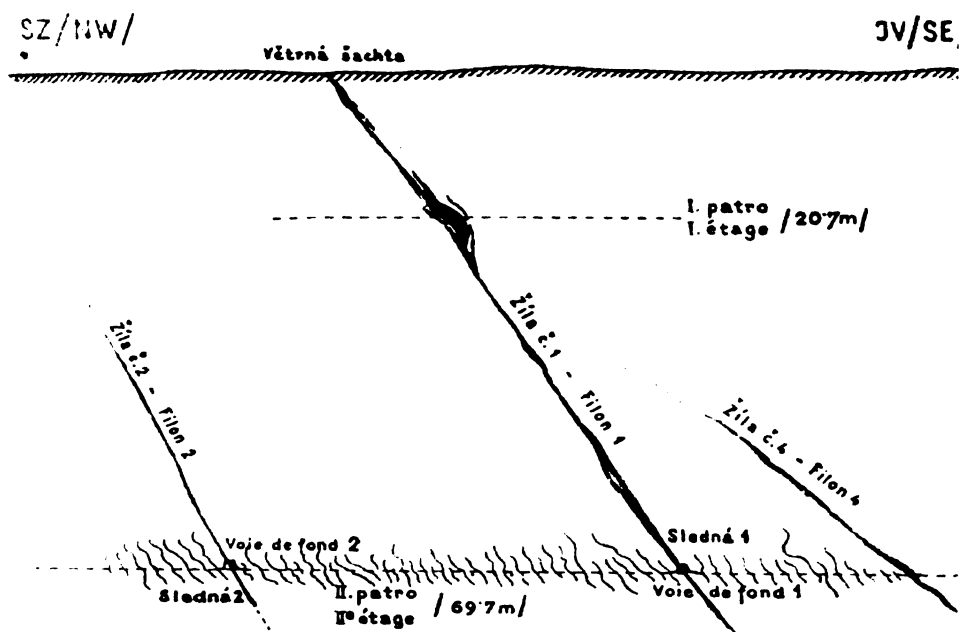
- a. hlavní systém směru sv.-jz. / 40 – 80° jv. Tyto žíly vyplňují preexistující dislokace, charakterizované mylonitovou výplní. Mají pravidelnější průběh, křemen v nich tvoří čočky různé délky (max. 20 m). Největší plošný rozsah byl prokázán u žíly č. 1, sledované od povrchu do hloubky 69,7 m. Průměrná mocnost této žíly činila 0,20 – 0,25 m, ale lokálně naduřovala až na 3,5 m (na úrovni I. patra). Tato mocnost při nových pracích (v letech 1941 – 1944) překonána nebyla; dosažené maximum bylo pouze 1,37 m (sledná č. 4, sv.). Běžné mocnosti byly celkem malé, vzácně nad 0,5 m. Zejména tyto žíly byly předmětem zájmu a sledovány na větší vzdálenosti (žíly 1, 2 a 4, obr. 5). Zjištěné obsahy Au se pohybovaly v rozmezí hodnot od 0,3 do 49 g/t (tab. 1).

Tab. 1. Obsah zlata v křemenných žilách, důl Jakub (data přejata z Váni et al. 1989).

	Kovnatost – průměr (g/t)	Kovnatost – max. (g/t)	Počet vzorků
Odžilek žíly č. 1 (I. patro)	7,44	27	44
Sledná č. 1 (II. patro)	2,08	12	57
Sledná č. 2, jz. část (II. p.)	3,56	49	58
Sledná č. 2, sv. část (II. p.)	1,95	7,8	18
Sledná č. 3 (II. p.)	0,67	2	9
Sledná č. 4, jz. část (II. p.)	1,57	17	49
Sledná č. 4 sv. část (II. p.)	1,59	13,3	59

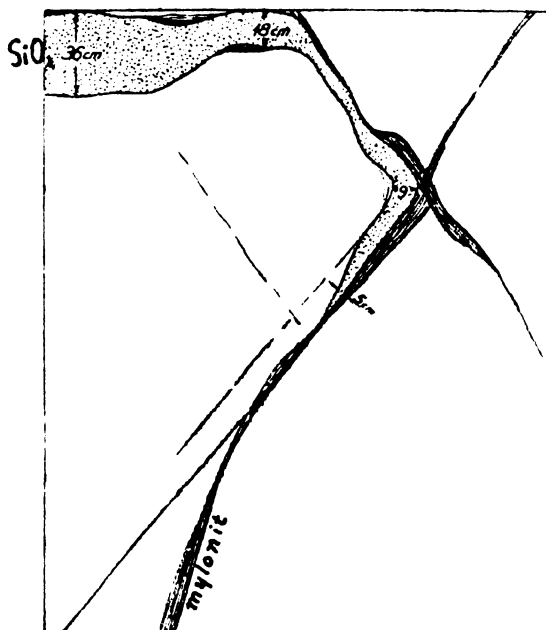
Sledované obsahy Au v mylonitech a sousedních migmatitech se pohybují od 0,1 – 2 g/t. Změny kovnatosti v závislosti na hloubce obdobně jako v bělčickém revíru pozorovány nebyly.

Obr. 5. Profil kasejovickým ložiskem - důl Jakub (přejato z Koutka 1946).



- b. drobné žilky o mocnosti několika mm – cm (max. dm v místě naduření), velmi nepravidelné (obr. 6), všesměrně orientované. Obsahy zlata jsou nízké (~ 1 g/t); nemají praktický význam. Sledovány byly jen ve výjimečných případech (sledná č. 3 na II. patře).

Obr. 6. Příklad nepravidelného průběhu drobné křemenné žilky, důl Jakub, I. patro (přejato z Koutka 1946).



Vývoj žilné výplně hlavního systému je složitější, po vysrážení křemene 1. generace v původní dislokační trhlině (masivní, mléčně bílý) došlo k tektonickým pohybům a drcený křemen byl vyhojen mladším, čirým křemenem 2. generace, jehož podíl je ale minoritní. Okoložilné alterace ve větším rozsahu zjištěny nebyly.

Šachtice Alois

Mělká báňská práce při silnici Životice – Kasejovice jjz. od dolu Jakub. Na povrchu se nezachovaly žádné stopy po odvalu. Šachtice Alois je ražena po žíle v.-z. směru se sklonem 50° k jihu, která tvořila čočky až 90 cm mocné. Obsahy zlata se pohybovaly od 0,125 do 31,25 g/t (Váňa et al. 1989).

Důl Jan a Johan

Celková hloubka jámy dosáhla 19 m a sledovala žílu směru s.-j. se sklonem 75° k západu. Žíla se rozmršťovala a opětovně spojovala a dosahovala mocností od 10 do 35 cm. Max. obsah zlata byl zjištěn 41 g/t na dně jámy, průměrný obsah Au je udáván 7,5 g/t. V okolí byly zaraženy ještě další 4 šachtice. Po tomto dole rovněž nezůstaly zachovány žádné stopy. Dále se zachovaly zprávy o šachticích u Újezdu u Kasejovic, ale chybí lokalizace i podrobnosti (Váňa et al. 1989).

3.3 Mineralogická charakteristika kasejovických křemenných žil

Zlatonosné křemenné žíly kasejovického revíru patří v oblasti středočeského plutonu po jílovském revíru k parageneticky nejzajímavějším s ohledem na hojný výskyt makroskopických Bi a Te-minerálů (tab. 2), a proto byly v minulosti poměrně intenzivně studovány: Hofmannem (1906), Hofmannem a Slavíkem (1913) in Koutek (1946), později Sobotkou (1959, 1960, 1966), Litochlebem a Mrázkem (1984) in Litochleb (1984a), Litochlebem et al. (1990), Litochlebem a Šreinem (1994), Vymazalovou (1997), Litochlebem (1998) a nejnověji Litochlebem a Sejkorou (2007).

Žilná výplň je charakterizována proměnlivou mocností, čočkovitým vývojem, variabilní kovnatostí, výraznými intermineralizačními pohyby a poměrně složitými paragenetickými vztahy. Textura žilné výplně je ponejvíce masivní, dále drúzovitá, páskovaná, brekciovitá. Vlastní zrudnění má nejčastěji charakter drobnozrnných až jemně disperzních vtroušenin, místy s tvorbou bohatších makroskopických akumulací (Litochleb 1984a; Litochleb 1998).

Charakteristickým rysem kasejovických žil je obsah wolframu vázaný na wolframit, na rozdíl od výskytu scheelitu ve východním (bělčickém) revíru; jedná se o jediné zlatonosné zrudnění ve středočeské metalogenetické zóně s výskytem wolframitu.

Litochlebem (1984a) byla vyčleněna 4 vývojová stadia Au-mineralizace:

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

Hlavní podíl žilné výplně tvoří minerály křemenného stádia - zejména křemen první generace (mléčně bílý). Významným minerálem je částečně scheelitizovaný wolframit s převahou ferberitové složky, jehož agregáty až několik cm velkých černých tabulkovitých krystalů se nacházejí při okraji žil. Mladší křemen II. generace spolu s muskovitem, chloritem a rudními minerály 2. a 3. stádia pronikají do drcené starší výplně.

Zlatonosné stádium je charakteristické nízkým podílem obecných sulfidů, přítomností Bi minerálů (velikost zrn do 5 mm, zejména ryzí Bi, bismutin, Bi-sulfoteluridy v těsných srůstech, s projevy metasomatického zatlačování a prorůstání s molybdenitem, zlatem a Bi-Sb

minerály mladšího stadia). Charakteristické jsou lemy bismutinu kolem zrn ryzího bismutu. Výskyt molybdenitu není tak hojný jako v bělčické části revíru.

Zlato I. generace (velikost 0,00X do 0,X mm) je vysoké až absolutní ryzosti (920-1000, Malec a Novák 1984); vytváří jemné disperze v křemeni, těsně srůstá s molybdenitem a Bi sulfoteluridy (ve kterých jsou také časté jeho inkluze a lamely) a graficky prorůstá s bismutinem.

Polymetalické stádium je poměrně široce zastoupené, reprezentováno Bi-Sb sulfidy a sulfosolemi, které těsně mikroskopicky srůstají navzájem nebo i s minerály staršího (zlatonosného) stadia. Zejména Bi-sulfoteluridy jsou od okrajů a podél štěpných trhlin intenzivně zatlačovány Bi-Sb fázemi. Zlato II. generace je světle žluté s nižší ryzostí a méně hojně oproti zlatu I, o velikosti zrn až ~ 1 mm (Litochleb 1998).

Dle Litochleba (1984a), Litochleba a Šreina (1994) a Litochleba (1998) v paragenezi zcela chybí galenit (Pb je vázáno pouze v sulfosolích). Nejmladší kalcitové stádium je vyvinuto nevýrazně.

Podmínky minerogeneze kasejovických žil lze charakterizovat vysokými koncentracemi Bi a Te v hydrotermálních roztocích při poměrně nízké aktivitě síry v rámci zlatonosného stadia a výrazným uplatněním Sb a částečně i Ag při poklesu teploty ve stadiu polymetalickém.

Vznik přechodných fází systému $\text{Bi}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{S}_3$ a řady Bi-Sb sulfosolů s proporciálním izomorfním zastupováním Bi-Sb zřejmě souvisí s intermineralizační přeměnou protogenních Bi-minerálů účinky Sb-bohatých roztoků (Litochleb et al. 1990; Litochleb a Šrein 1994).

Tab. 2. Abecední přehled minerálů Bi a Te z kasejovické oblasti (dle Litochleba a Šreina 1994).

Název minerálu	Varieta	Vzorec
andorit	Bi	$\text{AgPb}(\text{Sb}>\text{Bi})_3\text{S}_6$
berthierit	Bi	$\text{Fe}(\text{Sb}>\text{Bi})_2\text{S}_4$
bismut ryzí	-	Bi
bismutin	-	Bi_2S_3
bismutin	Sb	$(\text{Bi}>\text{Sb})_2\text{S}_3$
ingodit	-	Bi_2TeS
jamesonit	Bi	$\text{Pb}_4\text{Fe}(\text{Sb}>\text{Bi})_6\text{S}_{14}$
joséit A	-	Bi_4TeS_2
joséit B	-	$\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$
tetradymit	-	$\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$

3.4 Ložisková charakteristika bělčické oblasti

Bělčická část revíru se nachází v granodioritu blatenského typu, převládající směr žil je sv.-jz. V severní části revíru se tento směr kříží s okrajem mohutného zlomového pásma sz.-jv. směru, náležejícího k jáchymovskému zlomu. Severní část revíru byla zpřístupněna zejména štolou Barbora u Újezdce, která má překopový charakter (délka 370 m) a bylo z ní provedeno cca 300 m sledných chodeb. Mocnosti žil se pohybovaly v rozmezí 6-85 cm s průměrnou kovnatostí 8,2 g/t (Jungbauer 1922 in Morávek et al. 1992). Střední část revíru byla sledována hlavně šachtou Hory (u Kocelovic) a Na Borku (Na Borcích). Zastiženo bylo větší množství žil, z nichž 5 bylo sledováno na krátkou vzdálenost. Mocnosti žil na šachtě Hory byly v rozmezí 10-50 cm s průměrnou kovnatostí 17 g/t (Koutek 1946). 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 kolem 100 m.

Křemenné žíly mají čočkovitý charakter a místy značně nepravidelný průběh. Vedle Au obsahují zvýšené podíly wolframu, jehož nositelem je scheelit. Ten se vyskytuje na cca 60 % žil, tvoří zrna a agregáty do 8 mm, nejčastěji koncentrované při podložním kontaktu žíly nebo vlasové žilky, které lze sledovat na několikametrovou vzdálenost. Obsahy W udává Vlašímský a Píša 1985 (in Váňa et al. 1989) z 11 vzorků ve štoli Barbora, kde se průměrné obsahy nástřelů žiloviny pohybují od 0,04 do 0,62 % W.

Na minerálním složení žil se kromě převládajícího křemene a scheelitu podílí také arsenopyrit, pyrhotin, pyrit, chalkopyrit, molybdenit, ryzí bismut, bismutin, joseit, tetradymit a zlato spolu s K-živcem, sericitem, chloritem a kalcitem (Litochleb 1984b).

Obsahy Au v žilovině často vykazují nepřímou závislost na mocnosti (mocné křemenné čočky mívají obsahy nižší). Oproti západnímu revíru ale vykazují stálost. Okolní granodiorit není hydrotermálně alterován.

4. FLUIDNÍ INKLUZE

4.1 Definice fluidních inkluzí

Inkluze neboli uzavřenina reprezentuje část krystalu, která z hlediska látkového neodpovídá jeho zákonité struktuře, je během růstu či rekrystalizace krystalu hermeticky izolována a vytváří s ním fázovou hranici (Zachariáš 2000). Dle složení inkluze dělíme na pevné (minerální), plynokapalné (fluidní) a popř. inkluze tavenin, které byly zachyceny v kapalném stavu, ale za normálních teplot se vyskytují ve stavu pevném.

Plynokapalné inkluze představují reliktů fluid, které minerál obklopovaly v době jeho růstu nebo při jeho následné rekrystalizaci; jsou proto zdrojem informací o složení těchto fluid a termodynamických podmínkách při vzniku minerálu. Tyto údaje jsou získávány v naprosté většině z mikrotermometrických měření, přičemž inkluze musí splňovat určitá kritéria známá jako „Roedderova pravidla“ (Roedder 1984 in Bodnar 2003; Hansteen a Klügel 2008):

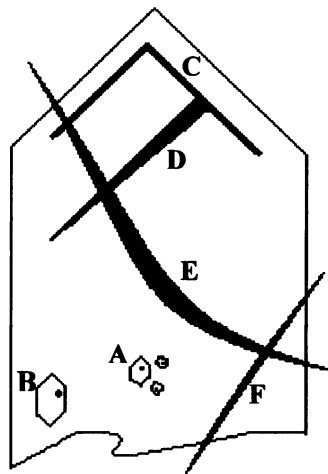
1. inkluze v době svého vzniku musí zachycovat homogenní fázi
2. objem inkluze po jejím zachycení musí zůstat konstantní
3. chemické složení inkluze po zachycení je konstantní

4.2 Vznik a klasifikace fluidních inkluzí

Fluidní inkluze můžeme rozdělovat na základě jejich vztahu k hostitelskému minerálu (genetická klasifikace, obr. 7):

- a. Primární inkluze (P), které vznikaly současně s minerálem a reliktů fluid v nich uzavřené reprezentují prostředí, ze kterého minerál vznikal. Tyto inkluze bývají zachyceny v různých nerovnostech na povrchu krystalových ploch způsobených např. změnami rychlosti růstu krystalu; přerušovaným růstem, kdy je povrch krystalu naleptán a v nerovnosti se při obnovení růstu krystalu zachytí roztok; díky přítomnosti cizorodé částice na povrchu atd. Primární inkluze se vyskytují buď izolovaně nebo ve formě klastrů – 3D shluků. Pokud jsou vázány na přírůstkové zóny krystalu, mohou mít plošné uspořádání.
- b. Sekundární inkluze (S) vznikají po ukončení růstu krystalu a jejich vznik je spojený s křehkou deformací a následnou rekrystalizací. Tyto inkluze mají planární uspořádání (tzv. trails) kopírující průběh vyhojené trhliny a protínají hranice sousedních minerálních zrn.
- c. Pseudosekundární inkluze (PS) jsou zachyceny v mikrotrhlinách, které vznikaly a byly vyhojeny ještě při růstu krystalu. Mají charakter krátkých trailů a končí na následující růstové zóně krystalu.

Obr. 7. Genetická klasifikace FI: A, B, C – primární; E, F – sekundární; D – pseudosekundární inkluze.



Fluidní inkluze v době svého vzniku většinou zachycují homogenní fázi, avšak po jejím uzavření v inkluzích dochází při poklesu tlaku a teploty k heterogenizaci. Za pokojové teploty tedy v inkluzích můžeme rozlišovat různé fáze, čímž se zabývá popisná klasifikace (tab. 3).

Tab. 3. Klasifikace inkluzí podle jejich obsahu za pokojové teploty (podle Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).

Název	Popis
Jednofázové kapalné	Obsahují pouze kapalnou fázi (H ₂ O, nebo také CO ₂ o vyšší hustotě)
Dvoufázové kapalinou bohaté (Liquid-rich, Lr)	Kapalná fáze převažuje nad plynnou
Dvoufázové bohaté plynem (Vapour-rich, Vr)	Plynná fáze převažuje nad kapalnou
Jednofázové plynné	Obsahují pouze plynnou fázi, pokud je přítomna i kapalina, pak tvoří velmi tenký, mikroskopicky nerozlišitelný povlak na stěnách inkluze
Polyfázové (multifázové)	Vedle kapalně a plynné fáze obsahují i jednu nebo více pevných fází, jejichž objem ale nepřesahuje 50 %
Multisolid (bez českého názvu)	Převažují pevné fáze (více než 50 %)
Nemisitelné kapaliny	Obsahují dvě koncentrické „bubliny“, obvykle se jedná o nemísivost mezi H ₂ O a CO ₂ nebo H ₂ O a uhlovodíky

Pevné fáze přítomné v inkluzích mohou být buď zachycené, tj. existovaly v roztoku již v době před vznikem dané inkluze, nebo se jedná o tzv. dceřiné minerály, které vykryštovaly z přesyceného roztoku během chladnutí inkluze (nejčastěji NaCl, KCl). Dceřiné minerály se vyskytují ve všech inkluzích téže populace a jejich relativní velikost by měla být stejná.

4.3 Reekvilibrace fluidních inkluzí

Reekvilibrace je obecný termín používaný pro popis fluidních inkluzí, u kterých došlo ke změně objemu, chemického složení nebo kombinaci obojího (Bodnar 2003).

Objemové změny v inkluzích

Fluidní inkluze tvoří uzavřené (izochorické) systémy, ve kterých se při změnách teploty mění tlak nezávisle na tlaku okolního prostředí, které je systémem otevřeným. Přitom mezi inkluzí a vnějším prostředím může vzniknout tlakový gradient. Tento tlakový gradient je vyrovnáván buď mechanismem strečinku, kdy nedochází k mechanickému porušení stěn inkluze (plastická deformace) a možná ztráta fluida difúzí je malá př. nedetekovatelná, nebo může dojít k dekrepitaci inkluze, což znamená částečnou nebo i úplnou ztrátu fluida advekcí podél vzniklých mikrotrhlin.

Objemové změny fluidních inkluzí jsou ovlivňovány několika faktory, mezi které patří zejména tvrdost hostitelského minerálu a velikost fluidních inkluzí. Minerály s nižšími tvrdostmi jsou pro studium FI vhodné méně, protože inkluze v nich obsažené reekvilibrují (dekrepitují) při mnohem nižší tlakové zátěži v porovnání např. s inkluzemi v křemenu. Tento fakt ještě může být podpořen dokonalou štěpností některých minerálů. Pro studium je proto lepší upřednostňovat minerály jako např. křemen, korund, beryl oproti kalcitu, barytu, sfaleritu atd.

Pokud jde o velikost inkluzí, čím je inkluze menších rozměrů, tím vyšší tlakový gradient překoná bez reekvilibrace. Toto pravidlo lze matematicky vyjádřit rovnicí ve tvaru:

$$P = 4,26 D^{-0,423} \quad (1)$$

kde P je tlak v kilobarech a D průměr inkluze v μm . Podle této rovnice (1) inkluze v křemenu o velikosti 50 μm reekvilibruje při vnitřním přetlaku/podtlaku 0,8 kbar, zatímco inkluze o velikosti 1 μm až při tlaku 4,3 kbar (Bodnar et al. 1989 in Bodnar 2003).

Změny chemického složení inkluzí

Reekvilibrace fluidních inkluzí ve smyslu změny chemického složení zůstává prozatím oblastí vyžadující další studium. Jeden z nejčastěji diskutovaných problémů je difúze vodíku z nebo do inkluze, nicméně převládá názor, že ve většině případů změny vlastností inkludovaných fluid zapříčiněné difúzí jsou zanedbatelné (Huraiová et al. 2002).

4.4 Obecný postup při studiu fluidních inkluzí

Prvním krokem je důkladný petrografický popis destičky, při kterém se zaznamenávají parametry jako např. textura křemenné žiloviny, přítomné další minerální fáze a jejich vztah ke křemenné žilovině; při popisování inkluzí jejich tvar, velikost, fázové složení, stupeň zaplnění a případně jedná-li se o inkluze primární atd. Účelná je průběžná fotodokumentace destičky nebo zhotovování nákresů.

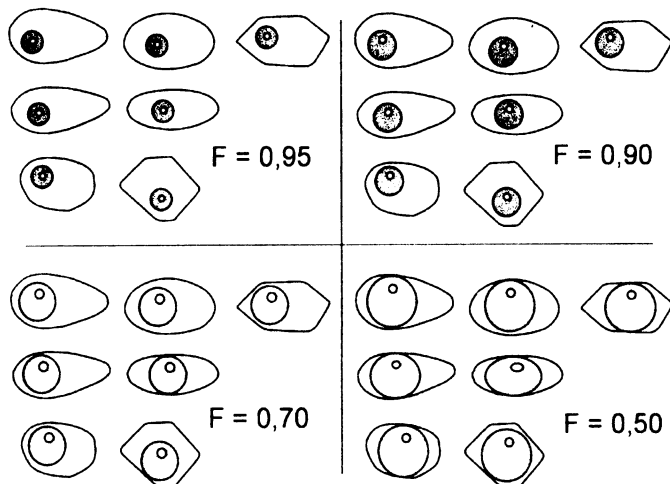
Nejběžněji používaná metoda studia fluidních inkluzí je optická mikrotermometrie, což je nedestruktivní metoda založená na měření a interpretaci teplot fázových přechodů v inkluzi a jejich porovnávání s experimentálními fázovými diagramy systémů známého složení.

Při výběru vhodných inkluzí pro mikrotermometrická měření patří mezi nejdůležitější kritéria homogenita populace inkluzí, tj. při pozorování za pokojové teploty obsahují všechny inkluze dané populace stejné fáze a mají shodný stupeň zaplnění (F). Následně naměřená data by měla spadat do přibližně stejného intervalu hodnot. Dalšími kritérii jsou velikost a tvar inkluzí.

4.5 Stupeň zaplnění

Stupeň zaplnění (F) je definován jako poměr objemu jedné fáze v inkluzi (nejčastěji kapaliny) vůči objemu celé inkluze a nabývá hodnot od 0 do 1. Přesné stanovení je téměř nemožné, většinou se odhaduje na základě porovnání s normovanými řezy (obr. 8). U inkluzí typu $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ je nicméně co nejpřesnější stanovení F velmi důležité kvůli výpočtu celkové hustoty fluida v inkluzi a následně pro výpočet izochor.

Obr. 8. Srovnávací nákras pro odhad stupně zaplnění trojrozměrných FI inkluzí (podle Shepherda et al. 1985 in Zachariáš 2000).



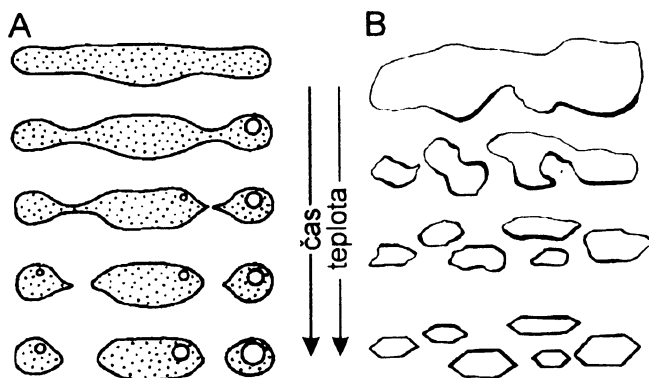
Jak již bylo zmíněno, stupeň zaplnění je kritériem homogenity populace inkluzí. Heterogenní stupeň zaplnění indikuje:

- a. reekvilibraci inkluzí nebo
- b. primárně zachycení inkluzí z heterogenního fluida.

Příčiny vzniku heterogenního stupně zaplnění

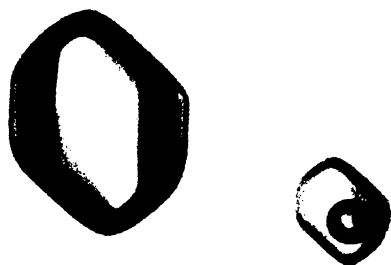
Odlišný stupeň zaplnění u jednotlivých inkluzí může být způsoben prostým mechanickým porušením v důsledku částečné nebo úplné dekrepitace (viz výše) nebo procesem tzv. zaškrcování (častěji se používá anglický ekvivalent „necking down“). Inkluze nepravidelných nebo protažených tvarů rekrystalizují ve snaze snížit svoji vysokou povrchovou energii a dosáhnout energeticky stabilnějšího tvaru. Jestliže během rekrystalizace dochází k rozdělení původní inkluze na několik menších inkluzí, jedná se o proces necking down. Pokud tento proces postihne vícefázovou inkluzi, nebo během tohoto procesu dojde k heterogenizaci fluida (obr. 9A), nově vzniklé inkluze neodpovídají původně zachycenému fluidu a nedají se použít pro mikrotermometrická měření.

Obr. 9. Rekrystalizace FI procesem „necking down“: A) s heterogenizací fluida; B) se zachováním homogenního stavu fluida (podle Roeddera 1984 a Shepherd et al. 1985 in Zachariáš 2000).



Inkluze zachycené v prostředí heterogenního fluida

Jestliže inkluze byly zachyceny v prostředí heterogenního fluida, výsledná asociace je typická jakoby „koncovými členy“, tj. koexistencí inkluzí bohatých kapalinou a inkluzí bohatých plynem (obr. 10) s řadou mezičlenů (mechanické směsi), jejichž stupeň zaplnění je velmi variabilní.

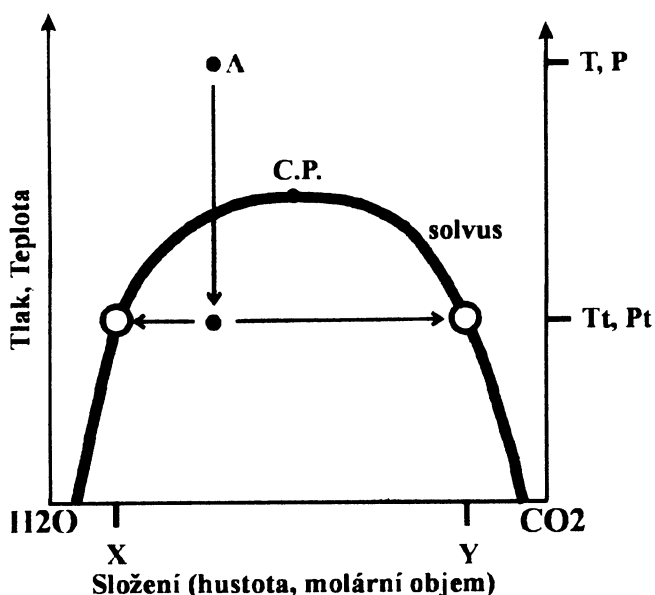


Obr. 10. H₂O inkluze zachycené při varu roztoků (vlevo inkluze bohatá plynem, vpravo kapalinou); křemen ze sekundárních kvarcitů, lokalita Šobov u Bánské Štiavnice (přejato ze Oružinský – Hurai in Huraiová et al. 2002).

Vznik heterogenního fluida souvisí buď s procesy varu fluid (vodné roztoky), nebo se vzájemnou nemísivostí mezi dvěma členy výrazně odlišných vlastností (nejčastěji H₂O a CO₂). Proces varu vodných roztoků je způsoben vlivem změny PT podmínek, nemísivost

v H₂O-CO₂ systému může být zapříčiněna jednak vlivem změny PT podmínek, nebo změnou chemismu fluida nebo míšením dvou fluid odlišného chemického složení (Zachariáš 2000). U inkluzí zachycených během procesu heterogenizace nemají smysl měření mechanických směsí s variabilním F, protože jejich teploty homogenizace jsou vždy vyšší než byla teplota heterogenizace, jak vyplývá z tvaru solvu znázorněném na obr. 11. O PT podmínkách při procesu heterogenizace tak vypovídají pouze inkluze bohaté kapalinou, resp. plynem („koncové členy“), neboli pouze nejnižší naměřené teploty, které by měly být u obou členů identické. V takovém případě se teplota homogenizace rovná teplotě zachycení.

Obr. 11. Schematické znázornění solvu v H₂O-CO₂ systému a oblasti nemísivosti (šedě). Bod A reprezentuje homogenní tekutinu. Při poklesu PT podmínek pod hranice solvu (černý bod) dojde k rozpadu homogenního fluida na plynem a kapalinou bohaté členy (body X, Y). V okamžiku kdy dojde k heterogenizaci (Tt, Pt) jsou přítomny fluida o složení nejen krajních členů, ale též jejich mechanické směsí v libovolném poměru - o složení ležícím mezi body X, Y (přejato ze Zachariáše 2000).



4.6 Měření teploty fázových přechodů

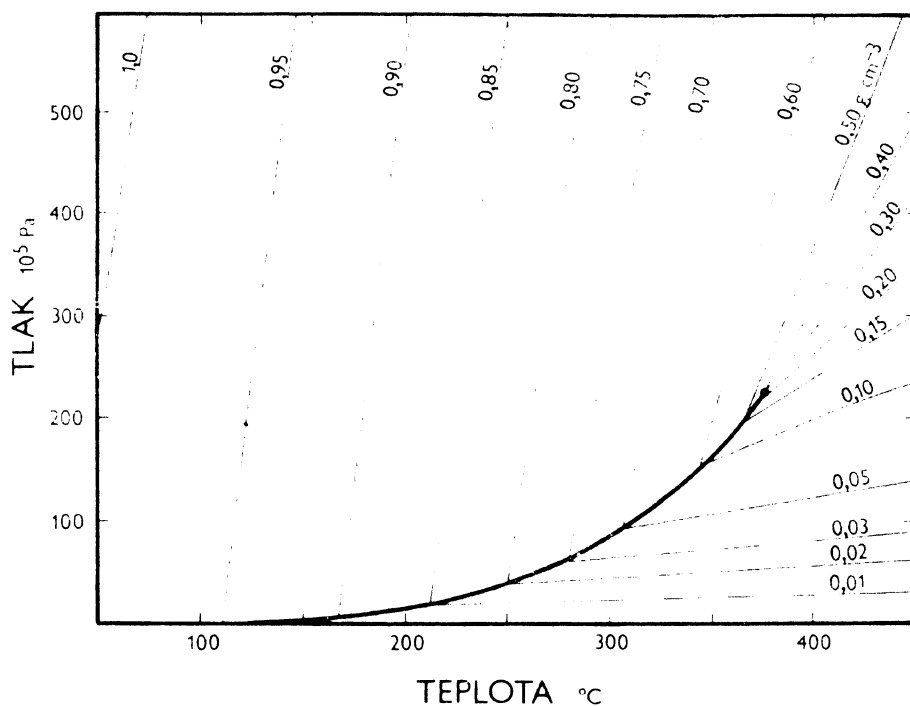
Měření v oblasti nízkých teplot (< 0 °C) se nazývá kryometrie. Obsah inkluze se zcela vymrazí a při následném zahřívání se pozorují teploty fázových přechodů. V případě vodných roztoků (bez přítomnosti plynů typu CO₂, CH₄, N₂) se nejčastěji jedná o:

- Teplotu prvního tání (T_{FM}, neboli eutektickou teplotu T_e), při které začíná tát vymražený obsah inkluze. Tato teplota je charakteristická pro každý jednotlivý systém a závisí pouze na typu rozpuštěných solí a nikoli na jejich koncentraci či vzájemných poměrech; proto slouží k přibližné identifikaci typu solí přítomných v inkluzi. Naneštěstí tuto teplotu je velmi obtížné změřit přesně a velmi často nelze změřit vůbec.
- Teplotu tání posledního krystalu ledu (T_{m-ice}), díky které lze určit salinitu roztoku (koncentraci rozpuštěných solí). Ta se obvykle udává v hm. % NaCl_{ekv.} (NaCl-ekvivalent), kdy je vliv ostatních solí na tání ledu zanedbán.

V oblasti vyšších teplot pozorujeme teplotu homogenizace (T_h), tj. teplotu, při které se obsah inkluze stává homogenní. Rozeznáváme celkem tři způsoby: na kapalinu (L), plyn (V) a

kritický způsob (C). T_h a typ skupenství, do kterého inkluze při homogenizaci přechází jsou základními údaji pro výpočet hustoty fluida (obr. 12). Hustota a složení fluida jsou nezbytné pro určení PT podmínek vzniku inkluze. Rozdíl mezi teplotou homogenizace a teplotou vzniku (zachycení – temperature of trapping, T_t) inkluze v homogenním prostředí je určen velikostí tlaku při jejím vzniku. Teplota homogenizace je minimální možná teplota vzniku inkluzí.

Obr. 12. Část fázového diagramu H_2O . Silnou čarou je vyznačena křivka dvoufázové rovnováhy, slabé čáry znázorňují izochory s údaji hustoty (podle Fischera 1976 in Ďurišová a Hurai 1991).



Pokud homogenizujeme inkluzi, která vedle plynné a kapalné fáze obsahuje ještě pevnou krystalickou fázi (dceřiný minerál), sledujeme navíc i teplotu tání (rozpuštění) této pevné fáze (T_s). Nejčastějším dceřiným minerálem je halit, který vykryštoval z přesyceného roztoku během chladnutí inkluze. Dle teploty rozpuštění halitu určujeme salinitu roztoku.

V binárním $H_2O - CO_2$ systému se sledují a interpretují čtyři teploty fázových přechodů:

- Teplota tání pevného CO_2 (T_m-CO_2), v případě čistého CO_2 $-56,6\ ^{\circ}C$ (trojný bod). Příměs dalších plynů (CH_4 , N_2) se projevuje ve snížení této teploty a také prodloužením PT intervalu koexistence plynné, kapalné a pevné fáze.
- Teplota tání klatrátu CO_2 (T_m-cla ; pevná hydratovaná fáze CO_2 , $\sim CO_2 \times 7,5 H_2O$) na jejímž základě určujeme salinitu - v soustavě bez jakýchkoli příměsí $+10,1\ ^{\circ}C$, přítomnost solí tuto teplotu snižuje, přítomnost cizích plynů působí naopak.
- Teplota homogenizace CO_2 (T_h-CO_2), maximum je dáno teplotou kritického bodu CO_2 $+31,1\ ^{\circ}C$, poskytuje údaj o hustotě CO_2 .
- Teplota celkové homogenizace (T_h-tot), nad níž existuje již jen nadkritická tekutina.

5. METODIKA STUDIA

Vzorky studované křemenné žiloviny pocházejí z povrchového sběru haldového materiálu z dolu Jakub. Z těchto vzorků byly zhotoveny oboustranně leštěné destičky o tloušťce 200-300 μm pro studium fluidních inkluzí a leštěné výbrusy pro klasické mineralogické studium.

Destičky byly studovány pomocí optického polarizačního mikroskopu Leica DMPL v procházejícím i odraženém světle (objektivy 1.6x, 2.5x, 5x, 10x, 20x, 50x, okulár 10x). Fotodokumentace byla pořízena digitálním fotoaparátem Olympus Camedia C-5050 Zoom.

Teploty fázových přechodů byly měřeny pomocí mikrotermometrického stolku Linkam THMSG 600 zabudovaném na mikroskopu Olympus BX-50 s objektivy 20x a 50x ULWD. Stolek je ochlazován kapalným dusíkem a umožňuje pozorování v rozsahu teplot od -190 do + 600 $^{\circ}\text{C}$, ale z důvodů dekrepitace inkluzí při měření nebyla překročena teplota 400 $^{\circ}\text{C}$. Měřicí stolek byl kalibrován přírodními nebo syntetickými standardy: CO_2 (-56,6 $^{\circ}\text{C}$), H_2O (0 $^{\circ}\text{C}$), CO_2 (+31,1 $^{\circ}\text{C}$), NaNO_3 (+307 $^{\circ}\text{C}$) a $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (+398 $^{\circ}\text{C}$).

Měřené teploty fázových přechodů zahrnují: teplotu prvního tání (T_{FM}), teplotu tání posledního krystalu ledu ($T_{\text{m-ice}}$), teplotu tání pevného CO_2 ($T_{\text{m-CO}_2}$), teplotu tání klatrátu CO_2 ($T_{\text{m-cla}}$), teplotu homogenizace CO_2 ($T_{\text{h-CO}_2}$), teplotu celkové homogenizace ($T_{\text{h-tot}}$), teplotu tání pevné fáze (T_{s}), příp. teplotu dekrepitace inkluze (T_{DEC}). Homogenizace probíhala buď na kapalinu (L), na plyn (V) nebo kritickým způsobem (C).

Inkluze v křemenné žilovině z kasejovické oblasti se vyznačují většinou malými velikostmi (X μm); pro měření byly vybrány inkluze větších rozměrů (X0 μm), aby se teploty fázových přechodů daly s jistotou pozorovat. Silně nepravidelné a ostrohranné inkluze do měření zahrnuty nebyly.

Katodová luminiscence (SEM-CL) byla použita ke studiu textur křemenné žiloviny neviditelných v polarizačním mikroskopu. Vzorky byly studovány horkou katodovou luminiscencí instalovanou na mikrosondě Cameca SX-100 za operačních podmínek 20 kV, 100 nA v laboratoři Geologického institutu D. Štúra v Bratislavě, oddělení elektronové mikroanalýzy s pomocí operátorky Mgr. Viery Kollárové.

Energiově disperzní systém (EDS) byl využit při identifikaci minoritních pevných fází v křemenné žilovině. Vzorky byly studovány pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu CamScan S4 vybaveného EDS detektorem s mikroanalytickým systémem LinkISIS 300 v laboratoři elektronové mikroanalýzy na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy s pomocí operátora Radka Procházky.

Vlnově disperzní systém (WDS) byl využit pro detailní kvantitativní analýzu chemismu určitých pevných fází, které byly studovány opět v Geologickém institutu D. Štúra v Bratislavě na mikrosondě Cameca SX-100 za operačních podmínek 15 kV, 20 nA.

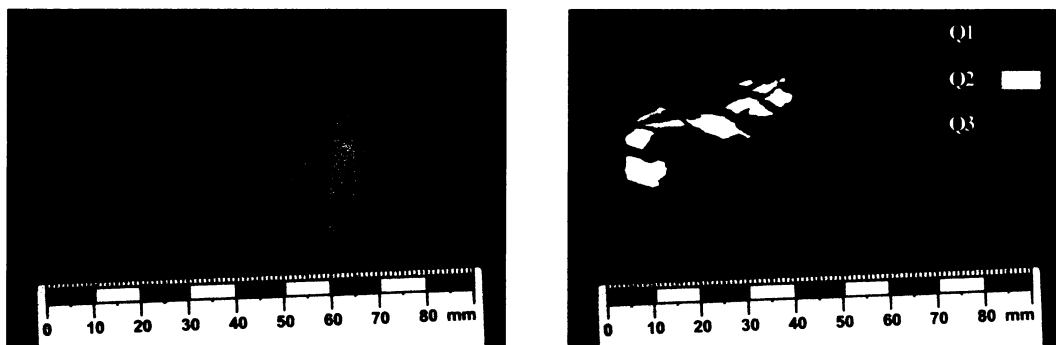
Salinity byly počítány jako hm. % NaCl_{ekv} dle rovnic Bodnara (1993, pro vodná fluida) a Diamonda (1992, pro fluida $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ typu). Salinity vysoce salinních H_2O inkluzí (s dceřiným krystalem halitu) byly počítány dle rovnice Sternera et al. (1988).

Izochory byly počítány pomocí rovnic Zhanga a Frantze (1987) pro systém $\text{NaCl-KCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ a Bakker (1999) pro systém $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-CH}_4\text{-N}_2\text{-NaCl}$.

6. CHARAKTER KŘEMENNÉ ŽILOVINY

Díky nálezu unikátního vzorku na lokalitě můžeme texturně rozlišit 3 generace křemene (obr. 13) oproti dříve rozlišovaným dvěma generacím (Litochleb 1984a; Litochleb 1998):

Obr. 13. Vzorek KAJ-1 se třemi přítomnými generacemi křemene Q1 až Q3 (foto: J. Zachariáš).



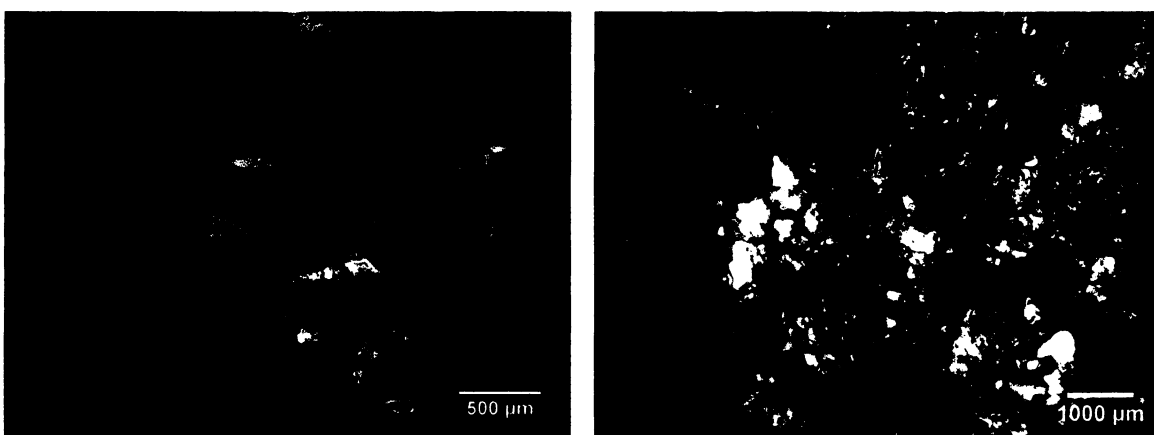
6.1 Křemen 1. generace

Křemen 1. generace (Q1) tvoří většinu žiloviny, je masivní, místy s náznaky automorfního omezení (do nedokonale vyvinutých dutin). V důsledku velkého množství jak primárních, tak sekundárních fluidních inkluzí je žilovina mléčně zbarvena a neprůhledná.

V mikroskopickém měřítku žilovina vykazuje většinou mozaikovitou texturu s různým stupněm deformace a rekrystalizace. Z tohoto hlediska lze studované vzorky rozdělit zhruba na 2 typy:

- vzorky postižené jen křehkou deformací, která se projevuje především vznikem trailů sekundárních fluidních inkluzí. V tomto případě jednotlivá zrna křemene nevykazují undulózní zhášení nebo je nevýrazné. Zrna jsou obvykle xenomorfní, pouze některá drobná zrna (2-3 mm) mají hypautomorfní až automorfní omezení (obr. 14). Střídají se šedé zóny (s velkým množstvím fluidních inkluzí) s čirými zónami téměř bez inkluzí, přechod bývá ostrý.
- vzorky postižené středně silnou až silnou nehomogenní duktilní rekrystalizací, typické jsou laločnaté hranice zrn, kanibalismus zrn, vznik subzrn až lokálně rekrystalizace na jemnozrnnou matrix (obr. 14). Tyto vzorky ke studiu fluidních inkluzí použity nebyly.

Obr. 14. Křemen Q1, vlevo nedeformovaná žilovina, místy s patrným hypautomorfním omezením zrna; vpravo žilovina výrazně duktilně rekrystalizovaná (zkřížené nikoly - obě fotografie).



Velmi ojediněle (nejmladší přírůstkové zóny křemene Q1) byla pozorována tzv. „feathery“ textura (zvaná též „plumose“), vyznačující se doménami odlišně zhášejících velmi drobných krystalů křemene (0,0X mm). Feathery textura se nachází buď na periferii zm, nebo tvoří zóny/skvrny uvnitř zm (obr. 15).



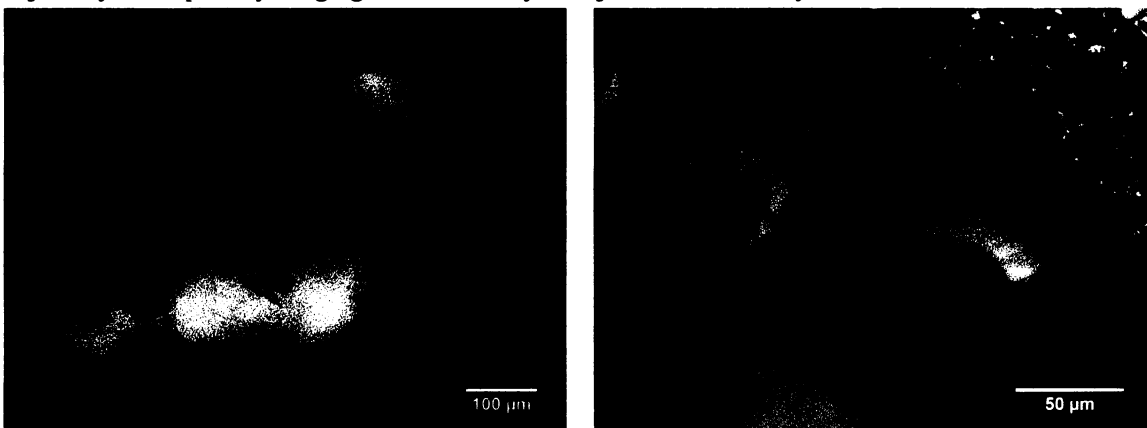
Obr. 15. Křemen první generace krystalizující do dutiny s patrnou „feathery“ texturou při okrajích krystalů (zkřížené nikoly).

6.2 Křemen 2. generace

Křemen 2. generace (Q2) jednak a) narůstá na Q1, popř. proniká po trhlinách ve starší žilovině spolu s četnými rudními i nerudními fázemi nebo b) vzácně tvoří zrna „lišťovitého“ habitu.

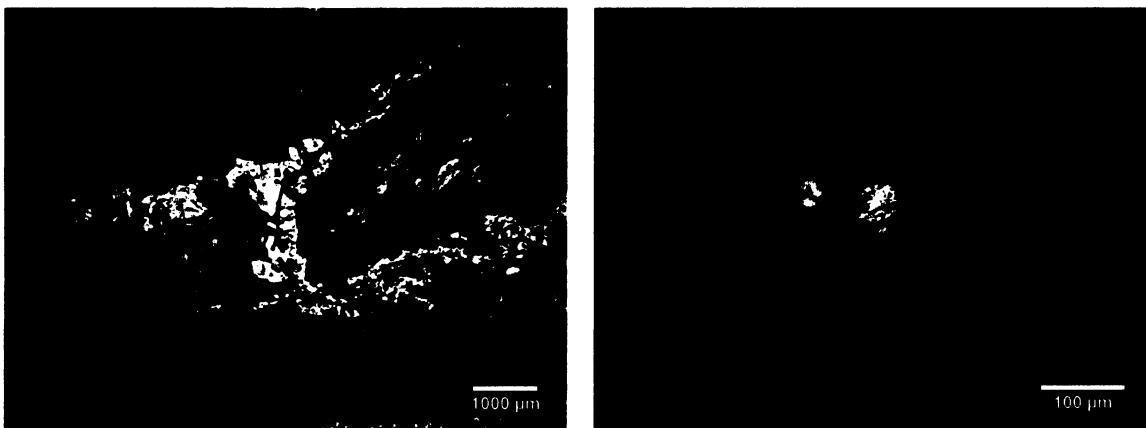
- a) Tento křemen 2. generace bývá zpravidla čirý, jeho zrna mají tendenci k idiomorfii (obr. 16). Velikost krystalů nepřevyšuje 0,X mm, charakteristickým rysem jsou patrné přírůstkové zóny, často zvýrazněné vějířovitými (radiálními až snopkovitými) agregáty chloritů (obr. 16). Obsažené inkluze jsou pouze H₂O typu.

Obr. 16. Průřez idiomorfním krystalem křemene 2. generace kolmým na osu c (vlevo); vpravo detail vějířovitých/snopkovitých agregátů chloritů zvýrazňujících růstové zóny.



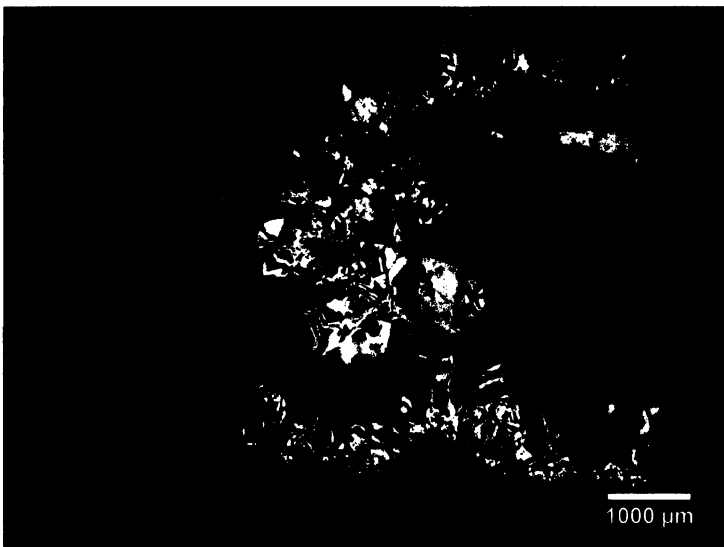
- b) Zrna Q2 lištovitého habitu o velikosti X mm, lemované rudními fázemi (pravděpodobně oxidovaný pyrit) a nejmladším křemenem 3. generace (obr. 17), bez undulózního zhášení. Lišty Q2 vykazují dva luminiscenčně odlišné typy křemene (jádro a lem; obr. 20). Křemen v jádru lišt obsahuje velké množství H_2O-CO_2 inkluzí a náznaky zatlačování křemenem z lemu. Proto předpokládáme, že jádro je tvořeno relikty křemene Q1, lem křemenem Q2. Lokálně byly sledovány inkluze karbonátu zvýrazňující hranici mezi Q1 a Q2 (zřejmá klencová štěpnost, obr. 17).

Obr. 17. Křemenné lišty lemované rudními fázemi (černé) a místy Q3 (vpravo); vlevo detail inkluzí karbonátu (zkřížené nikoly-obě fotografie).



6.3 Křemen 3. generace

Nejmladší 3. generace křemene (Q3) buď narůstá na křemen 2. generace ve formě drobných automorfních krystalů (0,X až X00 µm) nebo tvoří samostatné žilky (X-X0 mm). Žilovina vykazuje výraznou drúzovitou texturu a je symetricky zonální – zrnitost se zvyšuje od okraje žilky směrem ke středu (až ~ 1 cm); časté jsou ne zcela vyplněné dutiny s automorfně omezenými krystaly (obr. 18). Zbarvení je mléčně bílé až s přechody ke křišťálu. Tento křemen obsahuje pouze H_2O primární i sekundární inkluze.



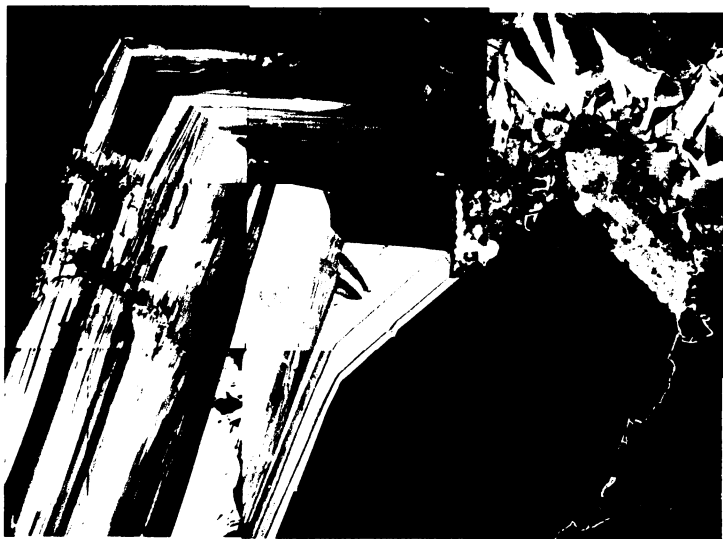
Obr. 18. Křemen 3. generace krystalizující do volné dutiny (zkřížené nikoly).

Ve studovaném vzorku (K12 AN) žiloviny Q3 bylo možno dále odlišit starší subgeneraci Q3a (jemnozrnny křemen přecházející do „palisádového“ vývoje s výraznou luminiscencí) a mladší hrubě krystalický křemen (monokrystal) Q3b vyplňující některé centrální dutiny v žilovině s velmi slabou luminiscencí (obr. 19).

6.4 Studium pomocí katodové luminiscence (SEM-CL)

Jednotlivé generace křemene lze odlišit i na základě studia katodové luminiscence v elektronovém mikroskopu (SEM-CL). Jak je patrné z obr. 20, křemen 1. generace jeví homogenní slabou luminiscencí (světlá šedá na fotografiích) zatímco křemen 2. generace nevykazuje luminiscenci téměř žádnou (tmavá šedá). Naopak křemen 3. generace (Q3a) je charakteristický svojí velmi výraznou luminiscencí (žluté až žlutozelené barvy), na jejímž základě může být jednoznačně odlišen od ostatních generací. Pro křemen Q3 jsou typické přírůstkové zóny (obr. 20), vzácně lze pomocí SEM-CL tyto zóny identifikovat i v krystalech Q2 (obr. 21A a 21B).

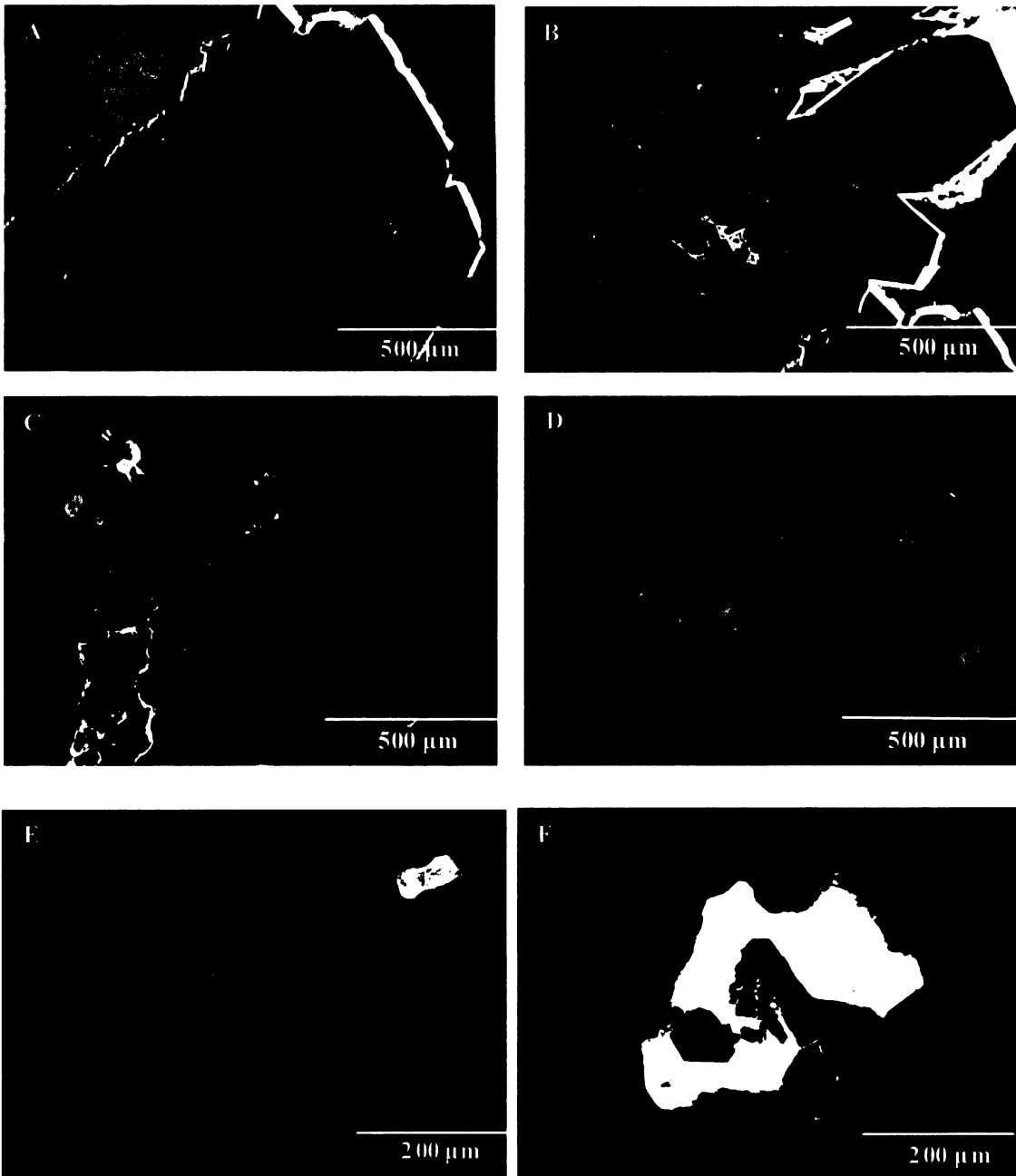
Obr. 20. Fotografie SEM-CL křemenné lišty lemované Q3 s rozlišenými 3 generacemi křemene (foto: J. Zachariáš).



Obr. 19. Příčný řez (1,8 x 0,7 cm) studovanou žilkou křemene (vzorek K 12 AN) Q3 v katodové luminiscenci. Světlé části reprezentují starší křemen Q3a, tmavé části křemen Q3b. U křemene Q3b je patrna jak růstová, tak i sektorová zonálnost. Foto: T. Hrstka.

Díky elektronové mikroskopii (SEM-CL a BSE) se podařilo odkrýt vztahy neviditelné při běžném mikroskopickém studiu: fáze Bi-Te-Au, hojně se vyskytující na trhlinách nebo vyplňující dutiny ve starší žilovině Q1 jsou lemovány křemenem Q2 s nízkou luminiscencí; (obr. 21C a 21D, detail rudy 21E). Na obr. 21F také můžeme pozorovat uzavírání staršího muskovitu mladšími rudními fázemi. Trhliny vyplněné Q2 nepokračují až k okraji vzorku, nýbrž končí na zóně podcení (obr. 22), která je překryta nejmladší přírůstkovou zónou Q2. Z toho vyplývá, že rudní minerály jsou asociované s nejmladší fází precipitace Q2 (s poslední růstovou zónou krystalu-Q2b). V tomto krystalu 2. generace byly následně měřeny trailly fluidních inkluzí paralelní s průběhem trhlin v krystalu (obr. 22; mikrotermometrická měření viz petrografický popis destičky KA-8).

Obr. 21. Fotografie SEM-CL: A, B – křemen 2. generace pronikající do starší žiloviny, s patrnými přírůstkovými zónami; C, D – rudní fáze lemované křemenem 2. generace; fotografie BSE: E – detail rudní fáze (ryzí Bi zatlačovaný bismutinem); F – krystaly muskovitu zarostlé v mladší Bi-Te fázi, krystalizace do dutiny Q1.



Obr. 22. Přechod křemene 1. a 2. generace; trhliny vyplněné Q2, které prostupují oběma generacemi, ale nepokračují přes oblast podrcení (pravý dolní roh). Tento křemen je pravděpodobně produktem nejmladší fáze krystalizace Q2 (Q2b).



6.5 Doplnkové mineralogické studium

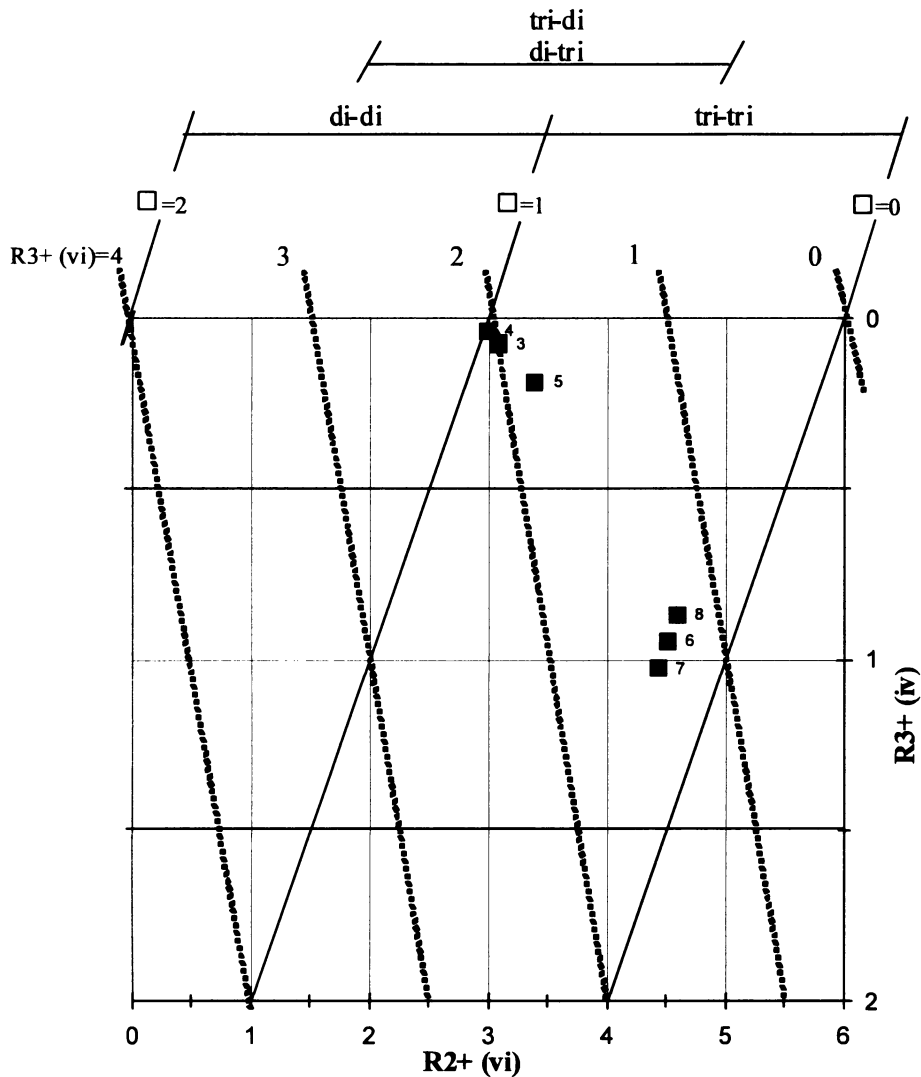
Pomocí vlnově disperzní analýzy (WDX) byl studován chemismus nerudných fází vyskytujících se na posledních růstových zónách automorfně omezených krystalů křemene Q2 ve vzorku KA-8. Analýzy identifikovaly vějířovité agregáty na nejmladších přírůstkových zónách Q2 jako chlority. Část analýz však vykazuje odlišnou stechiometrii (tab. 4) i pozici v kompozičním diagramu (obr. 23). Tato variabilita je pravděpodobně způsobena jak částečnou alterací chloritu, tak kontaminací spekter sousedním křemenem.

Fáze vyskytující se na trhlinách v Q1 (hojně doprovázené Au-Bi-Te fázemi) byly všechny identifikovány jako muskovit, či alterovaný muskovit (určeno pomocí EDX). Chlorit nebyl nalezen. Nelze proto potvrdit hypotézu, zdali současně s precipitací nejmladší fáze Q2 docházelo ke srážení minerálů zlatonosného stádia (Au-Bi-Te).

Tab. 4. Chemická analýza 8 nerudních fází na růstových zónách Q2 ve vzorku KA-8.

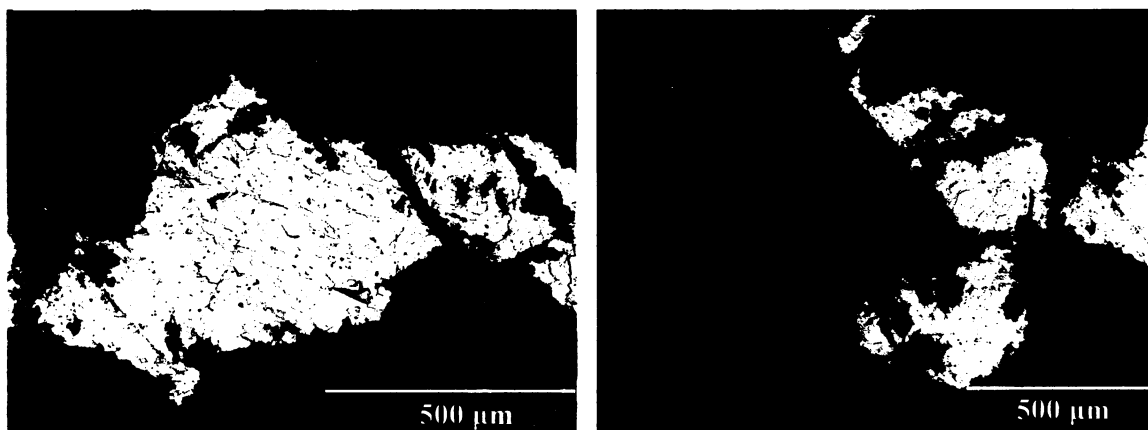
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO (tot)	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	Total
1.	42,59	19,84	17,95	5,62	2,82	0,36	0,37	0,03	0,13	0,02	89,73
2.	42,03	15,88	17,51	5,21	2,62	0,44	0,51	0,02	0,11	0	84,33
3.	35,94	14,16	22,86	6,06	3,47	0,19	0,57	0,02	0,12	0,02	83,41
4.	34,95	14,00	19,24	6,82	2,91	0,07	0,47	0,02	0,13	0,00	78,61
5.	34,98	14,05	24,16	7,27	2,75	0,10	0,57	0,02	0,16	0,02	84,08
6.	30,25	18,75	23,64	16,61	0,04	0,06	0,15	0,01	0,24	0,05	89,8
7.	27,95	19,09	27,57	12,36	0,02	0,05	0,12	0,03	0,27	0	87,46
8.	26,72	14,95	24,21	12,55	0,09	0,08	0,20	0,00	0,29	0,02	79,11

Obr. 23. Kompoziční diagram chloritů založený na oktaedrických kationtech R^{2+(vi)}, R^{3+(vi)}, tetraedrických kationtech R^{3+(iv)} a na podílu neobsazených oktaedrických pozic (□). Podle Wiewióra a Weisse 1990 in Weiss a Kužvart 2005.



V několika případech byla použita elektronová mikroanalýza (EDX) k ověření nebo identifikaci rudní fáze související s distribucí fluidních inkluzí ve vzorku. Ve vzorcích KAL-60 a KAL-61 byl identifikován agregát galenitu lemovaný muskovitem. Galenit na kasejovických žilách doposud nebyl objeven; Litochleb 1984a; Litochleb et al. 1990; Litochleb a Šrein 1994 i Litochleb 1998 uvádějí jeho naprostou absenci (Pb je vázáno pouze v sulfosolích). Galenit ze vzorku KAL-60 je navíc zonální (obr. 24): obsahuje partie se zvýšeným obsahem stříbra (3-4 %), které zatlačují čistý galenit.

Obr. 24. Fotografie BSE: agregát galenitu (bez příměsí, světlá šedá) zatlačovaný galenitem se zvýšeným obsahem Ag (tmavší šedá) ve vzorku KAL-60.



7. STUDIUM FLUIDNÍCH INKLUZÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ

7.1 Vzorek KAL-60

Tato destička je tvořena masivní křemennou žilovinou 1. generace. Ve spodní části vzorku se nacházel drobný krystalický agregát galenitu obrůstáný muskovitem. Od galenitu směrem ke druhému konci destičky postupně narůstá velikost zrn křemene (od cca 0,1 mm až na 1 x 2 cm). Ve zkřížených nikolech je u některých drobnějších zrn (2-3 mm) patrné téměř dokonalé automorfní omezení (obr. 25). Deformace křemene je minimální, převažuje křehké porušení se vznikem trhlin a trailů. Vzorek není postižen významnější duktilní deformací.



Obr. 25. Téměř dokonale omezené křemenné zrn (zkřížené nikoly).

Ve vzorku se nepravidelně střídají partie téměř čiré (s minimem inkluzí) a zašedlé (s velkým množstvím drobných inkluzí). Někdy jsou tyto inkluze zjevně sekundárního původu, jindy se na hranicích zrn náhle mění zašednutí (množství inkluzí). Posledně jmenovaný jev by svědčil pro primární či pseudosekundární charakter části takovýchto inkluzí. Existující trhliny a traily jsou v rámci výbrusu orientovány víceméně náhodně (všesměrně). Destička obsahuje jednak četné inkluze H_2O-CO_2 typu i inkluze pouze H_2O , měřeny byly celkem 3 oblasti; shrnutí viz tab. 5.

Úlomek 1

Jedná se o oblast s galenitem, který tvoří masivní agregát pronikající do trhlin v okolním křemenu (obr. 26). Na několika místech je galenit doprovázen/lemován málo četnými tabulkovými agregáty muskovitu (obr. 26). V těsném okolí galenitu převažuje čirý křemen s relativně hojnými a velkými fluidními inkluzemi H_2O-CO_2 typu primárního charakteru (P). Výjimečně byla v inkluzích pozorována blíže neurčená pevná fáze (obr. 27). Tvar inkluzí je suboválný až negativní krystaly, stupeň zaplnění konstantní $\sim 0,80$. Teplota vymrznutí $-95\text{ }^\circ\text{C}$, teploty tání pevného CO_2 se pohybovaly v rozmezí od $-56,9$ do $-57,2\text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 31). Salinita je nízká (T_m-cla v rozmezí $9,5$ až $10,0\text{ }^\circ\text{C}$); teploty parciální homogenizace CO_2 $24,9$ až $29\text{ }^\circ\text{C}$, způsob na plyn. Teploty celkové homogenizace pak spadají do intervalu 285 až $328\text{ }^\circ\text{C}$, způsob na kapalinu (obr. 32).

Obr. 26. Vlevo agregát galenitu pronikající po trhlinách v křemenu; vpravo detail galenitu obrůstaného muskovitem.



Obr. 27. H₂O-CO₂ inkluze se zachycenou pevnou fází.

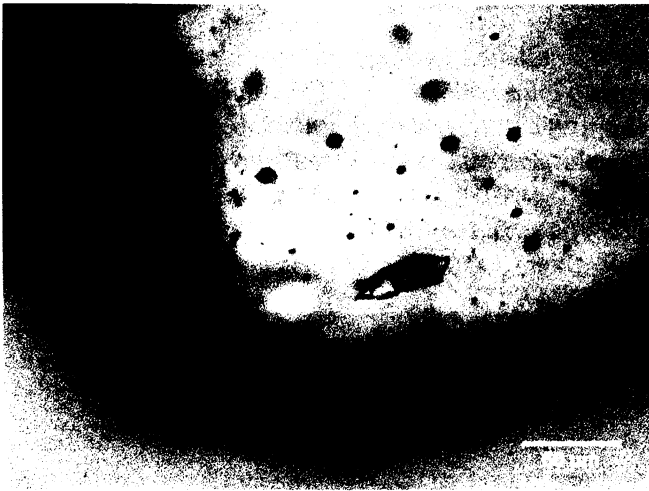
Úlomek 2

Tento úlomek je z větší části tvořen agregátem galenitu. V křemenné žilovině byla zachycena různá fluida několika generací; v úlomku byly rozpoznatelné celkem čtyři typy fluidních inkluzí: 1. inkluze typu H₂O-CO₂ (3 měřené populace); 2. inkluze typu H₂O-CO₂ plynem bohaté; 3. inkluze H₂O; 4. čiré jednofázové inkluze.

1. Inkluze typu H₂O-CO₂:

- a. Populace inkluzí nacházející se u okraje úlomku, jejichž náhodná 3D distribuce svědčí pro jejich primární původ (P). Inkluze jsou tvaru negativních krystalů, velikost až 50 μm (obr. 28). Za pokojové teploty byl pozorovatelný zřetelně třífázový obsah. Stupeň zaplnění konstantní ~0,80. Teplota vymrznutí ~ -90 °C, teplota tání pevného CO₂ byla naměřena v rozmezí od -57,3 až -57,0 °C (obr. 31). Salinita je nízká (T_m-cla variabilní v rozmezí od 9,1 do 9,8 °C). Teplota parciální homogenizace CO₂ se pohybovala v rozmezí 26 až 26,7 °C; homogenizace na plyn; teplota celkové homogenizace v rozmezí 312-326 °C (obr. 32). Způsob homogenizace vypadal do posledních 5 °C jako kritický, následně inkluze homogenizovaly na kapalinu. Většina inkluzí této populace ale dekrepitovala před 300 °C.

- b. Druhá měřená populace H_2O-CO_2 inkluzí se nacházela v těsné blízkosti agregátu galenitu, izolovaný výskyt svědčí pro primární charakter. Tvořily ji inkluze variabilní velikosti, tvar suboválný až negativní krystaly. Stupeň zaplnění byl také variabilní: $\sim 0,70$ až $0,40$. Teplota vymrznutí ~ -100 °C. Tyto inkluze byly obtížně měřitelné, proto např. hodnoty teplot tání pevného CO_2 jsou nejisté ($-57,7$ až $-56,7$ °C, obr. 31). Salinita je nízká (T_m-cla v rozmezí $9,0$ až $9,3$ °C, s výjimkami inkluzí, u kterých byly naměřeny hodnoty $10,1$ °C a $10,4$ °C). Způsob parciální homogenizace CO_2 blízký kritickému, v poslední fázi nastala homogenizace na kapalinu ($25,8$ až $26,1$ °C). Teploty celkové homogenizace zaznamenané pouze u dvou inkluzí: inkluze bohatá plynem (F $\sim 0,40$) homogenizovala při 330 °C na plyn, inkluze bohatá kapalinou (F $\sim 0,70$) při 328 °C na kapalinu.
- c. Třetí populaci tohoto typu tvořily inkluze tvaru negativních krystalů, nacházející se v čirém křemenném zrně uzavřeném v galenitu. Viditelnost fázových změn byla ale obecně malá, proto jsou naměřená data omezena pouze na teploty celkové homogenizace: 309 a 317 °C, způsob na kapalinu.

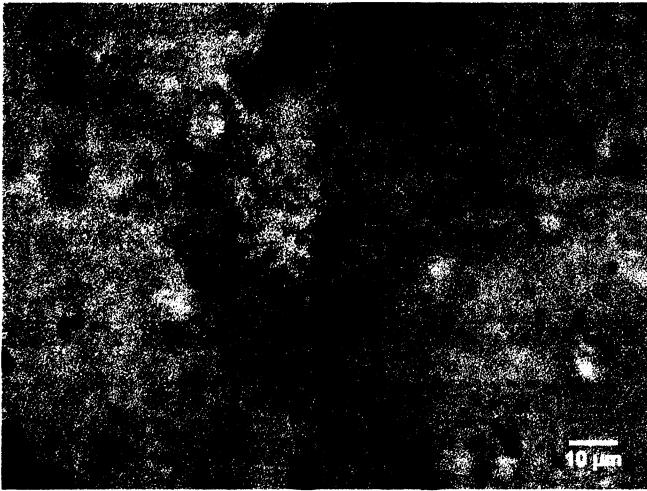


Obr. 28. Pozice H_2O-CO_2 inkluzí při okraji úlomku se zřetelným třífázovým obsahem.

2. Inkluze typu H_2O-CO_2 plynem bohaté:

Tyto inkluze se nacházely na izolovaném trailu, což vypovídá o jejich pozdějším zachycení vzhledem k předchozímu typu (tj. pseudosekundární charakter, PS). Za pokojové teploty zřetelně rozpoznatelný třífázový obsah; inkluze celkově tmavší, tvar oválný až mírně nepravidelný, velikost od 10 do 20 μm . Stupeň zaplnění přibližně kolem hodnot $0,50-0,60$ (obr. 29). Teploty vymrznutí ~ -95 °C, teplota tání pevného CO_2 se pohybovala v rozmezí $-56,6$ až $-56,8$ °C (obr. 31); salinita nižší (T_m-cla $8,9$ až $9,1$ °C). Teploty parciální homogenizace CO_2 $27,2$ až $27,8$ °C, inkluze homogenizovaly na kapalinu. Teploty celkové homogenizace byly zjištěny přibližně 320 °C (variabilita v rozmezí ± 5 °C, obr. 32); způsob na plyn.

Obr. 29. Třífázová H₂O-CO₂ plynem bohatá inkluze s F ~0,50; součástí krátkého trailu.



3. Inkluze typu H₂O

Třetí typ inkluzí jsou dvoufázové kapalinou bohaté H₂O inkluze, tvořící rozsáhlý trail při okraji úlomku (obr. 30), které v jeho rámci považují za nejmladší, tj. nejpozději zachycené vzhledem k předchozím dvěma typům. Trail je tvořen velkým množstvím malých inkluzí (~ 5 μm) suboválného tvaru, a dále několika inkluzemi větší velikosti a různých tvarů. Stupeň zaplnění je konstantní ~0,90. Teplota vymrznutí ~ -40 °C. Hodnoty tání posledního krystalu ledu (T_{m-ice}) se pohybovaly v rozmezí -0,6 až -0,9 °C; teploty celkové homogenizace 162 až 212 °C, maximální četnost 180 až 190 °C (obr. 32).



Obr. 30. Trail dvoufázových, kapalinou bohatých H₂O inkluzí.

4. Čiré jednofázové inkluze

Čtvrtý typ inkluzí tvoří trail čirých jednofázových inkluzí, u kterých se bohužel mikrotermometrickým měřením nepodařilo s jistotou určit jejich složení. Za teploty -40 °C dojde k vymrznutí obsahu inkluze, při následném zahřívání se při -23 °C začne objevovat plynná fáze, která se postupně stává více a více zřetelnější. Pevná fáze roztaje do 0 °C, ale plynná fáze, která má již výrazný kulovitý tvar, se rozplyne až za T +2,3 °C.

Úlomek 3

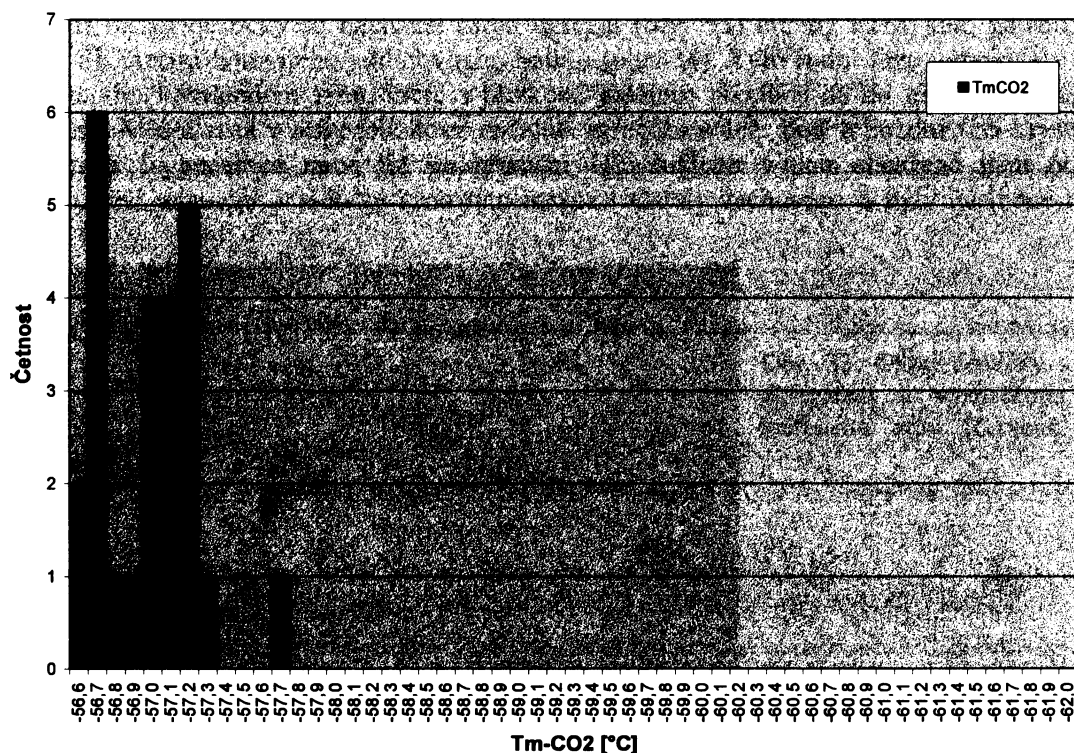
Úlomek křemenné žiloviny obsahující velké množství inkluzí, zejména typu H₂O-CO₂, které se nacházejí jak izolovaně, tak na krátkých trailech. V tomto úlomku byla měřena pouze jedna

populace inkluzí H₂O-CO₂ izolovaného výskytu (primární charakter). Inkluze jsou spíše nepravidelného tvaru, běžné velikosti. Stupeň zaplnění konstantní, odhadem stanoven na 0,80. Teplota vymrznutí -95 °C, tání pevného CO₂ nastalo při teplotě -56,7 až -56,6 °C (obr. 31), salinita nízká (T_{m-cla} v rozmezí 9,2 až 9,5 °C, většinou ale při 9,3 °C). Parciální homogenizace probíhala za teplot okolo 28 °C na kapalinu (27,8 až 28,3 °C) s výjimkou dvou inkluzí homogenizujících kritickým způsobem (27,5; 27,6 °C). Při měření celkové homogenizace došlo v několika inkluzích k dekrepitaci; u ostatních pak byly naměřeny teploty od 285 do 322 °C (obr. 32). Všechny inkluze homogenizovaly na kapalinu; u jedné inkluze (Th-tot 322 °C) byl pozorován způsob blízký kritickému.

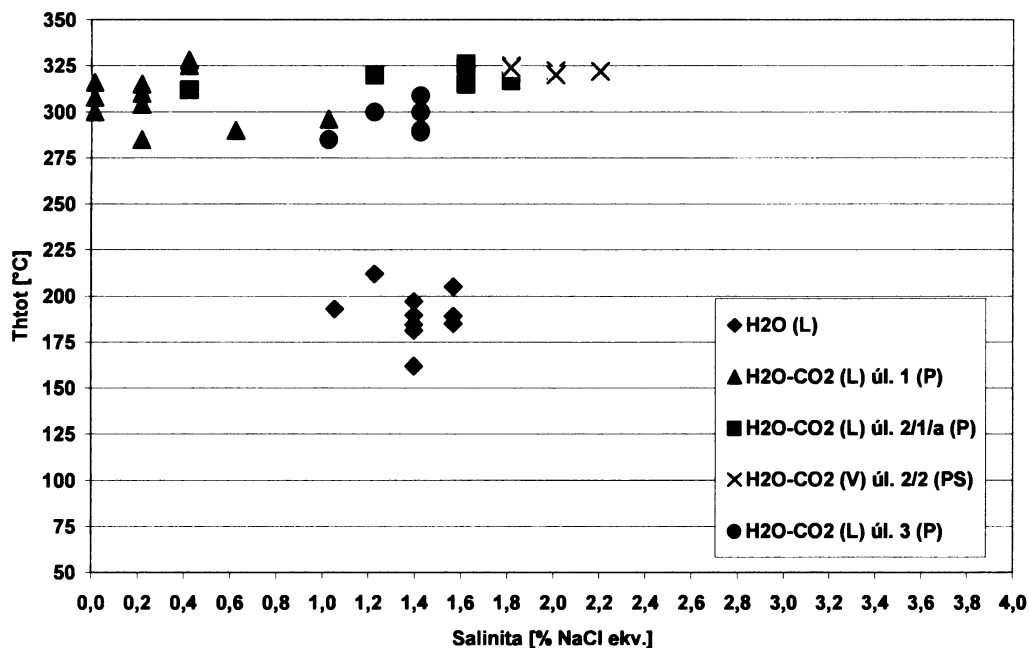
Tab. 5. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O-CO₂; H₂O inkluzí ve vzorku KAL-60.

	H ₂ O-CO ₂ inkluze (P/PS)	H ₂ O inkluze (S)
T _m -CO ₂	-56,6 až -57,7 °C	
T _{m-cla}	8,9 až 10,4 °C	
T _{m-ice}		-0,6 až -0,9 °C
Th-CO ₂ (V)	24,9 až 29 °C	
Th-CO ₂ (L)	25,8 až 28,3 °C	
Th-CO ₂ (C)	27,5 až 27,6 °C	
Th-tot (L)	285 až 328 °C	162 až 212 °C
Th-tot (V)	320 až 330 °C	
Max. četnost	300 až 330 °C	180 až 190 °C
Salinita	0 až 2,2 hm. % NaCl _{ekv.}	1,1 až 1,6 hm. % NaCl _{ekv.}
F	0,40 až 0,80	0,90

Obr. 31. Souhrnný histogram teplot tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) ve vzorku KAL-60.



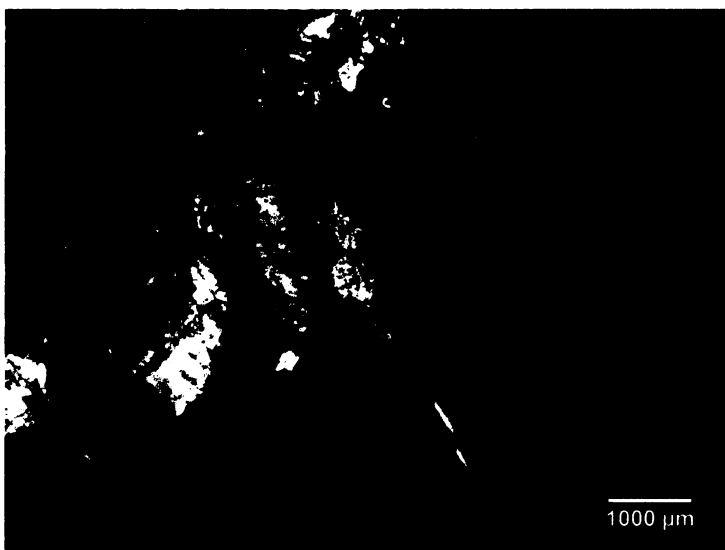
Obr. 32. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita ve vzorku KAL-60.



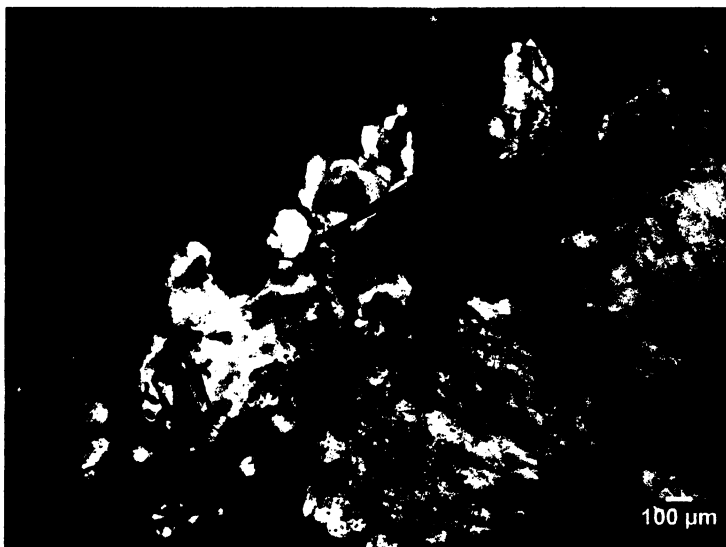
7.2 Vzorek KAL-61

Tato destička je tvořena několika xenomorfními křemennými zrny. Undulózní zhašení není nebo je nevýrazné. Zrna obsahují enormní množství fluidních inkluzí neměřitelných rozměrů, v důsledku čehož je žilovina šedě zbarvena a zcela neprůhledná. Patrné jsou výrazné trailly s paralelní orientací.

Při okraji destičky se nacházel rudní agregát (obr. 33) určený EDX jako galenit, místy s Pb-Sb fázemi lišovitého/jehlicovitého habitu (obr. 34). Tyto rudní fáze vyhojovaly trhlinu ve starším křemenném zrně, které v blízkosti galenitu přechází až do téměř čiré zóny bez inkluzí. Menší zrna v těsné blízkosti rudního agregátu náleží buď k pozdní fázi krystalizace křemene 1. generace nebo již ke křemenu Q2. Inkluze v nich obsažené jsou převážně poškozené, nicméně v jednom zrně tyto inkluze zůstaly zachovány a byly následně měřeny (tab. 6).



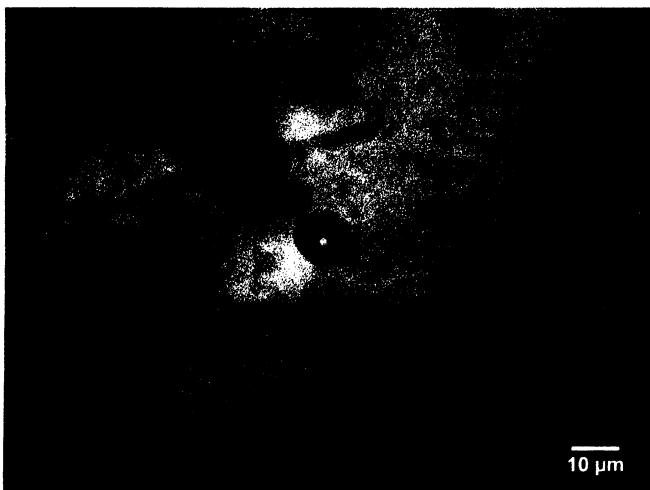
Obr. 33. Okraj destičky s rudním agregátem a vyznačenou pozicí měřeného zrna (červená šipka).



Obr. 34. Detail Pb-Sb fází pronikající starší žilovinou.

Úlomek 1

Jedná se o zrno z těsné blízkosti agregátu galenitu. Inkluze jsou plynem bohaté H₂O-CO₂, vyskytující se samostatně (obr. 35) nebo na krátkých trailech (primární/pseudosekundární charakter, přesné rozlišení nebylo možné). Tvar blízký negativnímu krystalu, velikost 10-20 μm, stupeň zaplnění převážně konstantní ~0,70 (minoritně 0,90). Teplota vymrznutí ~ -100 °C, teploty tání pevného CO₂ se pohybovaly v rozmezí od -56,6 do -57,8 °C (obr. 36), salinita nízká (T_{m-cla} od 9,6 až 10,0 °C). V důsledku špatné viditelnosti homogenizace CO₂ zejména na plyn jsou hodnoty Th-CO₂ pouze orientační (23,4 až 26,3 °C); nicméně u třech inkluzí byl zaznamenán kritický způsob s jasně patrným rozplynutím fázového přechodu (25,6; 25,7; 26,1 °C). Teploty celkové homogenizace Th-tot pak spadají do intervalu od 258,5 do 310 °C, způsob na kapalinu (obr. 37).



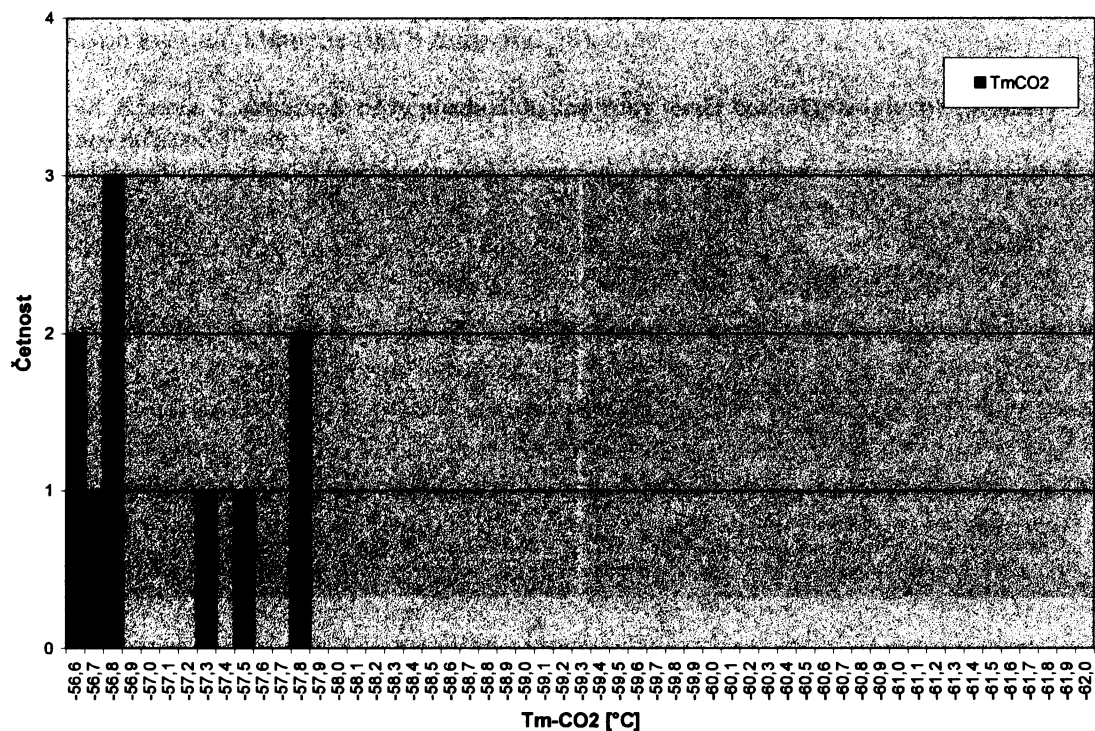
Obr. 35. Samostatná H₂O-CO₂ inkluze; F ~0,70.

Tab. 6. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O-CO₂ inkluzí ve vzorku KAL-61.

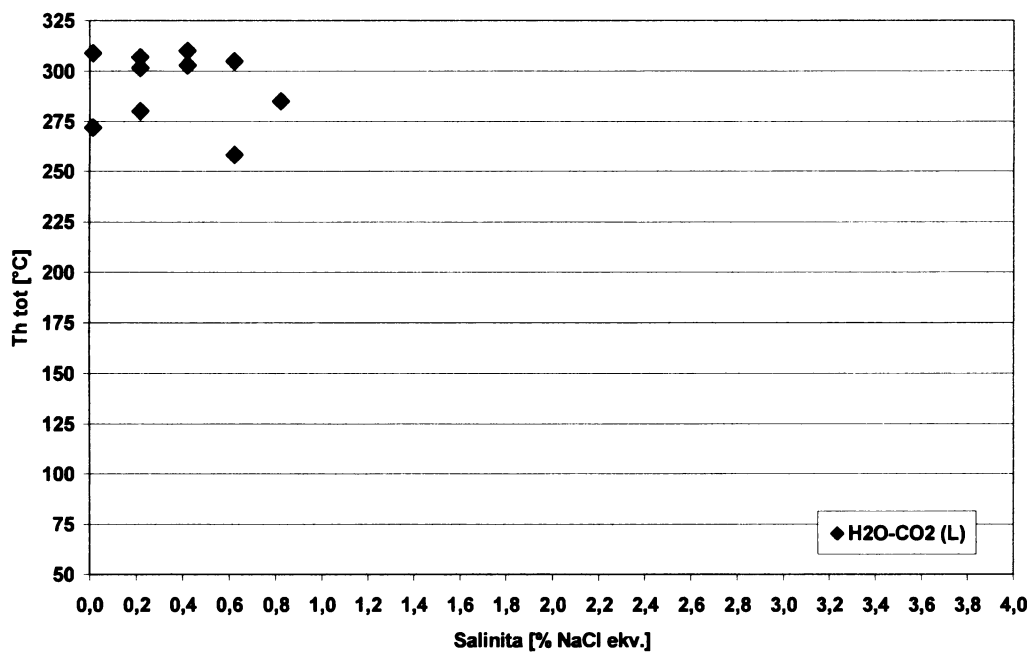
	H ₂ O-CO ₂ inkluze (P/PS)
T _m -CO ₂	-56,6 až -57,8 °C
T _m -cla	9,6 až 10,0 °C

Th-CO ₂ (V)	23,4 až 26,3 °C
Th-CO ₂ (C)	25,6 až 26,1 °C
Th-tot (L)	258,5 až 310 °C
Max. četnost	300 až 310 °C
Salinita	0,0 až 0,8 hm. % NaCl ekv.
F	0,70-0,90

Obr. 36. Histogram teplot tání pevného CO₂ (Tm-CO₂) ve vzorku KAL-61.



Obr. 37. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita ve vzorku KAL-61.

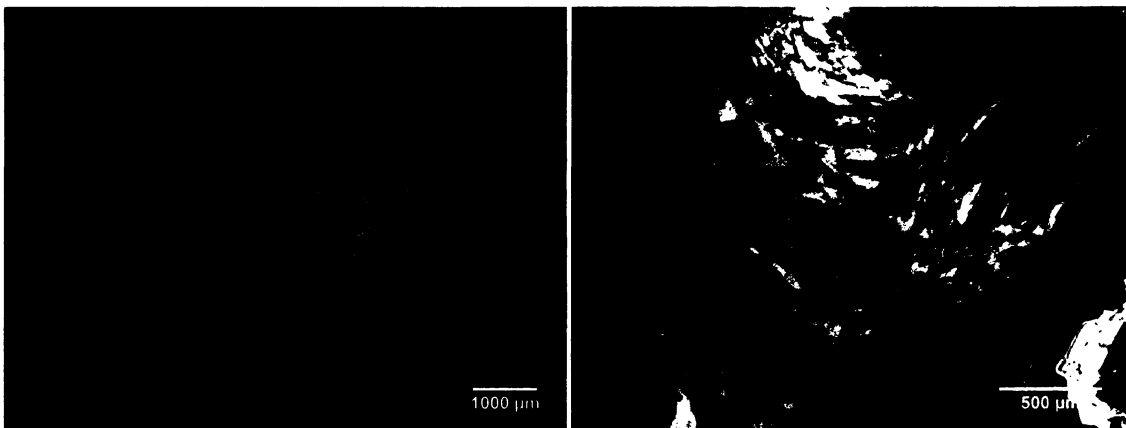


7.3 Vzorek KAJ-1

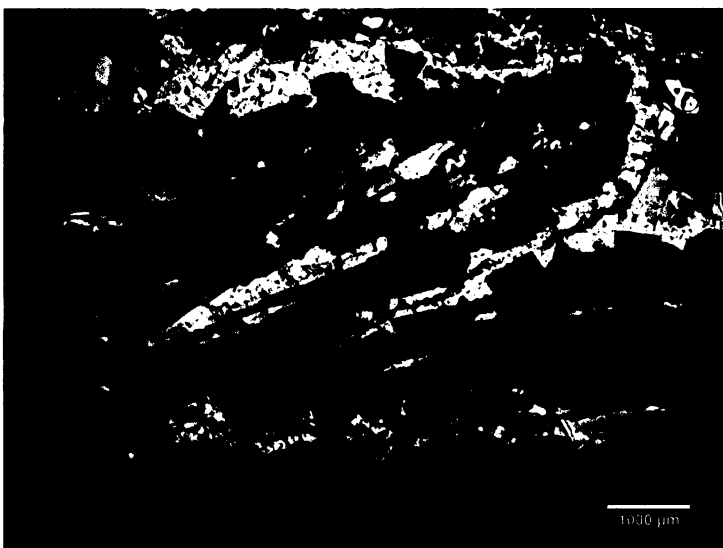
Tato unikátní destička je tvořena třemi generacemi křemene (ověřeno SEM-CL).

Křemen 1. generace postupně přechází z masivní žiloviny do formy krystalů (krystalizuje do volné dutiny); nevykazuje známky duktilní ani křehké deformace. Při bázi obsahuje hojné množství fluidních inkluzí velmi malých rozměrů (~ 1 μm , šedé zbarvení žiloviny), ale ve směru růstu krystalů se velikost fluidních inkluzí zvětšuje (až na ~ 20-30 μm) a posléze křemen ostře přechází do čiré zóny téměř bez inkluzí (obr. 38). Lokálně byla na periferiích zrn pozorována tzv. „feathery“ textura, vyznačující se doménami odlišně zhášejících velmi drobných krystalů křemene (0,0X mm; obr. 38).

Obr. 38. Křemen 1. generace: ostrý přechod do čiré zóny téměř bez inkluzí (vlevo); „feathery“ textura (vpravo, zkřížené nikoly).



Křemen 2. generace tvoří lem zrn lištovitěho habitu. Jádra lišt obsahují velké množství $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ inkluzí a vykazují odlišnou luminiscenci než lem (viz obr. 20); pravděpodobně se jedná o relikty křemene Q1 zatlačované křemenem Q2. Lišty mají různé rozměry, zhášení je homogenní a jsou lemovány několik mm mocnou vrstvou sulfidů (původně zřejmě pyrit – kubické krystaly, dnes přeměněno na Fe-oxihydroxidy). Na sulfidy dále narůstají krystaly křemene 3. generace, jejichž velikost se postupně zvětšuje od 0,X μm do X00 μm (obr. 39).

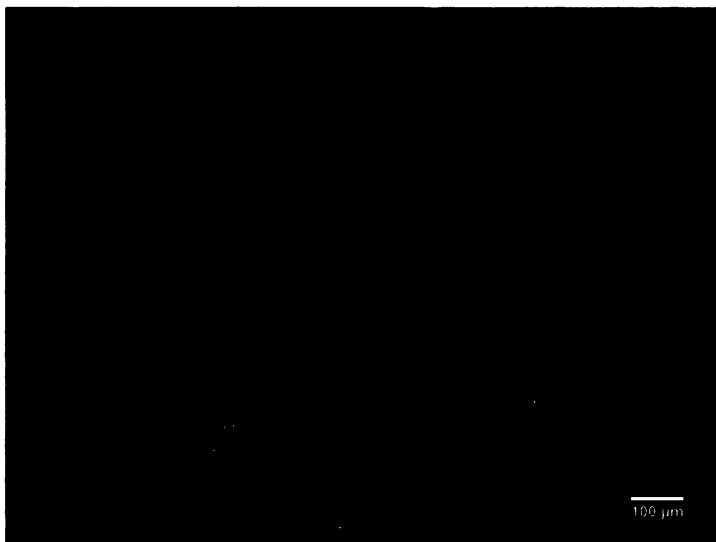


Obr. 39. Křemenné lišty lemované sulfidy (černé) a 3. generací křemene (zkřížené nikoly).

Úlomek 1

Jedná se o křemennou lištu, lemovanou cca 0,5 mm mocnou vrstvou rudních minerálů. Již při desetinásobném zvětšení byly patrné fluidní inkluze větších rozměrů (~ 20-50 μm , obr. 40), které byly následně měřeny (tab. 7). Obsažené inkluze jsou pouze $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ typu. Při okraji lišty pozorovány přírůstkové zóny lemované karbonáty o velikosti max. 200 μm . Tvar inkluzí je suboválný až negativní krystaly. Inkluze větších rozměrů (až 50 μm) se vyskytují buď samostatně nebo na krátkých trailech (primární/pseudosekundární charakter; přesné rozlišení nebylo možné), stupeň zaplnění je ~0,70 (obr. 41). Teplota vymrznutí nejvíce -92 až -95 $^{\circ}\text{C}$, teploty tání pevného CO_2 se pohybovaly v rozmezí -56,6 až -57,2 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 42). Salinita je nízká, zejména 2 skupiny: $T_m\text{-}c_{\text{la}}$ 8,8 až 9,0 $^{\circ}\text{C}$; dále pak 9,8 až 10,0 $^{\circ}\text{C}$ (obr. 43). V důsledku špatné viditelnosti homogenizace CO_2 na plyn jsou hodnoty $T_h\text{-}\text{CO}_2$ pouze orientační (22 až 28 $^{\circ}\text{C}$). Teploty celkové homogenizace $T_h\text{-}t_{\text{ot}}$ spadají do intervalu 267,5 až 315 $^{\circ}\text{C}$, způsob na kapalinu (obr. 43).

V úlomku se také vyskytují rozsáhlé trailly $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluzí negativních krystalů, stupeň zaplnění ~0,90; velmi malých rozměrů (1-5 μm). Tyto inkluze do měření zahrnuty nebyly, jediným zaznamenaným údajem je $T_h\text{-}t_{\text{ot}}$ v rozmezí 250 až 260 $^{\circ}\text{C}$, způsob na kapalinu.



Obr. 40. Detail křemenné lišty (na předchozím obr. 39 modrozelená) s patrnými fluidními inkluzemi a inkluzi karbonátu (zkřížené nikoly).

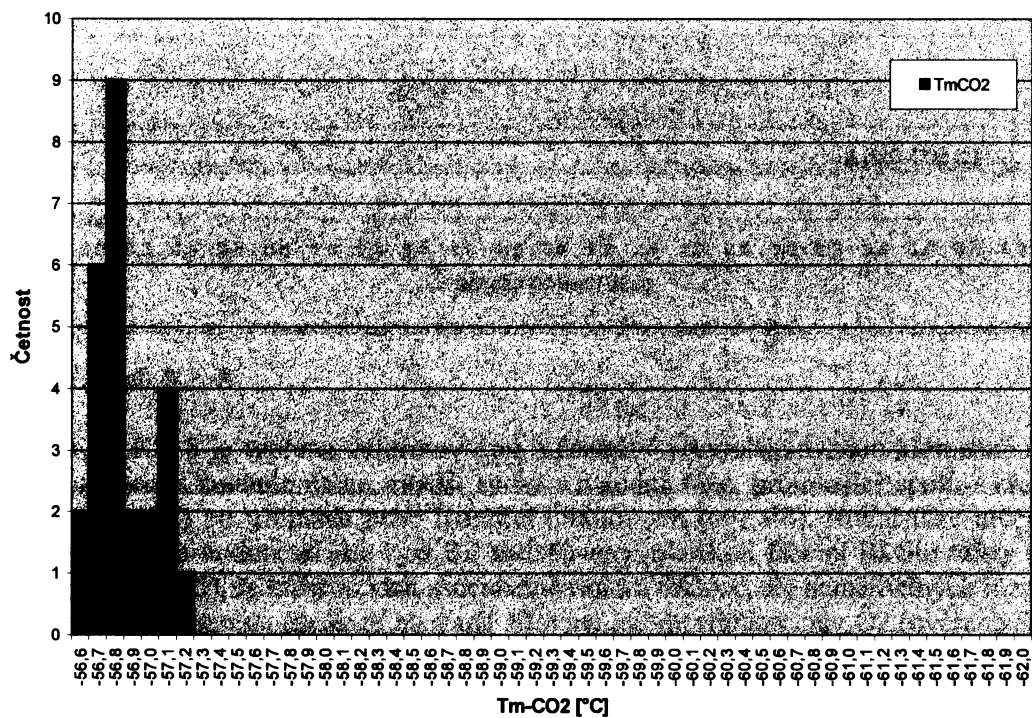


Obr. 41. $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ inkluze; $F \sim 0,70$.

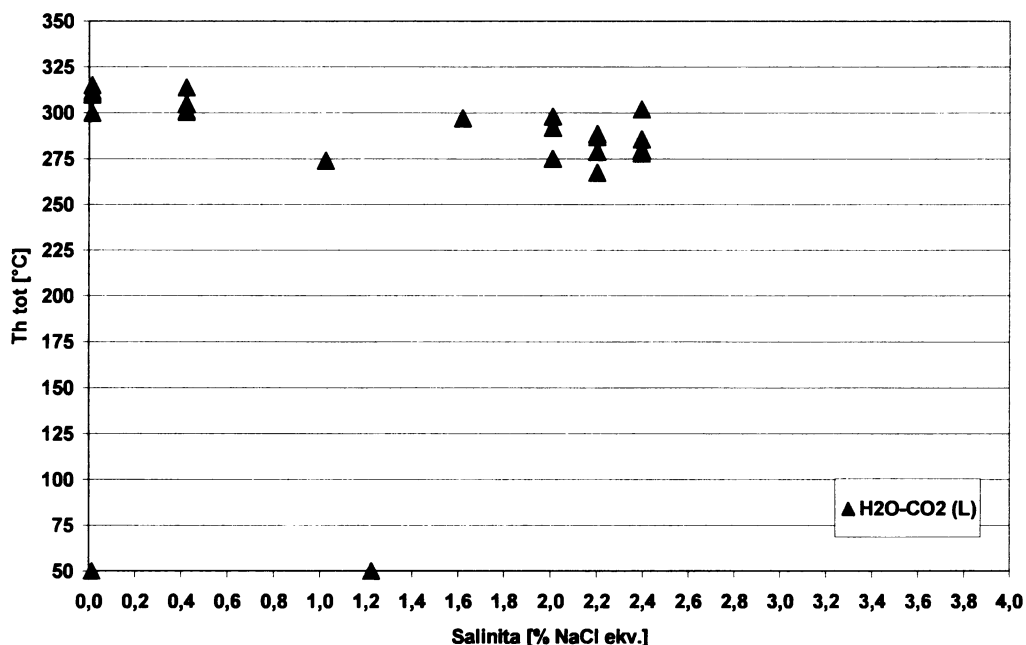
Tab. 7. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O-CO₂ inkluzí v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1.

	H ₂ O-CO ₂ inkluze (P/PS)
Tm-CO ₂	-56,6 až -57,2 °C
Tm-cla	8,8 až 10,0 °C
Th-CO ₂ (V)	22 až 28 °C
Th-tot (L)	267,5 až 315 °C
Max. četnost	300 až 310 °C
Salinita	0,0 až 2,4 hm. % NaCl _{ekv.}
F	0,70

Obr. 42. Histogram teplot tání pevného CO₂ (Tm-CO₂) v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1.



Obr. 43. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v reliktech Q1 ze vzorku KAJ-1 (symboly na ose x představují inkluze, které dekreptovaly před dosažením Th-tot).



7.4 Vzorek KA-8

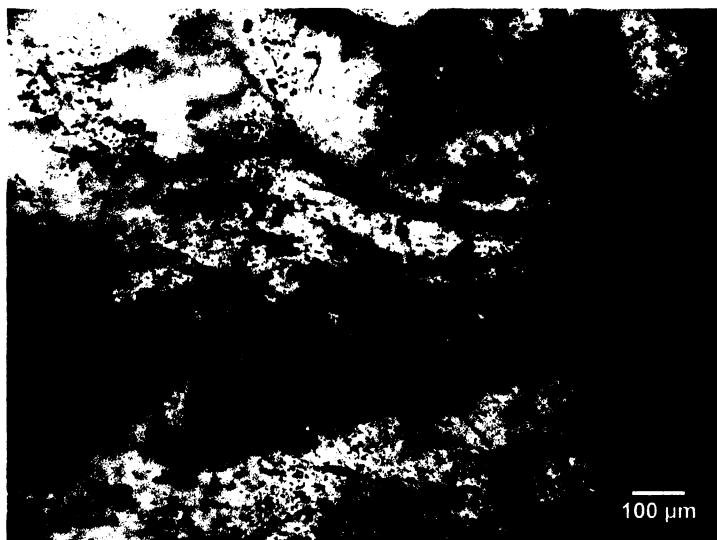
Destička KA-8 je tvořena deformovanou a částečně rekrystalizovanou křemennou žilovinou 1. generace. Obsahuje četné mladší rudní i nerudní fáze, pronikající spolu s křemenem 2. generace (Q2) po trhlinách nebo lemující hranice zrn (obr. 44). Rudní fáze určené pomocí EDX (Bi-Te s inkluzemi Au, ryzí Bi; zatlačované mladšími fázemi Bi-Sb) místy tvoří rudní „traily“ (obr. 45), se kterými jsou asociované fluidní inkluze, ale neměřitelných rozměrů.

Při okraji úlomku narůstají na starší žilovinu idiomorfnní krystaly Q2 (ověřeno SEM-CL, o velikosti ~ 0,2 mm) se zřetelnými růstovými zónami, lemovanými nerudními fázemi vějířovitého (snopkovitého) habitu. Tyto fáze byly podrobeny detailní analýze WDX, nicméně jejich chemismus je variabilní (tab. 4) a zhruba odpovídá chloritu (obr. 23). Další analyzované nerudní fáze vyskytující se spolu s rudními na trhlinách Q1 byly určeny jako muskovit.

Fluidní inkluze v Q1 jsou silně porušené, nevhodné pro mikrotermometrická měření; měřeny proto byly jen inkluze v křemeni 2. generace ve dvou oblastech (tab. 8).



Obr. 44. Rudní fáze lemující hranice zrn křemene 1. generace.

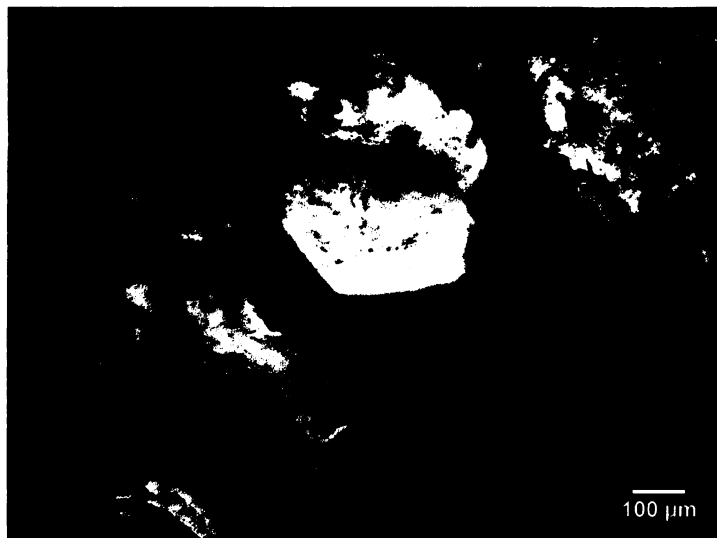


Obr. 45. Rudní fáze tvořící „rudní traily“ v žilovině 1. generace.

Úlomek 1

Jedná se o průřez automorfně omezeným krystalem Q2, kolmým na osu c (obr. 46). Inkluze pouze dvoufázové H₂O, z větší části porušené, nepravidelného tvaru o velikosti ~ 10 μm. Rozlišení inkluzí na primární/sekundární nebylo možné. Stupeň zaplnění převažuje ~0,95; minoritně 0,80. Teplota vymrznutí kolem -40 °C, salinita nízká (hodnoty T_m-ice v rozmezí -1,0 až -1,8 °C; obr. 48); teploty homogenizace se pohybovaly v rozmezí 173 až 190 °C, homogenizace na kapalinu (obr. 47).

Obr. 46. Průřez krystalem křemene 2. generace.



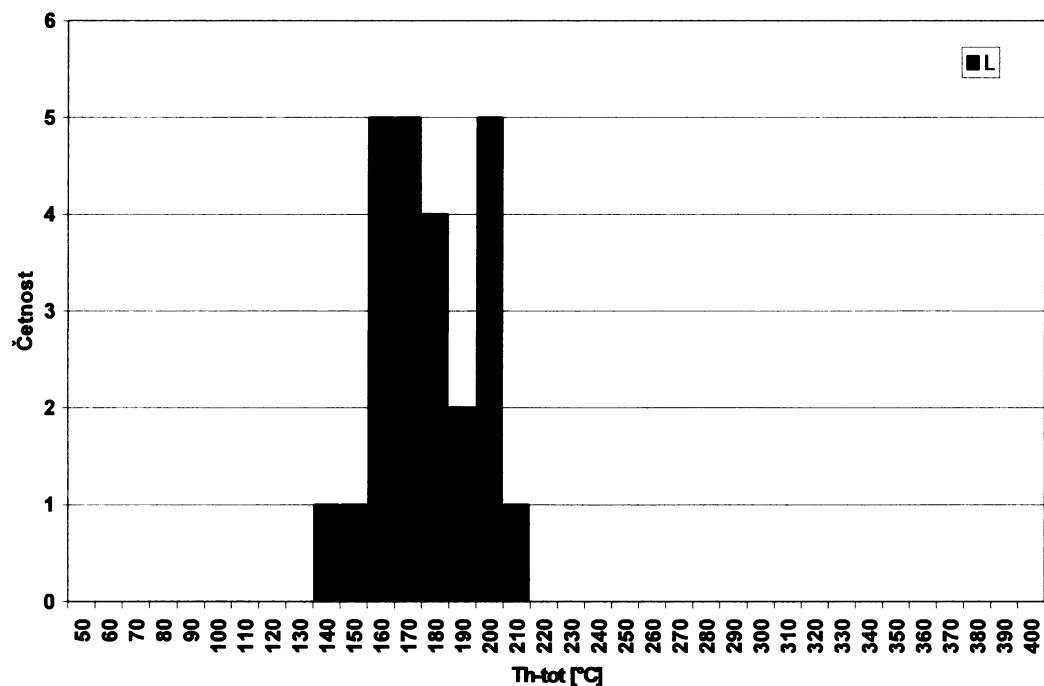
Úlomek 2

Jedná o průřez automorfně omezeným krystalem Q2, paralelním s osou c. Inkluze pouze dvoufázové H₂O vyskytující se na paralelních trailech, minoritně samostatně ve shlucích, nicméně přesné rozlišení inkluzí na primární/sekundární opět nebylo možné. Tvar suboválný až nepravidelný v důsledku porušení inkluzí, velikost běžná (~ 5-20 μm). Stupeň zaplnění převážně konstantní ~0,90; méně často 0,70. Teplota vymrznutí při -35 °C. Na základě salinity a teploty homogenizace byly rozlišeny dvě skupiny fluid: fluida s velmi nízkou salinitou (T_{m-ice} -0,7 až -1,0 °C) a Th-tot v rozmezí 140 až 170 °C; a fluida o vyšší salinitě (T_{m-ice} -1,6 až -1,8 °C) a s vyššími Th-tot 194 až 202,5 °C (obr. 48). Všechny inkluze homogenizovaly na kapalinu (obr. 47).

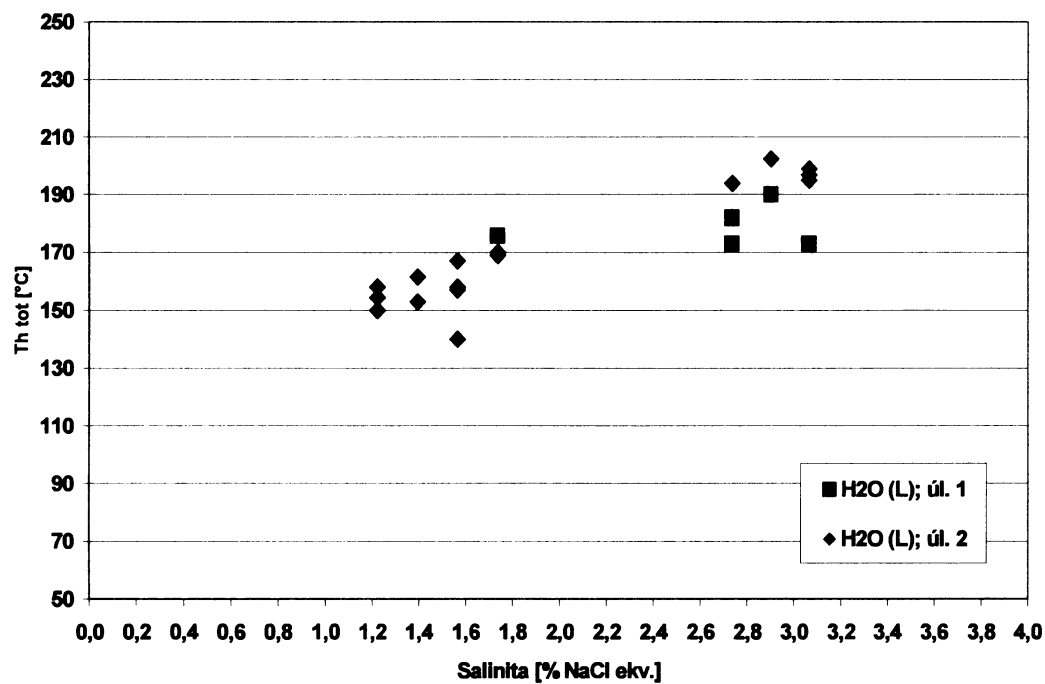
Tab. 8. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O inkluzí v křemenu Q2.

	H ₂ O inkluze
T _{m-ice}	-0,7 až -1,8 °C
Th-tot (L)	140 až 202,5 °C
Max. četnost	150 až 170; 190 až 200 °C
Salinita	1,2 až 3,1 hm. % NaCl _{ekv.}
F	0,70-0,95

Obr. 47. Histogram teplot homogenizace (T_{h-tot}) H_2O inkluzí v křemenu Q2.



Obr. 48. Graf teploty celkové homogenizace (T_{h-tot}) x salinita v křemenu Q2.

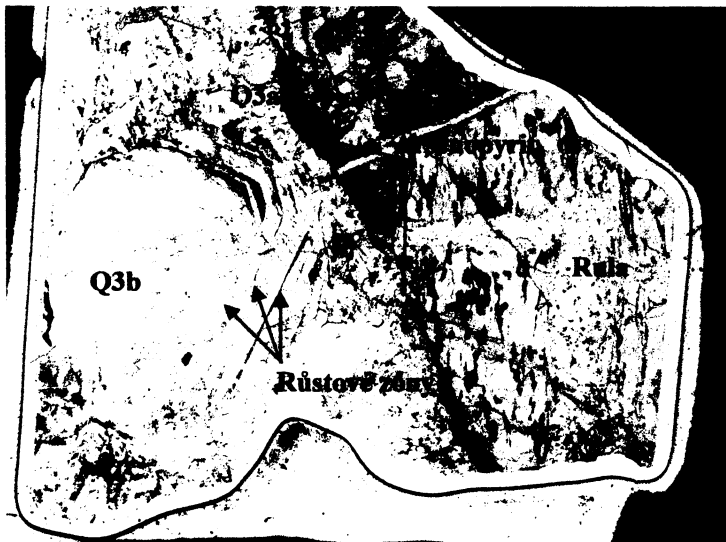


7.5 Vzorek K 12 AN

Jedná se o řez napříč cca 18 mm mocnou křemennou žilkou 3. generace (Q3) od okraje horniny. Žilovina má drúzovitou texturu a je výrazně symetricky zonální: zrnitost se zvětšuje od okraje (1-2 mm) ke středu (cca 1 cm). Tímto směrem také postupně na sebe narůstají jednosměrně orientované křemenné krystaly/zrna. Nejstarší generace křemene mají v sobě zarostlé zbytky okolní horniny. Všechna zrna obsahují velké množství fluidních i pevných inkluzí, jejich uspořádání je často výrazně paralelní s habitem křemene (primární inkluze). Směrem do středu žíly ubývá četnosti inkluzí v křemenných zrnech.

Krystalizační sukcese začala zhruba 1 mm mocnou vrstvou arsenopyritu, poté následoval křemen ve dvou fázích:

1. Starší jemnozrný křemen přecházející do palisádového vývoje označený jako Q3a (výrazně luminiscenční křemen, viz obr. 19) tvořený automorfními krystaly velikosti 1-2 mm, z nichž některé vykazují „feathery texturu“, jiné mají tmavá jádra tvořená velkým množstvím fluidních i pevných inkluzí.
2. Mladší hrubě krystalický křemen Q3b (monokrystal, místy se zřetelnými růstovými zónami, luminiscence minimální), vyplňující centrální dutinu v žilovině (obr. 49). Na makrovzorku na tento nejmladší křemen dále nasedají klence dolomitu.



Obr. 49. Výbrus (2 x 2 cm), kontakt horniny a křemene Q3. Růstové zóny v nejmladším, hrubě krystalickém křemeni Q3b jsou zvýrazněny výraznou akumulací fluidních a pevných inkluzí.

Fluidní inkluze v Q3a i Q3b jsou pouze H₂O typu; shrnutí mikrotermometrických údajů viz tab. 9 a 10.

Křemen Q3a – palisádový křemen

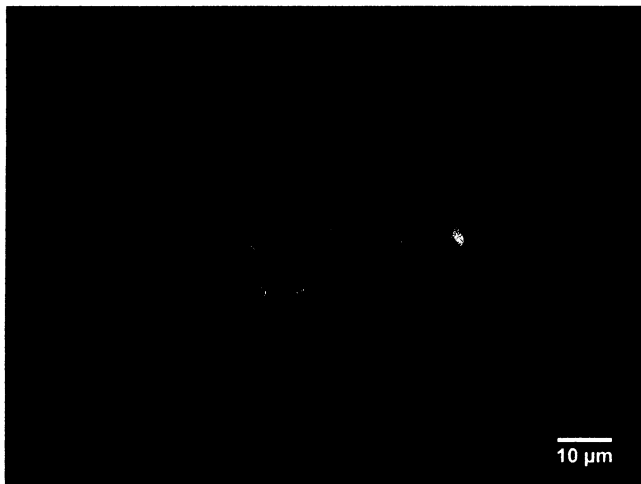
Úlomek 1

Nejmladší krystal typu Q3a, který je již lemován křemenem Q3b. Inkluze jsou rozmístěny nepravidelně, částečně do vějířovitého tvaru, část také na trailech. Podle obsahu a morfologie lze rozlišit přibližně 2 skupiny inkluzí, které však nejspíše tvoří jednu populaci (odlišnosti vznikly patrně vlivem procesu necking down):

- a) Dvoufázové kapalinou bohaté H₂O inkluze, často (~ v 50 %) s přítomností pevné fáze s nejasnými obrysy – jehlicovité/šupinkovité agregáty (obr. 50). Stupeň zaplnění je variabilní 1,0 až 0,70; nejčastěji však ~0,90. Velikost inkluzí různá od 5 do 100 μm. Tvar převažuje nepravidelný.

b) Dvoufázové až jednofázové H₂O vodné inkluze bez pevné fáze (obvykle jsou menší než výše uvedené, převažují v poslední růstové zóně).

V tomto úlomku bylo měřeno celkem 5 populací inkluzí primárního/pseudosekundárního charakteru (P/PS). Teplota tání posledního krystalu ledu (T_{m-ice}) se pohybuje v rozmezí hodnot od -3,5 až -5,6 °C, nejčastěji ale okolo -4 až -4,3 °C (obr. 52). Teplota celkové homogenizace se pohybuje v rozmezí 144 až 182 °C, způsob na kapalinu (obr. 51).



Obr. 50. H₂O kapalinou bohatá inkluze s pevnou fází snopkovitého habitu (patrně náhodně zachycený muskovit).

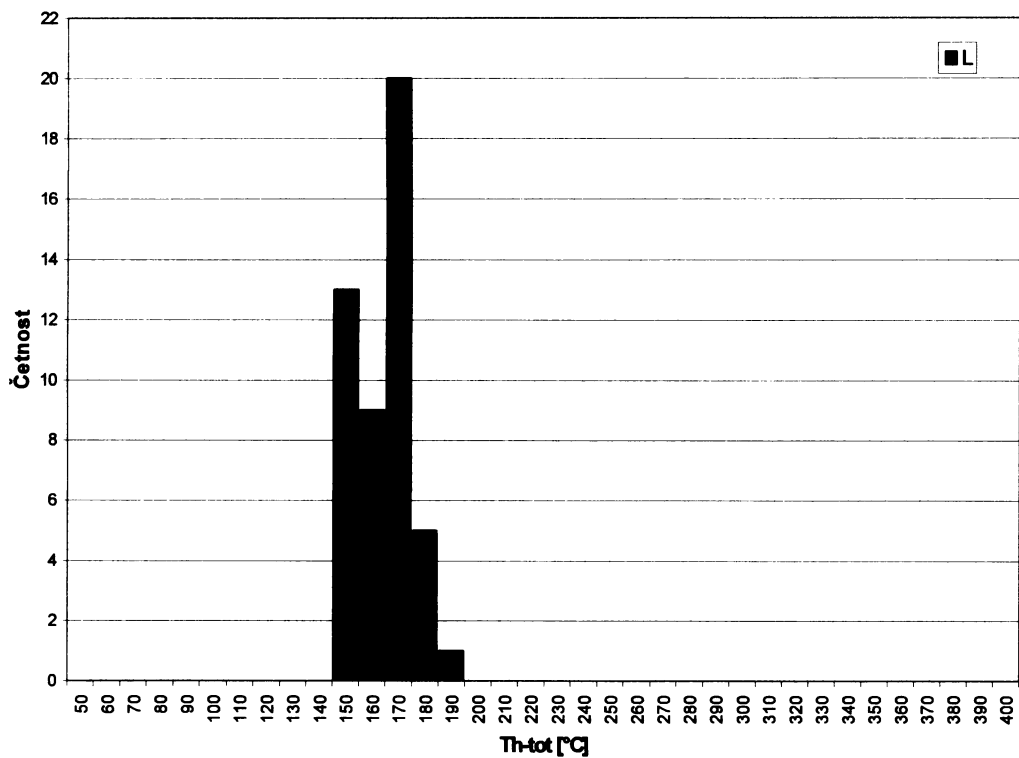
Úlomek 2

Krystal Q3a, převažují jednofázové inkluze H₂O a jednofázové inkluze s neidentifikovatelným obsahem (pevné?). Mezi nimi se vyskytuje i několik dvoufázových kapalinou bohatých inkluzí s F ~0,95 (zřejmě primárního charakteru), ve kterých bylo pozorováno tání ledu při -4 až -4,3 °C (obr. 52). Teplota celkové homogenizace se pohybuje okolo hodnoty 160 °C, způsob na kapalinu (obr. 51).

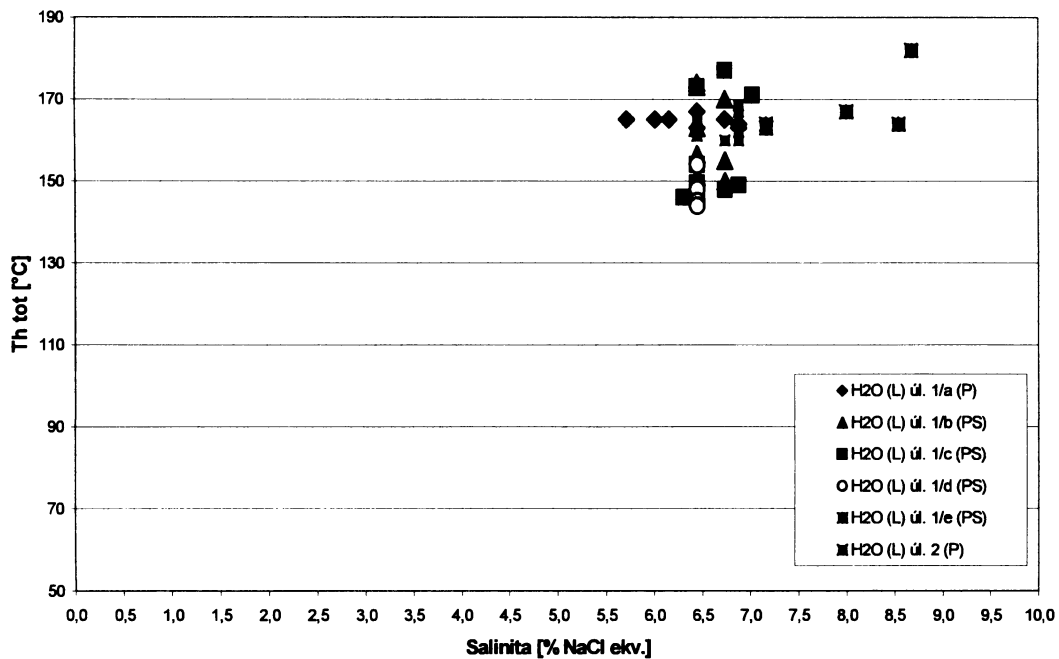
Tab. 9. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O inkluzí v křemenu Q3a.

	H ₂ O inkluze (P/PS)
T _{m-ice}	-3,5 až -5,6 °C
Th-tot (L)	144 až 182 °C
Max. četnost	160 až 170 °C
Salinita	5,7 až 8,7 hm. % NaCl _{ekv.}
F	0,70-1,0

Obr. 51. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemenu Q3a.



Obr. 52. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita v křemenu Q3a.



Křemen Q3b – velké čiré zrna (monokrystal) z centrální dutiny

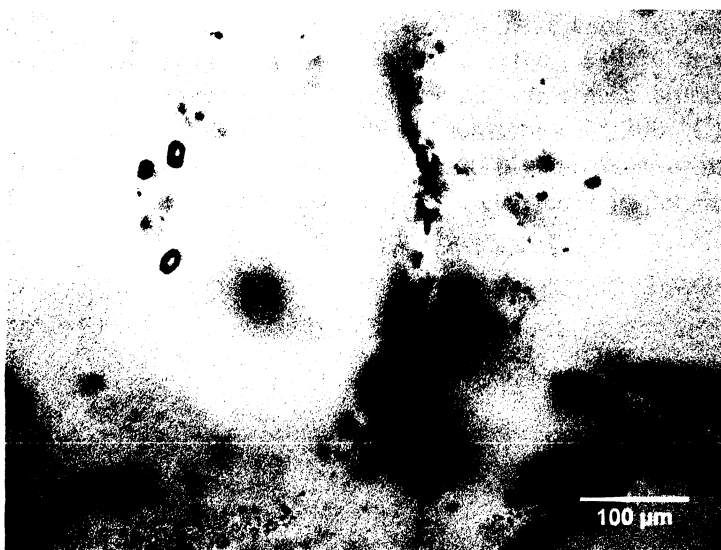
Úlomek 1

Jedná se o úlomek čirého křemenného zrna typu Q3b ze středu žíly (dutiny). Obsahuje relativně malé množství inkluzí (vzhledem k Q3a), které však mají větší rozměry. Většina inkluzí leží na trailech, tyto traily však jsou výrazně intrakrystalinní (nepřechází do dalšího zrna).

Měřeny byly dvě populace inkluzí:

- H₂O inkluze tvaru negativních krystalů o velikosti 5-30 μm, při pokojové teplotě jednofázové tmavé (obr. 53), vzácně i dvoufázové (F ~0,80-0,90). Tyto inkluze byly jednak roztroušeny v osamocených shlucích, jednak tvořily krátké traily (P/PS charakter). Vymrznutí inkluzí kolem -40 °C, při -33 °C již určitě docházelo k tání ledu. Při měření T_{m-ice} bylo jejich chování nestandardní – při opakovaných měřeních tál poslední krystal ledu v té samé inkluzi za rozdílných teplot. Důvod tohoto chování je nejasný. Naměřená data se pohybují přibližně kolem dvou hodnot: -5,0 °C a -3,5 °C (obr. 57).
- Populace H₂O dvoufázových kapalinou bohatých suboválných inkluzí až tvaru negativních krystalů, malých rozměrů (5-10 μm), s konstantním stupněm zaplnění ~0,90; tvořící osamocený shluk při rohu úlomku (primární původ). Teplota vymrznutí kolem -40 °C, T_{m-ice} tentokrát zcela jasně při -5,5 °C ve všech inkluzích (obr. 57). Homogenizace probíhala na kapalinu (L) za teplot v intervalu 152 až 169 °C (obr. 56).

Obr. 53. Populace jednofázových H₂O inkluzí tvaru negativních krystalů.



Úlomek 2

Úlomek při okraji krystalu (tj. blíže k Q3a) – jedná se o růstovou zónu (primární charakter inkluzí), možné její křížení s trailem. Populace H₂O dvoufázových kapalinou bohatých nepravidelných inkluzí, vzácně s přítomností pevné transparentní fáze. Mezi běžnými inkluzemi (do 20 μm) bylo přítomno i několik větších inkluzí (max. 50 μm, obr. 54). Stupeň zaplnění dvoufázových inkluzí byl konstantní ~0,95. Hodnota T_{m-ice} -4 °C; Th-tot v rozmezí 123 až 137 °C na kapalinu (obr. 57). Dále byly měřeny dva traily inkluzí (F ~0,95): T_{m-ice} -4,1 až -4,2 °C; Th-tot v rozmezí 112 až 122 °C (obr. 57), způsob na kapalinu (L). Vzhledem

k podobnosti hodnot s růstovou zónou zřejmě pseudosekundárního (PS) charakteru.

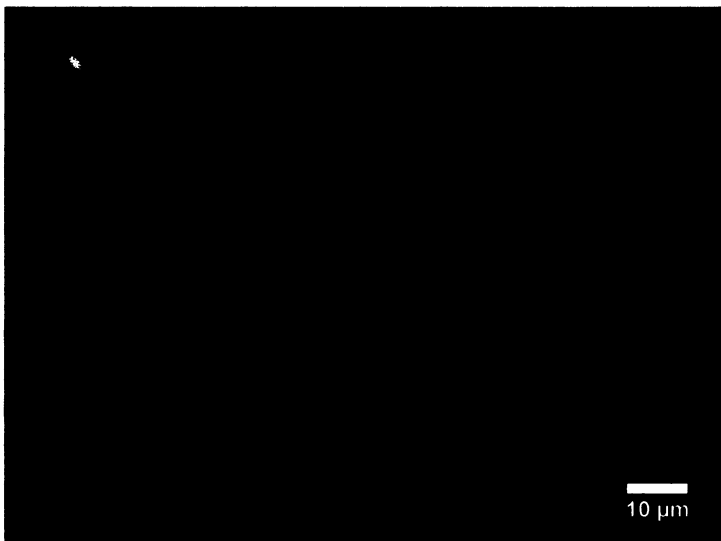


Obr. 54. H₂O dvoufázové kapalinou bohaté nepravidelné inkluze růstové zóny.

Vzorek KA 12B - 2000

Monokrystal křemene Q3b obsahující H₂O inkluze:

- a) Hojně trailly tvarově nepravidelných inkluzí, směs jedno- a dvoufázových (možné uplatnění procesu necking down).
- b) Trailly a zejména shluky inkluzí s převahou inkluzí plynem bohatých, obvykle izometrického tvaru, či tvaru negativních krystalů. Některé populace obsahují jak dvoufázové kapalinou bohaté, tak i jednofázové plynné inkluze a přechody mezi nimi - jedná se proto o asociaci zachycenou za podmínek varu (obr. 55). Dále jsou téměř vždy přítomny i inkluze jednofázové kapalné, pro něž nemáme vysvětlení. Nejnižší naměřená teplota homogenizace byla 139 °C (na kapalinu). Většina dvoufázových kapalinou bohatých inkluzí má však nižší stupeň zaplnění za pokojové teploty a homogenizují proto za vyšších teplot (> 200 °C). Tyto inkluze patrně reprezentují mechanické směsi kapalné a plynné fáze a jejich teplota homogenizace nemá geologickou interpretaci. Rozpětí salinit je poměrně široké: Tm-ice -2,8 až -7,4 °C (obr. 57).

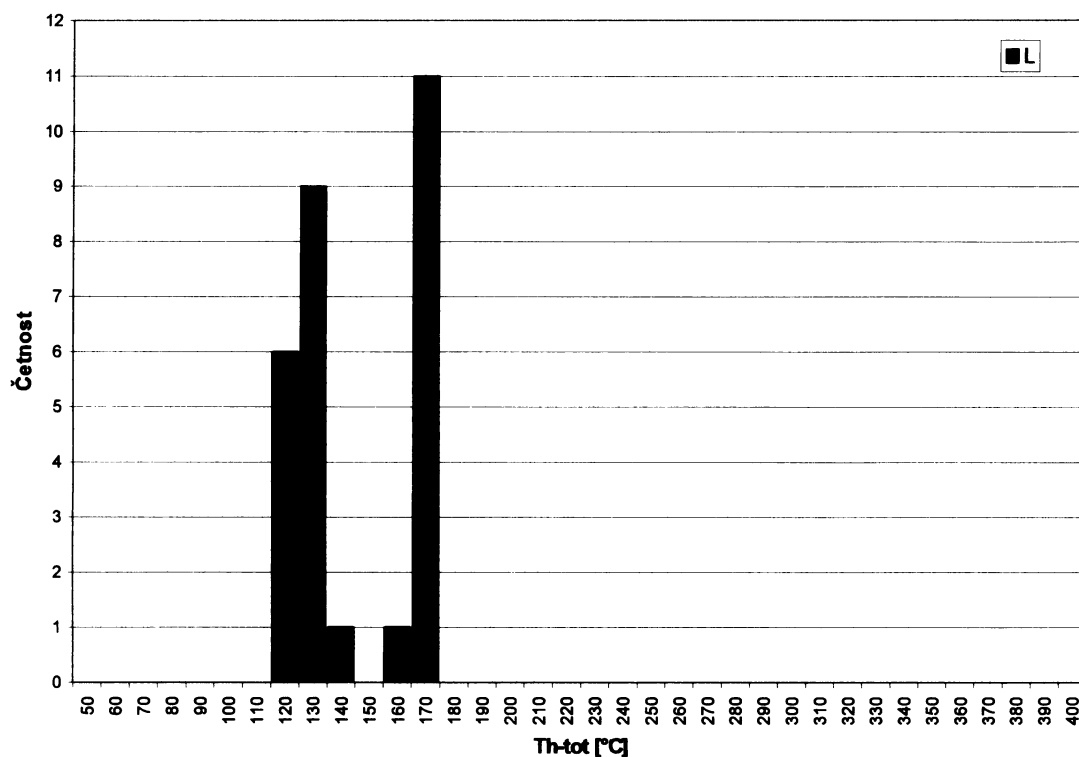


Obr. 55. H₂O inkluze asociace varu: inkluze dvoufázové kapalinou bohaté, jednofázové plynné a přechody mezi nimi.

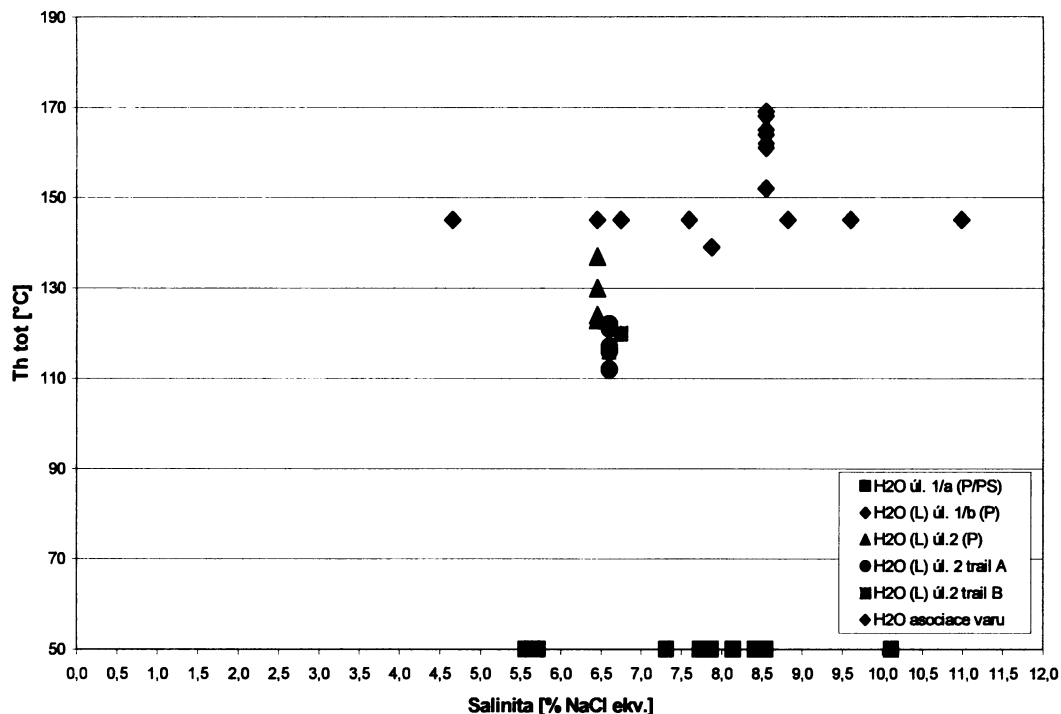
Tab. 10. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O inkluzí v křemenu Q3b.

	H ₂ O inkluze (P/PS)	Asociace varu
T _{m-ice}	-3,4 až -6,7 °C	-2,8 až -7,4 °C
Th-tot (L)	112 až 169 °C	139 °C
Max. četnost	160 až 170 °C; 120 až 130 °C	
Salinita	5,6 až 10,1 hm. % NaCl _{ekv}	4,6 až 11 hm. % NaCl _{ekv}
F	0,80-1,0	variabilní

Obr. 56. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemenu Q3b.



Obr. 57. Graf teploty celkové homogenizace (T_h -tot) x salinita v křemeni Q3b. Symboly ležící na ose x představují jednofázové inkluze. Inkluze, které vznikly v důsledku varu fluida a mají proto variabilní stupeň zaplnění jsou zobrazeny inkluzí s nejvyšším stupněm zaplnění (T_h -tot: 139 °C). Pro zobrazení zbývajících inkluzí byla použita přibližná hodnota teploty varu (145 °C) a změřené hodnoty salinit.



7.6 Vzorek KAL-53

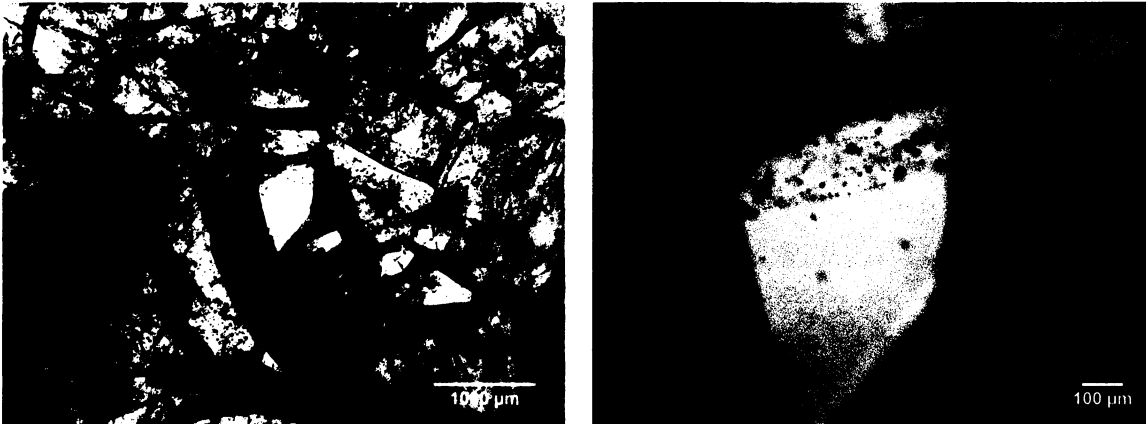
Destička je tvořena křemenem 1. generace (Q1) a četnými tabulkovitými agregáty molybdenitu. Žilovina vykazuje dlaždicovitou texturu (zrna jsou xenomorfní, ale stejné velikosti), občas s náznaky automorfního omezení při krystalizaci do dutin; zhášení je homogenní. V důsledku velkého množství malých, neměřitelných fluidních inkluzí je hlavní podíl křemene šedě zbarven a neprůhledný. Minoritně se vyskytují čirá zrna (méně fluidních inkluzí, ale větších rozměrů), zejména v blízkosti agregátu molybdenitu. Tato zrna patří k pozdější fázi precipitace křemene 1. generace. Molybdenit se vyskytuje podél hranic zrn nebo na trhlinách napříč zrny, jeho agregáty jsou opět lemovány křemenem s minimální luminiscencí (Q2). Vzorek KAL-53 je zcela výjimečný výskytem vysoce salinních H_2O inkluzí (tj. inkluzí s dceřiným krystalem halitu za pokojové teploty), sdružených s H_2O inkluzemi kapalinou/plynem bohatými. Tato asociace je typická pro zachycení fluida v podmínkách varu roztoku.

Úlomek 1

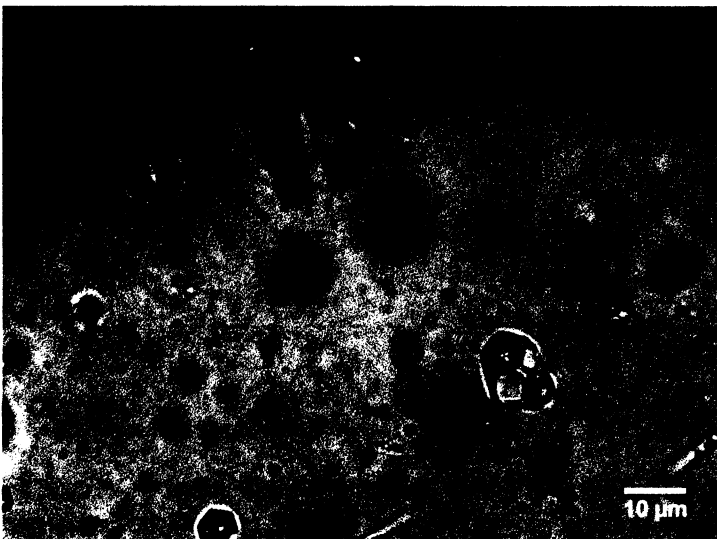
Hypautomorfně omezené čirá zrna (pozdější fáze krystalizace křemene Q1) s patrnými přírůstkovými zónami, nacházející se mezi agregáty molybdenitu (obr. 58). Růstové zóny jsou zvýrazněné pásy vysoce salinních polyfázových inkluzí a inkluzí plynem bohatých (obr. 59), vzácně také s obsahem pevných fází (zachycené). Velikost inkluzí kolem 10 μm , tvar negativních krystalů. Stupeň zaplnění plynem bohatých inkluzí ~0,50, salinních polyfázových ~0,80. Měřené salinní inkluze primárního charakteru homogenizují dvěma způsoby:

- a) Během zahřívání se nejdříve rozpustí halit, poté homogenizují kapalná a plynná fáze na kapalinu: $L+V+H \rightarrow L+V \rightarrow L$. Hodnoty T_h -tot 290 až 303,5 °C, hodnoty T_s -NaCl 270-300 °C (obr. 62, tab. 11).
- b) Nejdříve homogenizuje plynná a kapalná fáze (na kapalinu), při dalším zahřívání dojde k rozpuštění halitu (H): $L+V+H \rightarrow L+H \rightarrow L$. Hodnoty T_h -tot se pohybovaly v rozmezí 270 až 340 °C, teploty tání halitu (T_s -NaCl) v rozmezí 289 až 395 °C. (obr. 62, tab. 11).

Obr. 58. Vlevo pozice měřeného čírého zrna v rámci destičky; vpravo detail zrna s viditelnými přírůstkovými zónami.



Obr. 59. Růstová zóna s pásy plynem bohatých inkluzí a inkluzí vysoce salinních; typických pro asociaci varu roztoků.

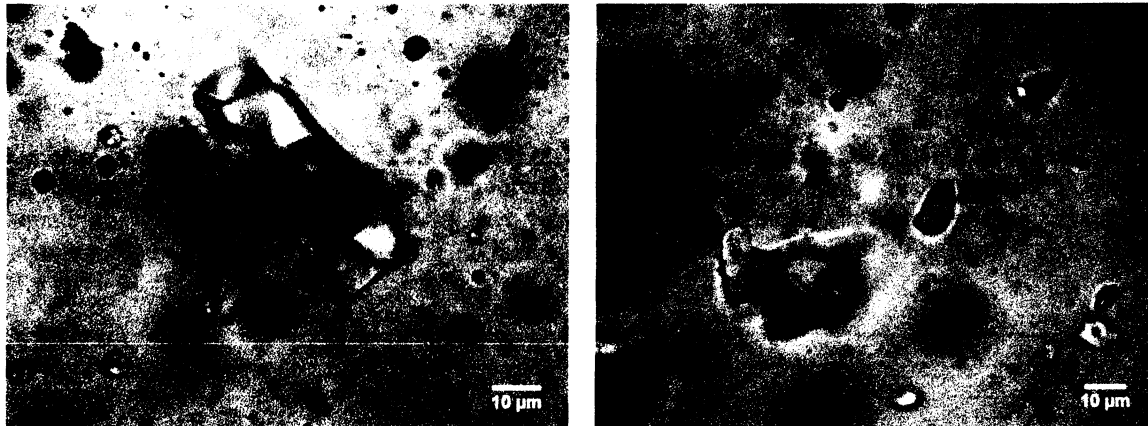


Úlomek 2

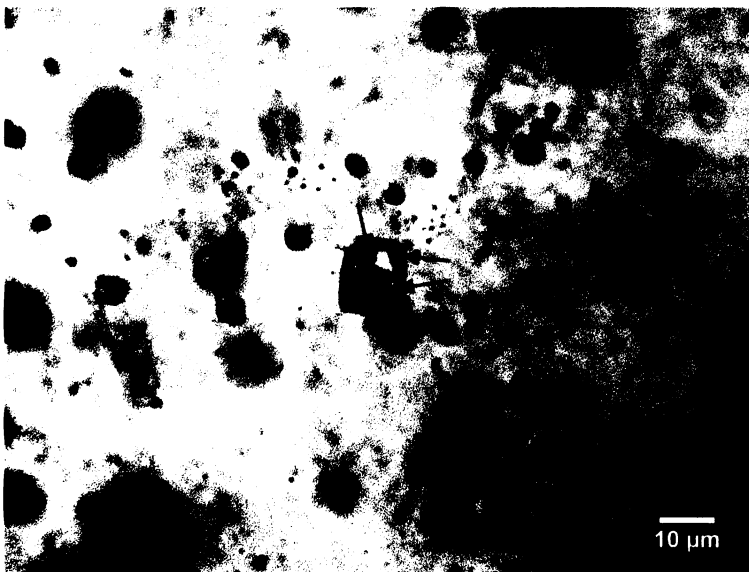
Čirý úlomek z těsné blízkosti agregátu molybdenitu, ve kterém se opět vyskytují inkluze asociace varu: H_2O vysoce salinní inkluze a kapalinou/plynem bohaté inkluze. V rámci tohoto úlomku mohou být inkluze rozděleny do pěti typů: 1. inkluze, které se zdají být čistě plynné (raritní, < 1 % z inkluzí); 2. inkluze plynem bohaté (často při okraji s drobnou, opakní pevnou fází); 3. inkluze kapalinou bohaté (také s drobnou, opakní pevnou fází); 4. inkluze vysoce salinní polyfázové; 5. inkluze typu „multisolid“ (raritní, pod 1 % z inkluzí, tyto inkluze mohou být porušené nebo se jedná o větší množství zachycených fází). Polyfázové inkluze

v obou úlomcích obsahují běžně 3 až 5 zachycených pevných fází různého habitu: oválné transparentní, tabulkovité transparentní, drobné opakní fáze, fáze jehlicovitého habitu atd. (obr. 59, 60, 61).

Obr. 60. Kapalinou bohatá inkluze s drobnou opakní fází při okraji (vlevo); vpravo kapalinou bohatá inkluze s červenou tabulkovitou fází (hematitem?).



Obr. 61. Samostatná polyfázová inkluze s $F \sim 0,80$; kromě plynné fáze a kubického krystalu halitu (NaCl) můžeme pozorovat další 3 neidentifikované pevné fáze (viz šipky).



Měřené vysoce salinní polyfázové inkluze tvoří 3D shluky nebo krátké trailly; vzhledem k podobnosti obsahu inkluzí i naměřených hodnot se jedná o směs inkluzí primárních a pseudosekundárních (P/PS). Velikost inkluzí je běžná ($\sim 5-30 \mu\text{m}$), tvar nepravidelný až negativní krystaly. Stupeň zaplnění salinních polyfázových inkluzí typicky $\sim 0,80$; minoritně $\sim 0,90-0,95$ (výrazně ostrohranné inkluze, zřejmě porušené). Měřené salinní inkluze homogenizovaly opět dvěma způsoby:

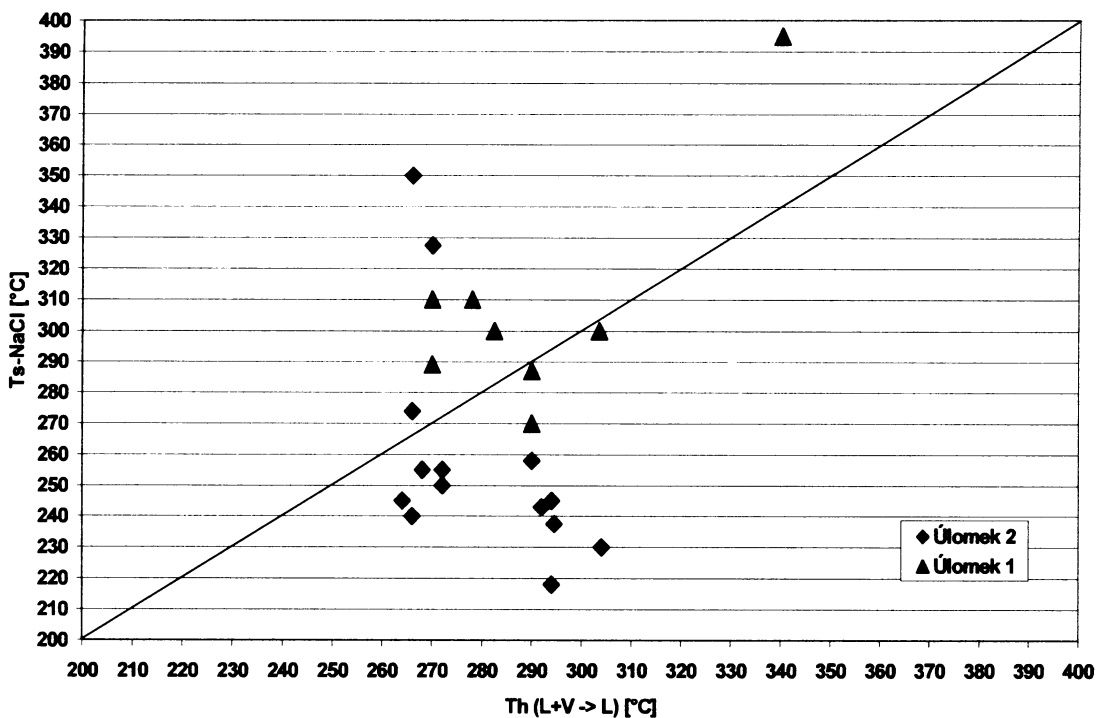
- $L+V+H \rightarrow L+V \rightarrow L$. Hodnoty $T_{\text{h-tot}}$ 264 až 304 °C, hodnoty teploty tání halitu ($T_{\text{s-NaCl}}$) 218-258 °C. (obr. 62, tab. 11)
- $L+V+H \rightarrow L+H \rightarrow L$. Hodnoty $T_{\text{h-tot}}$ 266 až 270 °C, $T_{\text{s-NaCl}}$ v rozmezí 274 až 350 °C. (obr. 62, tab. 11)

Tab. 11. Shrnutí mikrotermometrických údajů vysoce salinních H₂O inkluzí ve vzorku KAL-53.

	L+V+H→L+V→L	L+V+H→L+H→L
Th-tot	264 až 304 °C	266 až 340 °C
Ts-NaCl	218 až 300 °C	274 až 395 °C
Salinita	32,8 – 38,2 hm. % NaCl	36,3 – 46,9 hm. % NaCl

Salinita inkluzí, které nejeví známky porušení, se pohybuje od 32,8 do 40,4 hm. % NaCl v rámci obou měřených úlomků.

Obr. 62. Graf teploty tání halitu (Ts-NaCl) x teplota homogenizace. Diagonálně proložená čára představuje místa se stejnou hodnotou teploty tání halitu i homogenizace plynné a kapalné fáze (na kapalinu). V inkluzích pod čarou se nejdříve rozpustí halit, poté následuje homogenizace kapalné a plynné fáze (L+V+H→L+V→L); inkluze nad čarou homogenizují opačným způsobem (L+V+H→L+H→L).



7.

8. SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

8.1 Shrnutí mikrotermometrických dat

Pro mikrotermometrické studium bylo vybráno 6 vzorků pocházejících z dolu Jakub u Kasejovic. Fluidní inkluze byly měřeny v křemenné žilovině tří generací: nejstarší Q1, Q2 a nejmladší křemen Q3 (obr. 72). Obsažené inkluze jsou H₂O-CO₂ a H₂O typu. Ve vzorku KAL-53 byly nalezeny vysoce salinní polyfázové inkluze H₂O (s dceřiným krystalem halitu) zachycené při varu roztoků. Tento vzorek je anomální a bude popisován zvlášť. Z hlediska genetické klasifikace jsou inkluze primárního (P), pseudosekundárního (PS) a sekundárního (S) charakteru, ale ne vždy bylo možné jejich přesné rozdělení.

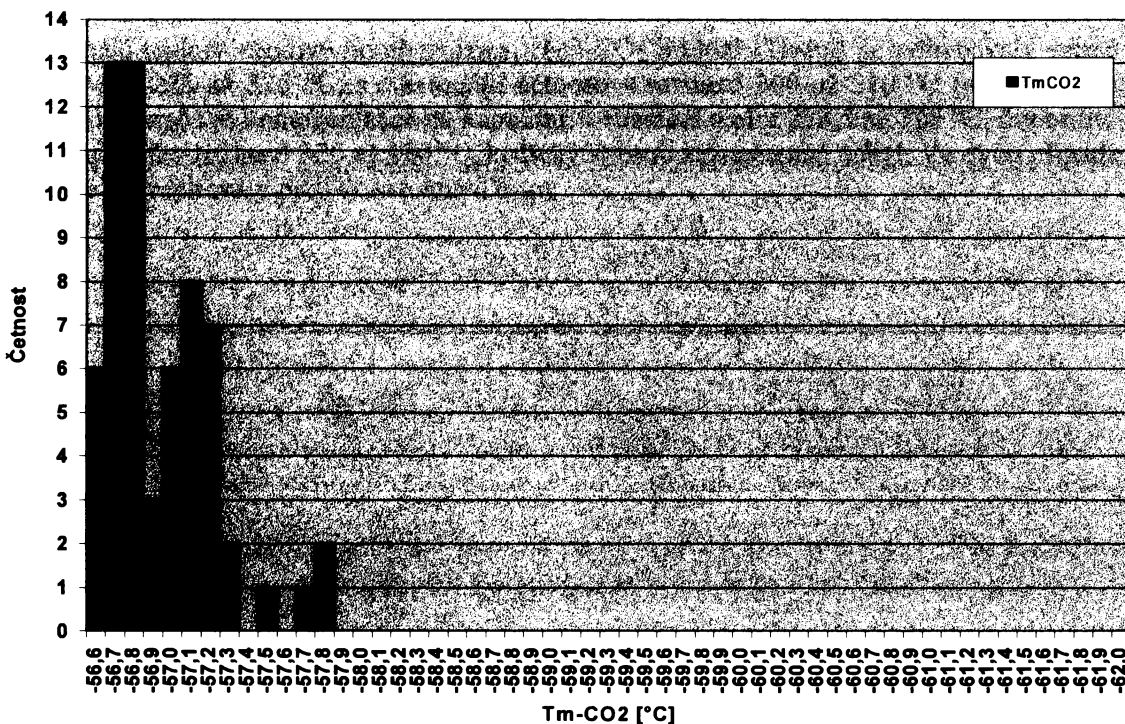
Křemen 1. generace

Nejstarší křemen 1. generace (Q1) tvoří největší podíl žiloviny (95 %). Obsahuje hojné primární a pseudosekundární inkluze H₂O-CO₂ typu (s příměsí dalších plynů – CH₄, N₂) a sekundární inkluze H₂O. Na základě studia katodové luminiscence řadíme ke křemenu Q1 naměřená data ze vzorku KAJ-1 (světle šedá luminiscence, viz obr. 20); a dále vzorky KAL-60 a KAL-61 vzhledem k podobnosti naměřených údajů.

H₂O-CO₂ inkluze (P/PS): Teplota prvního tání v důsledku velmi špatné viditelnosti a malé velikosti inkluzí nebyla měřena. Salinita odvozená z teploty tání klatrátu je velmi nízká: 0 až 2,4 % NaCl_{ekv.}.

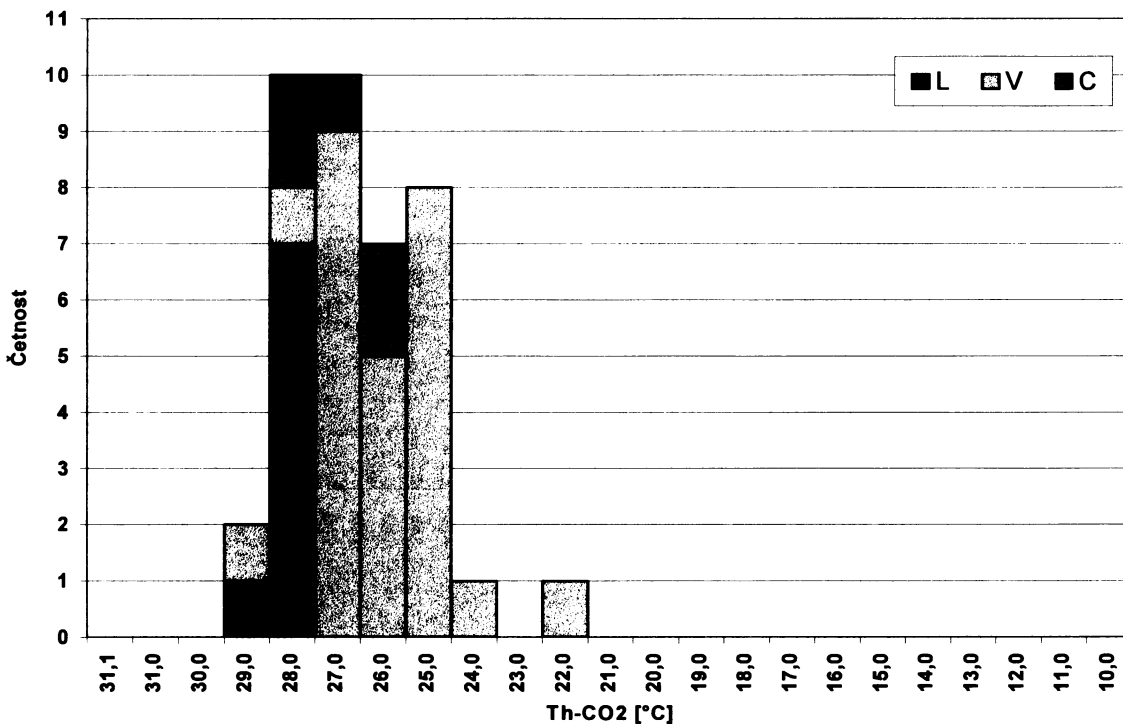
Teploty tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) se pohybovaly v rozmezí -56,6 až -57,8 °C, s maximální četností v intervalu -56,7 až -56,8 °C (obr. 63). Teploty tání pevného CO₂ nižší než -56,6 °C (teplota trojného bodu CO₂) indikují obsah dalších plynů (CH₄, N₂). Tato příměs ale nepřekračuje 5 mol. %.

Obr. 63. Souborný histogram teplot tání pevného CO₂ (T_m-CO₂) v křemenu 1. generace (Q1).



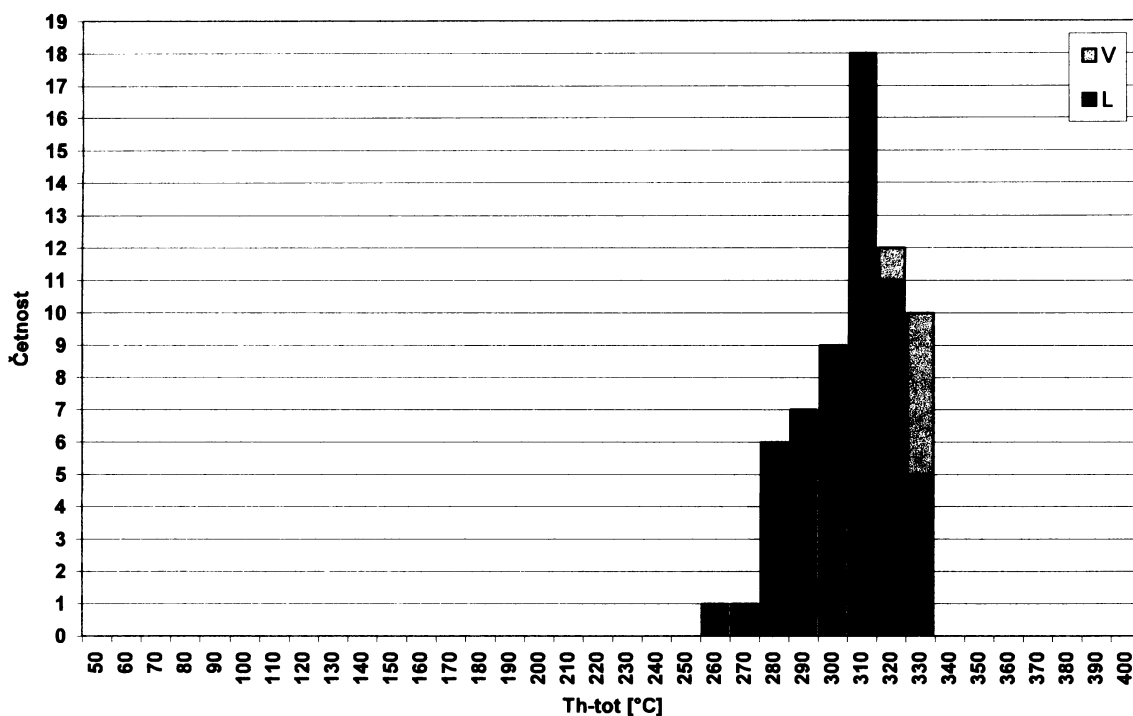
Teploty homogenizace CO₂ (Th-CO₂) se pohybovaly v rozmezí hodnot 22 až 29 °C. V cca 60 % byl zaznamenán způsob homogenizace na plyn v rozmezí 22 až 29 °C, dále homogenizace na kapalinu v rozmezí 27,2 až 28,3 °C. Minoritně (v 11 % případů) byl pozorován kritický způsob homogenizace v rozmezí 25,6 až 27,6 °C (obr. 64).

Obr. 64. Souborný histogram teplot homogenizace CO₂ (Th-CO₂) v křemenu 1. generace (Q1).



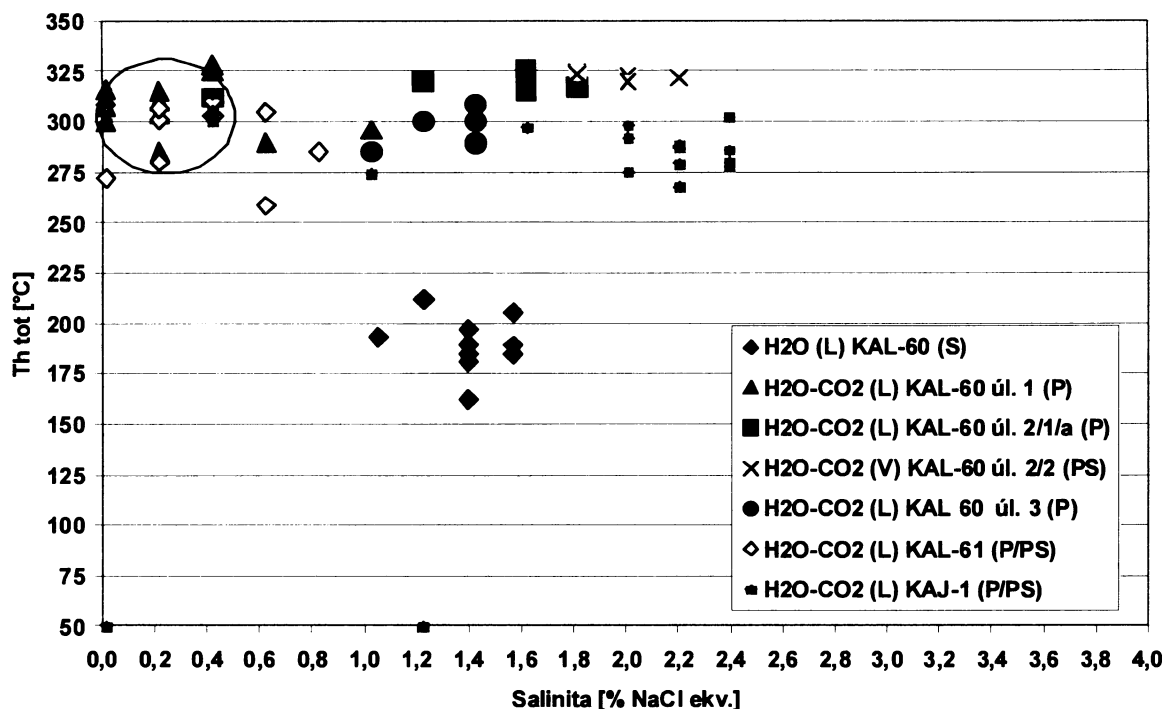
Naměřené teploty celkové homogenizace H₂O-CO₂ inkluzí (Th-tot) se pohybovaly zejména v intervalu 275 až 325 °C, s maximální četností v rozmezí 300 až 310 °C (obr. 65). Zcela převažoval způsob homogenizace na kapalinu, v rozmezí teplot 258,5 až 328 °C, minoritně (v 9 %) na plyn v rozmezí 320 až 330 °C, kritický způsob zaznamenán nebyl. Ve dvou případech inkluze dekrepitovaly před dosažením Th-tot.

Obr. 65. Souborný histogram celkové homogenizace H₂O-CO₂ inkluzí (Th-tot) v křemenu 1. generace (Q1).



Křemen Q1 precipitoval z H₂O-CO₂ fluid o nízké (< 2,4 % NaCl_{ekv.}) až nulové salinitě s rozpětím teplot homogenizace ~ 275 až 325 °C (obr. 66, tab. 12). V těsné blízkosti agregátu galenitu byly měřeny inkluze v čirém mladším křemenu (vzhledem ke zbytku vzorku), jejichž Th-tot se shodují s ostatními naměřenými daty (272 až 328 °C, způsob na kapalinu), ale salinita se pohybuje v rozmezí pouze 0 až 1 % (nejvíce 0 až 0,4) NaCl_{ekv.} (viz vzorek KAL-61 a úlolek 1 ve vzorku KAL-60, obr. 66). Stupeň zaplnění většiny inkluzí je homogenní a blízký hodnotě 0,70/0,80. Výjimečně (vzorek KAL-60) byly v blízkosti galenitu nalezeny inkluze s variabilním stupněm zaplnění (~0,70 až 0,40), Th-tot koncových členů této asociace inkluzí je 328-330 °C (salinita 2 % NaCl_{ekv.}); inkluze se stupněm zaplnění mezi 0,70 a 0,40 měřeny nebyly. Populace sekundárních H₂O inkluzí byla zachycena z fluid o salinitě 1,1 až 1,6 % NaCl_{ekv.} a Th-tot (L) zejména v intervalu 175 až 200 °C.

Obr. 66. Souborný graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita pro křemen Q1. Elipsa představuje nejmladší fázi krystalizace Q1 na kontaktu s rudními minerály (galenitem).



Tab. 12. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O-CO₂ inkluzí v křemenu Q1.

	H ₂ O-CO ₂ (P/PS)
Tm-CO ₂	-56,6 až -57,8 °C
Salinita	0 až 2,4 hm. % NaCl _{ekv.}
Th-CO ₂ (V)	22 až 29 °C
Th-CO ₂ (L)	27,2 až 28,3 °C
Th-CO ₂ (C)	25,6 až 27,6 °C
Th-tot (L)	258,5 až 328 °C
Th-tot (V)	320 až 330 °C

Křemen 2. generace

Křemen 2. generace (Q2) proniká po trhlinách, popř. lemuje křemen Q1 nebo tvoří idiomorfni zrna. Jeho nejmladší fáze (Q2b) je spjata s precipitací rudních minerálů. Na základě studia katodové luminiscence řadíme ke křemenu Q2 úlomky křemene ze vzorku KA-8. Tyto úlomky reprezentují automorfni krystaly křemene Q2 narůstající na Q1. Inkluze v nich obsažené jsou pouze H₂O typu. Ačkoliv jejich přesné genetické rozlišení nebylo možné (vyskytovaly se na intrakrystalinních trailech či izolovaně), lze s ohledem na salinitu primárních inkluzí v křemenu Q3 vyloučit, že by inkluze v Q2 obsahovaly fluida kogenetická s Q3, nebo mladší.

Salinita měřených fluid je nízká v rozmezí 1,2 až 3,1 % NaCl_{ekv.} Teploty homogenizace se pohybují v rozmezí 140 až 202,5 °C, způsob vždy na kapalinu (obr. 67).

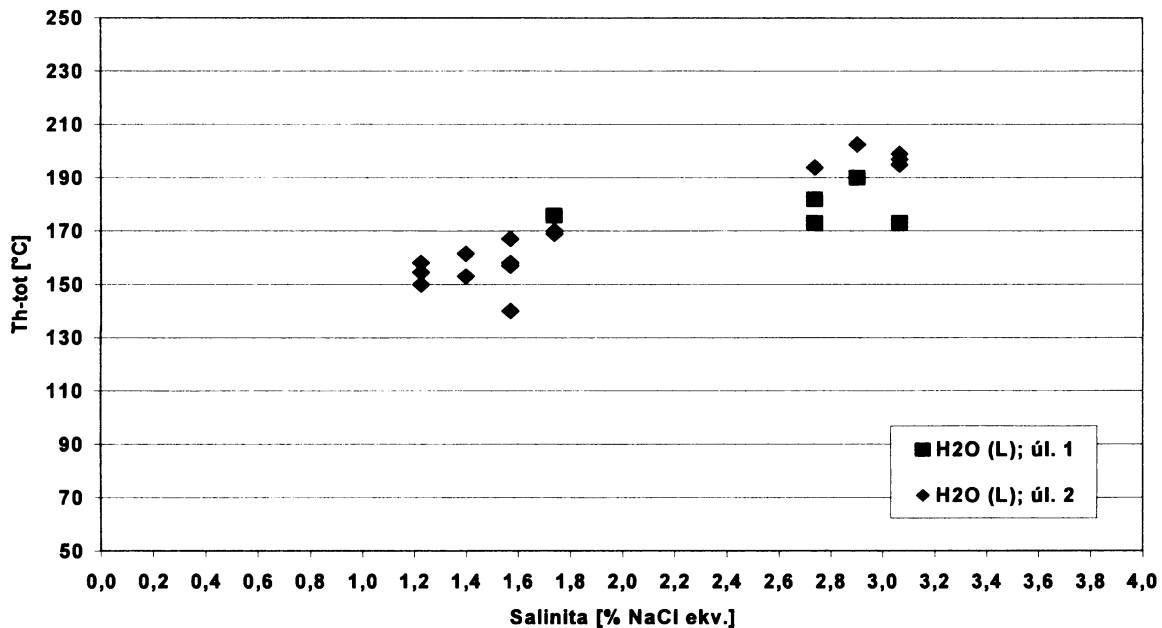
Obr. 67. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemenu Q2.



Pomocí salinity a teplot homogenizace můžeme fluida v křemenu Q2 rozdělit na dvě skupiny (obr. 68):

- fluida o vyšší salinitě (2,7 až 3,1 % NaCl_{ekv.}) a s vyššími Th-tot v rozmezí 173 až 202,5 °C, která považujeme za starší (kogenetická s Q2a);
- fluida s velmi nízkou salinitou (1,2 až 1,7 % NaCl_{ekv.}) a Th-tot v rozmezí 140 až 175 °C, která považujeme za mladší, spjatá s precipitací poslední fáze křemene (Q2b).

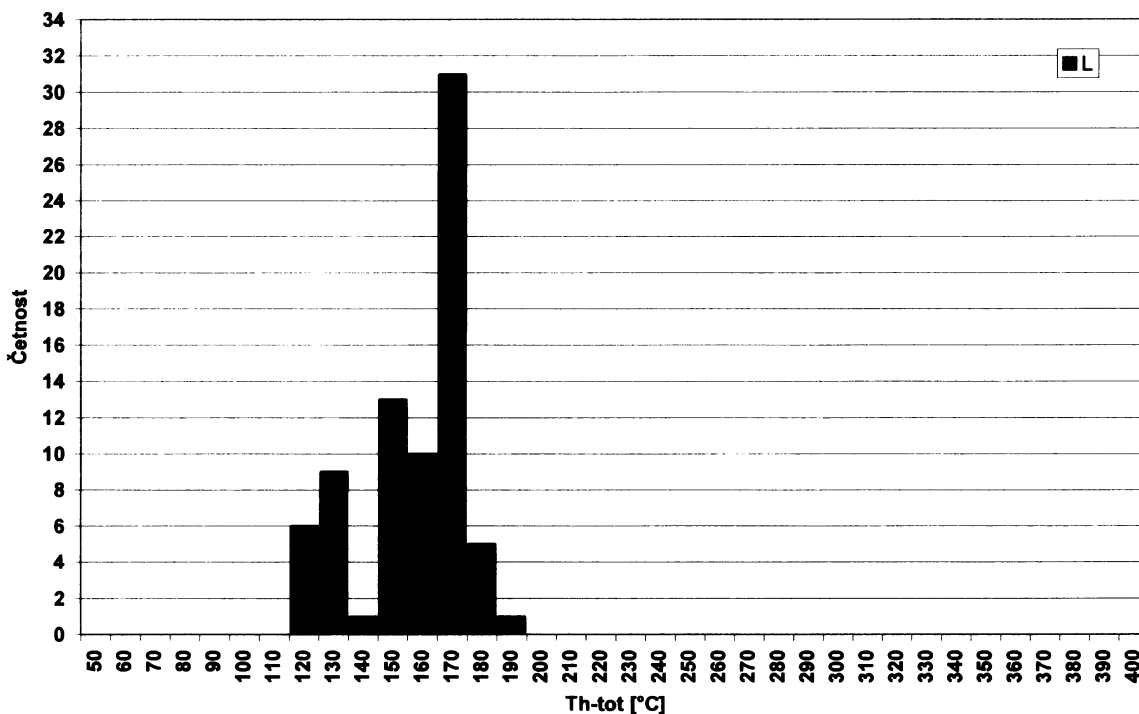
Obr. 68. Graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita pro křemen Q2.



Křemen 3. generace

Nejmladší křemen 3. generace (Q3) tvoří drobné automorfní krystaly nebo samostatné žilky. Na základě studia katodové luminiscence řadíme ke křemenu Q3 vzorek K 12 AN, ve kterém dále můžeme pomocí SEM-CL rozlišit dvě subgenerace (obr. 19) - starší Q3a a mladší Q3b. Křemen Q3 obsahuje pouze H₂O inkluze primárního a pseudosekundárního charakteru. Teplota prvního tání pozorována nebyla s výjimkou křemene Q3b (přibližně ~ -35 °C). Salinita měřených inkluzí dosahuje podstatně vyšších hodnot v porovnání s údaji křemene Q1/Q2 a také rozpětí hodnot je poměrně široké: 4,6 až 11 % NaCl_{ekv.} Homogenizace probíhá za teplot 112 až 182 °C, s max. četností v intervalu 160 až 170 °C, vždy na kapalinu (obr. 69, tab. 13).

Obr. 69. Histogram teplot homogenizace (Th-tot) H₂O inkluzí v křemenu Q3.

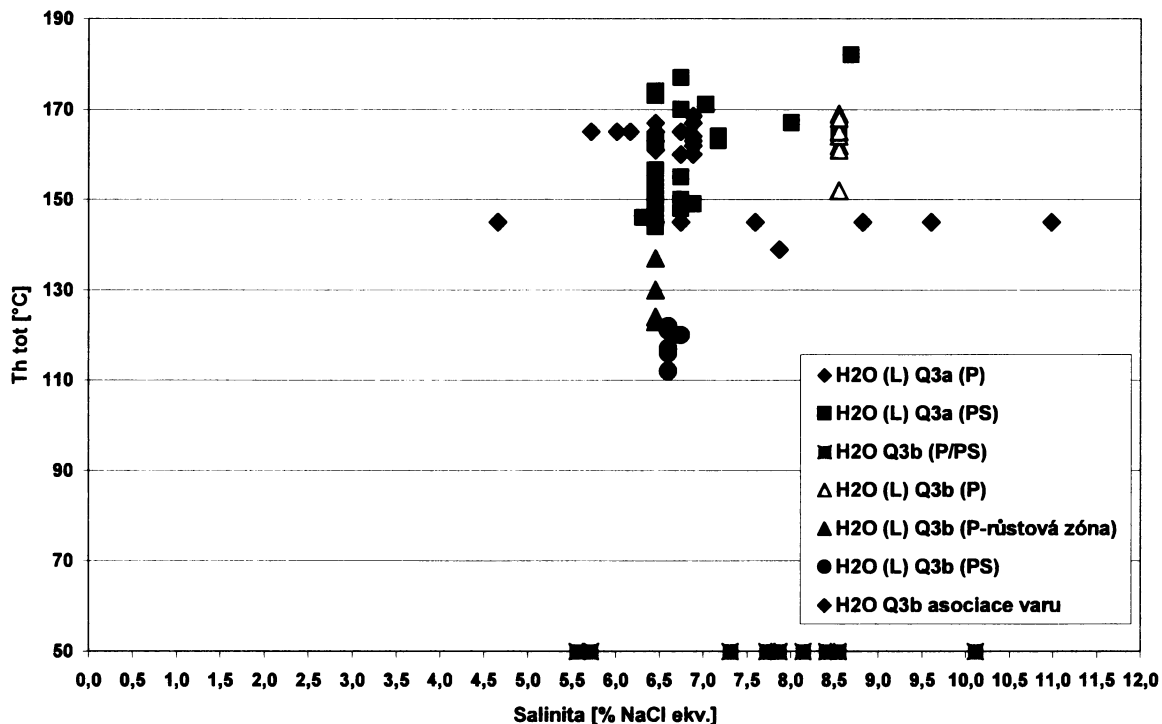


Starší křemen Q3a precipitoval z H₂O fluid o salinitě 5,7 až 6,9 % NaCl_{ekv.} (primární inkluze) s rozpětím hodnot Th-tot 160 až 170 °C. Pseudosekundární H₂O fluida mají širší rozsah salinit 6,3 až 8,7 % NaCl_{ekv.} i Th-tot: 144 až 182 °C (obr. 70).

Precipitace mladšího křemene Q3b proběhla z níže temperovaných fluid: Th-tot 123 až 169 °C o salinitě 5,6 až 10,1 % NaCl_{ekv.}; pseudosekundární fluida mají salinitu 6,6 až 6,7 % NaCl_{ekv.} a Th-tot 112 až 122 °C (obr. 70).

Po krystalizaci křemene Q3b došlo k pozdnímu varu roztoků při teplotě ~140 °C, výsledná salinita se pohybuje v rozmezí 4,6 až 11 % NaCl_{ekv.} Tyto inkluze se vyskytují pouze na trailech (v Q3b).

Obr. 70. Souborný graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita pro křemen Q3. Symboly na ose x představují jednofázové inkluze. Inkluze, které vznikly v důsledku varu fluida a mají proto variabilní stupeň zaplnění jsou zobrazeny inkluzí s nejvyšším stupněm zaplnění (Th-tot: 139 °C). Pro zobrazení zbývajících inkluzí byla použita přibližná hodnota teploty varu (145 °C) a změřené hodnoty salinit.



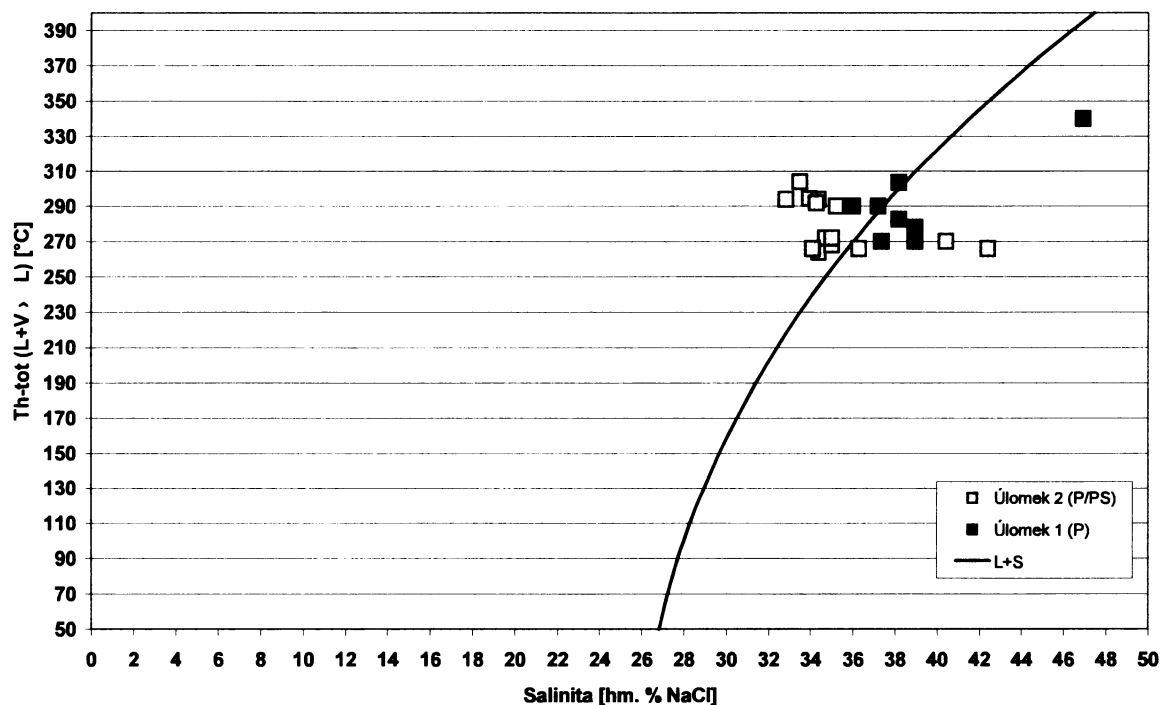
Tab. 13. Shrnutí mikrotermometrických údajů H₂O inkluzí v křemeni Q3.

	Q3a (P)	Q3a (PS)	Q3b (P)	Q3b (PS)	Asociace varu
Salinita	5,7 až 6,9 hm. % NaCl _{ekv.}	6,3 až 8,7 hm. % NaCl _{ekv.}	5,6 až 10,1 hm. % NaCl _{ekv.}	6,6 až 6,7 hm. % NaCl _{ekv.}	4,6 až 11 hm. % NaCl _{ekv.}
Th-tot (L)	~160 až 170 °C	144 až 182 °C	123 až 169 °C	112 až 122 °C	~ 140 °C

Vzorek KAL-53

Vzorek KAL-53 je výjimečný díky výskytu asociace inkluzí H₂O typu zachycených za podmínek varu fluida a projevujících se přítomností vysoce salinních (obr. 71) a plynem bohatých inkluzí. Při poklesu tlaku nebo teploty dojde k heterogenizaci fluida, při níž vznikají inkluze plynem bohaté s nízkou koncentrací solí (vzhledem k nízké rozpustnosti elektrolytů v páře) a naopak inkluze bohaté kapalinou s vysokými koncentracemi solí.

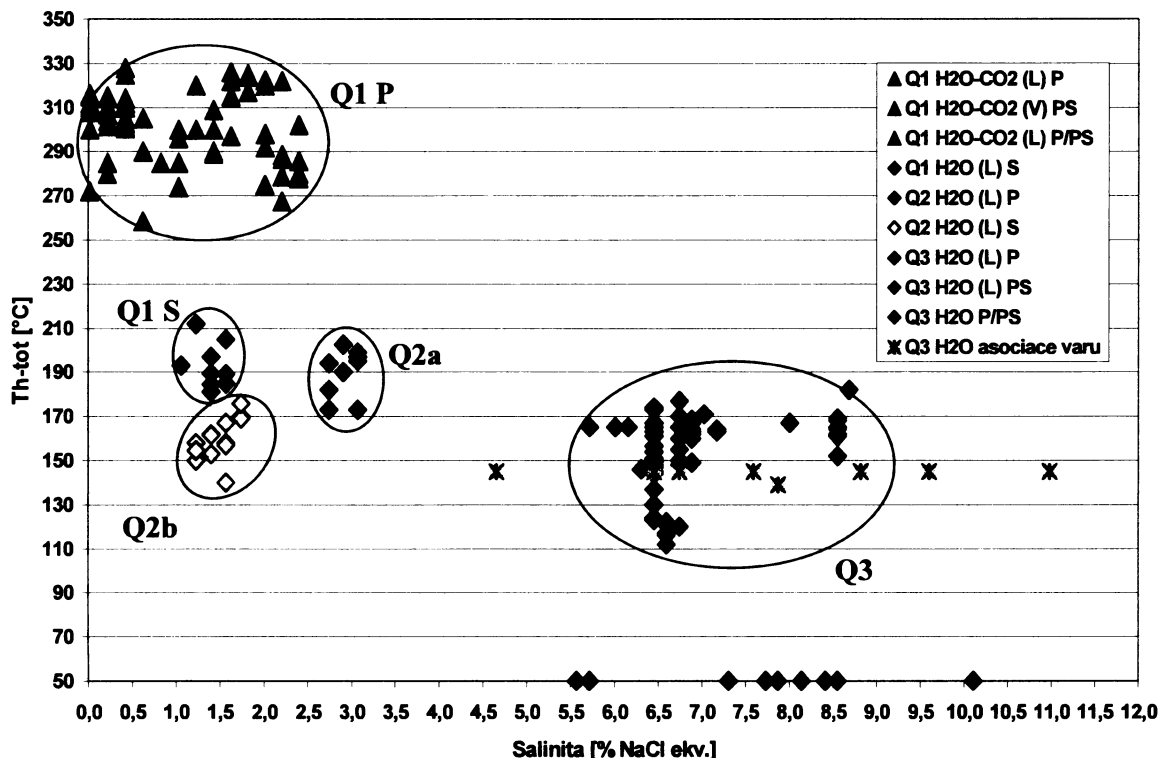
Obr. 71. Graf teploty tání halitu ($T_s\text{-NaCl}$) x teplota homogenizace. Zelená křivka představuje závislost maximální rozpustnosti halitu ve vodě na teplotě při tlaku nasycených par, vypočtená dle Sterner et al. (1988). Inkluze, které prodělaly var se typicky shlukují v okolí této křivky.



Porovnání fluid z jednotlivých generací křemene

Křemen 1. generace (Q1) precipitoval z $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ fluid o nízké salinitě (< 2,4 % $\text{NaCl}_{\text{ekv.}}$). Vznik křemene 2. a 3. generace (Q2, Q3) je spojen pouze s fluidy H_2O typu, v případě Q2 rovněž o nízké salinitě (< 3,1 % $\text{NaCl}_{\text{ekv.}}$); naopak salinita fluid křemene Q3 je podstatně vyšší - až 11 % $\text{NaCl}_{\text{ekv.}}$ (obr. 72). Velmi problematické je zařazení vzorku KAL-53, který texturně odpovídá křemenu Q1 (příp. jeho pozdější fázi), nicméně asociace fluidních inkluzí je pro danou lokalitu zcela netypická.

Obr. 72. Souborný graf teploty celkové homogenizace (Th-tot) x salinita pro všechny generace křemenné žiloviny (Q1-Q3). P, PS a S značí inkluze primární, pseudosekundární a sekundární.



8.2 Paralelizace generací křemene a minerální sukcese

Paragenetické charakteristice kasejovických zlatonosných žil byla v minulosti věnována značná pozornost, s důrazem především na podrobné studium chemismu a vzájemných vztahů rudních minerálů (nověji např. Litochleb a Šrein 1994, Litochleb 1998, Litochleb a Sejkora 2007). Litochlebem (1984a) byla vyčleněna čtyři vývojová stádia Au-mineralizace - křemenné, zlatonosné, polymetalické, kalcitové a v jejich rámci dvě generace křemene: křemen I., tvořící hlavní podíl žiloviny (křemenné stadium), a mladší křemen II, pronikající spolu s rudními minerály Au-nosného a polymetalického stádia do starší výplně.

Na základě nálezů unikátního vzorku (obr. 13), studia katodové luminiscence (obr. 19, 20, 22) a mikrotermometrických údajů rozlišujeme tři hlavní generace křemene oproti dříve rozlišovaným (Litochleb 1984a) dvěma generacím:

- Q1 - nejstarší křemen (shodný s křemenem I. dle dělení Litochleba 1984a), v jehož rámci odlišujeme pozdější fázi precipitace - čirý křemen v těsném kontaktu s rudními minerály (galenit v případě vzorku KAL-60, KAL-61);
- Q2 - dělený na subgenerace:
 - Q2a (čiré idiomorfnní krystaly velmi malých rozměrů narůstající na Q1), který se sráží pravděpodobně na začátku zlatonosného stádia spolu s muskovitem;
 - Q2b prostupující trhlinami v Q2a i Q1 (obr. 22); lemující minerály zlatonosného a polymetalického stádia (obr. 21c-d); v závěru svého

vzniku doprovázený krystalizací vějířovitých agregátů chloritu (vyskytují se v poslední růstové zóně Q2b).

- Q3 - opět dělený na subgenerace:
 - starší Q3a, tento křemen je charakteristický svojí velmi výraznou luminiscencí, díky které můžeme s jistotou říci, že není v asociaci s žádnými rudními minerály (zlatonosného ani polymetalického stádia). K jeho srážení muselo proto docházet v úplném závěru stádia polymetalického nebo již na začátku kalcitového stádia.
 - nejmladší křemen Q3b, sekundární inkluze v tomto křemenu dokumentují pozdní var vodných fluid při teplotě okolo 140 °C. Po Q3b následuje vznik dolomitu a pozdního pyritu, které uzavírají sukcesní schéma.

Vzorek KAL-53 do posloupnosti precipitace zahrnut nebyl vzhledem k nejednoznačnosti jeho zařazení.

Začlenění nově objeveného galenitu (s příměsí Ag) do stávající parageneze je problematické. Galenit se vyskytuje na kontaktu s pozdní fází křemene Q1 a dále je lokálně doprovázen/lemován agregáty muskovitu. To by svědčilo o jeho vzniku na počátku zlatonosného stádia, nebo na konci stádia předcházejícího.

8.3 Odhad PT podmínek vzniku jednotlivých generací křemene

Křemen 1. generace

Minimální PT podmínky vzniku křemene 1. generace (Q1) jsou vymezeny teplotami celkové homogenizace fluidních inkluzí H₂O-CO₂ typu (Th-tot 275 až 325 °C) a tlakem fluid v okamžiku homogenizace (~ 230 MPa, což odpovídá hloubce přibližně 8,5 km za předpokladu litostatického tlaku). Možný rozsah PT podmínek vzniku křemene Q1 je znázorněn elipsou Q1a (obr. 73); reálný odhad se pravděpodobně pohybuje okolo hodnot 320 až 360 °C a tlaku 300 MPa (~ 11 km hloubky).

Precipitace pozdní fáze křemene Q1 (výskyt mj. na kontaktu s rudními minerály) probíhala za stejných teplot jako u rané fáze Q1 (Th-tot 275 až 325 °C), ale za podstatně nižších tlaků: 50 až 100 MPa (elipsa Q1b, obr. 73). Pokud budeme uvažovat přechod k hydrostatickému režimu, odpovídající hloubka se pohybuje v rozmezí 5 až 10 km.

Tab. 14. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-6) vybraných pro výpočet H₂O-CO₂ izochor (křemen Q1) zobrazených na obr. 73. D (bulk)* = celková hustota fluida.

	Vzorek	Tm-CO ₂ [°C]	Th-CO ₂ [°C]	Th-tot [°C]	F	Salinita [% NaCl ekv.]	D (bulk)* [g/cm ³]
# 1.	KAL-60	-56,6	28,3 (L)	289 (L)	0,80	1,4	0,947768
# 2.	KAL-60	-56,7	27,8 (L)	322 (L)	0,70	1,6	0,915040
# 3.	KAL-60	-56,6	27,4 (L)	320 (V)	0,50	2,0	0,848123
# 4.	KAJ-1	-56,8	26,3 (V)	285 (L)	0,70	2,4	0,799786
# 5.	KAL-61	-56,8	25,6 (C)	307 (L)	0,70	0,2	0,783208
# 6.	KAJ-1	-56,7	24,2 (V)	315 (L)	0,70	0,2	0,778091

Křemen 2. generace

Křemen 2. generace (Q2) vznikl za stejných nebo nižších tlaků jako pozdní fáze křemene Q1 (Q1b; 50 MPa ± 20 MPa - odhadovaný maximální tlak; čerchovaná čára na obr. 73). Za předpokladu hydrostatického tlaku (krystalizace Q2a do volných dutin) je odpovídající hloubka 5 km (± 2 km). Při zachycení inkluzí v prostředí nízkých tlaků jsou teploty celkové homogenizace (Th-tot) jen o málo nižší než skutečné: Th-tot inkluzí v křemenu starší subgenerace Q2a se pohybují v rozmezí 170 až 200 °C; pravděpodobné podmínky jejich zachycení leží v rozmezí 200 až 230 °C (elipsa Q2a, obr. 73). Th-tot primárních inkluzí z mladší subgenerace křemene Q2b se pohybují v rozmezí 140 až 170 °C (odhad zachycení 170 až 200 °C, elipsa Q2b, obr. 73).

Křemen 2. generace je spojen s precipitací minerálů zlatonosného a polymetalického stádia. Výše temperované roztoky (spjaté s Q2a) pravděpodobně souvisejí s Au-Bi-Te fázemi; níže temperované roztoky (spjaté s Q2b) pak s fázemi Sb, které minerály zlatonosného stádia zatlačují.

Tab. 15. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-4) vybraných pro výpočet H₂O izochor (křemen Q2) zobrazených na obr. 73. D (bulk)* = celková hustota fluida.

	Vzorek	Th-tot [°C]	Salinita [% NaCl ekv.]	D (bulk)* [g/cm ³]
# 1.	KA-8	200	2,9	0,890083
# 2.	KA-8	180	2,8	0,911188
# 3.	KA-8	170	1,8	0,914262
# 4.	KA-8	150	1,2	0,929318

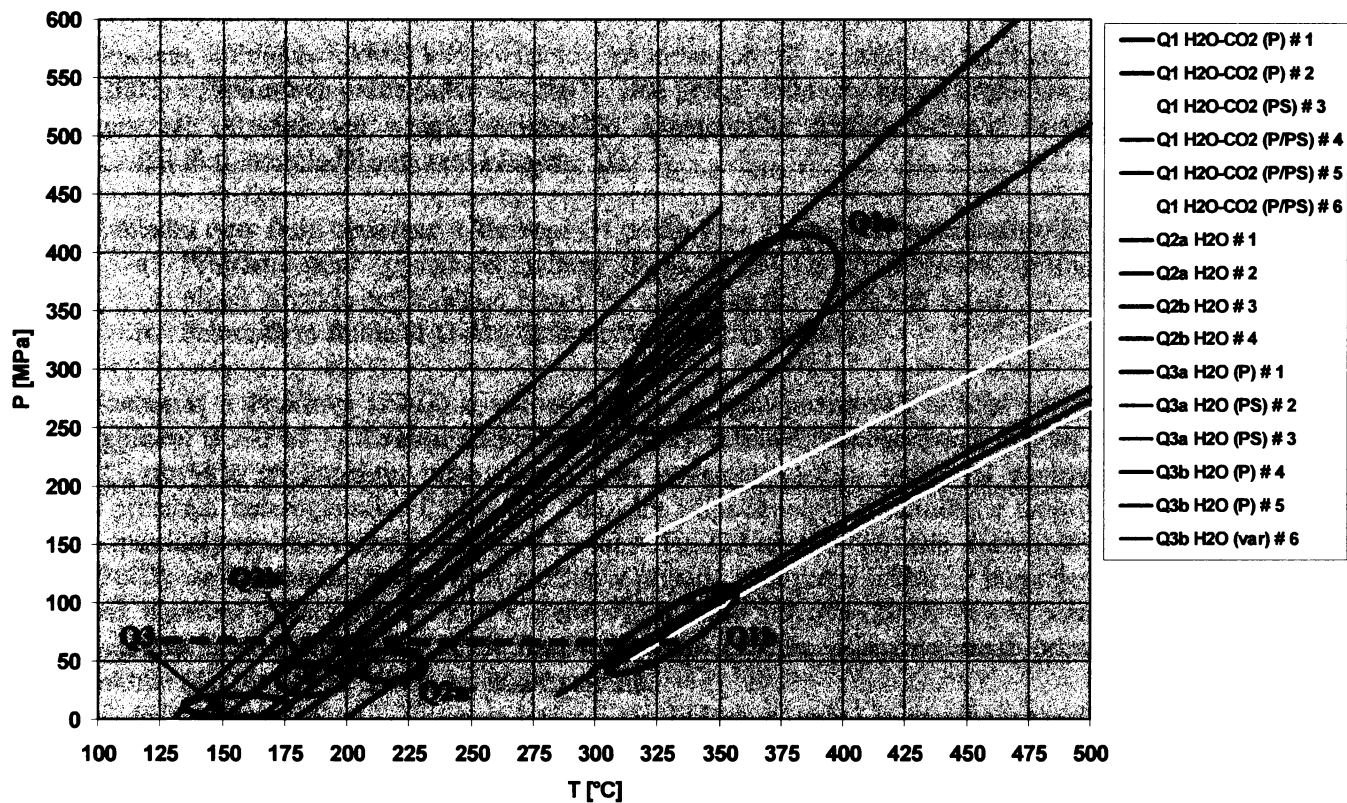
Křemen 3. generace

Nejmladší křemen 3. generace (Q3) vznikl za poměrně širokého rozpětí teplot: Th-tot se pohybují v intervalu ~ 120 až 170 °C; u jednotlivých subgenerací Q3a i Q3b dochází k překryvu teplot (Th-tot Q3a 145 až 175 °C; Q3b 170 až 115 °C). Vzhledem k velmi nízkým tlakům při zachycení inkluzí (stejným nebo nižším než u předchozí generace Q2), Th-tot se přibližně rovnají skutečným teplotám vzniku křemene Q3 (elipsa Q3, obr. 73).

Tab. 16. Mikrotermometrické údaje inkluzí (# 1-6) vybraných pro výpočet H₂O izochor (křemen Q3) zobrazených na obr. 73. D (bulk)* = celková hustota fluida.

	Vzorek	Th-tot [°C]	Salinita [% NaCl ekv.]	D (bulk)* [g/cm ³]
# 1.	K 12 AN	165	6,9	0,952295
# 2.	K 12 AN	150	6,4	0,960703
# 3.	K 12 AN	170	6,7	0,946973
# 4.	K 12 AN	165	8,5	0,962356
# 5.	K 12 AN	130	6,4	0,974564
# 6.	K 12 AN	139	9	0,983672

Obr. 73. Grafické znázornění izochor pro jednotlivé generace křemene (Q1-Q3). Relevantní údaje nutné pro jejich výpočet viz tab. 14, 15 a 16. Elipsy vyznačují pravděpodobné podmínky vzniku jednotlivých generací křemene a zachycení příslušných primárních inkluzí.



9. DISKUZE

9.1 Srovnání s předchozími pracemi z kasejovického revíru

Studiem fluidních inkluzí kasejovických křemenných žil se zabývali Zachariáš a Pudilová (2002) a diplomová práce Šulcové (2007). Obě práce studovaly pouze křemennou žilovinu 1. generace (krystalizace v rámci nejstaršího, křemenného stádia); Šulcové se dále podařilo rozlišit třetí, nejmladší generaci křemene Q3.

Základní typy fluid obsažené v křemenu Q1 podle výše zmíněných autorů zahrnují:

- Primární popř. pseudosekundární fluida $H_2O-CO_2\pm CH_4\pm N_2$ -soli (příměs ostatních plynů obvykle nepřesahuje 5 mol. %; salinita nízká < 3 % NaCl_{ekv.}).
- Sekundární fluida H_2O -soli (s širokým rozpětím salinit).

Zachariáš a Pudilová (2002) u inkluzí H_2O-CO_2 typu pozorovali značně variabilní stupeň zaplnění ($F \sim 0$ až 1) a velmi rozptýlené hodnoty celkové homogenizace (Th_{tot} 220 až 350 °C, obvykle na kapalinu nebo plyn). Tyto poznatky mohou indikovat zachycení inkluzí v prostředí heterogenního fluida, a v takovém případě nejnižší naměřené teploty Th_{tot} by odpovídaly teplotám vzniku inkluzí ($Th_{tot} = T_t$; 220 až 250 °C). Dle Zachariáše a Pudilové (2002) ale jasná interpretace není možná; v případě zachycení inkluzí z homogenního fluida pak navrhuje teploty 300 až 350 °C nebo vyšší. Také Šulcová (2007) ve své práci naznačuje možnou heterogenizaci H_2O-CO_2 fluida a tomuto procesu přisuzuje vznik primárních H_2O inkluzí (Th_{tot} 240 až 270 °C) o nízké salinitě.

Při studiu křemene 1. generace v rámci mé diplomové práce jsem nepozorovala (s jedinou výjimkou) asociaci fluidních inkluzí, která by umožňovala tuto hypotézu o heterogenizaci H_2O-CO_2 fluid podpořit. Heterogenizaci nelze zcela vyloučit (jako časově a prostorově lokální fenomén), ale zřejmě není tak významná jak se domnívali Zachariáš a Pudilová (2002). Znaky, které tito autoři považovali za projev heterogenizace, lze vysvětlit i jinými mechanismy - např. selektivním únikem H_2O z fluidních inkluzí během deformace křemenné žiloviny. Výsledkem tohoto procesu pak může být variabilita stupně zaplnění pozorovaná v některých vzorcích, či sporadická přítomnost plyných CO_2 inkluzí mezi jinak převládajícími H_2O-CO_2 inkluzemi.

Šulcová (2007) navrhuje vznik křemene 1. generace (Q1) z homogenního fluida při teplotách shodných nebo vyšších než Th_{tot} : 280 až 320 °C za tlaku 200 až 350 MPa (odpovídající hloubka 7,5 až 13,5 km za předpokladu litostatického tlaku). Dále vyčleňuje texturně mírně mladší části téže křemenné žiloviny s obdobnými H_2O-CO_2 inkluzemi, které ale byly zachyceny za podstatně nižších tlaků: 60 až 140 MPa při hydrostatickém režimu. Tyto údaje se generálně shodují s odhadem PT podmínek vzniku křemene Q1 předloženými v mé práci.

H_2O fluida jsou charakteristická širokým rozpětím salinit, Zachariáš a Pudilová (2002) rozeznávají celkem 11 odlišných generací sekundárních fluid a min. dva systémy solí ($H_2O-NaCl-CaCl_2$, $H_2O-MgCl_2$). Šulcová (2007) rozeznává 3 typy sekundárních H_2O fluid: o vysoké salinitě (8 až 10 % NaCl_{ekv.}), střední (4 až 6 % NaCl_{ekv.}) a nízké (< 3 % NaCl_{ekv.}).

Výskyt vysoce salinních (až 9,9 % NaCl_{ekv.}) fluid s vyššími Th_{tot} a zároveň fluid s nízkými salinitami a nižšími Th_{tot} vysvětlují Zachariáš a Pudilová (2002) modelem míšení dvou různých typů roztoků. Tato hypotéza ale není správná, protože autorům nebyla známa existence třetí, nejmladší generace křemene Q3, která precipituje právě z roztoků o vysoké salinitě. Z mikrotermometrických údajů prezentovaných v mé diplomové práci vyplývá, že křemen Q3 se srážel z roztoků o širokém rozpětí salinit (4,6 až 11 % NaCl_{ekv.}, část fluid

ovlivněna pozdním varem), naopak křemen Q2 je asociován s fluidy o nízké salinitě (do ~ 3 % NaCl_{ekv.}). Tyto roztoky se poté hojně vyskytují jako sekundární vodná fluida v křemeni 1. generace.

Otázka, s jakým typem fluid/generací křemene je spjata precipitace minerálů zlatonosného stádia není ve starších pracech plně zodpovězena. Zatímco Zachariáš a Pudilová (2002) navrhuje pozdní H₂O-CO₂ nebo časná H₂O fluida o vysoké salinitě, Šulcová (2007) navrhuje raná vodná fluida (1 až 2 % NaCl_{ekv.}), která vznikla heterogenizací H₂O-CO₂ fluid za teplot cca 250 až 300 °C.

V rámci této práce se naskytla možnost sepětí Au a fluid lépe specifikovat: Rudní minerály zlatonosného stádia pronikají po trhlinách nebo hranicích zrn křemene Q1; zároveň pomocí studia katodové luminiscence můžeme vyloučit vznik rudních minerálů spolu s křemenem Q3. Fáze Au-Bi-Te jsou na fotografiích SEM-CL zřetelně lemovány křemenem o velmi nízké luminiscenci, který odpovídá křemeni 2. generace (Q2). Odhadované teploty vzniku Q2b (závěr vzniku Q2; 1,2 až 1,7 % NaCl_{ekv.}) jsou ale poměrně nízké (Tt: 170 až 200 °C); pravděpodobněji je tento křemen asociován s polymetalickým stádiem, které starší Au-nosné zatlačuje. V takovém případě je zlato asociováno buď s křemenem Q2a (2,7 až 3,1 % NaCl_{ekv.}, Tt: 200 až 230 °C) nebo s ještě staršími fluidy.

9.2 Srovnání s bělčickým rudním revírem

Mineralogie bělčických žil je ve srovnání s kasejovickými žilami poněkud odlišná a také jednodušší: křemen prokazatelně vytváří dvě generace, starší křemen I. kvantitativně převládá; křemen II. proniká po trhlinách ve starší žilovině. Velmi významnou minerální složkou žil je scheelit tvořící dvě generace. Obsah sulfidů je obecně nízký, nejhojněji se vyskytují pyrotin, arsenopyrit a molybdenit; molybdenit doprovází minerály Bi, Te a zlato. Trhliny a drobné dutiny v žilovině jsou vyplněny kalcitem, chloritem a sericitem (Litochleb 1984b). Hlavní rozdíl oproti kasejovickým žilám je hojný výskyt scheelitu (a naprostá absence wolframitu), hojný výskyt molybdenitu a také absence polymetalického stádia.

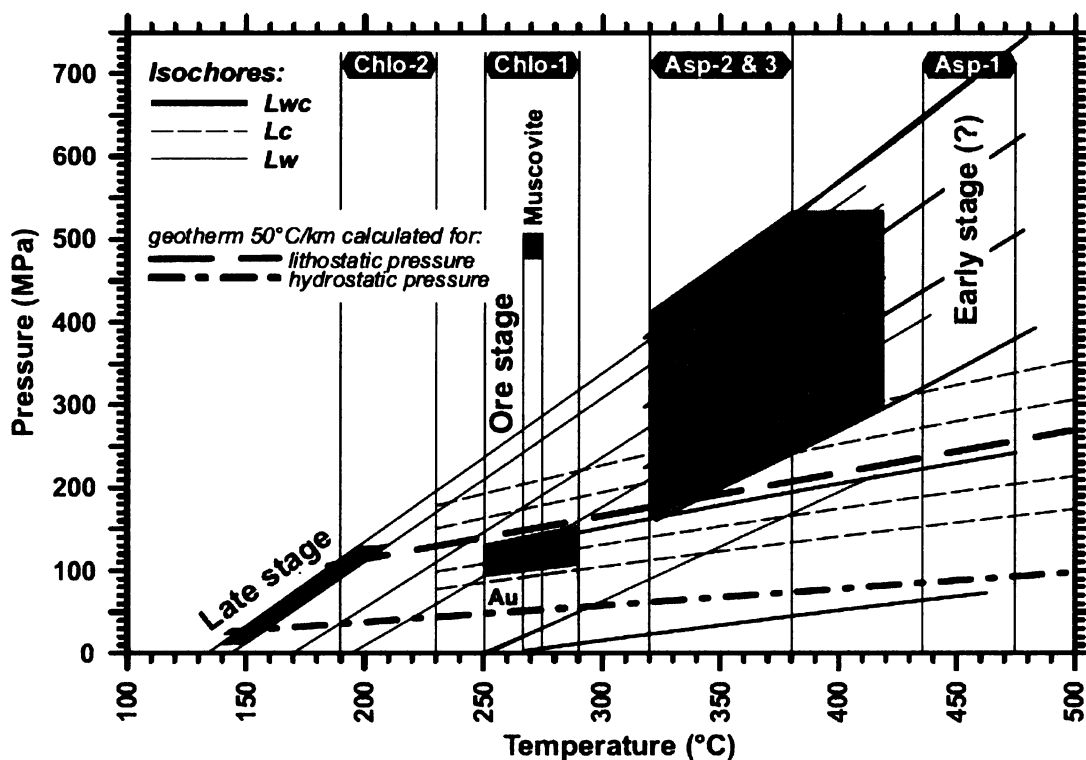
Studiem fluidních inkluzí na této lokalitě se zatím zabývali pouze Zachariáš a Novák (2009). Autoři vyčlenili 3 základní typy fluid: H₂O-CO₂, CO₂ (oboje starší, primární v křemeni I.) a mladší H₂O (primární v křemeni II):

- a. Hlavní masa křemenné žiloviny (křemen I.) precipitovala z fluid typu H₂O-CO₂-CH₄-N₂-soli, které ale oproti kasejovické žilovině Q1 mají zvýšenou salinitu (3 až 6,8 % NaCl_{ekv.}); a dále mohou obsahovat signifikantní příměs ostatních plynů (CH₄/N₂ - raritně až 17 mol. %). PT podmínky vzniku stanovené na základě výpočtu izochor a arsenopyritové termometrie jsou obdobné nebo vyšší než u křemene 1. generace kasejovických žil: Autoři odhadují jako nejpravděpodobnější interval 350 až 400 °C za tlaků 200 až 400 MPa („main stage“, obr. 74), což odpovídá hloubce max. 14-15 km za litostatického tlaku. Nicméně není vyloučeno, že teploty pro raná stádia mineralizace mohly být ještě vyšší („early stage“, obr. 74). Kromě H₂O-CO₂ kapalinou bohatých inkluzí („Lwc“ typ) byly ve vzorcích nalezeny také inkluze obsahující pouze homogenní fázi CO₂ („Lc“ typ); které nejspíše vznikly vlivem deformačních procesů z původních H₂O-CO₂ inkluzí za tlaků ~ 100 až 150 MPa.
- b. Křemen II. precipitoval z H₂O fluid, jejichž rozpětí salinit (0,2 až 5,4 % NaCl_{ekv.}) je opět vyšší než u fluid asociovaných s křemenem Q2 kasejovických žil. Rovněž navrhované PT podmínky jsou vyšší: 100 až 150 MPa (tento křemen není postižen deformačními procesy) a 250 až 290 °C (stanoveno pomocí výpočtu izochor H₂O, CO₂ fluid a chloritové popř. muskovitové termometrie). Vzhledem k minerální

posloupnosti (viz Litochleb 1984b) tyto podmínky pravděpodobně odpovídají podmínkám srážení zlata („ore stage“, obr. 74).

- c. Sukcesně nejmladší je pozdní stádium vodných fluid („late stage, obr. 74), spjaté s precipitací kalcitu (Th-tot ~ 130 až 150 °C).

Širší rozpětí salinit H₂O fluid (0,2 až 5,4 % NaCl_{ekv.}) je autory na základě subhorizontálních trendů grafů Th-tot x salinita vysvětlováno modelem izotermálního míšení fluid. Tento proces v žilovině dolu Jakub u Kasejovic potvrzen nebyl.



Obr. 74. Odhadované PT podmínky vzniku jednotlivých mineralizačních stádií (vysvětlení viz text) stanovené na základě minerální termometrie (Chlo = chlorit, Asp = arsenopyrit) a výpočtu izochor. Oblast označená Au znázorňuje pravděpodobné podmínky precipitace zlata. Lwc = H₂O-CO₂ kapalinou bohaté inkluze, Lc = inkluze CO₂, Lw = inkluze H₂O. Přejato ze Zachariáše a Nováka 2009.

9.3 Srovnání s ostatními Au ložisky středočeské metalogenetické oblasti

V rámci středočeské metalogenetické oblasti (vymezené Morávkem 1996) byly fluidní inkluze ložisek mesotermálního typu dále studovány na lokalitách Jílové, Mokrsko a Libčice. Hlavní podíl křemenné žiloviny na těchto ložiscích vznikl z fluid s obdobným chemismem: H₂O-CO₂±CH₄/N₂ o relativně nízké salinitě (< 10 % NaCl_{ekv.}). Příměs ostatních plynů je variabilní, obvykle nepřesahuje několik mol. %, s výjimkou methanem bohatých inkluzí z Libčic. Inkluze v nejstarší žilovině tohoto ložiska mohou obsahovat až 50 mol. % CH₄; takto vysoký obsah je ale interpretován míšením původních CO₂ bohatých roztoků s fluidy lokálního původu, vzniklých devolatilizací uhlíkem bohatých černých břidlic (Zachariáš 2002).

Pozdější stádia mineralizace (a pravděpodobně také precipitace zlata a doprovodných minerálů Bi, Te) jsou spjata zejména s H₂O fluidy rovněž o nízké salinitě (< 12 % NaCl_{ekv.}). Vysoce salinní H₂O inkluze (tj. s dceřiným krystalem halitu) byly zjištěny pouze na Mokrsku a v Kasejovicích. Zatímco v Kasejovicích je původ těchto inkluzí prozatím neznámý, na ložisku Mokrsko se jedná o solanky zřejmě magmatického původu, jejichž vznik je kladen ještě před hlavní mineralizační stádia (Boiron et al. 2001).

PT podmínky vzniku křemenné žiloviny i jednotlivých mineralizačních stádií jsou odlišné: max. odhadované teploty jsou pro hlavní stádium na ložisku Mokrsko (vznik křemenných žilníků za teplot 450 až 550 °C, Boiron et al. 2001); teploty precipitace hlavního podílu žiloviny se obvykle pohybují v rozmezí 300 až 400 °C za tlaků ~ 200 až 400 MPa (Jílové, Libčice, Kasejovice, Bělčice). Charakteristickým znakem je kolísání tlaku mezi jednotlivými stádii (přechod od litostatického k hydrostatickému). Tento jev je obecně vysvětlován mechanismem „zlomového ventilu“, kdy dochází k přetlaku fluid a reaktivaci seismických zón, které slouží jako únikové kanály pro hydrotermální fluida (Sibson 1990 in Huraiová et al. 2002).

10. ZÁVĚR

Křemenná žilovina dolu Jakub u Kasejovic se skládá ze tří hlavních generací křemene (Q1-Q3):

- a. Nejstarší, 1. generace tvoří hlavní podíl žiloviny, je masívní, místy s náznaky automorfního omezení. Obsahuje velké množství fluidních inkluzí, v důsledku čehož je mléčně zbarvena a neprůhledná. Výrazně deformované a rekrystalované vzorky ke studiu fluidních inkluzí nebyly použity. Luminiscence je slabá, homogenní. V rámci křemene Q1 rozlišujeme jeho pozdní fázi – čirý křemen (méně inkluzí, ale větších rozměrů), vyskytující se mj. na kontaktu s rudními minerály.
- b. Křemen 2. generace (Q2) je rozdělován na základě studia katodové luminiscence na dvě subgenerace: Q2a narůstá na starší žilovinu ve formě velmi drobných idiomorfních krystalů s patrnými přírůstkovými zónami, mladší Q2b (pravděpodobně nejmladší přírůstková zóna Q2a) proniká spolu s minerály zlatonosného a polymetalického stádia po trhlinách v křemenu Q1; nebo raritně tento křemen zatlačuje (zrna lištovitého habitu). Křemen Q2 téměř nevykazuje luminiscenci.
- c. Nejmladší, 3. generace křemene (Q3) narůstá na křemen Q2 nebo tvoří samostatné žilky. Typické jsou výrazné přírůstkové zóny. Na základě studia SEM-CL opět vydělujeme dvě subgenerace: starší Q3a s velmi výraznou luminiscencí a mladší hrubě krystalický křemen Q3b s téměř nulovou luminiscencí.

Fluida obsažená v křemenné žilovině jsou následující:

- a. Fluida H₂O-CO₂ typu o nízké salinitě (< 3 % NaCl_{ekv.}); příměs ostatních plynů (CH₄/N₂) je nulová nebo nízká (< 5 mol. %). Tato fluida jsou primární pro křemen 1. generace (Q1) i jeho pozdější fázi (Q1b).
- b. Fluida H₂O typu jsou primární pro křemen Q2, Q3. V případě křemene 2. generace je salinita rovněž nízká (max. ~ 3 % NaCl_{ekv.}); v případě Q3 podstatně vyšší (4,6 až 11 % NaCl_{ekv.}). Široké rozpětí salinit v křemenu Q3 může být ovlivněno pozdním varem fluid dokumentovaným v rámci mladší fáze Q3b.
- c. Anomální hypersalinní H₂O fluida (salinita v rozmezí 32,8 až 40,4 hm. % NaCl) s dceřiným krystalem halitu, která jsou produktem zachycení v podmínkách varu roztoků při teplotě cca 270 až 300 °C.

PT podmínky vzniku křemene 1. generace jsou odhadovány kolem teplot 320 až 360 °C za tlaků ~ 300 MPa, což odpovídá hloubce zhruba 11 km za předpokladu litostatického tlaku. Pozdější fáze Q1b vznikala za stejných teplot, ale podstatně nižších tlaků 50 až 100 MPa (hydrostatický tlak).

Precipitace starší subgenerace křemene Q2 (Q2a) probíhala za teplot 200 až 230 °C a tlaků 50 ± 20 MPa (interpretováno jako hydrostatický tlak, hloubka 5 ± 2 km). Teploty vzniku mladší subgenerace Q2b jsou 170 až 200 °C, tlaky byly pravděpodobně nepatrně nižší. Nejmladší generace Q3 pak vznikala za velmi nízkých tlaků a širokého teplotního intervalu 120 až 170 °C.

Minerály zlatonosného stádia (fáze Au-Bi-Te) jsou velmi pravděpodobně spjaty s precipitací křemene Q2a, rudní fáze polymetalického stádia s křemenem Q2b. Vzhledem k velmi výrazné luminiscenci křemene Q3 lze naopak bezpečně vyloučit jakékoli sepětí mezi Au-Bi-Te či Pb-Sb-Ag fázemi a křemenem Q3.

11. POUŽITÁ LITERATURA

- Bakker R. J. (1999). Adaptation of the Bowers and Helgeson (1983) equation of state to the H₂O-CO₂-CH₄-N₂-NaCl system. *Chem. Geol.* 154, 225-236.
- Bodnar R. J. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 683-684.
- Bodnar R. J. (2003). Reequilibration of fluid inclusions. In: Samson, Anderson a Marshall (eds.), *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*. Mineralogical Association of Canada, Short course Series, Volume 32, 213-231.
- Boiron M.-C., Barakat A., Cathelineau M., Banks D. A., Ďurišová J., Morávek P. (2001). Geometry and P-V-T-X conditions of microfissural ore fluid migration: the Mokrsko gold deposit (Bohemia). *Chemical Geology* 173, 207-225.
- Diamond L. W. (1992). Stability of CO₂ clathrate hydrate + CO₂ liquid + CO₂ vapour + aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 273-280.
- Ďurišová J., Hurai V. (1991). Fluidní inkluze v minerálech. *Rozpravy Československé akademie věd, Academia Praha*, 105 str.
- Hansteen T. H., Klügel A. (2008). Fluid inclusion thermobarometry as a tracer for magmatic processes. *Rev. in Min. & Geochem.*, Vol. 69, 143-177.
- Holub F. V., Machart J., Manová M. (1997). The Central Bohemian Plutonic Complex: Geology, chemical composition nad genetic interpretation. *Sb. geol. věd: Ložisk. geol., mineral.*, 31, 27-50.
- Huraiová M., Hurai V., Slobodník M. (2002). *Základy štúdia fluidných inklúzií v mineráloch*. MU PFF Brno, 120 str.
- Koutek J. (1946). Geologické poměry oblasti kasejovické se zřetelem k novým kutacím pracím na zlato. *Sbor. St. geol. Úst. Čs. Republ.*, 13, 127-187.
- Litochleb J. (1984a). Paragenetická charakteristika Au-zrudnění z Kasejovic. *Sbor. symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, Sekce geol., mineral. a geochem. lož. drahých kovů Au a Ag*, 257-264.
- Litochleb J. (1984b). Zlatonosné žíly v Újezdci u Bělčic. *Sbor. Jihočes. muzea v Českých Budějovicích. Přír. vědy*, 24, 73-80.
- Litochleb J., Křištín J., Šrein V. (1990). Bismutové minerály zlatonosného zrudnění z Kasejovic v jz. Čechách. *Věšt. Ústř. úst. geol.*, 65 (5), 279-289.
- Litochleb J., Šrein V. (1994). Minerály bismutu a telluru z ložisek a výskytů zlata v České republice. *Bull. mineral.-petrol. odd. NM v Praze*, Vol. 2, 89-105.
- Litochleb J. (1998). Mineralogie zlatonosného zrudnění z dolu Jakub u Kasejovic (jz. Čechy). *Bull. mineral.-petrol. odd. NM v Praze*, Vol. 6, 102-112.
- Litochleb J., Sejkora J. (2007). Bismutové sulfotelluridy Au-ložiska Kasejovice (jz. Čechy). 3. sjezd České geologické společnosti, Volary 19.-22. září 2007, str. 49.
- Malec J., Novák F. (1984). Výskyty zlata, jeho odrůd a minerálů v ČSSR. Komplexní výzkum a využití Ag, Au surovin, Ústí n. Labem: *Dům techniky ČSVTS*, 49-55.
- Morávek P., et al. (1992). Zlato v Českém masívu. *ČGÚ*, 245 str.
- Morávek P. (ed.) 1996. *Gold deposits in Bohemia*. Czech Geological Survey, 96 str.
- Sternner S. M., Hall D. L., Bodnar R. J. (1988). Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapour-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 989-1005.
- Šulcová B. (2007). *Studium fluidních inkluzí na ložiscích zlata kasejovické oblasti*. MS diplomová práce, PFF UK, Praha, 46 str.

- Váňa T. (1984). Stratiformní kyzová polymetalická mineralizace kasejovického metamorfovaného ostrova. Sbor. symp. Hornická Příbram ve vědě a technice, Sekce geol., mineral. a geochem. lož. drahých kovů Au a Ag, 265-278.
- Váňa T., et al. (1989). Dílčí závěrečná zpráva úkolu Český masív – ověření prognóz Au 01-81-2101, lokalita Kasejovice-Bělčice. Geofond ČR, P 64592, 65 str.
- Vymazalová A. (1997). Telluridy a sulfotelluridy vybraných ložisek zlata Českého masívu. MS diplomová práce, PŘF UK, Praha, 95 str.
- Weiss Z., Kužvart M. (2005). Jílové minerály, jejich nanostruktura a využití. Nakladatelství Karolinum, Praha, 281 str.
- Zachariáš J., Pudilová M., Žák K., Morávek P., Litochleb J., Váňa T., Pertold Z. (1997). P-T conditions, fluid inclusions and O, C, S isotope characteristics of gold-bearing mineralizations within the Central Bohemian Metallogenetic Zone. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica*, 41, 167-178.
- Zachariáš J. (2000). Úvod do studia plynokapalných inkluzí. ÚGMNZ, UK PŘF, Praha, 44 str.
- Zachariáš J. (2002). Interpretation of bidimensional fluid inclusion microthermometric data in terms of pressure and compositional variations in gold-bearing fluids: an example from the Libčice and Kasejovice deposits, Czech Republic. *Journal of the Czech Geological Society* 47/3-4. 123-132.
- Zachariáš J., Stein H. (2001). Re-Os ages of Variscan hydrothermal gold mineralisations, Central Bohemian metallogenetic zone, Czech Republic. In: Piestrzynski et al. (eds), *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century*, 851-854. Swets & Zeitlinger Publishers Lisse.
- Zachariáš J., Pudilová M. (2002). Fluid inclusion and stable isotope study of the Kasejovice gold district, central Bohemia. *Bulletin of the Czech Geological Survey*, Vol. 77, No. 3, 157-165.
- Zachariáš J., Novák T. (2009). Gold-bearing quartz veins of the Bělčice ore district, Bohemian Massif: evidence for incursion of metamorphic fluids into a granodiorite body and for isothermal mixing between two types of metamorphic fluids. *Journal of Geosciences*, 54, 57-72.
- Zhang Y. G., Frantz J. D. (1987). Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.* 64, 335-350.
- Žežulková V. (red.) (1987). Geologická mapa ČSR, list 22-14 Blatná, 1: 50 000. Ústřední ústav geologický.
- Turistická mapa 1 : 50 000 Brdy a Třemšínsko. Edice klubu českých turistů 35, vydání 1994-97.