



Vývoj křehkých deformací v granitu z lomu v Ševětíně u Českých Budějovic a jejich vztah ke vzniku Pb-Zn zrudnění

Evolution of brittle deformations in the granite from the quarry at Ševětín near České Budějovice and their relationship to formation of Pb-Zn ores

Jiří Zachariáš • Martin Štrba⁽¹⁾

Abstract: Three phases of brittle deformation were identified in the body of Ševětín granite, inclusive their respective paleostress orientation. The oblique compression (oldest) phase is accompanied by intrusion of aplite dikes and by formation of NE–SW trending tension joints. Intrusion of a microgranodiorite dike occurred during the strike-slip phase, under E–W oriented subhorizontal extension. The late phase corresponds to NNE–SSW to NE–SW oriented extension. It is accompanied by formation of quartz-carbonate veins with local presence of galena and sphalerite. Individual phases of brittle deformation of the Ševětín granite thus reflect stress and deformation during formation of the Blanice Graben.

Keywords: faults, joints, paleostress analysis, Blanice Graben.

Abstrakt: V tělese ševětínského granitu byly identifikovány tři fáze křehké deformace a určena orientace paleonapětí v době jejich působení. V nejstarší fázi, šikmé kompresi, dochází k intruzi žil aplitů a ke vzniku výrazných tahových puklin SV–JZ směru. Ve fázi horizontálního posunu s maximální extenzí ve směru V–Z intruduje žíla pyroxenického mikrogranodioritu a vzniká menší část puklin. Závěrečná fáze odpovídá extenzi ve směru SSV–JJZ až SV–JZ a je doprovázena vznikem křemen-karbonátových žil s lokálně přítomným galenitem či sfaleritem. Jednotlivé fáze křehké deformace v tělese ševětínského granitu tak věrně odrážejí napětí a deformace při vzniku blanické brázdy.

Klíčová slova: zlomy, pukliny, analýza paleonapětí, blanická brázda.

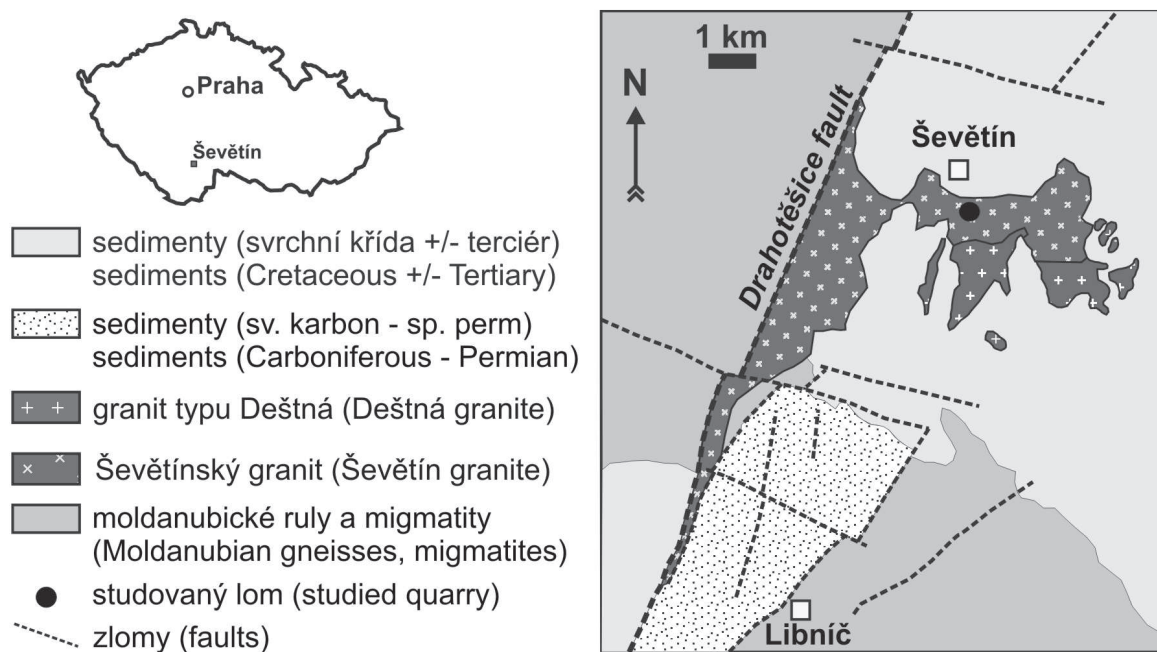
Úvod

Ševětínský granitový masiv je řazen k nejmladším intruzivním fázím moldanubického plutonu. Vystupuje však jako izolované těleso, jehož prostorový výskyt a výrazně asymetrický tvar nápadně koreluje s průběhem výrazné regionální tektonické struktury blanické brázdy. V tomto článku popisujeme křehké deformace v tělese ševětínského granitu, které dokumentují tektonické napětí a pohyby na zlomech blanické brázdy v době po utužení ševětínského masivu a jeho ochlazení na teploty přibližně pod 450 °C a končící vznikem polymetalické Pb-Zn mineralizace. Cílem práce je podat ucelený přehled o sukcesi a genezi puklin, zlomů, horninových a hydrotermálních žil z lomu Ševětín ve vztahu k tektonickému vývoji blanické brázdy.

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

Blanická brázda (BB) je výraznou tektonickou strukturou o délce asi 200 km (od Českého Brodu až po Linz), šíři asi 10 km, která byla založena koncem karbonu (asi 305 Ma) a hlavní fáze jejího vývoje spadají do spodního permu (asi 299–260 Ma). V mladších geologických obdobích (křída, terciér) byla struktura brázdy tektonicky reaktivována. V rakouské části má BB charakter duktilní střížné zóny s levostranným smyslem pohybu, jehož stáří bylo metodou Ar-Ar odhadnuto na 288–281 mil. let (Brandmayr et al. 1995). V české části BB, v okolí jižně a jihovýchodně od Kaplice, byl dokumentován levostranný posun o délce asi 17 km (Vrána & Bártek 2005).

Ševětínský masiv (obr. 1) je tvořen třemi základními typy hornin: a) dvojslídovým granitem typu Deštná; b) biotit-muskovitovým granitem (monzogranodioritem) typu Ševětín; a c) biotitovým granitem. Granit typu Deštná studoval Matějka (1991a, 1991b), Nosek (1999) a Matějka et al. (2003). Jeho stáří není známo, ale bude pravděpodobně stejné jako stáří dvojslídových granitů klenovského masivu (329–327 Ma; Verner et al. 2014). Vystupuje v jižní centrální části masivu a z velké části je překryt křídovými a terciévními sedimenty českobudějovické pánve.

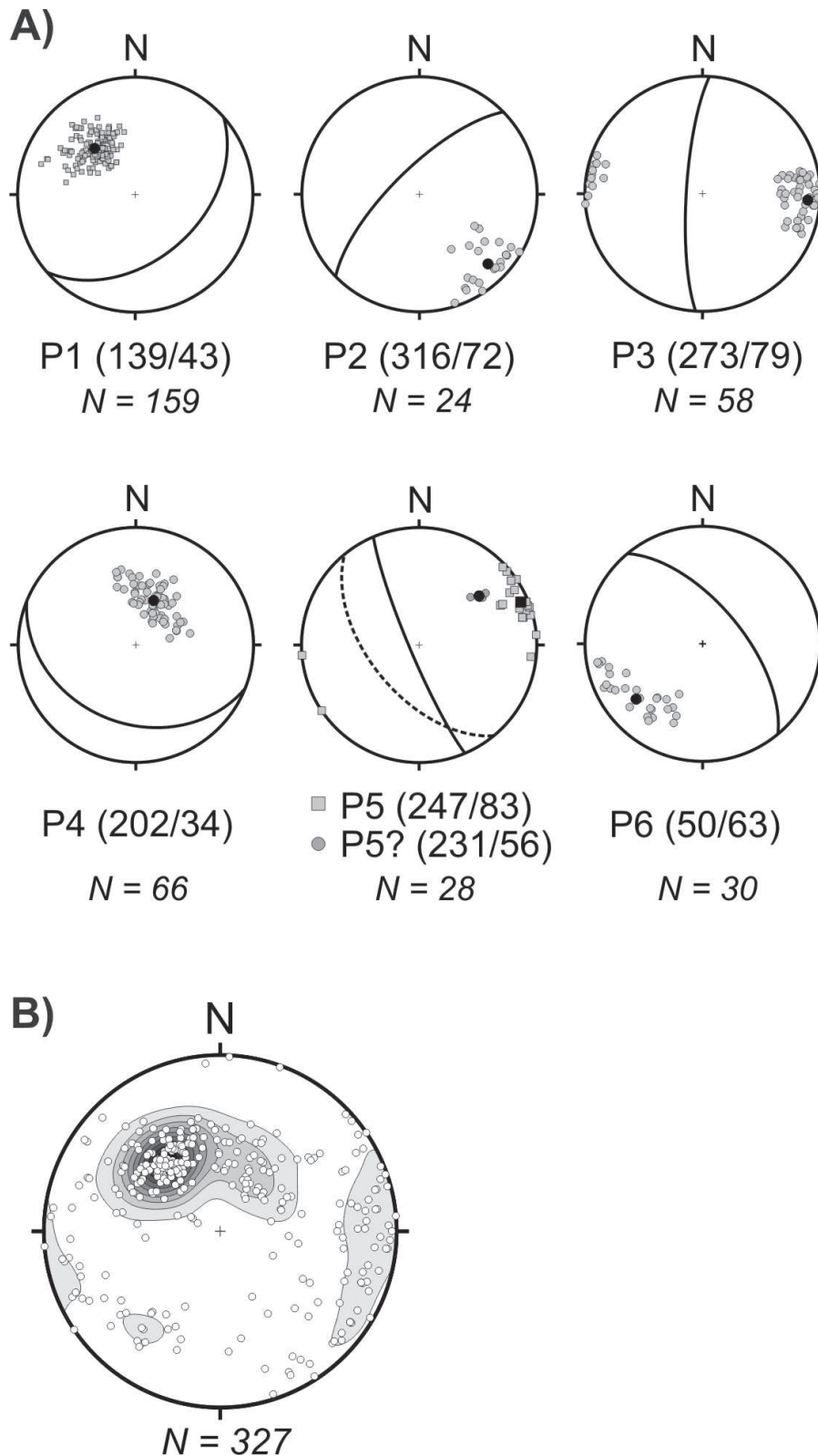


Obr. 1 – Geologická mapa ševětínského tělesa a jeho okolí (zjednodušeno).

Fig. 1 – Geological map of the Ševětín intrusive body (simplified).

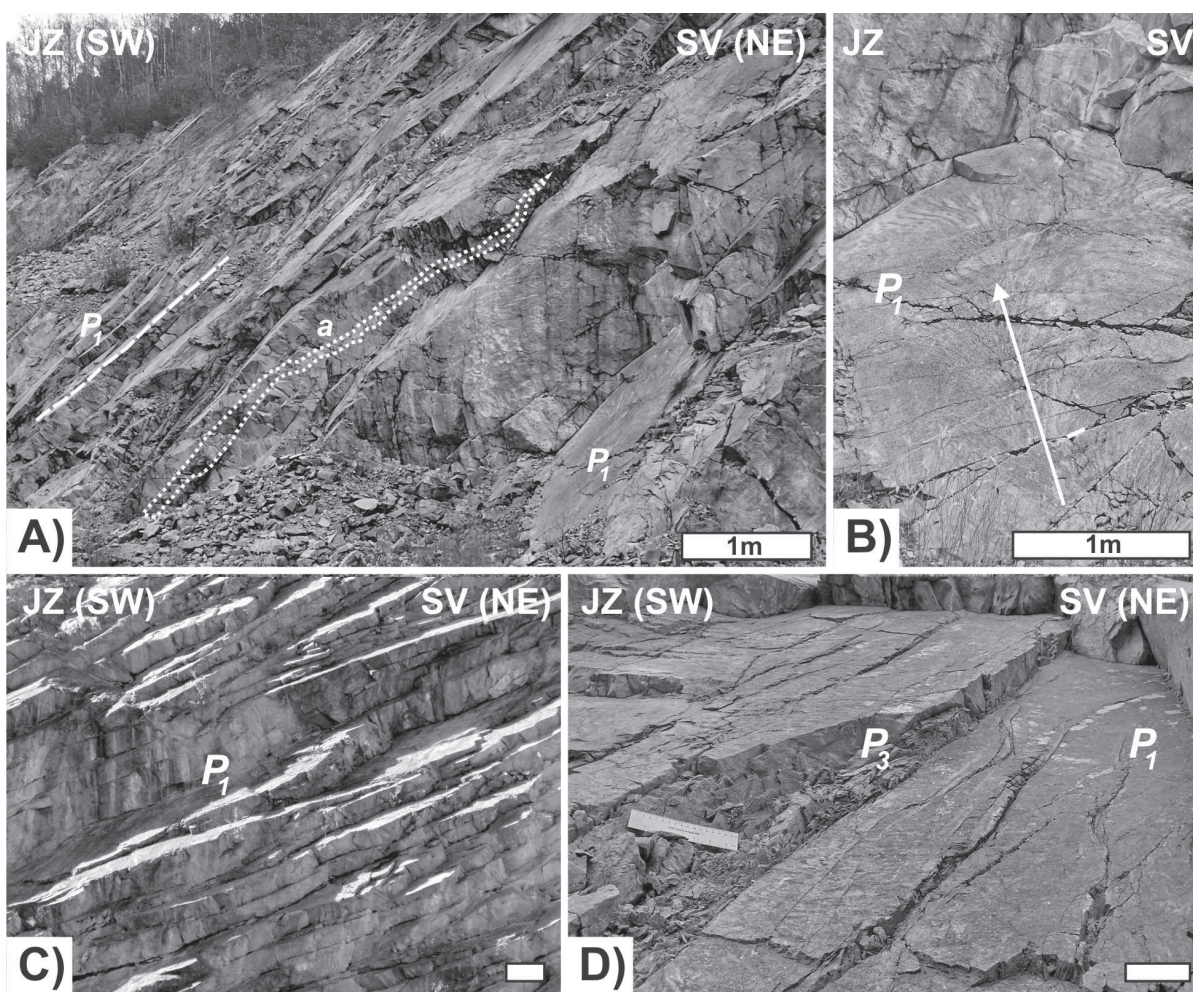
Granit typu Ševětín studoval Ambrož (1935), Matějka (1991a, 1991b), René et al. (1999) a Janoušek et al. (2002). Je mladší než granit typu Deštná, a jeho přesné stáří není rovněž známo. Musí však být starší než žíla pyroxenového mikrogranodioritu, která jím proráží (Vrána et al. 1993) a jejíž stáří je přibližně 270 Ma (Košler et al. 2001). Biotit-muskovitový granit typu Ševětín zaujímá většinu rozlohy ševětínského masivu a nachází se v něm i ševětínský lom, kde jsme prováděli svá měření. Nedávno byl v lomu zjištěn navíc i jemnozrnný biotitový granit (Janoušek et al. 2002), jeho prostorové rozšíření je však minimální (asi 100 × 200 m).

Tektonické pohyby na zlomech blanické brázdy byly doprovázeny různými projevy hydrotermální aktivity. Nejstarší je Au-(Ag) mineralizace (např. Roudný, Dobrá Voda; Zachariáš et al. 2009, Zachariáš & Hübster 2012), mladší, ale co do hojnosti výskytů nejpočetnější je Ag-Pb-Zn mineralizace (např. Ratibořské hory – Stará Vožice, Rudolfovo; Kořán & Koutek 1947, Čech et al. 1952, Velebil 2000, Hübster et al. 2011) a nejmladší je U-mineralizace. Hydrotermální mineralizace Pb-Zn typu



Obr. 2 – Orientace pólů puklin v lomu Ševětín: A) jednotlivé skupiny puklin (P1 až P6). Hodnoty průměrné orientace jsou uvedeny v závorce a znázorněny pólem (plný černý symbol) a linií plochy; B) souhrnný diagram všech měření.

Fig. 2 – Orientation of poles of joints in the Ševětín quarry: A) individual groups of joints (P1 trough P6). Average orientation is given in a parenthesis and marked by black solid symbol (pole) and line (joint plane); B) summary plot of all data.



Obr. 3 – Fotodokumentace puklin P_1 v lomu Ševětín: A) paralelní průběh puklin P_1 a žíly aplitu (a); B) pohled na odkrytou puklinu P_1 , na ploše je vidět pérování, které se vějířovitě rozevírá ve směru šipky (šipka je totožná s osou vějíře); C) pravidelné vzdálenosti mezi puklinami P_1 (severozápadní stěna lomu; měřítko 10 cm); D) plocha P_1 , která je porušena paralelními puklinami systému P_3 , podél nichž dochází k drobným systematickým poklesům severovýchodního bloku (foto J. Zachariáš 2012).

Fig. 3 – Photodocumentation of P_1 joints from the Ševětín quarry: A) parallel orientation of P_1 joints and of an aplite dike (a); B) P_1 joint with a fan of ripple marks. Arrow marks both the axis of the fan and the sense of joint growth; C) regular spacing of P_1 joints (northwestern wall of the quarry; scale 10 cm); D) P_1 joint segmented by steep P_3 joints. Note systematic down-slip of NE-blocks along P_3 joints (photo by J. Zachariáš 2012).

s galenitem, sfaleritem, tetradritem a pyritem zjištěná v ševětínském lomu (Čtvrtníček & Pavlíček 2002, Welser & Zikeš 2007, 2009) představuje nejspíše analog výše uvedené Ag-Pb-Zn mineralizace. Drahotěšická porucha (okrajový zlom blanické brázdy) je v úseku asi 10 km doprovázena až 200 m mocnou zónou masivního hydrotermálního křemene (Suk et al. 1978), jejíž časové zařazení je však problematické.

Metodika

V terénu byla provedena detailní dokumentace v přístupných částech lomu Ševětín. Průběh hlavních zlomů byl zaměřen pomocí GPS. Celkem bylo realizováno 387 měření puklin, či žil. Strukturní měření byla zpracována v programu Stereo32 (v. 1. 0. 1) a jsou vynesena v plochojevné projekci na

spodní polokouli. Data jsou uváděna ve stupních, jako azimut a sklon spádnice plochy. Průměrné hodnoty orientace strukturních prvků byly získány přepočtem z hodnot orientace vlastních vektorů.

Dokumentace a měření zlomových ploch, tektonických striací (ohlazů) a identifikace smyslu pohybu byla provedena ve shodě s doporučeními Doblás (1998). Data byla následně vyhodnocena v programu T-Tecto v. 3.0 (autor J. Žalohar) za pomoci Gaussovy metody (Žalohar & Vrabc 2007). Celkem bylo proměřeno 64 ploch s tektonickou striací, z toho u 24 z nich byl v terénu určen i smysl pohybu.

Výsledky

Pukliny

Na základě makroskopických vztahů v lomu a na podkladě interpretace tektonických měření bylo vyčleněno 6 skupin převážně strmých puklin (obr. 2), značených jako P1 (nejstarší) až P6 (nejmladší).

Systém P1 (průměrná orientace spádnice plochy: $139^{\circ}/43^{\circ}$) představuje vizuálně nejdominantnější systém v lomu, nejlépe je odkryt v jeho západní (severozápadní) stěně (obr. 3). Tvoří ho pukliny směru SV–JZ ukloněné pod středními úhly k JV a vzdálené od sebe 10–20 cm (obr. 3c). Jedná se o pukliny tahového charakteru, což je dokumentováno též přítomností vějířovitého pérování téměř na všech plochách. Osa vějíře pérování je většinou blízká spádnici ploch P1 a rozevření vějíře vypovídá o šíření puklin ve směru vzhůru po ploše (obr. 3b). Pérování a geneticky související drobné koncentrické hřbety a žlaby jsou dále místy zvýrazněny nesouvislým povlakem tmavých minerálů (epidot > chlorit), který dokládá mírnou aktivitu hydrotermálních fluid v době vzniku trhlin P1.

Systém P2 ($316^{\circ}/72^{\circ}$) je makroskopicky velmi málo výrazný. Byl vyčleněn až dodatečně, na základě výrazné separace skupiny dat v tektonogramu. Směrově je shodný se systémem P1, avšak je ukloněný na opačnou stranu (k SZ). Neobsahuje výraznou minerální výplň. Jeho časové zařazení je sporné, může být jak současné s P1, tak i mladší.

Systém P3 ($273^{\circ}/79^{\circ}$) tvoří strmé pukliny směru S–J bez výrazné minerální výplně, podél nichž dochází k systematickým drobným poklesům východního bloku vůči bloku západnímu (obr. 3d). Některé z ploch obsahují rovněž charakteristické pérování s osou blízkou spádnici plochy a s rozšiřováním vějíře směrem vzhůru. Nejspíše se proto jedná o pukliny smíšeného tahovo-střížného charakteru.

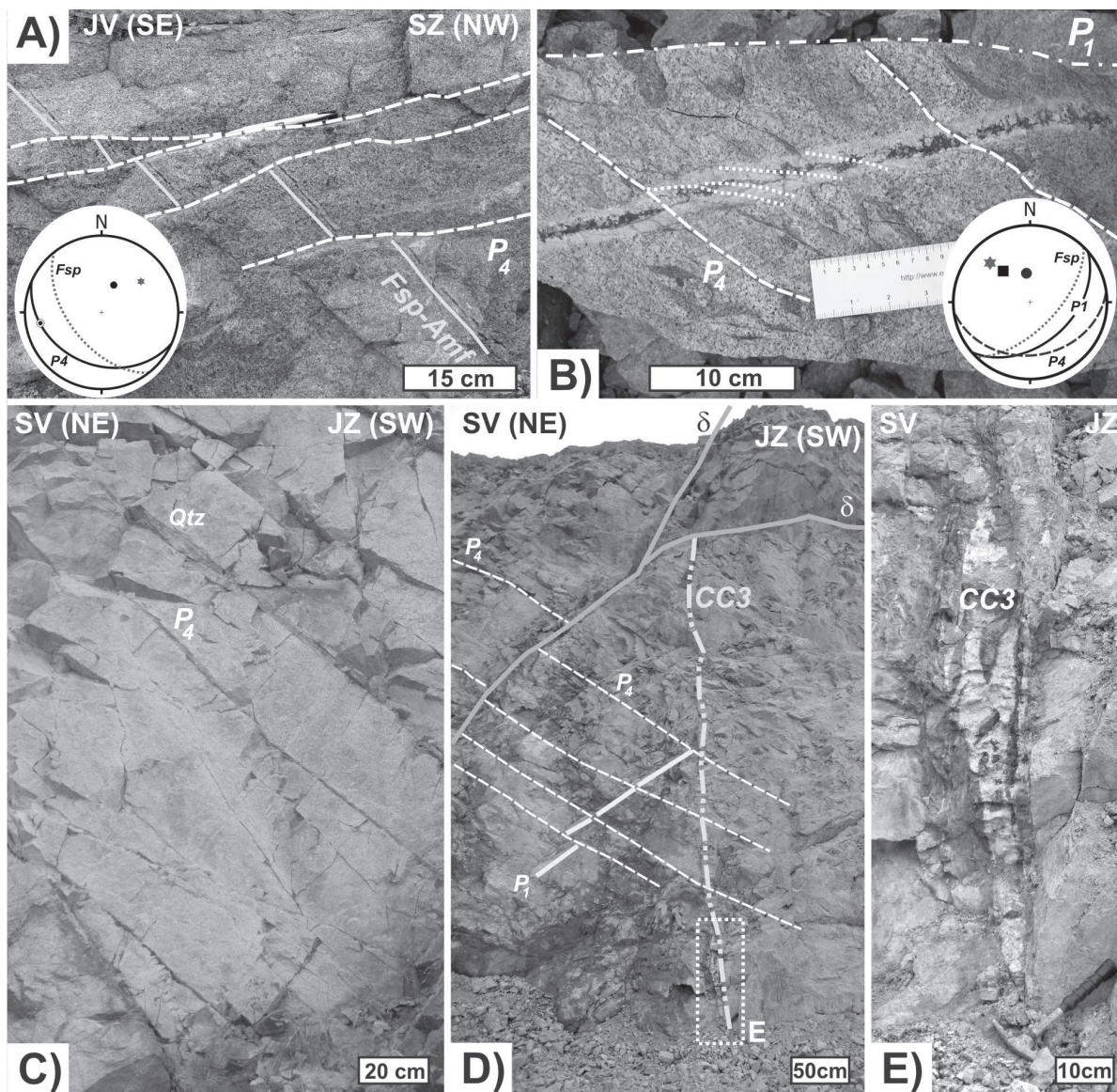
Systém P4 ($202^{\circ}/34^{\circ}$) představuje druhý dominantní systém v lomu (obr. 4a-d), který je velmi dobře patrný zejména na východních (jihovýchodních) stěnách lomu. Jedná se o sevřené pukliny vzájemně vzdálené asi 10–30 cm, většinou bez stop viditelného posunu. Některé z nich však byly reaktivovány v pozdější době a došlo podél nich k pohybu. Místy jsou některé z ploch doprovázeny až 3 cm mocnou výplní (žilou) tmavě šedého až šedočerného jemnozrnného křemene (obr. 4c), či tenkým povlakem amfibolu či epidotu. Velmi vzácně podél nich pronikají drobné hrubozrnné křemen-živcové žilky (pegmatit?).

Systém P5 ($247^{\circ}/83^{\circ}$) má charakter strmých sevřených puklin směru SSZ–JJV, které se svou orientací shodují s orientací mladších tahových žil s výplní kalcitu (\pm sfaleritu, pyritu; typ CC3, viz níže).

Systém P6 ($50^{\circ}/63^{\circ}$) představuje strmé sevřené pukliny, které jsou směrově shodné s puklinami P5, avšak jsou ukloněné na opačnou stranu (k SV).

Žíly intruzivních hornin (leukogranit, aplit)

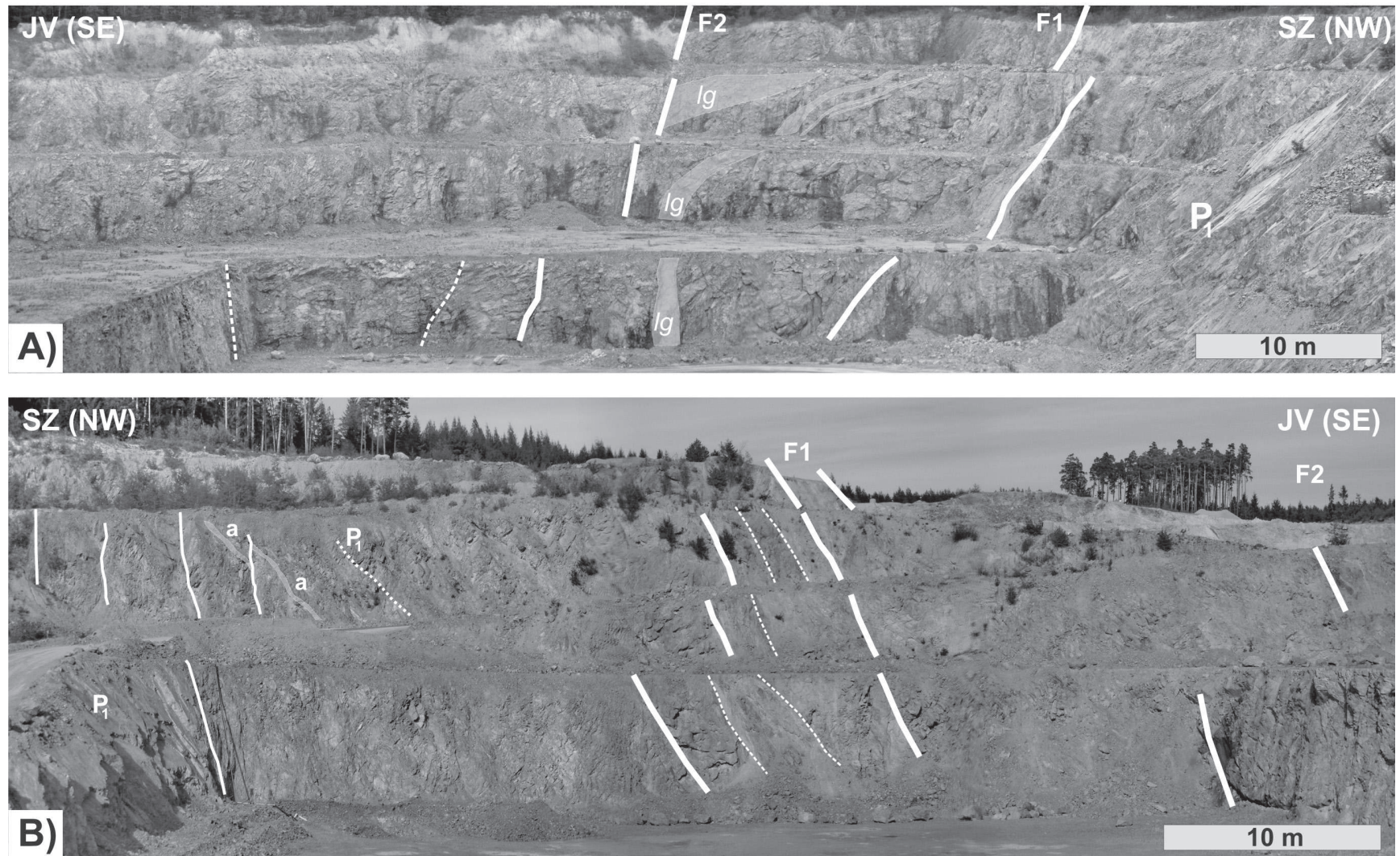
Z horninových žil byly v době našich návštěv lomu zaznamenány především žíly aplitů. V jižní stěně jsou viditelné též mocné žíly leukokratního granodioritu, jejich směr a sklon však nebylo možno



Obr. 4 – Fotodokumentace puklin typu P4 v lomu Ševětín: A) pukliny P4 dislokují starší puklinu s výplní hydrotermálního živce (Fsp) a amfibolu (Amf); B) pukliny P4 protínají živcovou žilku s pozdější výplní amfibolu a turmalínu v centrální trhlině. Živcová žilka (Fsp) je mírně kosá k systému P1; C) paralelní systém puklin P4, místy vyplněný šedočerným křemenem (Qtz); D) systém puklin P4 dislokuje starší pukliny systému P1. Na snímku je dále vidět mladší tektonická porucha (δ) a kalcitová žíla typu CC3; E) detail masivní kalcitové žíly z předchozího snímku (foto J. Zachariáš 2012).

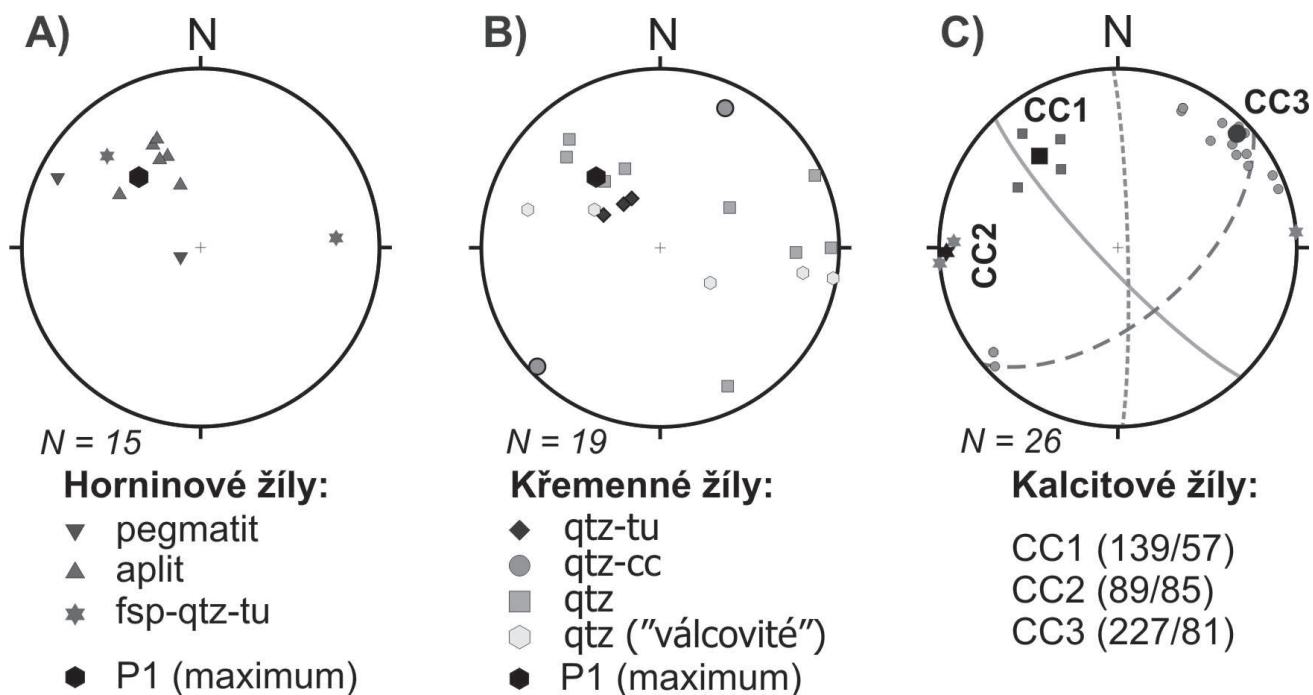
Fig. 4 – Photodocumentation of P4 joints from the Ševětín quarry: A) P4 joints displace older joint filled in with hydrothermal feldspar (Fsp) and hornblende (Amf); B) P4 joint displaces feldspar veinlet filled in with younger hornblende-tourmaline in the central fracture. Orientation of the feldspar veinlet (Fsp) is slightly oblique to P1; C) set of parallel P4 joints, locally filled in with vein of dark quartz (Qtz); D) P4 joints displace the older P1 joint. Younger fault (δ) and calcite vein of CC3 type are also shown; E) detail of massive calcite vein from the previous photo (photo by J. Zachariáš 2012).

zblízka zdokumentovat. Většina žil aplitů či granodioritu je paralelní s puklinami P1 (obr. 3a, 5b, 6a). V měřítku výchozu nebylo však zjištěno protínání horninových žil puklinami P1 a obráceně. Vznik obou fenoménů (P1 a aplity) je proto patrně časově velmi sblížený. V jižní stěně lomu lze pozorovat postupný přechod orientace žil leukokratických granitů ze směrů a sklonů shodných se systémem P1



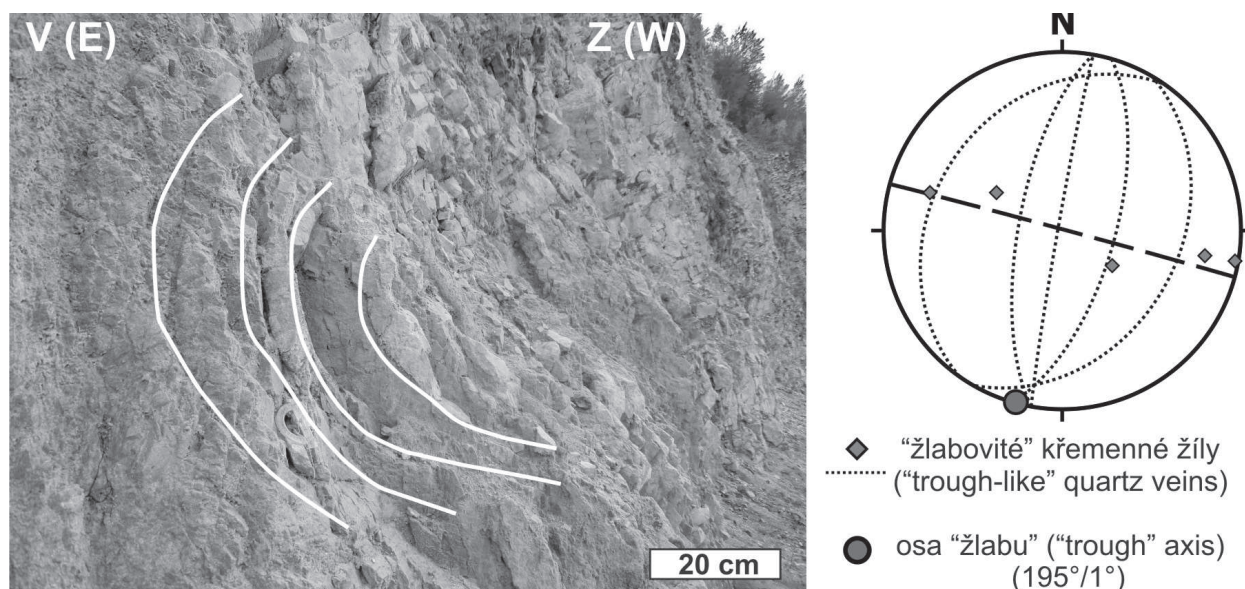
Obr. 5 – Panoramatická fotografie protilehlých stěn lomu s vyznačením průběhu hlavních zlomů (F1 a F2), žil aplitu (a), leukokratního granodioritu (lg) a puklin P1: A) jihozápadní stěna lomu; B) severovýchodní stěna lomu (foto J. Zachariáš 2012).

Fig. 5 – Panoramic photo of opposite sides of the quarry. Course of main faults (F1 and F2), aplite (a) and leucogranodiorite (lg) dikes and P1 joints is also highlighted. A) southwestern wall of the quarry; B) northeastern wall of the quarry (photo by J. Zachariáš 2012).



Obr. 6 – Stereogramy pólů žil: A) intruzivní žíly; B) křemenné žíly; C) kalcitové žíly (zkratky: fsp-živce, tu-turmalín, qtz-křemen, cc-kalcit).

Fig. 6 – Stereograms of poles of dikes and veins: A) intrusive dikes; B) quartz veins; C) calcite veins (abbreviations: fsp-feldspar, tu-tourmaline, qtz-quartz, cc-calcite).



Obr. 7 – Skupina zakřivených paralelních křemenných žil (zvýrazněny bílou linií). Stereogram dokumentuje variabilitu sklonu křemenných žil a ukazuje orientaci osy hypotetického „žlabovitého“ tělesa (foto J. Zachariáš 2012).

Fig. 7 – Set of curved parallel quartz veins (individual veins are highlighted by white line). Stereogram documents variability in the dip of quartz veins and also shows trend and dip of the axis of the hypothetical trough-like body (photo by J. Zachariáš 2012).

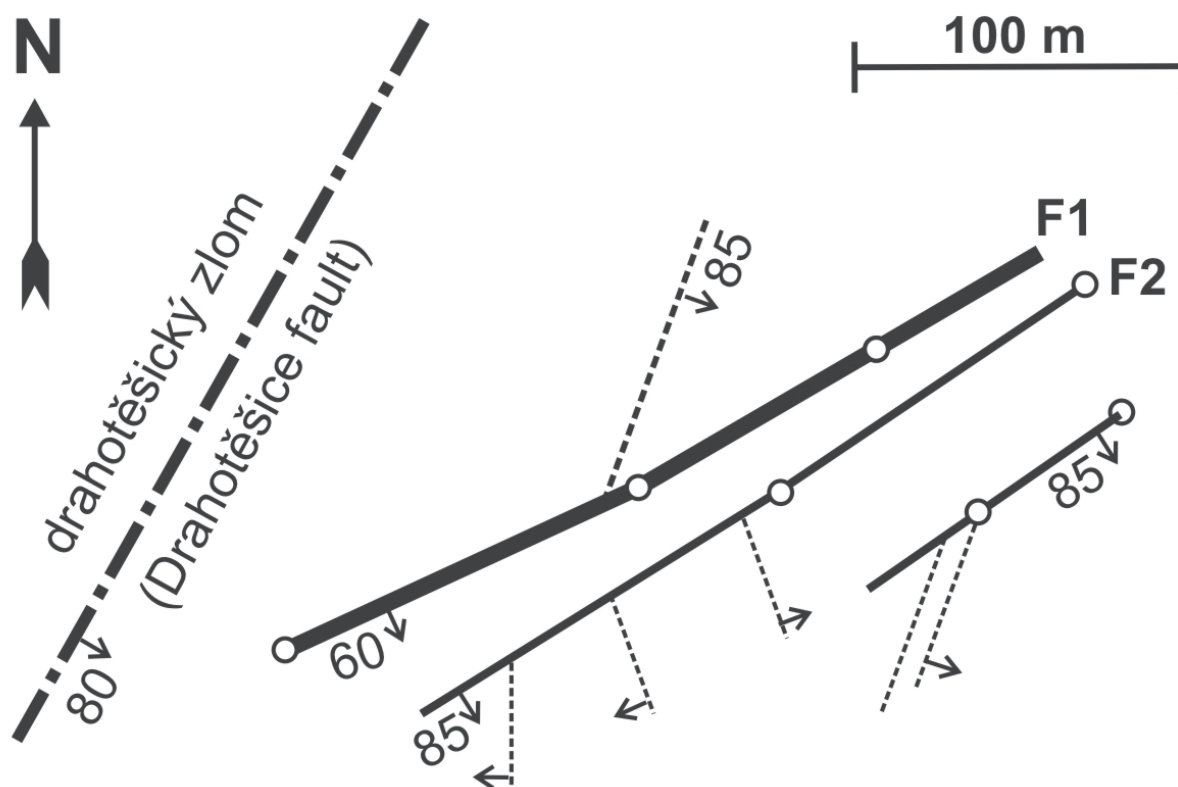
do sklonů výrazně strmých (obr. 5a). Žíly hrubozrnného křemen-živcového pegmatitu nalezené ve stěnách byly většinou jen málo mocné (do 3 cm) a malého směrného rozsahu. Ve volné suti však byly nalezeny nehojné úlomky hrubozrnných pegmatitů až 10–15 cm mocné.

Hydrotermální žíly

Hydrotermální minerály částečně vyplňují některé výše uvedené pukliny, nebo tvoří jejich alterační lemy (až 1 cm mocné) či samostatné žíly. Pravděpodobná sukcese hydrotermálních produktů (od nejstarších k nejmladším) je tato: hrubozrnné křemen-živcové žilky s vtroušeným amfibolem (pegmatit?) \Rightarrow epidot \pm chloritový povlak některých puklin (hl. P1, P4) \Rightarrow živcové žilky (\pm s křemenem) s mladším amfibolem/turmalínem (\pm křemenem) ve výplni trhliny v centrální části žilky (obr. 4a, 4b) \Rightarrow křemenné žilky s amfibolem/turmalínem \Rightarrow žíly masivního křemene (\pm sulfidy; patrně i více generací) \Rightarrow kalcitové žíly (\pm křemen a sulfidy Fe-Pb-Zn) \Rightarrow chalcedon v tmelu brekcií starších žil, či vzácněji vyplňující samostatné žilky.

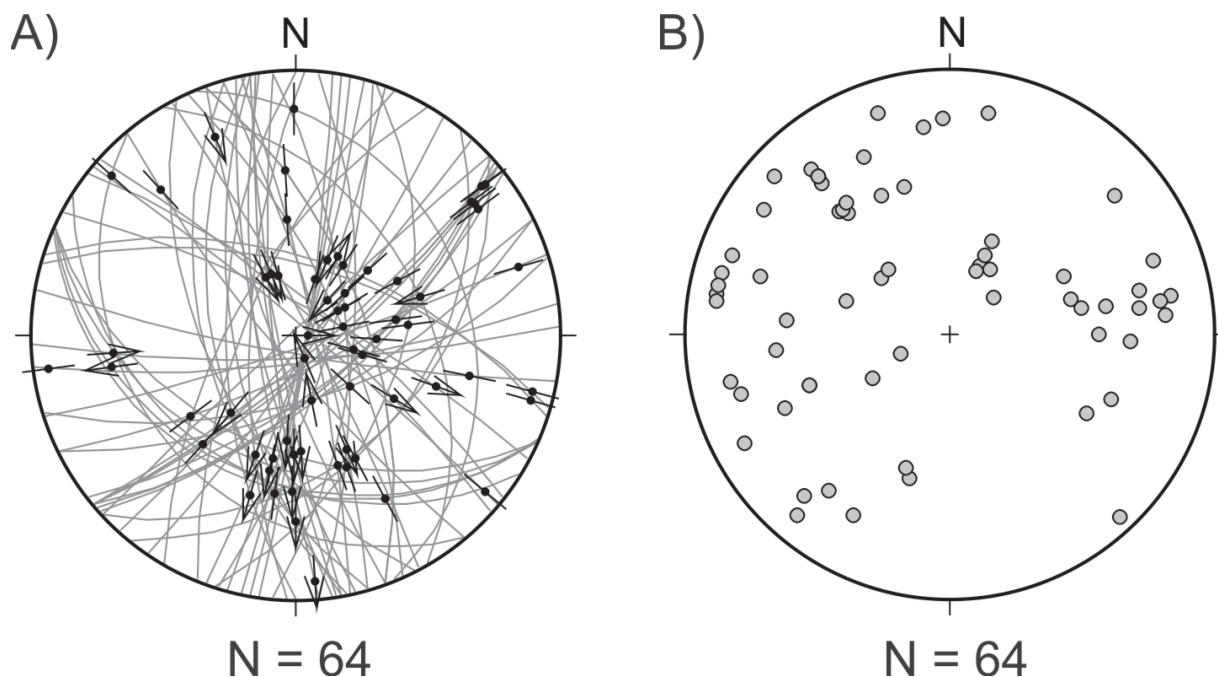
Zvláštní fenomén představuje ojedinělý výskyt asi 1–2 cm mocných žil šedočerného křemene (s vtroušenými sulfidy?), které jsou výrazně zakřivené a připomínají několik do sebe vložených žlabů (obr. 7). Hypotetická osa tohoto kompozitního tělesa má směr/sklon asi $195^\circ/1^\circ$.

Živcové žilky s amfibolem (obr. 4a–b) jsou bezpečně mladší než pukliny P1, ale starší než pukliny P4. Svoji orientací jsou blízké jak systému P1, tak i P4. Křemenné žilky s turmalínem a část



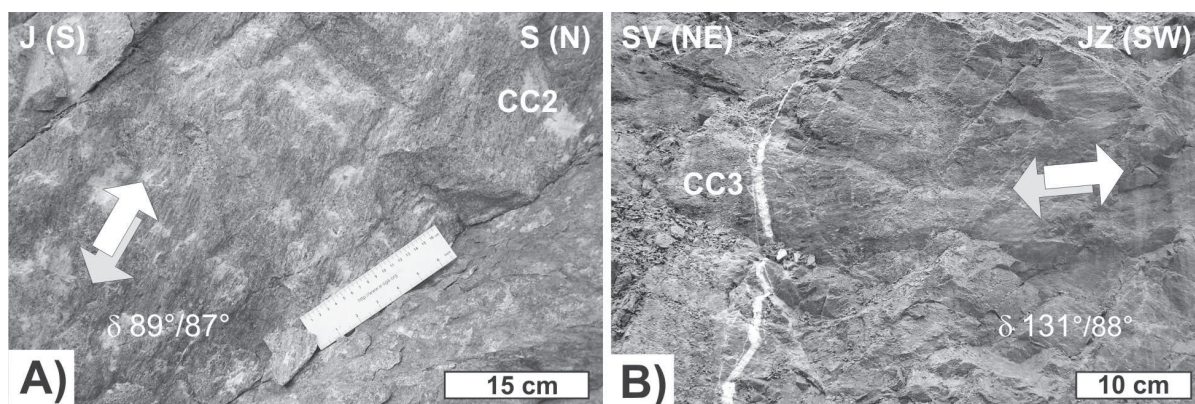
Obr. 8 – Schematický průběh hlavních zlomů v lomu Ševětín. Pro přehlednost je vyznačen též směr drahotěšického zlomu, který však ve skutečnosti probíhá několik km na západ od lomu.

Fig. 8 – Scheme of course of main faults in the Ševětín quarry. The Drahotěšice fault is shown for clarity, however, not to scale. It is actually located several kilometers to the west.



Obr. 9 – Souhrnná orientace zlomových ploch se striacemi z lomu Ševětín použitá pro analýzu paleonapětí: A) zlomové plochy se striacemi; B) diagram pólů zlomových ploch).

Fig. 9 – Complete set of fault-slip data from the Ševětín quarry used in the paleostress analysis: A) fault planes with slickenlines; B) poles of fault planes.

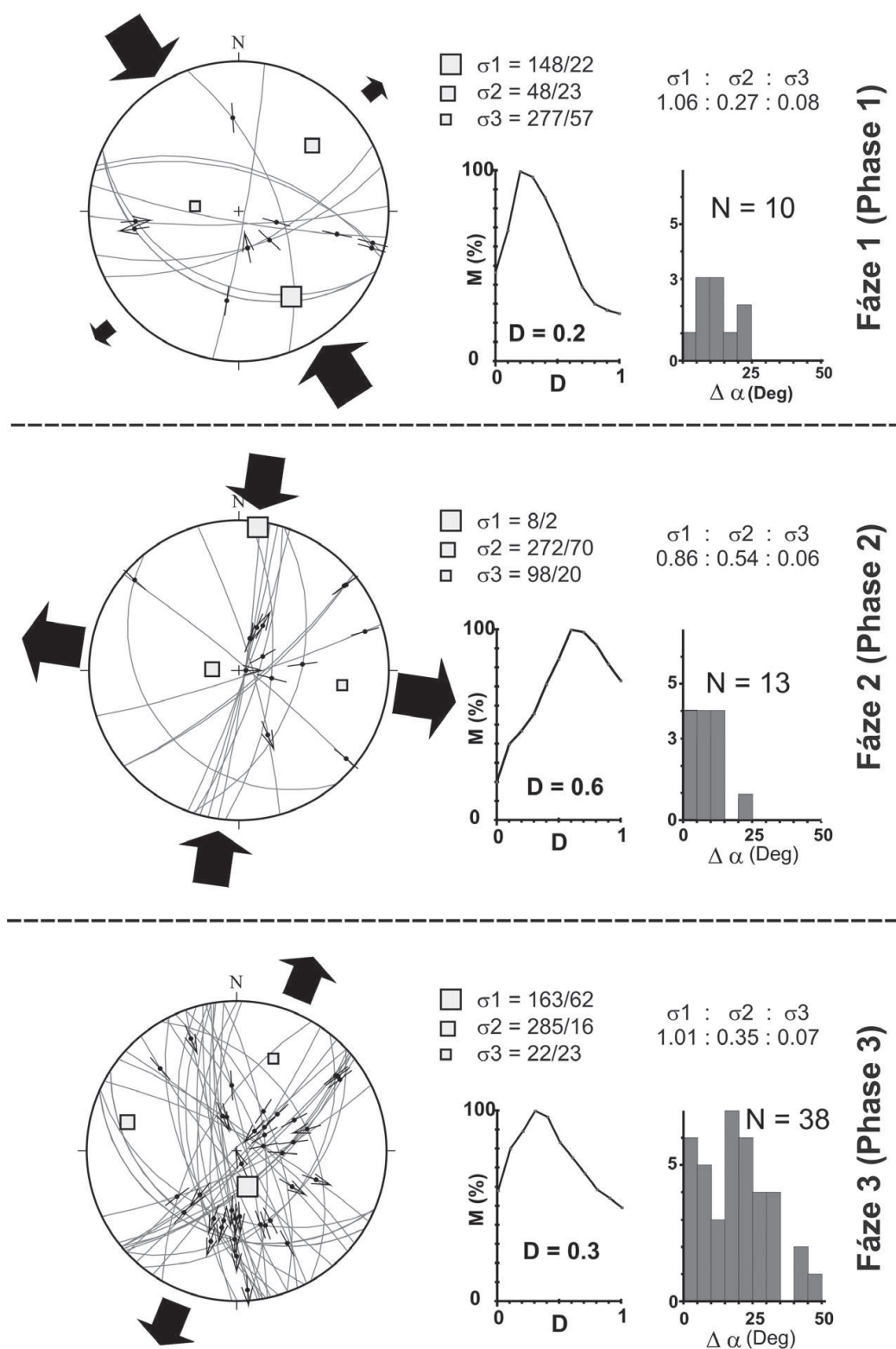


Obr. 10 – Fotografie zlomových ploch se striacemi: A) drobná plocha v blízkém okolí zlomu F1; B) detail plochy zlomu F2 se subhorizontální striací, která porušuje též kalcitovou žílu typu CC3 (foto J. Zachariáš 2012).

Fig. 10 – Photodocumentation of fault planes with slickenlines: A) small fracture in the vicinity of the F1 fault; B) detail of F2 fault plane with marked subhorizontal slickenlines crosscutting the CC3 calcite vein (photo by J. Zachariáš 2012).

monominerálních žil masivního křemene jsou orientací (obr. 6b) sblížené se systémem puklin P1. Zbývající část žil masivního křemene se orientací blíží systému P3, vzácněji též P5 a je proto asi mladšího stáří, než žíly blízké P1/P4.

Dále je přítomno několik generací kalcitových žil (obr. 6c). Nejstarší žíly (CC1) tvoří spíše jen tenký povlak na některých plochách P1, přičemž kalcit je mladší než epidot-chloritový povlak na týchž plochách. Žíly typu CC1 proto patrně vznikly během lokálního otevření puklin P1 při mladších tektonických pohybech. Žilky následující generace (CC2) mají orientaci podobnou jako pukliny P3. Nejmladší generace kalcitových žil (CC3) je nejvíce rozšířena; mocnost žil kolísá od několika



Obr. 11 – Separace zlomových ploch do tektonických fází 1 až 3 dle kompatibility zlomových ploch s vypočteným napěťovým tensorem. Symboly čtverců značí orientaci os σ_1 , σ_2 , σ_3 hlavního napětí. Černé šipky značí směry a relativní intenzitu maximální horizontální komprese nebo extenze.

Fig. 11 – Separation of fault-slip data into tectonic phases 1 through 3, based on their compatibility with the computed stress tensors. Square symbols mark orientation of principal stress axes σ_1 , σ_2 , and σ_3 . Black arrows indicate orientation and relative intensity of maximum horizontal compression and/or extension.

mm až do asi 20 cm (obr. 4d, 4e) a orientací jsou blízké puklinám P5. Žíly typu CC3 mají zřetelný tahový charakter, což dokládá i místy symetricky zonální výplň těchto žil: až dvě generace kalcitu, \pm křemen, \pm sulfidy (nejčastěji pyrit, ale zjištěn byl i sfalerit).

Hlavní zlomy

Centrální částí lomu probíhají dvě výrazné tektonické poruchy směru SV–JZ a ukloněné 50°–85° k JV, které jsou v této práci označeny jako F1 a F2 (obr. 5, obr. 8). Mocnost jílové výplně v deformační zóně u těchto poruch dosahuje až 0,5 m. Na obou zlomech se nám nepodařilo nalézt zřetelnou tektonickou striaci. Pouze v jednom místě na zlomu F2 byla identifikována výrazná subhorizontální striace, která procházela i přes kalcitovou žílu typu CC3 (přibližně kolmo na tento zlom). Nejmladší pohyb na zlomu F2 odpovídal proto horizontálnímu posunu a je mladší než žíly typu CC3. V prostoru mezi oběma hlavními zlomy lze naopak nalézt velký počet méně výrazných zlomových ploch se striacemi. V několika případech byl dokumentován i výskyt dvou generací striací na jedné zlomové ploše. Orientace všech zdokumentovaných ploch se striacemi je na obr. 9, příklady ploch pak na obr. 10.

Analýza paleonapětí

Výsledky analýzy indikují přítomnost tří napětových fází (obr. 11). Fáze 3 je zastoupena největším počtem dat a zcela bezpečně představuje nejmladší fázi (což potvrzuje i shodná orientace osy nejmenšího napětí σ_3 s maximem pólů ploch nejmladších kalcitových žil (CC3)). Fáze 1 je naopak pravděpodobně nejstarší fázi, což předpokládáme na základě přibližně shodné orientace osy nejmenšího napětí (σ_3) s maximem pólů ploch puklin P1 a aplitů.

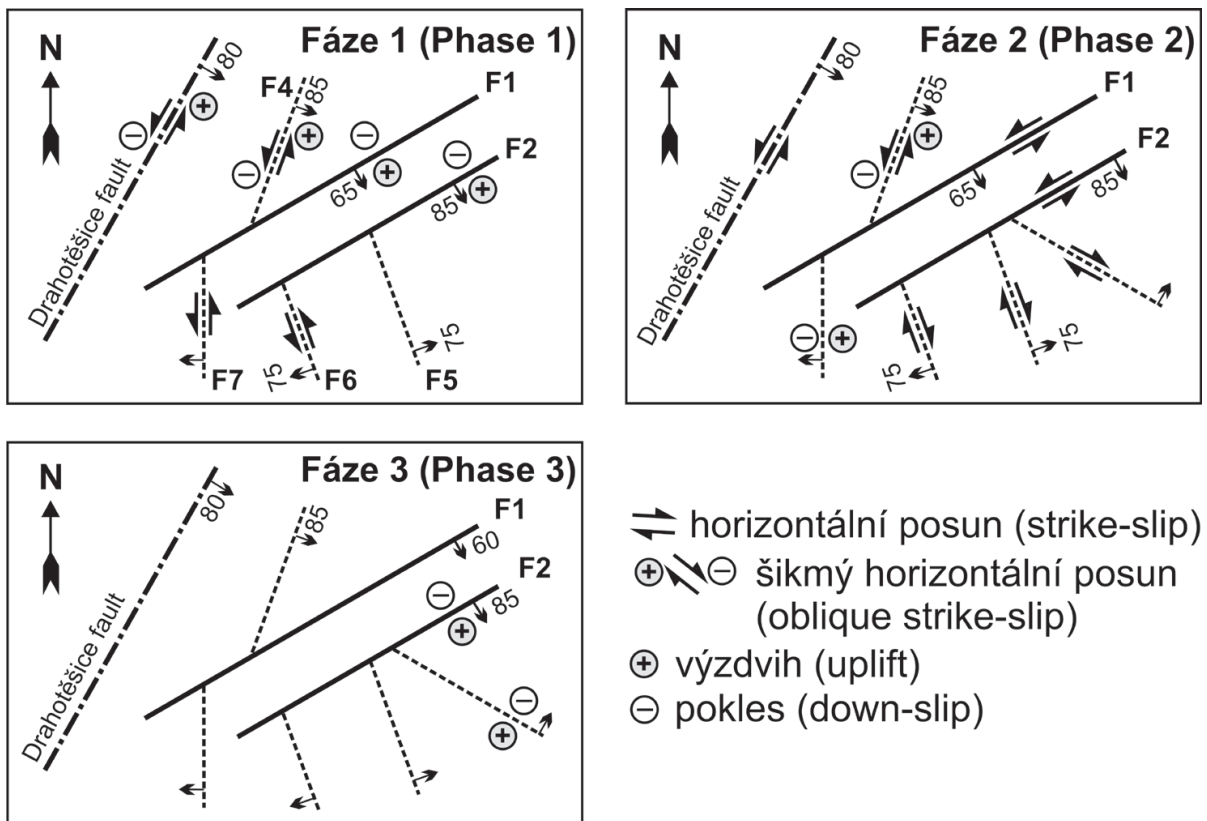
Fáze 1 z hlediska napětí je blízká kompresnímu režimu (osa nejmenšího napětí s_3 je subvertikální), s horizontální kompresí ve směru SZ–JV (330°) a extenzí ve směru SV–JZ (240°). Fáze 2 odpovídá režimu horizontálního posunu (vertikální orientace osy středního napětí σ_2), s kompresí ve směru S–J (188°) a s extenzí ve směru asi V–Z (278°). Fáze 3 představuje režim extenze (osa maximálního napětí σ_1 je vertikální), s maximální extenzí ve směru SSV–JJZ (219°).

Diskuse

Studované strukturní prvky patří mezi projevy křehké deformace a vznikly až po utuhnutí tělesa granitu, v němž je lom situován. Některé z nich na hlavní intruzivní fázi více či méně bezprostředně navazují. Lze tak například usuzovat ze shodné orientace žil aplitu/leukogranitu a tahových puklin P1. Vývoj křehkých struktur probíhal nepochybně delší období. V některých případech bylo možné časovou sukcesi jednotlivých struktur identifikovat přímo z jejich vzájemného protínání/posunu.

Sukcese křehkých deformací

Tři výše vypočtené napětové fáze (Fáze 1, 2, 3) reprezentují změny orientace regionálního napětového elipsoidu počínaje od doby ochlazení hostitelského granitu na teploty asi pod 450 °C (hranice plastické deformace živců) až po velmi pozdní křehké deformace při teplotě granitu okolo 100 °C. S uvedeným horním teplotním limitem je ve shodě i přítomnost povlaku hydrotermálních minerálů epidotu a amfibolu (cca >300 °C) na některých plochách (nejhojněji na P1). Řada strukturních prvků



Obr. 12 – Teoreticky odvozené možné smysly pohybu podél hlavních zlomů v lomu Ševětín a na vzdáleném drahotěšickém zlomu během tektonických fází 1 až 3.

Fig. 12 – Hypothetic sense of slip movements at/along main faults in the Ševětín quarry and at the distal Drahotěšice fault during tectonic phases 1 through 3.

(pukliny, žíly, zlomy) ačkoli vznikala během jedné napěťové fáze, může v detailu vykazovat vzájemně odlišná relativní stáří (na základě vzájemného protínání a posunů).

V rámci fáze 1 předpokládáme vznik puklin systému P1 víceméně současně s intruzí žil aplitů a leukokratních granitů (obě skupiny žil jsou většinou paralelní s tahovými puklinami P1). V této fázi dochází též k intruzi pegmatitů. S časovým odstupem pak vznikají křemenné žíly s turmalínem a amfibolem (rovněž orientací blízké P1). V závěru fáze 1 patrně vzniká i část křemenných žil tvořených masivním šedočerným křemenem, včetně kuriózních „žlabovitých“ žil.

V rámci fáze 2 dochází ke vzniku tahových puklin P3, které jsou místy doplněné shodně orientovanými tahovými křemennými žilami (\pm s turmalínem) a s kalcitem (typ CC2). Víceméně současně dochází ke vzniku puklin P4, které však mají charakter střížných puklin. Dochází podél nich k drobné systematické dislokaci puklin P1. Pukliny P4 jsou místy též pokryty výšeteplotní hydrotermální mineralizací (živec, amfibol, chlorit). V této etapě dochází patrně i ke vzniku hlavních zlomů (F1, F2).

V rámci fáze 3 vznikají tahové pukliny systému P5 doprovázené, či následované vznikem nejmladších tahových žil s kalcitem (typ CC3). Řadíme sem i systém puklin P6. Z čistě geometrického hlediska by systémy P5 a P6 mohly reprezentovat jeden systém konjugovaných střížných puklin, neboť mezi sebou svírají úhel asi 60°. Ze vztahů na výchozech to však není zřejmé a navíc oba systémy vykazují převahu čistě tahových puklin s absencí smyku. Jejich postupný vznik je proto pravděpodobnější. Současně může docházet i k reaktivaci pohybu na vhodně orientovaných starších zlomech.

Křemen-kalcitové žíly s hojným galenitem a sfaleritem, které popisují Čtvrtník & Pavlíček (2002), či Welser & Zikeš (2009) v současnosti již nejsou v lomu odkryty. Pouze v jedné asi 5 cm

mocné žíle masivního bílého kalcitu (typ CC3), orientované $228^{\circ}/75^{\circ}$ a ležící v těsné blízkosti zlomu F1, jsme našli ojedinělá zrnka sfaleritu o velikosti do 5 mm. Z popisu výše uvedených autorů dovozujeme, že sfaleritem a galenitem bohaté žíly by mohly odpovídat našemu typu CC3. Vznik Pb-Zn mineralizace spadá proto zcela jistě do fáze 3, rané etapy jejího vývoje však mohly probíhat již během fáze 2.

Charakter pohybu na hlavních zlomech

Lomem Ševětín probíhají dvě výrazné směrově paralelní zlomové poruchy (označené jako F1 a F2 na obr. 5 a obr. 8), které upadají pod strmým až středním úklonem k JV. Obě poruchy jsou lemovány až 0,5 m mocnou zónou vyplněnou šedočerným tektonickým jílem (a grafitem?). Vzhledem k tomu, že na hlavních zlomových plochách nebylo, až na jednu výjimku, nalezeno tektonické rýhování (striace), byl hypotetický smysl pohybu na zlomech odvozen nepřímým výpočtem v programu T-Tecto v. 3.0 za použití hodnot napětových elipsoidů vypočtených v rámci analýzy paleonapětí (obr. 11) jako vstupních parametrů. Protože nelze bezpečně určit, zda zlomy F1 a F2 existovaly již během tektonické fáze 1, nebo zda vznikly až ve fázi 2, byl výpočet hypotetického smyslu pohybu proveden pro všechny zlomy, tak jakoby existovaly a byly aktivní ve všech napětových fázích. U drahotěšické poruchy předpokládáme na základě geofyzikálních dat (Čuta et al. 1975) strmý úklon k JV (uvážujeme 80° k JV). Relativní smysl pohybu podél zlomů je udáván jako krajní varianty modelu (tj. pokles, přesmyk, levo-/pravo- stranný posun). Skutečný smysl a směr pohybu se však může lišit až o asi 30° od našeho modelu (obr. 12).

Orientace napětí ve fázi 1 (komprese) je příhodná pro téměř čistý přesmyk na hlavních zlomech F1 a F2. Na drahotěšické poruše a s ní paralelně orientovaném zlomu však pohyb odpovídá spíše šikmému přesmyku. Ostatní zlomy mají charakter téměř čistého levostranného posunu.

Ve fázi 2 (horizontální posun) by na všech zlomech došlo k čistému, či mírně šikmému horizontálnímu posunu: a to levostrannému na ssv. až sv. orientovaných zlomech a pravostrannému na jjv. až jv. orientovaných zlomech. Na puklinách P1, P2 může nastat horizontální posun, na puklinách P3 pokles.

Ve fázi 3 (extenze) dochází k pohybu pouze na několika vhodně orientovaných zlomech: k přesmyku na zlomu F2. Na zlomu F1, který má menší sklon (50° – 60° k JV) než zlom F2 (80° – 85° k JV), k pohybu docházet nemusí. Teoreticky by mohlo dojít i k aktivaci poklesů na puklinách systémů P1, P2, P4 a P6.

Závěr

Analýzou mesoskopických struktur odkrytých v lomu v Ševětíně byly identifikovány tři fáze křehké deformace ševětínského granitového tělesa: 1) šikmá komprese ve směru SZ–JV; 2) horizontální posun s kompresí ve směru S–J a extenzí V–Z; a 3) extenze ve směru SSV–JJZ až SV–JZ. Jednotlivé tektonické fáze byly doprovázeny různě intenzivní hydrotermální aktivitou. Vznik křemen-kalcitových žil se sfaleritem a galenitem řadíme až do fáze 3 (extenze), s možným začátkem již během fáze 2 (horizontální posun).

Blanická brázda, v jejíž linii se nachází i lom Ševětín, byla v práci Brandmayr et al. (1995) interpretována jako čistý levostranný horizontální posun. Data z lomu v Ševětíně však ukazují, že její tektonický vývoj zahrnuje několik fází se vzájemně odlišnými napětovými režimy, z nichž jenom jeden z nich odpovídá horizontálnímu posunu.

Poděkování

Autoři děkují společnosti KÁMEN a PÍSEK, spol. s r.o. se sídlem v Českém Krumlově za umožnění opakovaných návštěv lomu v Ševětíně. Náš dík patří in memoriam i panu Václavu Pavlíčkovi (Pedagogická fakulta České Budějovice) za podnět k tomuto studiu. Část terénních prací byla financována z projektu Grantové agentury Univerzity Karlovy (projekt 151810), za současného přispění výzkumného záměru geologické sekce (MŠMT 0021620855).

Literatura

- Ambrož V. (1935): Studie metamorfovaných hornin mezi Hlubokou a Týnem nad Vltavou. – Spisy přírodovědecké fakulty Karlovy University 138: 1–44.
- Brandmayr M., Dallmeyer R. D., Hander R. & Wallbrecher E. (1995): Conjugate shear zones in the Southern Bohemian Massif (Austria): implications for Variscan and Alpine tectonothermal activity. – *Tectonophysics* 248: 97–116.
- Čech V., Kořan J. & Koutek J. (1952): Rudní ložiska v okolí Ratibořských Hor a Staré Vožice u Tábora. – *Geotechnica, Přírodověd. vydavatelství, Praha*, 70 p.
- Čtvrtník J. & Pavlíček V. (2002): Výskyt barevného sfaleritu u Ševětína. – *Minerál* 10: 9–12.
- Čuta J., Manová M. & Šalanský K. (1975): Vysvětlivky ke geofyzikálním mapám 1 : 25000. List 22-444 Ševětín. – *Geofyzika n. p., Praha, Geofond ČR (P25300)*, 22 p.
- Doblas M. (1998): Slickenside kinematic indicators. – *Tectonophysics* 295: 187–197.
- Hübst Z., Zachariáš J. & Selmi M. (2011): Stříbronosný žilník na Hřívě u Louňovic pod Bláníkem: strukturní vývoj a složení fluid. – *Sbor Jihočes. muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy* 51: 43–56.
- Janoušek V., Vrána S. & Erban V. (2002): Petrology, geochemical character and petrogenesis of a Variscan post-orogenic granite: case study from the Ševětín Massif, Moldanubian Batholith, Southern Bohemia. – *J. Czech Geol. Soc.* 47: 1–22.
- Kořan J. & Koutek J. (1947): Rudní ložiska oblasti rudolfovské a jejich dějiny. – *Geotechnica, Stát. geol. úst. Čsl. rep.*, 84 p.
- Košler J., Kelley S. P. & Vrána S. (2001): ⁴⁰Ar/³⁹Ar hornblende dating of a microgranodiorite dyke: implications for early Permian extension in the Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. – *Int. J. Earth Sci. (GeolRundsch)* 90: 379–385.
- Matějka D. (1991a): Geochemická a petrologická charakteristika hornin moldanubika jižně od Veselí nad Lužnicí a vztah ševětínského granodioritu k horninám typu Eisgarn. – Ms., 148 p. [Disertační práce, depon. in: Přír. Fak. Univ. Karlovy.]
- Matějka D. (1991b): Geochemický výzkum ševětínského granodioritu (22-44 Hluboká nad Vltavou). – *Zpr. geol. Výzk. v roce 1990*, 115–116.
- Matějka D., Nosek T. & René M. (2003): Petrogenesis of two-mica granites of the Ševětín massif. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.* 148: 359–371.
- Nosek T. (1999): Geochemická a mineralogická charakteristika hornin klenovského a ševětínského masivu. – Ms., 96 p. [Diplomová práce, depon. in: Přír. Fak. Univ. Karlovy.]
- René M., Matějka D. & Klečka M. (1999): Petrogenesis of granites of the Klenov Massif. – *Acta Montana* 113: 107–134.
- Suk M., Dornič J., Hokr Z., Holásek O., Holub V., Líbalová J., Odehnal L., Sattran V., Šalanský K., Zima K. & Žebera K. (1978): Vysvětlivky k listu geologické mapy ČSSR 1: 25000. List Ševětín 22-444. – *Ústřední ústav geologický*, 65 p.
- Velebil D. (2000): Rudní revír Ratibořské Hory – Stará Vožice. – *Minerál* 8: 363–374.

- Verner K., Žák J., Šrámek J., Paclíková J., Zavřelová A., Machek M., Finger F. & Johnson K. (2014): Formation of elongated granite-migmatite domes as isostatic accommodation structures in collisional orogens. – *J. Geodynamics* 73: 100–117.
- Vrána S. & Bártek J. (2005): Retrograde metamorphism in a regional shear zone and related chemical changes: the Kaplice Unit of muscovite-biotite gneisses in the Moldanubian Zone of southern Bohemia, Czech Republic. – *J. Czech Geol. Soc.* 50: 43–57.
- Vrána S., Bendl J. & Buzek F. (1993): Pyroxen microgranodiorite dykes from the Ševětín structure, Czech Republic: mineralogical, chemical and isotopic indication of a possible impact melt origin. – *J. Czech Geol. Soc.* 38: 129–148.
- Welser P. & Zikeš J. (2007): Morfologicky zajímavý pyrit z Ševětína u Českých Budějovic. – *Bull. mineral. petrolog., Odd. Nár. Muz. Praha, 14–15*: 210–211.
- Welser P. & Zikeš J. (2009): Minerály z lomu od Ševětína. – *Minerál* 17: 326–334.
- Zachariáš J. & Hübst Z. (2012): Structural evolution of the Roudný gold deposit, Bohemian Massif: a combination of paleostress analysis and review of historical documents. – *J. Geosciences* 57: 87–103.
- 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.

Došlo: 18. 2. 2014

Přijato: 14. 8. 2014