

# Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích Přírodní vědy

Acta Musei Bohemiae Meridionalis in České Budějovice - Scientiae naturales

Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy

51

43–56

2011

## Stříbrnosný žilník na Hřívě u Louňovic pod Blaníkem: strukturní vývoj a složení fluid

Silver-bearing stringer at Hříva near Louňovice pod Blaníkem: structural and fluid evolution

Zdeněk HÜBST<sup>1</sup>, Jiří ZACHARIÁŠ<sup>1</sup> & Moustafa SELMI<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů,  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze,

<sup>2</sup>Geology department, Faculty of Science, Suez Canal University, Ismailia, Egypt

**Abstract.** Structural analysis of outcrops at the Hříva hill allowed us to identify three separate brittle-tectonic phases possibly connected with the evolution of Ag-Pb-Zn mineralized quartz stringer. Fluid inclusions in quartz and barite revealed participation of fluids about 200–130 °C hot and with salinities 6.6 to 8.9 wt. % eq. NaCl during individual tectonic phases. There is no evidence for incursion of meteoric waters from the paleosurface into the tectonic structures.

**Key words:** faults, paleostress analysis, fluids, Ag mineralization, Blanice Furrow.

**Abstrakt.** Strukturní analýzou výchozů v oblasti hřbetu Hřívy byly identifikovány tři oddělené fáze křehké deformace, které souvisí se vznikem křemenného žilníku s Ag-Pb-Zn mineralizací. Studium fluidních inkluzí v žilném křemenu a barytu dokládá účast fluid o teplotách cca 200–130 °C a salinitě 6,6 až 8,9 hm. % NaCl<sub>ekv.</sub> během různých etap tektonického vývoje. Důkazy pro pronik fluid meteorického původu z paleopovrchu do tektonických struktur nebyly zaznamenány.

**Klíčová slova:** zlomy, analýza paleonapětí, fluida, Ag mineralizace, blanická brázda.

### Úvod

Tektonická struktura blanické brázdy je známa výskytem polymetalických mineralizací Ag-Pb-Zn (Stříbrná Skalice, Ratibořské Hory, Rudolfov aj.) a ojedinělými, avšak geneticky i ložiskově významnými výskyty Au-Ag mineralizace (Roudný, Dobrá Voda). Stříbrnosný žilník na vrchu Hříva (kóta 519,2 m, cca 4 km ssz. od Roudného; 48°39,297'N, 14°50,348'E) byl objeven a popsán v rámci geologického průzkumu realizovaného v letech 1981–1985 n. p. Geoindustria (KRÁLÍK et al. 1990), který ověřoval geochemickou a geofyzikální anomálii identifikovanou v 60. letech (BERNARD et al. 1967; BERNARD et al. 1979). Hlavní výsledky obou průzkumných etap jsou shrnuty též v souborném článku KRÁLÍK (1997).

Detailní práce realizované v 80. letech zahrnovaly geofyzikální průzkum (metoda VDV; KOLÁŘ & KARÁSEK 1983), geologické mapování (BENEŠ 1985) a půdní metalometrii na ploše cca 1,5 km<sup>2</sup>,

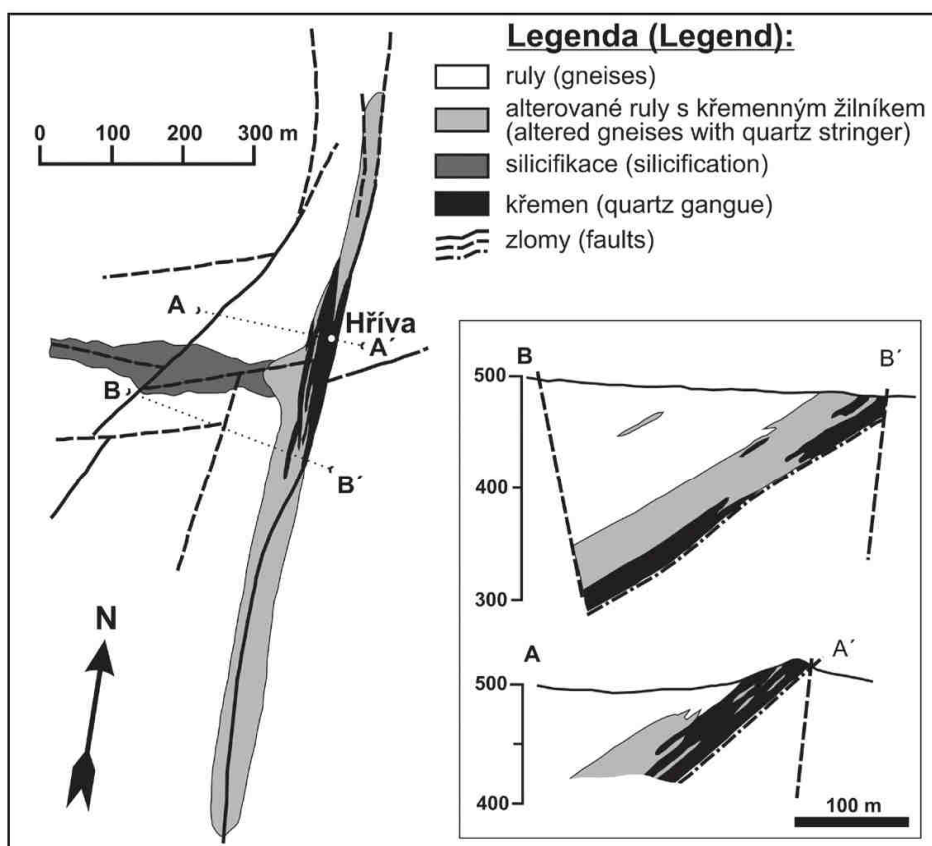
kteřá identifikovala v centrální části hřbetu Hřívy kontrastní anomálie Ag, Pb, Zn a zvýšené obsahy W, Cu, Sb a Sn. Průběh mineralizace byl dále ověřen několika průzkumnými rýhami a 9 jádrovými vrty o celkové metráži 1033 m (KRÁLÍK et al. 1990, KRÁLÍK 1997).

V této práci jsou shrnuta nová strukturně-geologická měření realizovaná na dostupných skalních výchozech v letech 2010–2011 autory tohoto článku a výsledky studia fluidních inkluzí ve vzorcích křemenných a barytových žilek. Výsledky jsou porovnány s daty z nedalekého Au-Ag ložiska Roudný (ZACHARIÁŠ et al. 2009).

## Geologie lokality

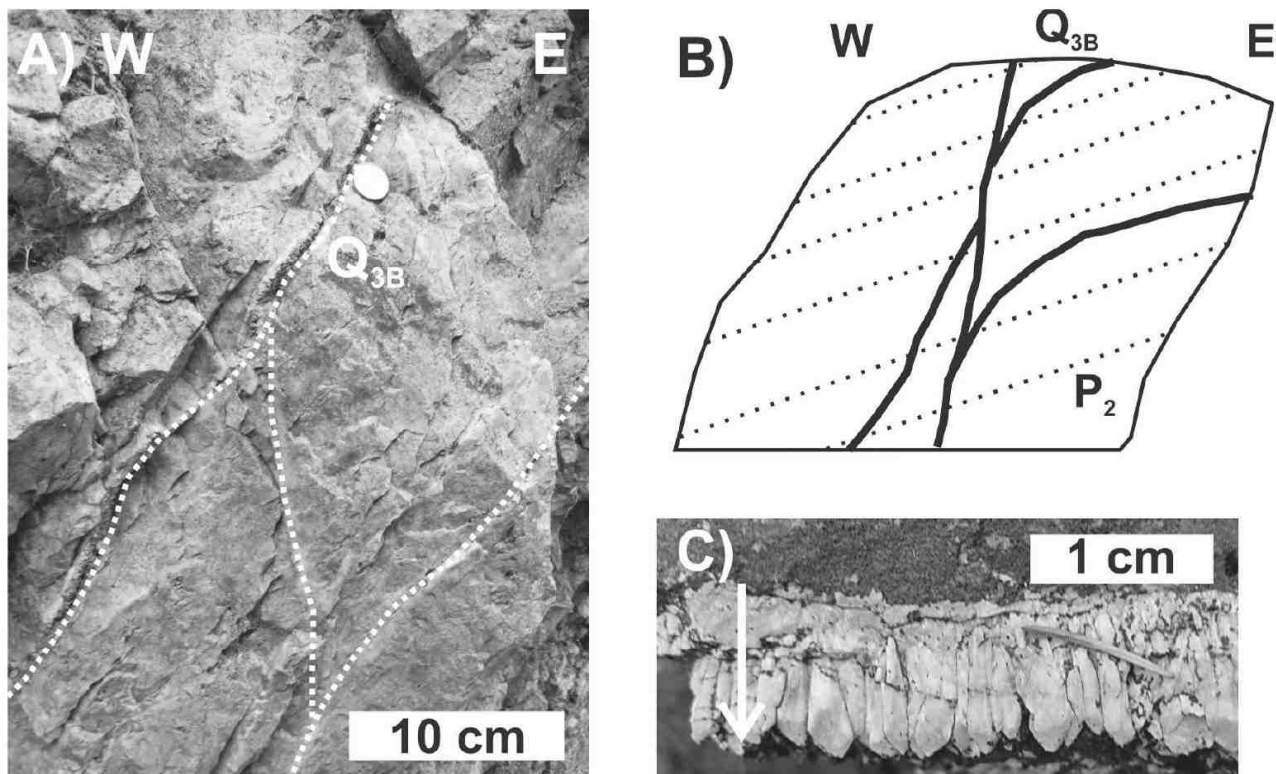
Křemenný žilník na vrchu Hříva tvoří výraznou geomorfologickou elevaci, která ve vrcholové partii obsahuje cca 4–5 nesouvislých skalních hřbetů o délce cca 5 až 30 m. Celková směrná délka žilníku je cca 1300 m. Geologický model žilníku (obr. 1) vychází z poznatků vrtného průzkumu (KRÁLÍK et al. 1990) a zahrnuje křemenný žilník o mocnosti 20–60 m a směru S–J (5°–185°). Žilník se dále kříží s tektonickou strukturou v.–z. směru, doprovázenou intenzivní silicifikací a patrně rovněž mineralizovanou.

Podložní kontakt žilníku tvoří 0,3–1 m mocná tektonická porucha tvořená tmavošedým tektonickým jílem ve vrtech a projevující se výrazně drcenou/brekciovanou horninou na výchozech. Podle KRÁLÍKA (1997) má tato porucha přesmykový charakter a zřetelně odděluje zcela čerstvé nealterované pararuly v podloží poruchy od silně alterovaných a silicifikovaných rul v nadloží poruchy (vlastní těleso žilníku). V podloží poruchy byl ve vrtu č. 8 navrtán karbon (Westfál C-D; VALTEROVÁ 1989 in KRÁLÍK 1997).



**Obr. 1** – Geologická mapa ložiska Hříva a řezy ložiskem (podle KRÁLÍK 1997; zjednodušeno).

**Fig. 1** – Geological map of the „Hříva“ prospect and vertical cross-sections (after KRÁLÍK 1997; simplified).



**Obr. 2** – Dokumentace křemenných žilek typu  $Q_3$ : A) proniky žilek  $Q_{3B}$  (tečkované linie) tělesem hlavního žilníku ( $Q_2$ ). Orientace fotografie Z–V. B) schéma postupné změny sklonů části žilek  $Q_3$  (plné čáry) v rámci výchozu o velikosti cca  $1,5 \times 1,5$  m. Tečkované linie znázorňují průběh puklin  $P_2$ . C) detail jedné poloviny symetrické žilné výplně žilky  $Q_3$ . Šipka indikuje směr růstu krystalů od okraje do centra žíly (foto J. Zachariáš 2010).

**Fig. 2** – Quartz ( $Q_3$ ) veinlets documentation: A) veinlets of  $Q_{3B}$  crosscutting massive stringer  $Q_2$ . B) Scheme of gradual changes in the dip of some  $Q_3$  veinlets. Outcrop size is approx.  $1.5 \times 1.5$  m. C) Detail of one half of bilaterally symmetrical gangue of a  $Q_3$  vein. Arrow indicates quartz growth direction from the vein rim towards the core (photos by J. Zachariáš 2010).

## Mineralogie zrudnění

Základní mineralogické studium na vzorcích z vrtů provedl ŠREIN (1985), který zde popisuje tři generace křemene: 1) mikrokrytalické šedé „krušky“ tmelící alterované ruly; 2) několik cm mocné (0,1–10 cm) žilky bílého křemene s hojnými drúzovitými dutinami; 3) a krystalky čirého křišťálu v dutinách „krušků“ či bílého křemene. Jako součást výplně trhlin a žilek bílého křemene se vzácně vyskytl též masivní baryt. Kalcit je naopak velmi vzácný.

Zrudnění je tvořeno galenitem, sfaleritem, pyritem, markasitem, chalkopyritem a tetradritem. V dutinkách a mikrotrhlinách se spolu s galenitem/tetradritem vzácně vyskytují též ryzí Ag, akantit, pyrargyrit, bornit, jalpait a pyromorfit. Sfalerit je přítomen ve dvou generacích, tetradrit ve třech typech (generacích?). Zlato nebylo prokázáno ani mikroskopicky, ani na základě chemických analýz (ze 170 vzorků z vrtů byl zvýšený obsah – 0,03 g/t Au – identifikován pouze v jednom vzorku; limit detekce analýz byl 0,1 a 0,01 g/t Au).

## Ložiskové poměry

Ložiskové zhodnocení lokality provedl Králík (KRÁLÍK et al. 1990). Distribuce Ag (Pb-Zn) v žilníku je nerovnoměrná, lze vymezit dvě bohatší polohy (nadložní a podložní). V části žilníku prozkoumané

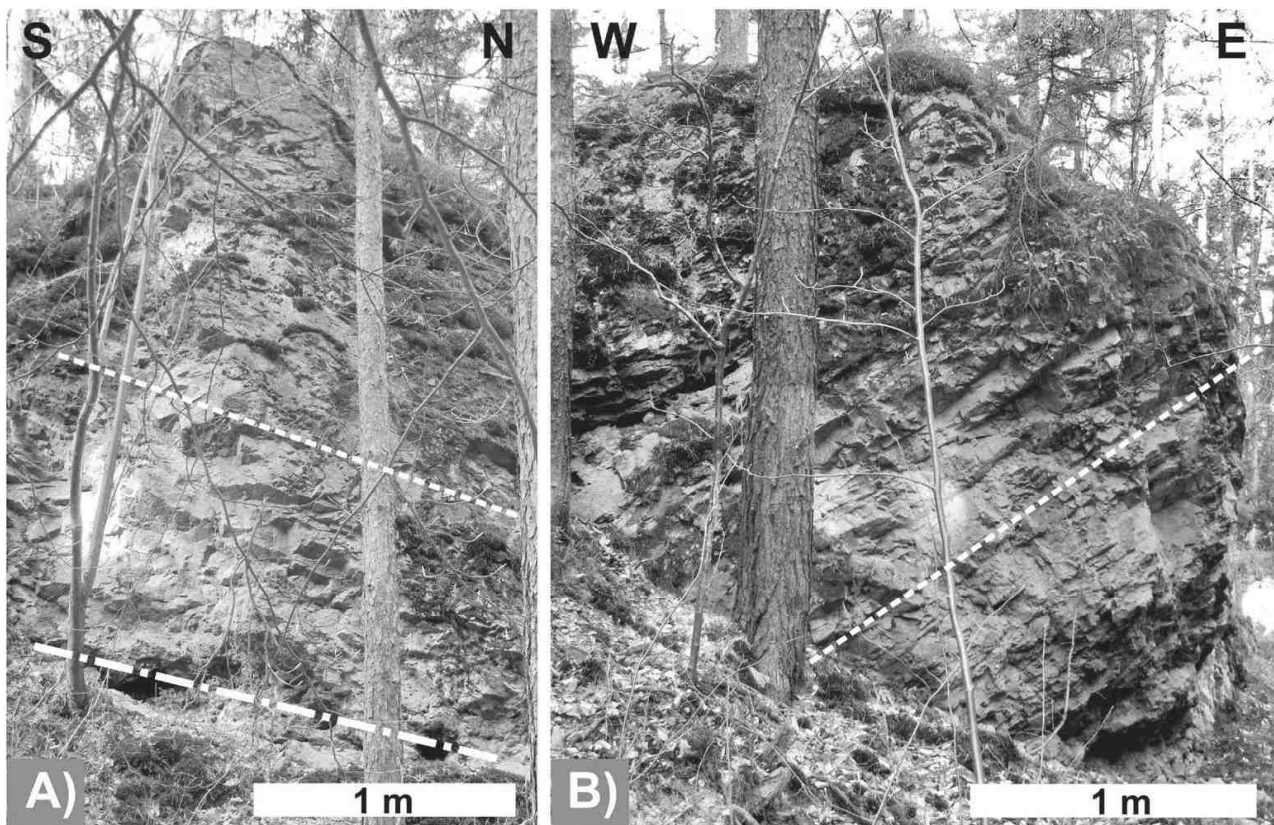
vrty byl proveden variantní výpočet zásob. Celkové zásoby odhadované pro celé těleso žilníku činí 10–15 mil. tun chudých Ag rud (cca 30–40 g/t Ag).

## Metodika

V terénu byla provedena detailní dokumentace a strukturní měření na hřbetu Hřívý a v jeho nejbližším okolí. Veškerá strukturní měření jsou uváděna ve stupních, pro plochy jako azimut a sklon spádnice, pro lineární prvky jako azimut a sklon. Měření byla zpracována a vyhodnocena v programu StereoNett v. 2.46 a jsou vynesena v plochojevné projekci na spodní polokouli.

Dokumentace a měření zlomových ploch, tektonických striací (ohlazů) a identifikace smyslu pohybu byla provedena ve shodě s doporučeními DOBLAS (1998). Data byla následně vyhodnocena v programu T-Tecto v. 3.0 (autor J. Žalohar) za pomoci Gaussovy metody (ŽALOHAR & VRABEC 2007). Další detaily výpočtu jsou uvedeny v textu.

Studium fluidních inkluzí bylo realizováno na třech vzorcích křemenné žiloviny (typ  $Q_3$ , mocnost žilek do 15 mm) odebraných „in situ“ na vrcholu Hřívý. Vzorek barytové žiloviny (žilka o mocnosti asi 10 mm) pocházel ze sběru v kamenné suti pod vrcholem. Popis fluidních inkluzí vychází ze studia vzorků v optickém polarizačním mikroskopu Leica DMPL (zvětšení až 1000×). Mikrotermometrické měření inkluzí bylo realizováno na přístroji Linkam THMSG 600 a mikroskopu Olympus BX-40 (zvětšení až 800×). Salinita fluidních inkluzí je vypočtena podle BODNAR (1993).



**Obr. 3** – Fotografie výchozů na vrchu Hřívý v blízkosti „podložní tektonické poruchy přesmykového charakteru“: A) výchoz „podložní tektonické poruchy přesmykového charakteru“ (čerchovaná linie) a s ní paralelní pukliny systému  $P_2$  (čárkovaná linie) v jejím nadloží. B) systém paralelních puklin typu  $P_2$  (foto J. Zachariáš 2010).

**Fig. 3** – Photos of outcrops at the Hřívý hill, in a vicinity of „footwall reverse fault zone“: A) „footwall reverse fault zone“ (dashed-dot line) and  $P_2$  type joints (dashed line) parallel with the reverse fault zone; B) system of parallel joints of  $P_2$  type (photos by J. Zachariáš 2010).



## Výsledky

Skalní výchozy na samotném hřbetu Hřívý jsou tvořeny masivní silně silicifikovanou horninou („kvarcit“), která obsahuje různě hojné reliktů původní silně alterované horniny. Místy může být „hornina“ popsána též jako jemnozrnná křemenná žilovina. Hranici mezi oběma typy výplně (kvarcit vs. žilovina) nelze na výchozech spolehlivě rozlišit. Silicifikovanou horninou navíc pronikají žilky mladšího křemene o mocnosti do asi 30 mm.

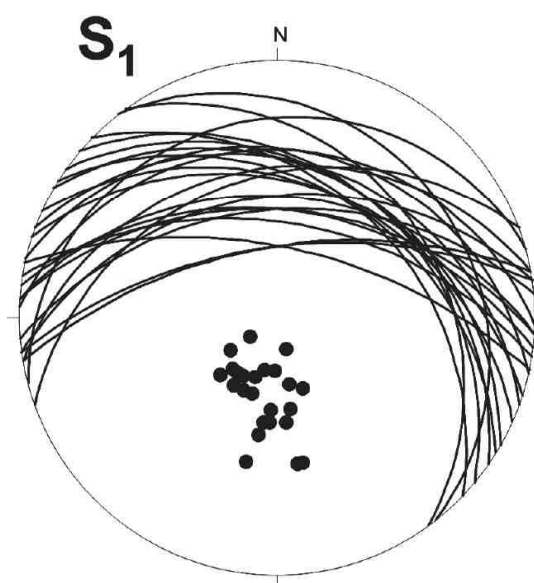
Výchozy v jižní části hřbetu (v okolí kóty 519,2 m) jsou masivní a lze v nich rozlišit pouze mladší křemenné žilky (obr. 2), pukliny a vzácné plochy s tektonickými ohlasy. Na výchozech v severní části hřbetu (asi 300–500 m severně od kóty 519,2 m) lze navíc identifikovat výrazný puklinový systém ( $P_2$ ; viz níže a obr. 3) paralelní s tělesem žilníku a se silně drcenou silicifikovanou tektonickou zónou podél východního úpatí výchozů (cca 0,2–0,8 m mocnou), kterou dle geologických řezů (KRÁLÍK et al. 1990) považujeme za „podložní tektonickou poruchu přesmykového charakteru“ ve smyslu KRÁLÍK et al. (1990) a KRÁLÍK (1997). V této zóně a ani v jejím bezprostředním okolí se nám však nepodařilo najít žádné plochy s tektonickými ohlasy. Další drobné výchozy žilníku vystupují až asi 800 m severně od kóty 519,2 m.

### Metamorfní foliace ( $S_1$ )

Těleso křemenného žilníku prostupuje moldanubickými pararulami se vzácnými vložkami amfibolitů a skarnů (KRÁLÍK 1997). Výchozy rul vhodné pro strukturní měření jsme však našli teprve až v širším okolí Hřívý (cca 1–1,5 km v. a jv. směrem). Vykazují homogenní monotónní foliaci  $S_1$  o směru V–Z a se středním úklonem k severu (obr. 4; maximum  $24^\circ/40^\circ$ ). Foliaci shodné orientace uvádí i BENEŠ (1985) a KRÁLÍK (1997) ze západního svahu Hřívý.

### Křemenný žilník ( $Q_2$ ) a mladší křemenné žilky ( $Q_{3A}$ , $Q_{3B}$ , $Q_{3C}$ , L)

Směr žilníku ( $Q_2$ ) dle KRÁLÍKA et al. (1990) je cca S–J ( $5^\circ$ – $185^\circ$ ), sklon  $30^\circ$ – $40^\circ$  k západu. Lze jej aproximovat plochou  $275^\circ/35^\circ$  (obr. 5: silná linie označená jako  $Q_2$ ).



Obr. 4 – Orientace metamorfní foliace  $S_1$  v širším okolí vrchu Hřívý.

Fig. 4 – Orientation of metamorphic foliation  $S_1$  in the vicinity of the Hřívá hill.

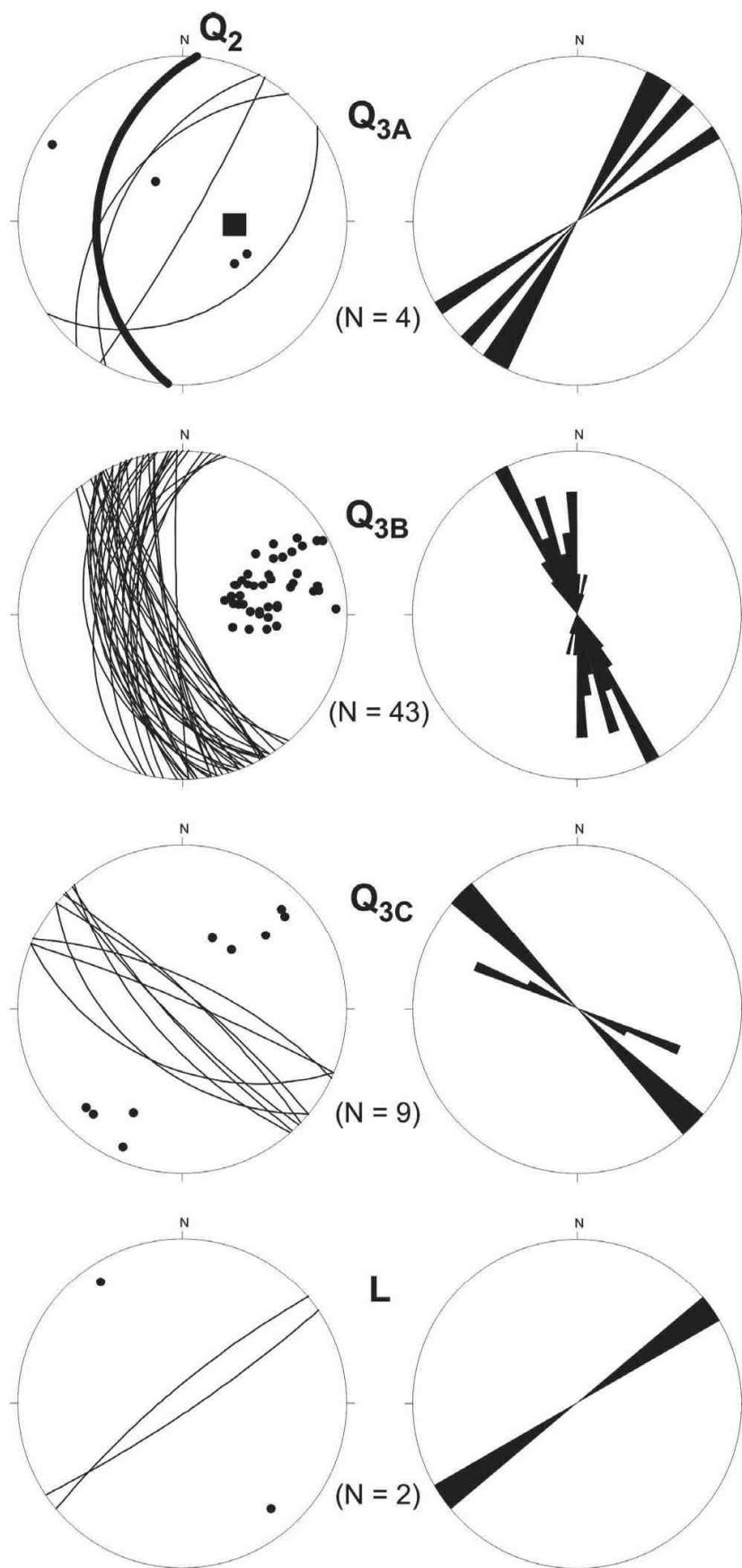
Těleso žilníku je prostoupeno hojnými žilkami mléčně bílého krystalického křemene. Většina žilek na výchozech má mocnost 0,5–20 mm (obr. 2), bilaterálně symetrickou texturu a obsahuje hojné dutiny s automorfně omezenými krystaly křemene („křemen druhé generace“ dle ŠREINA 1985). V tomto článku však označujeme tyto žilky jako  $Q_3$ , dle analogie s lokalitou Roudný (ZACHARIÁŠ et al. 2009). Systémy  $Q_3$  žilek na obou lokalitách mají totiž velmi podobné morfologické (textura, mocnost) i geochemické (fluidní inkluze, izotopové složení křemene) charakteristiky. Dle prostorové orientace a dle sukcese lze žíly typu  $Q_3$  na lokalitě Hřívá rozdělit do tří podskupin  $Q_{3A}$ ,  $Q_{3B}$ ,  $Q_{3C}$ .

Nejhojněji zastoupené žíly (odhadem >95 %) patří k typu  $Q_{3B}$  a mají směr SSZ–JJV až S–J (obr. 5) a mírně variabilní sklon (30°–88°) k západu. Na příčných v.–z. puklinách lze pozorovat jak u některých žilek strmý sklon pozvolna přechází do středního sklonu. Jiné žilky naopak procházejí výchozem strmě bez změny sklonu (obr. 2b).

**Tab. 1** – Souborný přehled parametrů paleonapěťové analýzy určených na základě Gaussovy metody. Alternativa – 1 reprezentuje výpočty se zohledněním smyslu pohybu na plochách, tak jak byl určen v terénu. Alternativa-2 byla naopak spočtena pro neznámý smysl pohybu na všech plochách. Oba způsoby výpočtu poskytly téměř identické výsledky.

**Tab. 1** – Summary statistics of a paleostress analysis, based on the Gauss method. „Alternativa-1“ takes into account sense of tectonic movements as identified in the field. „Alternativa-2“ suggests unknown sense of tectonic movements for all planes. Both models resulted in very similar results.

Alternativa 1	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
Orientace osy $\sigma_1$	178°/72°	115°/22°	139°/67°
Orientace osy $\sigma_2$	3°/18°	320°/66°	48°/1°
Orientace osy $\sigma_3$	272°/2°	209°/9°	317°/23°
$D = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$	0,7	0,5	0,1
Relativní hodnoty hlavní deformace	0,33 : 0,10 : -0,43	0,43 : 0,00 : -0,43	0,61 : -0,26 : -0,36
Relativní hodnoty hlavních napětí	0,81 : 0,59 : 0,06	0,94 : 0,50 : 0,07	1,04 : 0,17 : 0,07
Relativní vertikální ztenčení	-93 %	-11 %	-76 %
Max. horizontální zkrácení	37 % (182°)	86 % (297°)	58 % (323°)
Max. horizontální extenze	100 % (272°)	97 % (207°)	73 % (233°)
Úhlová variace („misfit“) std. odchylka/ max. odchylka	6°/9°	3°/5°	10°/15°
Počet ploch (celkem/se známým smyslem pohybu)	9/6	6/4	3/0
Alternativa 2	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
Orientace osy $\sigma_1$	179°/67°	209°/7°	139°/67°
Orientace osy $\sigma_2$	4°/23°	333°/78°	48°/1°
Orientace osy $\sigma_3$	273°/2°	117°/10°	317°/23°
$D = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$	0,7	0,4	0,1
Relativní hodnoty hlavní deformace	0,33 : 0,10 : -0,43	0,48 : -0,06 : -0,42	0,61 : -0,26 : -0,35
Relativní hodnoty hlavních napětí	0,81 : 0,59 : 0,06	0,98 : 0,43 : 0,07	1,04 : 0,17 : 0,07
Relativní vertikální ztenčení, či ztluštění	-89 %	+13 %	-76 %
Max. horizontální zkrácení	41 % (183°)	98 % (208°)	58 % (323°)
Max. horizontální extenze	100 % (273°)	97 % (298°)	73 % (233°)
Úhlová variace („misfit“) std. odchylka/ max. odchylka	5°/9°	1°/1°	10°/15°
Počet ploch (celkem/se známým smyslem pohybu)	10/0	5/0	3/0

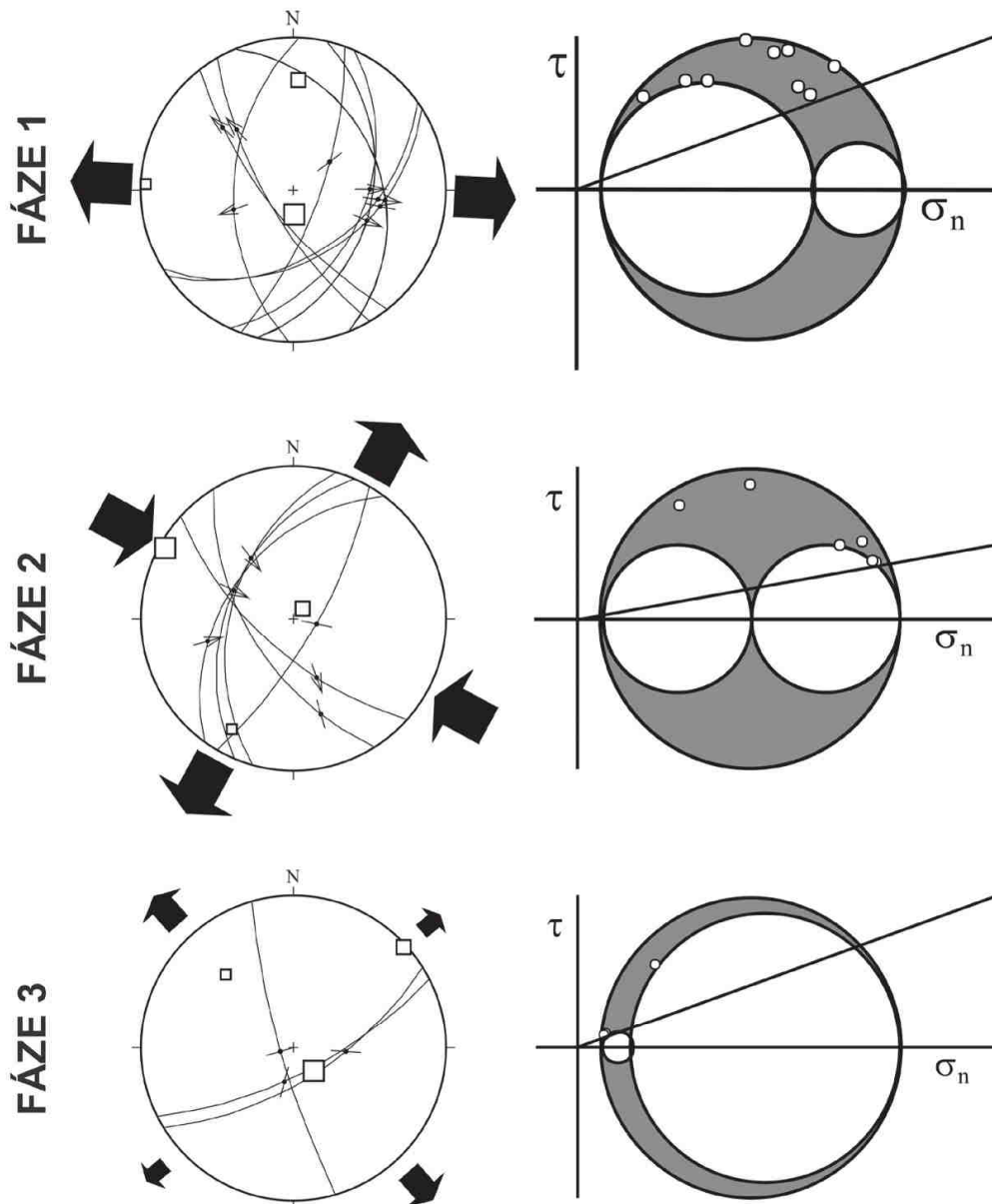


**Obr. 5** – Orientace mladších křemenných žilek ( $Q_{3A, B, C}$ ) a výplně pozdních extenzních puklin (L) z výchozů na hřbetu Hřívy. Tlustá linie označená  $Q_2$  reprezentuje celé těleso křemenného žilníku s rudní mineralizací.  
**Fig. 5** – Orientation of quartz veinlets ( $Q_{3A, B, C}$ ) and of late extensional fractures (L) from outcrops at Hříva. Plane labeled  $Q_2$  represents the average strike and dip of the Hříva ore body.

Výjimečně jsme pozorovali též několik drobných žilek (mocnost do 10 mm) strmého sklonu (na obě strany) a směru SZ–JV (obr. 5), které považujeme za mladší než  $Q_{3B}$  označujeme je proto jako  $Q_{3C}$  (vzájemné protínání obou typů jsme však pozorovali pouze 1×).

Žíly typu  $Q_{3A}$  jsou velmi vzácné. Byly identifikovány až při souborné interpretaci strukturních měření; mají směr cca SV–JV a strmý sklon ( $80^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ; obr. 5). Sukcesní vztah žilek  $Q_{3A}$  k žilkám typu  $Q_{3B}$  či  $Q_{3C}$  je nejasný.

Podobného směru i sklonu ( $320^{\circ}/80^{\circ}$ ) jako žilky  $Q_{3A}$  je i ojedinělá plocha s brekciovitou výplní staršího hydrotermálního křemene tmelená masivní krustou s tenkým povlakem Mn-oxidů a složenou převážně z pyromorfitu a plumbogummitu. Tento typ výplně ploch označujeme jako L („late“; obr. 5).



**Obr. 6** – Orientace analyzovaných zlomových ploch s tektonickými striacemi. Data jsou rozdělena do jednotlivých fází dle kompatibility zlomových s ploch a vypočteným napětovým tensorem. Velké, střední a malé symboly čtverců značí orientaci os  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ . Černé šipky značí směry maximální horizontální extenze a komprese. Schematické vyjádření relativní velikosti napětí na Mohrově kružnici.

**Fig. 6** – Orientation of studied fault planes with slickensides. Data are presented in groups according to their compatibility with the computed stress tensor. Large, medium-sized and small squares correspond to stress axes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ . Schematic ratios of principal relative stresses are demonstrated on the Mohr circles.



## Puklinový systém

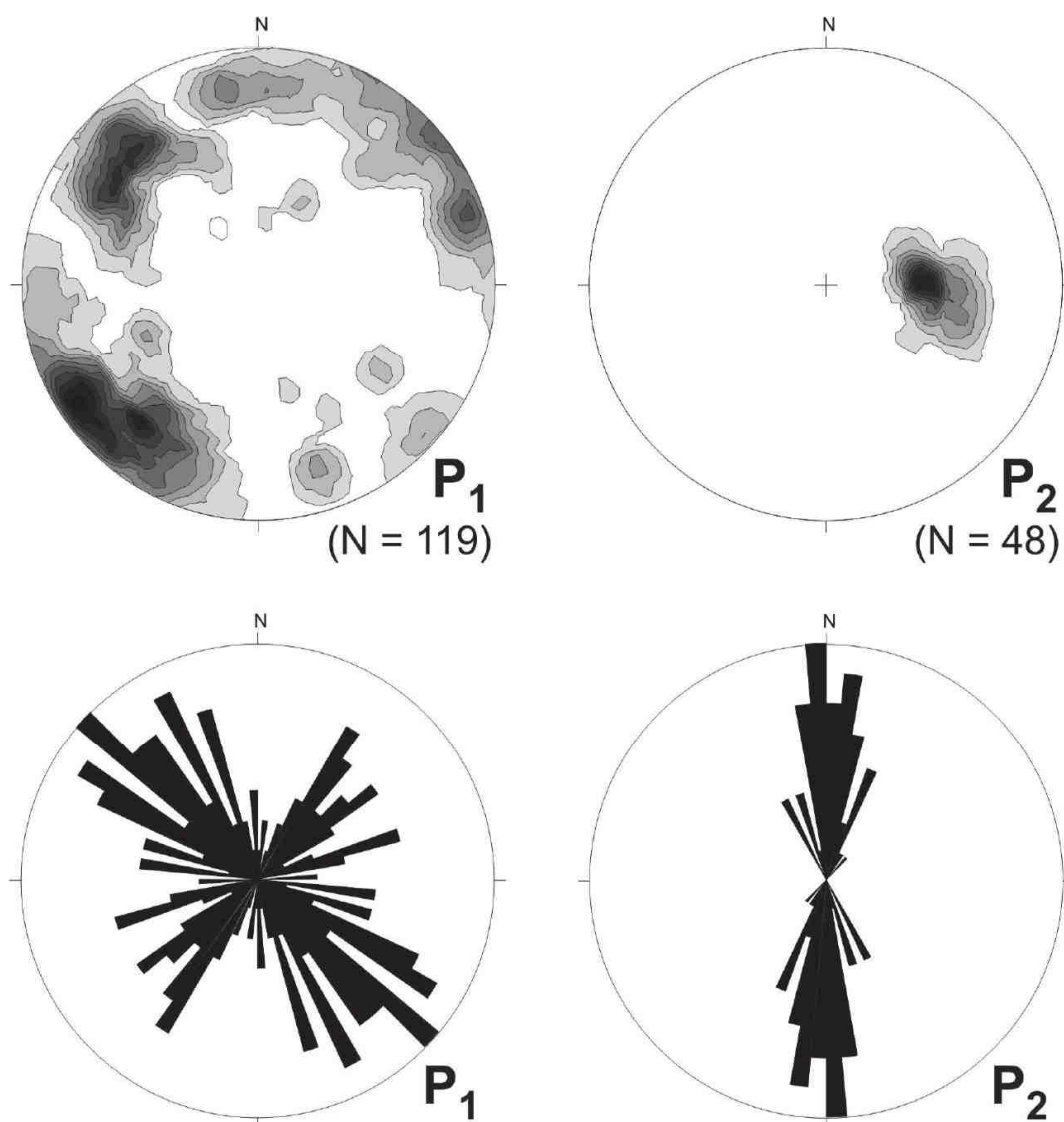
Výchozy v „centrální“ části Hřívy (asi 300–500 m severně od kóty 519,2 m) obsahují relativně hojně paralelní pukliny o směru a sklonu podobném jako má celé těleso žilníku (obr. 6). Tyto plochy označujeme jako  $P_2$  (maximum:  $90^\circ/42^\circ$ ). Nápadný je jejich hojný výskyt v té části hřbetu, kde v podloží žilníku vystupuje „podložní tektonická porucha přesmykového charakteru“.

Ostatní pukliny ( $P_1$ ) jsou převážně strmého sklonu, sevřeného charakteru, hladké a bez stop pohybu. V konturovém diagramu vytvářejí póly puklin  $P_1$  dvě široká maxima (obr. 6).

## Tektonické striace a analýza paleonapětí

V rámci terénní etapy jsme věnovali velké úsilí nalezení ploch s jasnými stopami pohybu („tektonické striace“). Lze konstatovat, že celkový počet takovýchto ploch (18 ploch) je malý vzhledem k množství zlomů indikovaných či prokázaných během jednotlivých průzkumných etap (KRÁLÍK et al. 1990).

Data byla vyhodnocena prostřednictvím Gaussovy metody (ŽALOHAR & VRABEC 2007) v programu T-Tecto v. 3.0 dvojím způsobem: i) se zohledněním smyslu pohybu (pokles, přesmyk, pravo-/



Obr. 7 – Orientace puklin systémů  $P_1$  a  $P_2$  z křemenného žilníku Hřívy.

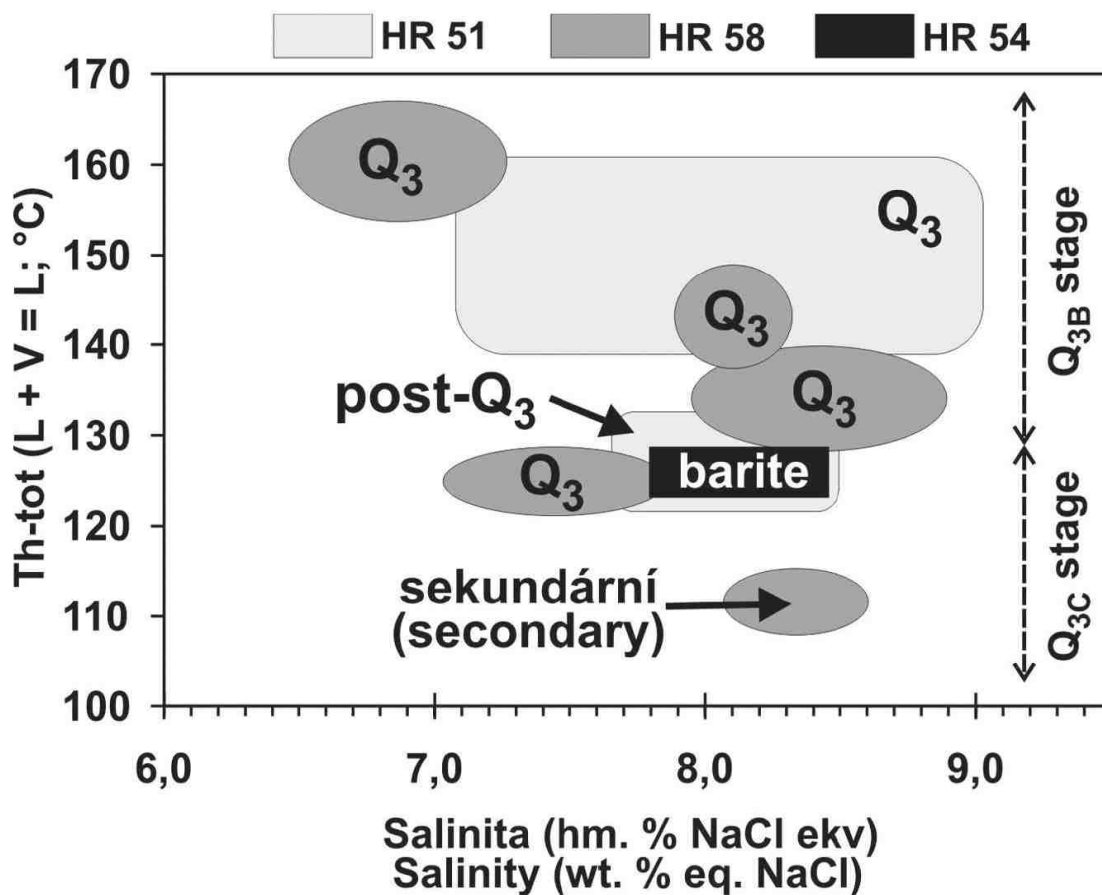
Fig. 7 – Orientation of joints of  $P_1$  and  $P_2$  systems from the „Hříva“ ore body.

levostranný posun) a míry nejistoty jeho určení (neznámý, pravděpodobný, jistý, zaručený). Výsledky tohoto zpracování jsou označeny jako Alternativa-1; ii) pro všechny plochy byl nastaven neznámý smysl pohybu. Tato varianta je označena jako Alternativa-2.

Obě varianty výpočtu poskytly velmi podobné výsledky (obr. 7, Tab. 1). Studované plochy náležejí ke třem vzájemně odlišnými tektonickým fázím s odlišnou orientací os napětového elipsoidu a i s odlišnými poměry napětí  $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3$ . Fáze-1 je charakterizována výraznou horizontální extenzí ve směru V–Z a naopak značnou kompresí ve vertikálním směru. Fáze-2 se odlišuje vertikální orientací  $\sigma_2$  osy a mírnou subhorizontální extenzí ve směru SSV–JJZ a kompresí ve směru ZZS–VVJ. Většina analyzovaných ploch patří k oběma výše uvedeným fázím, jejichž existenci považujeme za bezpečně prokázanou. Malý počet ploch (2–3) naznačuje ještě možnost existence fáze třetí (fáze-3) s extenzí ve směru SZ–JV a opět s vertikální orientací  $\sigma_1$  osy. Vzhledem k malému počtu ploch, které jí odpovídají, ji lze ale považovat spíše za hypotetickou, než za bezpečně prokázanou.

### Mikroskopický charakter křemenné žiloviny ( $Q_3$ )

Všechny žilky typu  $Q_3$  jsou charakteristické bilaterálně symetrickou texturou se směrem krystalizace od okraje do centra žíly. Krystaly křemene (tzv. palisádovitý křemen) jsou zakončeny krystalovými plochami a místy přechází do otevřené dutiny v centru žíly. Většina krystalů má uniformní velikost



**Obr. 8** – Mikrotermometrické charakteristiky primárních a sekundárních fluidních inkluzí z křemene ( $Q_{3B}$ ) a barytu (barite). Sekundární inkluze ze žil  $Q_{3B}$  a primární inkluze v barytu pravděpodobně odpovídají roztokům, z nichž vznikaly pozdní křemenné žíly typu  $Q_{3C}$ .

**Fig. 8** – Microthermometric characteristics of primary and secondary fluid inclusions in quartz ( $Q_{3B}$ ) and in barite. Secondary fluid inclusions measured in  $Q_{3B}$  and primary inclusions studied in the barite probably represent parent fluid of the late quartz veinlets ( $Q_{3C}$ ).

a mléčnou barvu. Vzácně se vyskytují i transparentní krystaly („křišťál“), které jsou patrně mladší než mléčný křemen typu  $Q_3$ . V jednom ze vzorků (HR 54) na zónu krystalů křemene narůstá mladší hrubě zrnitý masivní baryt bílé barvy.

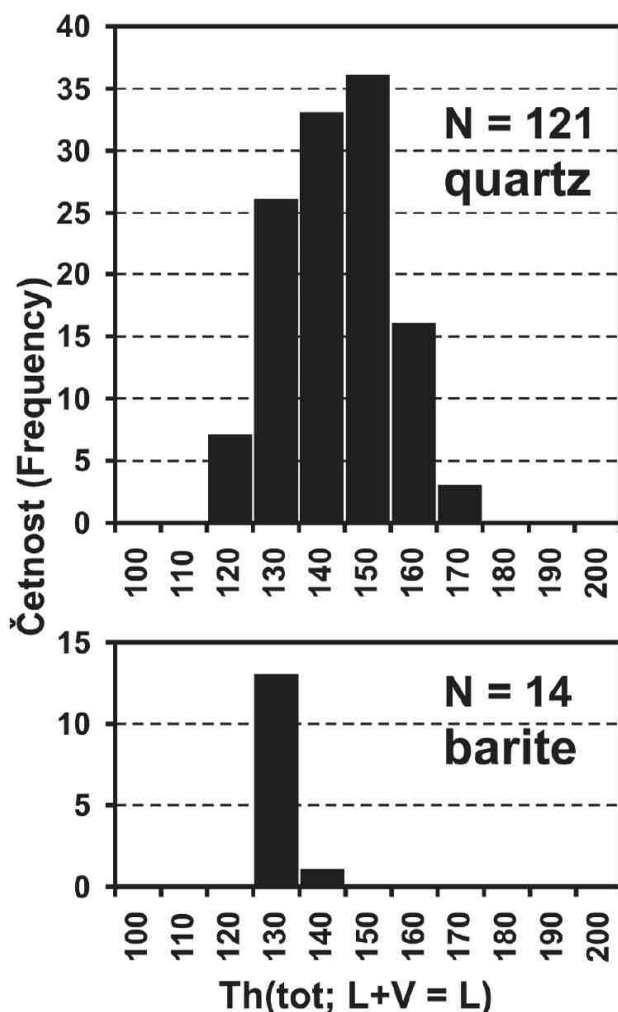
Textury výplně žil  $Q_3$  svědčí o jejich rychlém vzniku (indikováno vějířovitými klastry fluidních inkluzí) v období tektonického klidu (absence ohybu růstových markerů, či pozdější deformace žilné výplně) a o pravděpodobném extenzním charakteru žil  $Q_3$ .

### Fluidní inkluze v žilách typu $Q_3$ (křemen a baryt)

Pro charakterizaci složení a teploty fluid byly studovány fluidní inkluze v křemeni  $Q_{3B}$  a v žilném barytu (náleží rovněž k sukcesi žil  $Q_{3B}$ , ale je mladší než křemen). Jemnozrná hmota hlavního žilníku ( $Q_2$ ) je pro studium fluidních inkluzí nevhodná.

Všechny studované fluidní inkluze jsou pouze vodného typu ( $H_2O$ -sole). Inkluze primárního charakteru výrazně převažují a vytváří izolované klastry, nebo růstové zóny zpeřené vůči středu krystalu.

Teplota prvního tání nebyla měřena vzhledem k malé velikosti inkluzí a špatné transparentnosti vzorků. Při  $-35\text{ }^\circ\text{C}$  však již bylo tání v inkluzích dobře patrné. Teplota tání posledního krystalu ledu ( $T_m$ -ice) inkluzí v křemeni leží v rozpětí od  $-5,8$  do  $-4,1\text{ }^\circ\text{C}$  (134 měření), v barytu pak od  $-5,0$  do  $-5,4\text{ }^\circ\text{C}$  (12 měření). Tyto hodnoty odpovídají salinitě 8,9–6,6 (křemen) a 8,4 až 7,9 (baryt) hm. %  $NaCl_{ekv}$  (obr. 8).



**Obr. 9** – Souhrnné histogramy teplot homogenizací fluidních inkluzí v křemeni (quartz) a barytu (barite).

**Fig. 9** – Summary histograms of final homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz and in barite.

Homogenizace primárních i sekundárních inkluzí probíhala vždy způsobem na kapalinu. U primárních inkluzí v křemenu docházelo k homogenizaci ve dvou teplotních intervalech (165–140 °C a 140–122 °C), které jsou však patrné pouze při zohlednění jednotlivých měřených populací, ale splývají dohromady v souhrnném histogramu (obr. 9). Primární inkluze v barytu homogenizovaly mezi 125 a 127 °C (12 měření). V podobném rozsahu (123–131 °C; průměr 126,2 °C, 13 dat) homogenizovaly i primární inkluze ve vlasové žilce pozdního křemene ( $Q_{3C}$  ?), která pronikala žilkou  $Q_{3B}$ . Sekundární inkluze v křemenu  $Q_{3B}$  homogenizovaly při ještě nižší teplotě (111–113 °C; obr. 8).

## Diskuze

Oblast blanické brázdy je typická výskytem žilných mineralizací Ag-Pb-Zn typu. Většina těchto ložisek/výskytů je vázaná na systémy strmých žil s převahou směrů ssz.–jjv. až sz.–jv., tedy na struktury zpeřené ke s.–j. směru blanické brázdy. Těleso křemenného žilníku s Ag-Pb-Zn mineralizací na hřbetě Hřívý u Louňovic pod Blaníkem se odlišuje od těchto mineralizací svým s.–j. průběhem a středním úklonem k západu. Směrově je tak podobné s výskyty křemenných žil (valů) bez rudní mineralizace uvnitř i v okolí blanické brázdy a směrově a sklonově odpovídá též západnímu tektonickému omezení (zlom Pavlína) rudního tělesa na Roudném (Au-Ag mineralizace).

Analýzou paleonapětí pomocí Gaussovy metody jsme rozlišili dvě až tři napěťové fáze spjaté s vývojem žilníku Hřívý: Starší fáze (fáze-1) s výraznou extenzí ve směru V–Z odpovídá extenznímu režimu poklesové tektoniky ( $\sigma_1$  – vertikální; obr. 7). S vypočtenou orientací napětí je kompatibilní i orientace křemenných žilek extenzního charakteru typu  $Q_{3B}$ . Část žilek  $Q_{3B}$  vykazuje však menší sklon, než by odpovídal čisté extenzi (při subhorizontální orientaci  $\sigma_3$  a při texturně indikované krystalizaci křemene  $Q_{3B}$  kolmo na plochu trhlin) a naznačuje tak možnost vzniku žilek při mírně odlišném napětí, resp. o kombinaci extenze a stříhu při vzniku otevřených trhlin (následně vyplněných křemenem). Celková orientace tělesa žilníku ( $Q_2$ ), jak byla dokumentována vrtnými pracemi (KRÁLÍK et al. 1990), odpovídá rovněž fázi 1.

Mladší fáze (fáze 2) odpovídá režimu horizontálního posunu („strike-slip“;  $\sigma_2$  – vertikální). Současně dochází k rotaci horizontálních os o cca 30° oproti fázi 1. Na obr. 7 je prezentována horizontální komprese ve směru ZZS–VVJ a extenze ve směru SSV–JJZ. Tuto variantu interpretace preferujeme, neboť je kompatibilní s orientací málo hojných mladších extenzních žilek typu  $Q_{3C}$ . Avšak vzhledem k velmi malému rozdílu v poměru hlavních napětí ( $\sigma_1$ - $\sigma_2$  vs.  $\sigma_2$ - $\sigma_3$ ), jen malá změna v parametrech výpočtu, vede ke vzájemnému prohození os  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  (při zachování jejich orientace). Na plochách shodně orientovaných s „podložní tektonickou poruchu přesmykového charakteru“ jsme identifikovali tektonické striace shodného smyslu (přesmyk). Toto zjištění nepřímo potvrzuje mladší stáří deformační fáze 2 vůči fázi 1, neboť během fáze 1 dochází na takto orientovaných plochách k poklesům.

Nejmladší deformační fáze (fáze 3) je spíše hypotetická vzhledem k malému počtu analyzovaných ploch. Její existence by však mohla být indikována rovněž přítomností vzácných pozdních extenzních puklin (typ L) s výplní pozdních hypogenních až ranných supergenních minerálů (pyromorfitu a plumbogummitu).

Na lokalitě jsou dále přítomny dva puklinové systémy. Hojněji zastoupený systém  $P_1$  má bilaterální symetrii s ostrým úhlem o velikosti 81° mezi dominantními plochami. Jeho vznik nedokážeme bezpečně přiřadit k rozlišeným tektonickým fázím. V případě, že by reprezentoval systém konjugovaných střížných ploch (není to zcela zřejmé), pak by nejspíše vznikl během fáze 1. Puklinový systém  $P_2$  má shodnou orientaci jako žilky typu  $Q_{3B}$  a vlastní těleso žilníku ( $Q_2$ ). Jeho vznik patrně souvisí s fází 1.

Studium fluidních inkluzí zachycených v žilách typu  $Q_3$  indikuje kontinuální pokles teploty fluidů v čase, při současně malých změnách salinity fluidů. Pro předběžnou interpretaci dat předpokládáme, že teploty homogenizací inkluzí se neliší o více než 40–50 °C od teplot zachycení (vzniku) inkluzí. Pokud



tomu tak skutečně je, tak by žilky typu  $Q_{3B}$  vznikaly za teplot kolem 200 až 170 °C. Sukcesně mladší mineralizace (baryt v  $Q_{3B}$ , či žilky mladšího křemene  $Q_{3C}$ ) vznikají za teplot cca 160 až 170 °C. Pozdní fluida mohla být zachycená v sekundárních inkluzích při ještě nižších teplotách (cca 130 až 150 °C).

Pozdní vodná fluida na ložisku Roudný vykazují velmi podobné parametry ( $T_{h-tot}$ : 200 až 100 °C, salinita 5,7 až 9,3 hm. %  $NaCl_{ekv.}$ ; ZACHARIÁŠ et al. 2009). Přepokládáme proto, že vznik žilníku na vrchu Hříva se časově překrývá s pozdními etapami vývoje mineralizace na ložisku Roudný (porudní stádium).

## Závěr

Těleso křemenného žilníku v oblasti Hřívy vzniklo minimálně během dvou až tří etap křehké deformace. Starší fáze v režimu poklesové tektoniky je charakteristická výraznou extenzí ve směru V–Z. V tomto stádiu dochází k masivnímu rozpukání tělesa žilníku a vzniku sítě drobných křemenných žilek typu  $Q_{3B}$ . K vlastní masivní silicifikaci hornin však muselo dojít ve fázi/etapě ještě starší. Mladší deformační fáze odpovídá režimu horizontálního posunu s extenzí ve směru SSZ–JJV a kompresí ve směru ZZS–VVJ. Ve všech etapách křehké deformace se uplatňuje pouze jeden typ roztoků – vodná fluida o salinitě cca 6–9 hm. %  $NaCl_{ekv.}$  a teplotě cca 200–130 °C. Proniky fluid meteorického původu do systému nebyly zaznamenány.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu Grantové agentury Univ. Karlovy (číslo: 151810), za současného přispění výzkumného záměru geologické sekce (MŠMT 0021620855).

## Literatura

- BENEŠ V., 1985: Ložiskové poměry oblasti Hřívy u Louňovic. – Ms., 79 p. [Dipl. pr.; depon. in: Geol. Knih. Přír. Fak. Univ. Karlovy, Praha.]
- BERNARD J. H. et al., 1967: Závěrečná zpráva o základním geologickém výzkumu Blanické brázdy a sv. části středočeského plutonu. – Ms. [Záv. Zpr.; depon. in: Geofond ČR, Praha.]
- BERNARD J. H., PETRÁK P. & ŠKVOR V., 1979: Prognózní význam Blanické brázdy. – Geologický Průzkum 6: 167–170.
- BODNAR R. J., 1993: Revised equation and table for determining the freezing point depression of  $H_2O$ - $NaCl$  solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 57: 683–684.
- DOBLAS M., 1998: Slickenside kinematic indicators. – *Tectonophysics* 295: 187–197.
- KOLÁŘ P. & KARÁSEK P., 1983: Blanická brázda, geofyzikální průzkum 1982. – Ms. [Záv. Zpr.; depon. in: Geofond ČR, Praha, GF P041160.]
- KRÁLÍK M. et al. 1990: Souhrnná závěrečná zpráva Hříva u Louňovic. – Ms. [Záv. Zpr.; depon. in: Geofond ČR, Praha, GF P075571.]
- KRÁLÍK M., 1997: Stříbrnosný žilník na Hřívě pod Blaníkem. – In: ZACHARIÁŠ J. (ed.), Sborník semináře Pouba 75 let, p. 51–59, Přírodovědecká fakulta UK Praha.
- ŠREIN V., 1985: Mineralogický výzkum vybraných lokalit úkolu: Zhodnocení prognóz zdrojů Ag v českém masívu. – Ms. [Záv. Zpr.; depon. in: Geofond ČR, Praha.]
- ZACHARIÁŠ J., PATEROVÁ B. & PUDILOVÁ M., 2009: Mineralogy, fluid inclusion, and stable isotope constraints on the genesis of the Roudny Au-Ag deposit, Bohemian Massif. – *Economic Geology* 104: 53–72.
- ŽALOHAR J. & VRABEC M., 2007: Paleostress analysis of heterogeneous fault-slip data: The Gauss method. – *J. Structural Geology* 29: 1798–1810.

*Adresy autorů:*

Jiří ZACHARIÁŠ

Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze  
Albertov 6  
CZ – 128 43 Praha 2  
e-mail: zachar@natur.cuni.cz

Zdeněk HÜBST

Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze  
Albertov 6  
CZ – 128 43 Praha 2  
e-mail: zdenek.hubst@gmail.com

Moustafa SELMI

Geology department, Faculty of Science  
Suez Canal University  
Ismailia, Egypt  
e-mail: moustafaselmi@gmail.com

Došlo: 6. 5. 2011

Přijato: 20. 6. 2011