

MINERÁLY EPIDOTOVÉ SKUPINY V KVARTERNÍCH TERASÁCH V OKOLÍ BRNA

EPIDOTE GROUP MINERALS IN QUATERNARY TERRACES AROUND BRNO

BURIÁNEK DAVID, HRŠELOVÁ PAVLA

Abstract

Buriánek, D., Hršelová, P., 2026: Minerály epidotové skupiny v kvartérních terasách v okolí Brna. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 111, 1, 23–33 (with English summary).

Epidote-group minerals in quaternary terraces around Brno

Epidote-group minerals are found in various types of Quaternary fluvial sediments near Brno, and their occurrence is linked not only to the alluvial regions of the Svatka and Svitava rivers. For this study, we selected granite and granodiorite boulders that contain hydrothermal veins or tectonic mirrors, with crystals or crystal aggregates of epidote-group minerals. The boulders consist of leucocratic granites with hydrothermal veins primarily composed of epidote, or a combination of epidote and quartz. These characteristics are typical for hydrothermal epidote veins found in granitoids of the Brno Massif. Additionally, accessory minerals such as calcite, palygorskite, and chlorite are present in these veins. Epidote from the granite boulder shows lower Fe^{3+} content (0.61–0.74 *apfu*) and higher Al content (2.25 to 2.34 *apfu*) compared to the samples of epidote veins from the Brno Massif, which have Fe^{3+} values ranging from 0.70 to 0.95 *apfu* and Al values from 2.02 to 2.29 *apfu*. We attribute this difference to the fact that the studied boulder originates from rocks that are no longer exposed in current erosional sections.

Key words: epidote-group minerals, mineralogy, provenance study, Brno Massif

Buriánek David, Czech Geological Survey, Leitnerova 22, 602 00 Brno, Czech; Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; e-mail: david.burianek@geology.cz

Pavla Hršelová, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37, Brno, Czech Republic; e-mail: phrselova@mzm.cz

ÚVOD

Při studiu provenience kvartérních sedimentů vědci vždy naráželi na problém určení přesného původu klastického materiálu. Některé horniny a minerály jsou jednoznačně identifikovatelné již na první pohled, u jiných je přesné určení tvrdým oříškem i pro úzce specializovaného odborníka. Pěkným příkladem z první skupiny jsou jurské geody ve štercích tuřanské terasy u Brna. K druhému typu můžeme zařadit alterované horniny, které obsahují minerály epidotové skupiny. Tato skupina minerálů se vyskytuje v řadě metamorfovaných a vyvěřelých hornin. V tomto článku se věnujeme identifikaci mineralogicky zajímavých vzorků s epidotem, které pravděpodobně pocházejí z brněnského masivu a v průběhu kvartéru se dostaly do fluviálního prostředí. Na základě petrografické charakteristiky a chemického složení epidotů se snažíme zjistit původ tohoto klastického materiálu.

MINERÁLY SUPERSKUPINY EPIDOTU

Minerály superskupiny epidotu jsou řazeny mezi sorosilikáty s monoklinickou souměrností. Dle současné klasifikace do této superskupiny patří skupina epidotu (epidot, klinozoisit, piemontit), skupina allanitu (allanit, androsit aj.), skupina dollaseitu a áskagenitu. Z běžných minerálů se do této skupiny zahrnují klinozoisit, epidot a allanit. Struktura zmíněných minerálů je složena ze dvou typů hranově sdílených oktaedrických řetězců paralelních s osou b. Epidot tvoří krátce i dlouze sloupcovité krystaly protažené podle osy b, časté jsou krystaly s rýhováním krystalových ploch ve směru protažení (FRANZ a LIEBSCHER 2004). Obecný strukturální vzorec minerálů superskupiny epidotu lze vyjádřit jako: $A1A2M1M2M3(Si_2O_7)(SiO_4)O_4O_{10}$, kdy do relativně menší pozice A1 vstupují nejčastěji dvojmocné kationy Ca^{2+} a Mn^{2+} , do relativně větší pozice A2 dvoj- i trojmocné kationy Ca, REE, Sr, Pb, Y a vzácně i čtyřmocné Th (SOBEK *et al.* 2023; ARMBRUSTER *et al.* 2006; BONAZZI a MENCHETTI 1995). Pozice M1 bývá obsazována nejčastěji trojmocnými kationy Al, Fe^{3+} , Mn^{3+} , V^{3+} a Cr^{3+} . V pozici M2 dominuje Al s malým podílem Fe^{3+} . Pozice M3 je obsazována Al, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{2+} a Mg^{2+} . O4 pozici ve většině případů obsazuje kyslík, který může být v malé míře zastupován fluorem. Do pozice O10 vstupuje kyslík, OH a fluor (VARLAMOV *et al.* 2019, SOBEK *et al.* 2023). Mezi nejběžnější substituce v rámci superskupiny epidotu patří tedy: $Ca^{2+}Fe^{3+} \leftrightarrow REE^{3+}Fe^{2+}$ (např. pevný roztok epidot \leftrightarrow allanit) a $Al^{3+} \leftrightarrow Fe^{3+}$ (např. klinozoisit \leftrightarrow epidot). Epidot je vlastně směsným krystalem klinozoisitu a teoretického *pistacitu*, ve kterém mírně převládá klinozoisitová složka (ARMBRUSTER *et al.* 2006). V epidotu se obsah Fe_2O_3 pohybuje až kolem 30 hm. %.

Výskyt minerálu skupiny epidotu je charakteristický pro horniny brněnského masivu. Jeho četnosti v primárních horninách odpovídá i poměrně časté zastoupení v říčních sedimentech. Jako akcesorický minerál vzniká epidot při druhotných přeměnách v intermeddiárních a bazických horninách (diority, gabra), žíly epidotu a projevy epidotizace granitoidních hornin jsou příznačné pro brněnský masiv (Blansko, Bílovice, Brno-Královo Pole). Minerály skupiny epidotu jsou běžné také na kontaktech granitoidů s vápenatosilikátovými horninami (např. Lipový Vrch). Minerály epidotové skupiny se také hojně vyskytují v metabazitech (Želešice) (BURIÁNEK *et al.* 2020; HANŽL *et al.* 2020).

METODIKA

Chemické složení minerálů bylo analyzováno pomocí elektronové mikrosondy Cameca SX100 (operátor J. Haifler) na Pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy Ústavu geologických věd PříF MU a České geologické služby. Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku 3–10 μ m, proud 10–30 nA, načítací čas 20 sekund. Jako standardu bylo užito ($K\alpha$ linie): augit (Si, Mg), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), hematit (Fe), chromit (Cr), jadeit (Na), olivín (Mg), ortoklas (K), rodonit (Mn), TiO_2 (Ti), titanit (Ti), topaz (F), wollastonit (Si, Ca). Analýzy byly přepočteny v programu Microsoft Excel. Krystalochemické vzorce epidotu byly rozpočteny na 12,5 aniontů. Pro studium epidotu ze sedimentů byl zvolen valoun obsahující epidotovou žílu z Brněnských Ivanovic (E17). Jako srovnávací materiál byly použité vzorky hydrotermálních žil z granitů, které pochází z dyjského a slavkovského teránu. Z dyjského teránu byla získána žíla epidotu s chloritem a palygorskitem, která pochází z lokality Pisárky (E2) a Žebětín (E6). Ze slavkovského teránu byl použit vzorek hydrotermální žíly s epidotem, která pochází z lokalit Obrňany (E3) a Maloměřice (E4).

GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA PŘEDPOKLÁDANÝCH ZDROJOVÝCH HORNIN

Většina studovaných vzorků epidotu se nachází ve valounech tvořených leukokratním biotitickým granitem. Vzhledem k rozsahu povodí Svatky a Svitavy mohou granity pocházet pouze z brněnského masivu (BURKART 1953; KRUŤA 1962, 1966).

Kadomsky konsolidovaný brněnský masiv je součástí brunovistulika (DUDEK 1980; FINGER *et al.* 2000), které je tradičně děleno na dva terány – východní slavkovský a západní dyjský. Při popisu budeme charakterizovat hlavně granitoidy, které se nacházejí ve snové oblasti řek Svratky a Svitavy.

Západní granodioritová oblast brněnského masivu náleží k dyjskému teránu a je na Z omezena okrajovým zlomem boskovické pánve, na V pak bazickými a ultrabazickými horninami centrálního bazického pásu, do kterých granodiority intrudovaly. Primární intruzivní hranice jsou často zlomově modifikovány. Převažují zde biotitické granity až granodiority, které místy přecházejí do amfibol-biotitických granodioritů až tonalitů. Poměrně hojné jsou xenolity metasedimentů a enklávy dioritů až gaber. Středně až hrubě zrnitý biotitický až amfibol-biotitický granodiorit odpovídá hlavně typu Veverská Bítýška a Tetčice podle zjednodušené klasifikace Štelcla a Weisse *ed.* (1986). Horniny jsou masivní, většinou středně, místy až drobně, nebo hrubě zrnité. Biotitické a amfibol-biotitické podtypy nelze v terénu dobře rozlišit. Biotitické granity mají šedou nebo načervenalou barvu. Časté červeně nebo zeleně zbarvené šmouhy a pruhy indikují intenzivnější sekundární alteraci (sericitizace, epidotizace). Plagioklas je hypautomorfní, místy až xenomorfní, polysynteticky zdvojitý, obvykle s nevýraznou oscilační zonálností. Bývá zakalen jílovými minerály nebo postižen sericitizací. Hypautomorfní, někdy až xenomorfní draselný živec bývá často perthitický a občas je patrné mikroklinové mřížkování případně sericitizace. Xenomorfní křemen téměř vždy undulózně zcháší. Lupínky biotitu místy tvoří drobné agregáty, jejichž délka přesahuje až 1 mm. Biotit bývá částečně, nebo zcela postižen intenzivní chloritizací. V chloritu se někdy podél štěpných trhlin objevují protáhlá zrna titanitu. Z akcesorických minerálů se běžně vyskytuje apatit, zirkon, magnetit, ilmenit a titanit. V některých grani-tech můžeme kromě chloritu a sericitu objevit také další sekundární minerály, jako je prehnit nebo klinozoisit. Většinou tvoří drobná zrna uložená souhlasně s plochami odlučnosti chloritizovaných biotitů. Na puklinách se společně s křemenem mohou objevit minerály epidotové skupiny. Šedý až načervenalý hrubě zrnitý amfibol-biotitický granodiorit o průměrné velikosti zrna 5 mm je složený z plagioklasu, draselného živce, křemene (20 obj. %) amfibolu a biotitu. Plagioklas je automorfně až hypautomorfně omezený, zakalený, o velikosti až 1 cm. Draselný živec tvoří hypautomorfní až xenomorfní zrna, která bývají zakalena produkty přeměn. Křemen je xenomorfní a nevýrazně undulózní. Amfiboly jsou automorfní až xenomorfní. Biotit tvoří lupínky o velikosti do 2 mm a je intenzivně chloritizovaný. Pro horninu je charakteristický relativně vysoký obsah titanitu, jehož zrna dosahují velikosti okolo 0,4 mm a tvoří také dobře omezené „psaničkovité“ krystaly. Další běžnou akcesorií je apatit, který vytváří protáhle sloupečkovité krystaly. Minerály epidotové skupiny se typicky vyskytují na puklinách a tektonických zrcadlech. Žíly s epidotem se v dyjském teránu objevují v několika formách. Nejčastěji se jedná o světlezelené epidotové žíly bez nebo s křemenem. Mocnost těchto žil je řádově mm-cm. V mocnějších partiích bývají dutiny, kde lze nalézt oba minerály krystalované. Epidot tvoří buď krátce sloupcovité, nebo naopak velmi tenké jehlicovité krystaly. Křemen bývá přítomen ve formě tenkých krystalů křišťálu, až několik cm velkých. Tato mineralizace je typická i pro tektonicky namáhané plochy, kdy jsou krystaly epidotu setřeny a stlačeny a zachovány zůstávají jen krystaly křišťálu, případně jemně krystalický epidot v jejich okolí (typická lokalita Pisárky). Další formou jsou epidot-křemen-kalcitové žíly, kde epidot může vytvářet i několik cm dlouhé, velmi tenké krystaly zarostlé do kalcitu.

Východní granodioritová oblast brněnského masivu náležící ke slavkovskému teránu je litologicky homogennější než oblast západní. Dominují zde biotitické a amfibol-biotitické granodiority s tělesy dioritů. Západní hranice oblasti s centrálním bazickým pásem je tektonická. Východní hranice je definována tektonickým kontaktem s devonskými sedimenty moravskoslezského paleozoika. Dominuje zde středně až hrubě zrnitý biotitický granodiorit, který má často načervenalou či červenou barvu. Minerální složení zahrnuje xenomorfní křemen, hypautomorfní plagioklas, xenomorfní draselný živec a biotit. Biotit místy

tvorí automorfni vyrostlice velikosti nezřídka přesahující 10 mm. V akcesorickém množství jsou přítomny apatit, magnetit, ilmenit, titanit a zirkon. Granodiorit občas přechází do drobně zrnitého leukokratického granitu až granodioritu přičemž jsou hranice přechodné. Středně zrnitý amfibol-biotitický granodiorit je většinou šedý či okrový a je zrnitostně variabilní o velikosti zrna od 1 do 9 mm. Minerální složení těchto hornin zahrnuje křemen, plagioklas, amfibol (až 25 mod. %), chloritizovaný biotit/chlorit a draselný živec. Křemen tvoří xenomorfni zrna, nevýrazně undulózně zřašší. Amfibol zastupují automorfni sloupečkovité krystaly o velikosti až 7 mm. Biotit je často částečně nebo kompletně chloritizovaný. Hojným akcesorickým minerálem je titanit, poměrně běžný je magnetit a apatit. Relativně hojný je sekundární epidot, který se vyskytuje rozptýlený v hornině nebo jako agregáty sloupcovitých krystalů na puklinách nebo v křemenných žilách. V hrubozrnném granodioritu z Obřan jsou známy tmavé dlouhé jehlice epidotu i světlejší drobnější krystalické formy. Stejně jako v dyjském teránu je epidot i zde charakteristický pro tektonická zrcadla.

GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH SEDIMENTŮ

Eolické a fluvialní sedimenty jsou plošně nejrozšířenějšími a zároveň i nejvýznamnějšími kvartérními uloženinami v okolí Brna. Během pleistocénu se v okolí řek Svitavy a Svatky vytvářel sled fluvialních terasových úrovní. Spodnopleistocenní akumulace označované jako líšeňská a stránská terasa (ZEMAN 1982) se vyvíjely na poměrně plochém území a jsou dnes z velké části denudovány. V období středního pleistocénu došlo k tektonickým pohybům, které umožnily vznik mocných akumulacních těles označovaných jako tuřanská a syrovicko-ivaňská terasa. Sedimenty další terasové úrovně jsou poměrně obtížně odlišitelné, protože eroze nejdříve musela odstranit sedimenty tuřanské terasy (ZEMAN 1982). Jedná se například o modřickou terasu, jejíž báze je 2–5 m a povrch 3–12 m nad současnou nivou řek Svatky a Svitavy (BURIÁNEK *et al.* 2020).

Pro valounový materiál řeky Svatky je typické vysoké zastoupení bítešské ortoruly, zatímco pro materiál řeky Svitavy je typické větší zastoupení pískovců a prachovců karbonského a křidového původu, granitoidů brněnského masivu, v menší míře se objevují i rohovec, křemen a metamorfované horniny (VÍT a HANŽL 2003, DEMEK *et al.* 2005).

EPIDOT V KVARTERNÍCH SEDIMENTECH V OKOLÍ BRNA

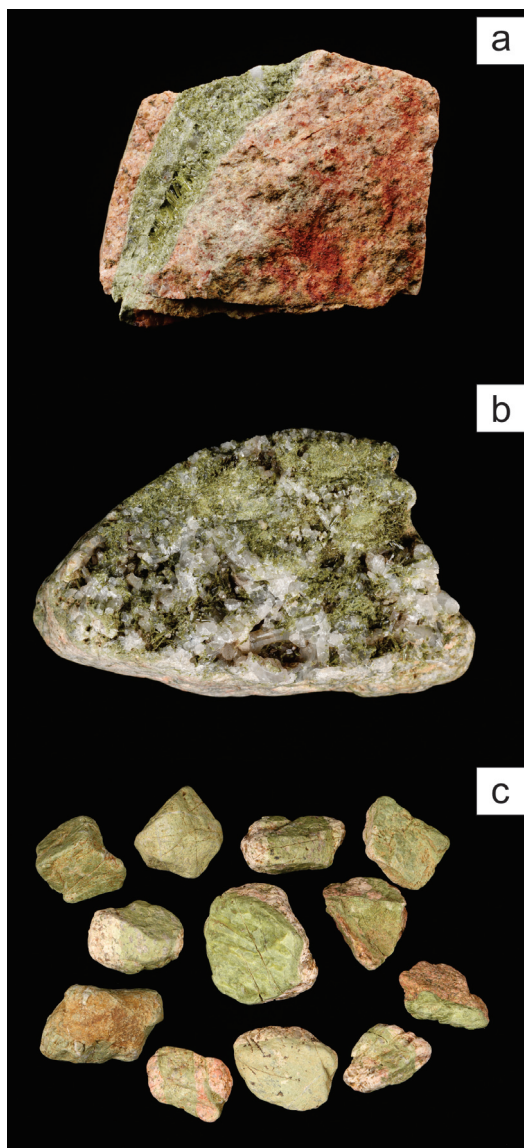
Spodně až středně pleistocenní fluvialní písčité štěrky tuřanské terasy v jihovýchodní části Brna

Fluvialní písčité štěrky tuřanské terasy mají relativní výšku báze 17–24 m s povrchem 30–45 m nad současným tokem. Budují výraznou plošinu na k. ú. Slatina, Černovice a Tuřany o nadmořské výšce ~ 242 m n. m. v nadloží badenských sedimentů. Tato terasa leží poblíž soutoku Svatky a Svitavy. Ve složení valounového materiálu v sedimentech Svatky převládají granodiority, ortoruly a diority a v náplavech Svitavy pískovce, různé silicity a granodiority; v sedimentech obou toků je výrazně zastoupen křemen. V minulosti byly tyto štěrky a písky těženy řadou pískoven mezi Brněnskými Ivanovicemi a Černovicemi, které jsou dnes většinou aplanovány. Jedná se o výplň starého koryta Svitavy, které vedlo z prostoru Maloměřic do prostoru továrny Zetor mezi Bílou horou a Stránskou skálou do oblasti Černovic (BURIÁNEK *et al.* 2020). Tuřanská terasa je v optimálním vývoji tvořena pěti akumulacemi (ZEMAN 1982). Na bázi jsou písčité štěrky, často i s bloky, na povrchu s relikty povodňových hlín a jílu. Další akumulaci tvoří písky a štěrky opět s povodňovými hlínami. Lokálně jsou na nich zachovány i spráše, popř. relikty paleopůd (ZEMAN 1974). Třetí akumulaci tvoří fluvialní písky a štěrky. Následující dvě akumulace jsou interpretovány jako koryta vyhloubená především ve třetí akumulaci a tvoří je drobnozrnné štěrky a písky. Tuřanská terasa je bohatá na faunu velkých savců, která se zde v dřívějších dobách při těžbě nacházela (například pozůstatky koní).

Ze sedimentů této terasy pochází několik nálezů úlomků valounů s minerály epidotové skupiny. Vzorky světlého, nebo červeného jemně až středně zrnitého granodioritu s křemen-epidotovými žilami jasně zelené barvy pocházejí z lokality Brněnské Ivanovice (obr. 1a, b). V některých jsou zachovalé dutiny s patrnými krystalky epidotu o velikosti do 0,5 cm. Na lokalitě Brno-Černovice byly zaznamenány i kousky valounů tvořené téměř výhradně epidotem o velikosti 3–5 cm (obr. 1c). Také byl nalezen valoun světle načervenalého, jemně až středně zrnitého biotitického granodioritu, v němž jsou žilky epidotu. Na lokalitě Holásky jsou zdokumentovány valouny granodioritů s monominerálními epidotovými hydrotermálními žilami, které pouze místy obsahují šedý křemen. Také na lokalitě Tuřany byl nalezen valoun biotitického granodioritu s křemen-epidotovou žilkou.

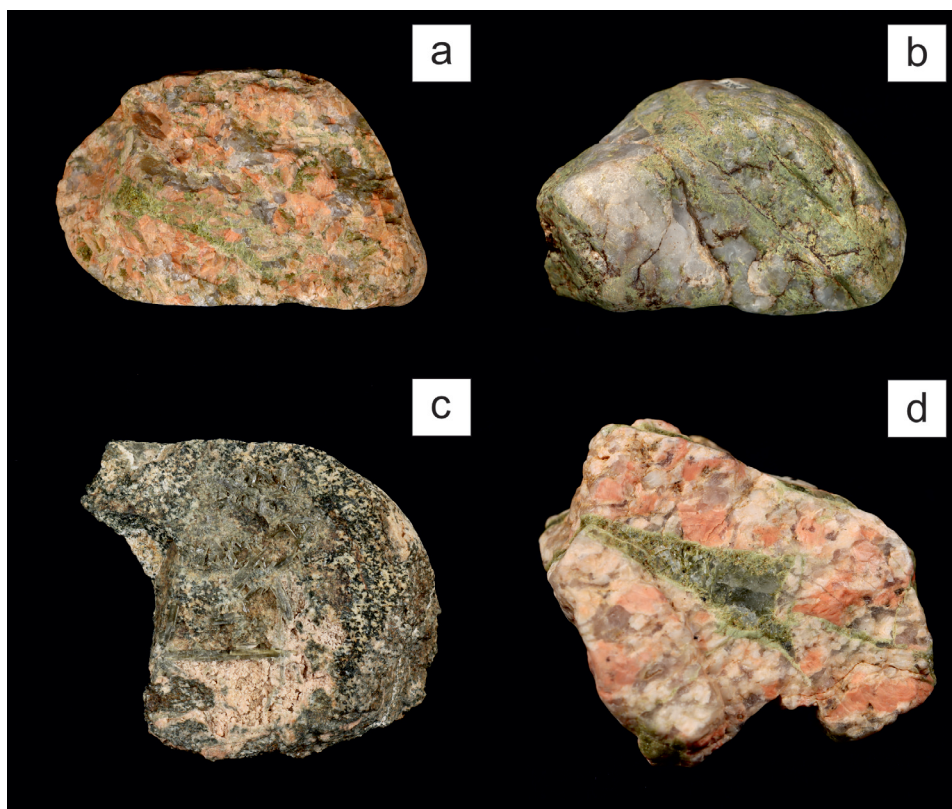
Obr. 1. Úlomky valounů epidotu z tuřanské terasy; (a) načervenalý granodiorit s křemen-epidotovou žilou s krystaly epidotu z Brněnských Ivanovic, velikosti vzorku 5×3,5×3,5 cm; (b) světlý granodiorit z Brněnských Ivanovic s krystaly křemene a epidotu, velikost 9×6×4 cm; (c) narůžovělý granodiorit s epidotovými žilami až téměř monominerální valouny z Černovic, velikost největšího klastu činí 5×4×2 cm, foto: J. Čága.

Fig. 1. Fragments of epidote boulders from the Tuřany terrace; (a) reddish granodiorite with a quartz-epidote vein with epidote crystals from Brněnské Ivanovice, sample size 5×3.5×3.5 cm; (b) light granodiorite from Brněnské Ivanovice with quartz and epidote crystals, size 9×6×4 cm; (c) pinkish granodiorite with epidote veins to almost monomineral boulders from Černovice, the largest one is 5×4×2 cm, photo: J. Čága.



Středně pleistocenní fluvialní písčité šterky syrovicko-ivaňské terasy

Syrovicko-ivaňská terasa je podle LINHARTA (1960) společným výplavovým kuzelem Jihlavy a Svatky středno- a spodnopleistocenního stáří. Protože se nejedná o klasické fluvialní terasy, označili je ZEMAN (1980) jako „mladší a starší šterkopískový pokryv“. Dominují zde jemnozrnné a středně zrnité písky se šterky mocné více jak 22 m, v nichž nacházíme klastický materiál z oblasti brněnského masivu, moravika, moldanubika, fialové slepence Old red a křemen. Z této terasy pochází celá řada zajímavých vzorků s epidotem. Z lokality Holasice u Rajhradu pochází valouny složené téměř z čistých agregátů epidotu o velikosti do 3 cm. Také zde byl nalezen světlý valoun bílého až růžového, středně zrnitého granodioritu s tenkými žilkami epidotu. Z pískovny u obce Žabčice pochází hrubozrnný růžový biotitický granodiorit s akumulacemi nebo žilkami epidotu nebo epidotu a křemene (2a, b). Byly zde také nalezeny krystaly epidotu až 3 cm dlouhé ve valounu amfibolického dioritu (2c). Doložen je také valoun načervenalého, středně-zrnitého granodioritu s žilkami epidotu z katastru obce Bratčice (2d). Z pískovny u Smolína (Smolín



Obr. 2. Valouny s epidotem ze syrovicko-ivaňské terasy: (a) světlý narůžovělý granodiorit s epidotem ze Žabčic, velikost vzorku 6,5×4×3 cm; (b) valoun křemen-epidotové žíly o velikosti 6,5×4,5×3,5 cm ze Žabčic; (c) sloupcovité krystaly epidotu v dioritovém valounu ze Žabčic, velikost 6×5×3 cm; (d) akumulace epidotu s křemenem v narůžovělém granodioritu z lokality Bratčice, velikost vzorku 3,5×2,5×2,5 cm, foto: J. Čága.

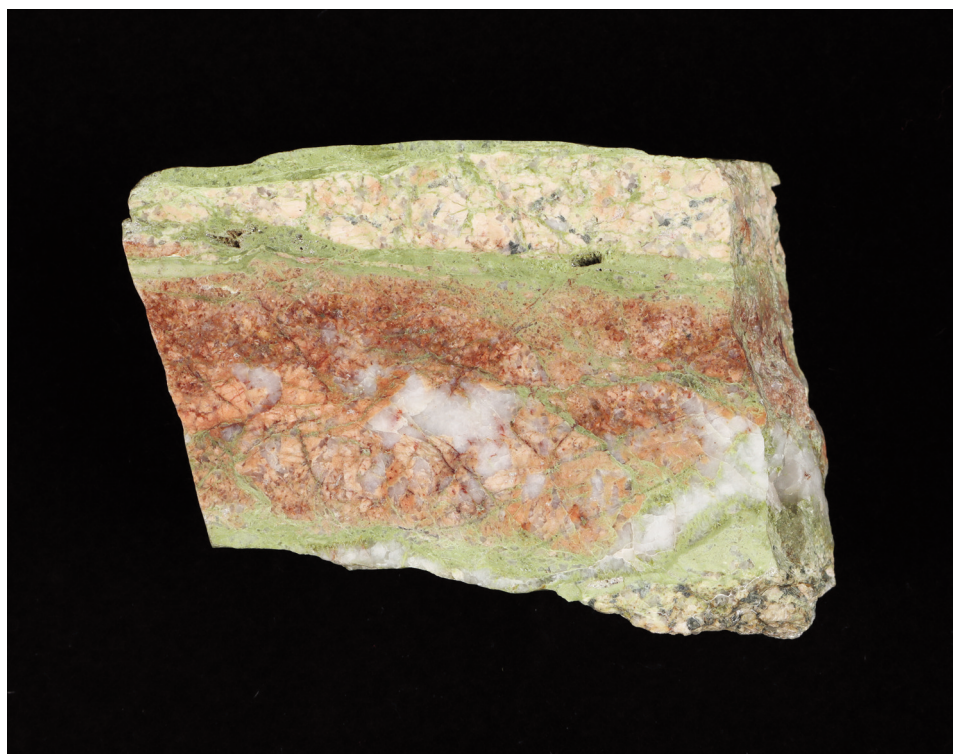
Fig. 2. Epidote boulders from the Syrovicko-Ivaň terrace: (a) light pinkish granodiorite with epidote from Žabčice, sample size 6.5×4×3 cm; (b) quartz-epidote vein boulder 6.5×4.5×3.5 cm from Žabčice; (c) columnar epidote crystals in a diorite boulder from Žabčice, size 6×5×3 cm; (d) epidote and quartz accumulation in pinkish granodiorite from the Bratčice locality, sample size 3.5×2.5×2.5 cm, photo: J. Čága.

u Pohořelice) pochází valoun světlého, středně-zrnitého biotitického granodioritu s 4 cm mocnou žilkou epidotu. Dále pak valoun červeného jemnozrného granodioritu s hydrotermálními žilkami o mocnosti do 1 cm složenými z křemene, které obsahují dutinky s krystaly křemene a žilami s epidotem o mocnosti do 3 cm. Z lokality Němčičky u Pravlova pochází valoun složený z růžového jemnozrného granodioritu s 1 cm mocnou žilkou tmavě zeleného epidotu.

Středně pleistocenní fluviální písčité štěrky Svitavy v severovýchodní části Brna

Báze středně pleistocenní terasy řeky Svitavy se nachází 2–4 m pod úrovní nivy a povrch 3–8 m nad ní a terasa je velmi často překryta sprašemi. Sprašový pokryv a antropogenní sedimenty jsou na těchto štěrčích i v prostoru maloměřického nákladového nádraží. Tyto sedimenty časově odpovídají mladší části modřické terasy. Jde o šedohnědé, slabě jílovité, písčité štěrky tvořené polozaoblenými až poloostrohrannými valouny o velikosti až 15 cm. Ve složení valounového materiálu dominují křemen a horniny brněnského masivu, dále jsou přítomny pískovce, prachovce, silicity, vápence. Valouny světlého narůžovělého biotitického granodioritu s křemen-živce-epidotovou hydrotermální žilou (obr. 3) pochází ze středně pleistocenních fluviálních písčitých štěrků, které tvoří nejmladší terasovou úroveň nad současným vodním tokem Svitavy na lokalitě Brno-Maloměřice.

Podložními horninami této terasy jsou horniny brněnského masivu, ale místy i badenské jíly, popř. v Obranech a Maloměřicích i badenské štěrky (HANŽL *et al.* 2020).



Obr. 3. Rozřízný a leštěný vzorek části polozaobleného valounu z terasy řeky Svitavy v Brno-Maloměřicích o velikosti 8×6×4 cm, foto: J. Čága.

Fig. 3. Cut and polished sample of a part of a semi-rounded boulder from the Svitava River terrace in Brno-Maloměřice, sample size 8×6×4 cm, photo: J. Čága.

Holocenní sedimenty řeky Ponávky

Z holocenních štěrků říčky Ponávky v Brně-Králově Poli patrně pochází i valoun ve sbírkách MZM, bohužel bez bližší lokalizace. Jde o světle zelený kus tvořený téměř výhradně epidotem. U sedimentů Ponávky jsou valouny méně opracovány, v sedimentárním materiálu převládá písek. Valouny jen ojediněle přesahují velikost 5 cm. Mezi klasty převládají granodiority a jen okrajově jsou zastoupeny rohovce jako redepozice ze starších sedimentů. Mocnost štěrků Ponávky se pohybuje většinou mezi 1–2 m (HANŽL *et al.* 2020).

Říční terasy kolem Dyje

Klastický materiál z brněnského masivu byl v průběhu pleistocénu a holocénu transportován i do větších vzdáleností, a to především řekou Dyjí. Křemenný valoun s epidotem byl nalezen ve štěrkovně na levém břehu Dyje u Podivína. Valouny světlého alterovaného granitu s až 2 cm mocnými žilkami epidotu byl nalezen také na sousední lokalitě Rakvice. Zdejší těžebny byly založeny v pleistocenních (riss) štěrcích a píscích rozsáhlé akumulace fluvialních sedimentů řeky Dyje (ZEMAN 1982; BURIÁNEK *et al.* 2020). Stejně stáří také mají sedimenty u Mušova, v nichž byl nalezen valoun narůžovělého biotitického jemnozrného granodioritu s cca 3 mm mocnou žilkou složenou z epidotu a křemene.

MINERALOGICKÁ CHARAKTERISTIKA EPIDOTU

Chemismus studovaných epidotů je shrnut v tab. 1. Pokud srovnáme obsahy Fe^{3+} a Al v epidotech z obou studovaných teránů brněnského masivu (pro srovnání byla použita data získaná při tvorbě geologických map v okolí Brna; BURIÁNEK *et al.* 2020; HANŽL *et al.* 2020) vidíme značnou podobnost mezi vzorky z dyjského (Fe^{3+} 0,70–0,91 *apfu*; Al 2,06–2,29 *apfu*) a slavkovského teránu (Fe^{3+} 0,71–0,95 *apfu*; Al 2,02–2,26 *apfu*). Obě skupiny analýz vykazují pouze drobné rozdíly ve variabilitě Mn, přičemž epidoty z hydrotermálních žil v granitoidech dyjského obsahují do 0,01 *apfu* a ve slavkovském teránu do 0,06 *apfu*. Chemické složení hydrotermálního epidotu ve všech studovaných primárních výskytech v granitech se tedy jen částečně překrývá s epidoty ve studovaném valounu z Brněnských Ivanovic (obr. 4a, b).

Epidot na studovaném valounu granodioritu z Brněnských Ivanovic vytváří hypautomorfní agregáty krystalů, které někdy rostou do dutin v epidotové žíle. Tento epidot je v BSE obraze (obr. 4c) zřetelně zonální, přičemž okraje jsou bohatší Fe^{3+} (0,72–0,74 *apfu*) ve srovnání se střední částí zrna (0,61–0,68 *apfu*). Nárůst obsahu trojmocného železa je vyrovnán úbytkem Al, jehož obsah se pohybuje mezi 2,25 až 2,34 *apfu*. Obsahy Mn se pohybují v rozmezí 0,01 až 0,04 *apfu*.

Z obou částí brněnského masivu byly studovány agregáty krystalů epidotu, které se vyskytují na puklinách samostatně nebo společně s dalšími minerály jako je křemen, chlorit, nebo palygorskit. Krystaly epidotu jsou hypautomorfní až automorfní tmavě až světle zelené barvy. V některých případech je jejich chemické složení poměrně homogenní. V případě krystalu v hydrotermální žíle prorážející granitoidy ve slavkovském teránu z lokality Maloměřice (E4) pozorujeme podobnou zonálnost jako ve valounu z pleistocenních štěrků, kdy středy zrn jsou oproti okrajům obohaceny o Fe^{3+} (0,71–0,80 *apfu*). Na lokalitě Obřany (E3) pak pozorujeme jen nevýraznou oscilační zonálnost v jednotlivých zrnech, ale chemické složení jednotlivých zrn epidotu se liší, přičemž nejvyšší obsah Fe mají mladé žilky epidotů, které pronikají větší krystaly epidotu (Fe^{3+} 0,80–0,95 *apfu*). Chemické složení epidotů z hydrotermálních žil v granitoidech z dyjského teránu se příliš neliší. Vzorek z lokality Žebětín (E6) vykazuje nepravidelnou zonálnost, kde jsou většinou jádra bohatší Fe, než okraje individuí (Fe^{3+} 0,84–0,92 *apfu*). Ve vzorku z lokality Pisárky (E2) je patrná sektorová zonálnost (obr. 4d; Fe^{3+} 0,70–0,91 *apfu*).

Tabulka 1. Reprezentativní chemické složení epidotu z valounu (E17; Brněnské Ivanovice) a z granitoidů slavkovského (ST) a dyjského teránu (DT): lokalita Pisárky (E2), Obřany (E3), Maloměřice (E4) a Žebětín (E6).
Table 1. Representative chemical composition of epidote from a boulder (E17; Brněnské Ivanovice) and from granitoids of the Slavkov (ST) and Dyje terrane (DT): Pisárky (E2), Obřany (E3), Maloměřice (E4) and Žebětín (E6) localities.

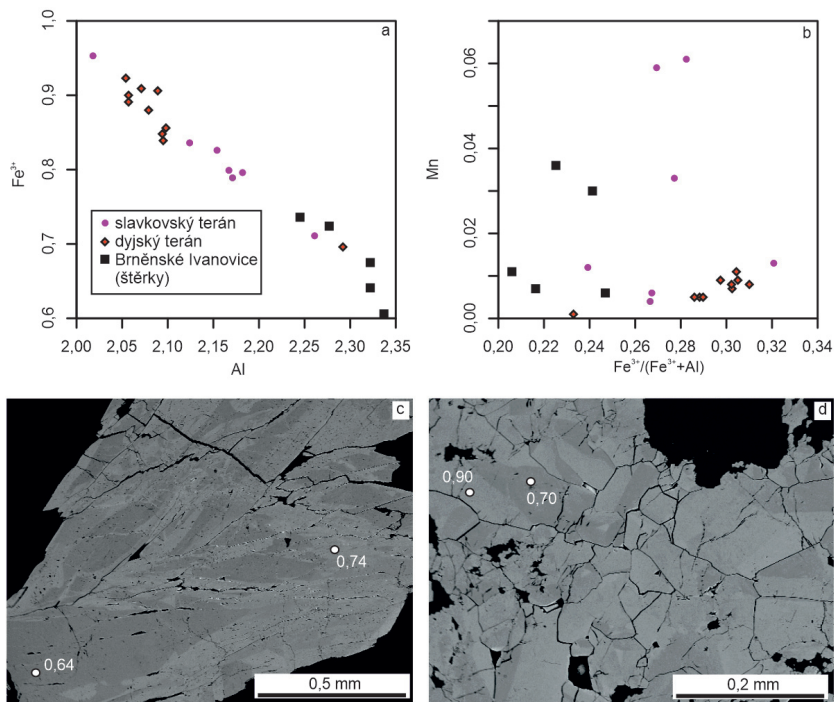
pozice vzorek číslo	valoun E17 4	valoun E17 5	valoun E17 6	valoun E17 7	valoun E17 8	ST E4 55	ST E4 56	ST E3 57	ST E3 58	DT E2 46	DT E2 47	DT E2 48	DT E6 25	DT E6 26
SiO ₂	38,73	38,80	38,17	38,17	38,20	37,57	37,54	37,70	37,63	37,67	37,81	37,55	37,92	38,13
TiO ₂	0,07	0,04	0,06	0,05	0,10	0,03	0,04	0,16	0,04	0,01	0,04	0,02	0,06	0,16
Al ₂ O ₃	25,30	25,34	24,44	23,99	24,86	23,84	23,23	23,07	21,46	21,90	24,50	21,98	22,01	22,56
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
Fe ₂ O ₃	10,93	10,30	12,17	12,32	11,33	11,74	13,27	13,32	15,87	15,00	11,66	15,11	15,49	14,15
MnO	0,11	0,17	0,45	0,09	0,53	0,17	0,08	0,87	0,19	0,16	0,02	0,14	0,12	0,07
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01
CaO	24,10	23,86	22,66	22,93	22,37	22,92	23,80	22,91	23,62	23,98	23,63	23,50	23,74	24,46
celkem	99,24	98,51	97,97	97,58	97,39	96,28	98,01	98,05	98,83	98,73	97,68	98,31	99,34	99,54
Si	3,015	3,035	3,019	3,031	3,028	3,024	2,993	3,006	3,002	3,003	3,000	3,002	3,002	3,004
Ti	0,004	0,002	0,004	0,003	0,006	0,002	0,002	0,010	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,009
Al	2,322	2,337	2,277	2,245	2,322	2,261	2,182	2,167	2,018	2,057	2,292	2,071	2,054	2,095
Cr	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Fe ³⁺	0,641	0,606	0,724	0,736	0,675	0,711	0,796	0,799	0,953	0,900	0,696	0,909	0,923	0,839
Mn	0,007	0,011	0,030	0,006	0,036	0,012	0,006	0,059	0,013	0,011	0,001	0,009	0,008	0,005
Mg	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,004	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,002
Ca	2,010	2,000	1,920	1,951	1,900	1,977	2,032	1,957	2,019	2,048	2,009	2,013	2,014	2,065
celkem	7,999	7,991	7,976	7,974	7,968	7,987	8,015	8,001	8,009	8,019	8,004	8,006	8,006	8,019
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Al)	0,220	0,210	0,240	0,250	0,230	0,240	0,270	0,269	0,321	0,300	0,230	0,300	0,310	0,286

DISKUZE

Na petrografickou skladbu valounů ve studovaných kvartérních sedimentech mělo vliv několik činitelů. V první řadě to byl tvar tehdejší říční sítě, avšak velmi důležitý byl také stupeň zvětrání hornin ve zdrojové oblasti a odolnost hornin během transportu ve fluvialním prostředí. V některých případech navíc může jít o resedimentaci materiálu ze starších sedimentů. Valouny granitoidů s hydrotermálními žilami s epidotem nacházíme v pleistocenních až holocenních fluvialních sedimentech Svratky a Svitavy. Poměrně často se tyto valouny vyskytují i v klastickém materiálu syrovicko-ivaňské terasy. Klasy této akumulace byly derivovány z oblastí, které leží severně a západně od Dyjsko-svrateckého úvalu, kde je dnes dominantní krystalinickou jednotkou brunovistulikum a na něj nasunuté moldanubické příkrovy. V těchto horninových komplexech se vyskytuje pestrá škála hydrotermálních žil s epidotem, ale epidotové žíly prorážející granitoidy jsou známy pouze z brněnského masivu (BURKART 1953; KRUŽA 1962, 1966). Přítomnost podobných klástů ve fluvialních sedimentech Dyje (včetně říčních teras) naznačuje bohatý zdroj tohoto materiálu na východním okraji Českého masivu.

Hydrotermální žíly s epidotem totiž patří mezi poměrně odolný materiál, protože je epidotizace často provázána silicifikací. Studované valouny s epidotovými žilami jsou většinou tvořeny leukokratickými biotitickými (přeměněn na chlorit) granity. Tato skutečnost však může souviset se sekundárními alteracemi při vzniku epidotových žil. To vysvětluje, proč většinou nacházíme ve valounech epidotové žíly v leukokratickém granitu. Okolní nealterovaný tmašví granodiorit se totiž rozpadl během eroze a transportu. Na druhou stranu se ukázalo, že chemické složení epidotu v klastu pocházejícím ze spodně až středně pleistocenní tuřanské terasy neodpovídá přesně srovnávacímu materiálu z brněnského masivu. Tento epidot má nižší zastoupení Fe³⁺ a vyšší obsah Al ve srovnání s klasy z brněnského

masivu (obr. 4a, b). Tato odlišnost však může souviset s malým srovnávacím datovým souborem nebo se skutečností, že studovaný valoun pochází z hornin, které již dnes nevystupují v erozním řezu. Obsahy Mn naznačují, že se jedná spíše o epidotové žíly, které pocházejí z oblasti budovaných granitoidů ze slavkovského teránu. Takto leukokratiní granit však zatím v této oblasti nalezen nebyl, proto předpokládáme, že dnes nevystupuje na povrch.



Obr. 4. Chemické složení minerálů epidotové skupiny: (a) Binární diagram Al vs. Fe^{3+} (*apfu*), (b) Binární diagram $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ vs. Mn (*apfu*), (c) BSE snímek epidotu ve vzorku E17 (Brněnské Ivanovice), (d) sektorová zonace ve vzorku z Pisárček (E2). Bílé tečky s čísly označují obsah Fe^{3+} v *apfu*, foto: J. Haifler.

Fig. 4. Chemical composition epidote group minerals: (a) Binary diagram Al vs. Fe^{3+} (*apfu*), (b) Binary diagram $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ vs. Mn (*apfu*), (c) BSE image of epidote in sample E17 (Brněnské Ivanovice), (d) sector zonation in sample from Pisárky (E2). White dots with numbers indicate Fe^{3+} content in *apfu*, photo: J. Haifler.

ZÁVĚRY

Naše studie potvrdila, že se minerály epidotové skupiny vyskytují v celé řadě typů kvartérních fluválních sedimentů v okolí Brna a jejich výskyt je vázaný nejen na snosovou oblast Svratky a Svitavy, ale také na sedimenty Dyje po jejím soutoku s výše zmíněnými řekami. Makroskopicky jde poměrně o homogenní skupinu valounů, kde dominují valouny leukokratiní granitů s hydrotermálními žilami tvořenými hlavně epidotem nebo epidotem a křemenem. Z dalších minerálů je hojně přítomen hlavně chlorit. Běžně se také setkáváme s epidotem, který je na tektonických zrcadlech na povrchu valounů. To jsou všechno znaky, které jsou typické pro hydrotermální epidotové žíly pocházející z brněnského masivu. Epidot z klastu má ale nižší zastoupení Fe^{3+} (0,61–0,74 *apfu*) a vyšší obsah Al (2,25 až 2,34 *apfu*) ve srovnání s hydrotermálními epidoty z brněnského masivu (Fe^{3+} 0,70–0,95 *apfu*; Al 2,02–2,29 *apfu*). Tuto odlišnost vysvětlujeme, tím že studovaný valoun pochází z hornin, které již dnes nevystupují v erozním řezu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl na základě Strategického výzkumného plánu České geologické služby DKRVO/ČGS 2018-2022 (No. 321180 - D. Buriánek) a institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace poskytované Ministerstvem kultury (DKRVO, MK000094862 - P. Hršelová). Rádi bychom poděkovali recenzentům a editorce E. Viškové za připomínky vedoucí ke zvýšení kvality rukopisu.

LITERATURA

- ARMBRUSTER, T., BONAZZI, P., AKASAKA, M., BERMANEC, V., CHOPIN, CH., GIERÉ, R., HEUSS-ASSBICHLER, S., LEIBSCHER, A., MENCHETTI, S., PAN, Y., PASERO, M., 2006: Recommended nomenclature of epidote-group minerals. - *European Journal of Mineralogy*, 18, 551-567.
- BONAZZI, P., MENCHETTI, S., 1995: Monoclinic members of the epidote group: effects of the Al-Fe³⁺-Fe²⁺ substitution and of the entry of REE³⁺. - *Mineralogy and Petrology*, 53, 133-153.
- BURIÁNEK, D., BUBÍK, M., FRANCŮ, J., FŮRYCHOVÁ, P., HAVLÍČEK, P., HAVLÍN, A., GILÍKOVÁ, H., JANDERKOVÁ, J., KAŠPERÁKOVÁ, D., KOČIÁNOVÁ, L., KONEČNÝ, F., KREJČÍ, O., KRUMLOVÁ, H., KRYŠTOFOVÁ, E., MÜLLER, P., OTAVA, J., PALEČEK, M., PECINA, V., PECKA, T., SEDLÁČEK (BRNO), J., SEDLÁČKOVÁ, I., ŠRÁMEK, J., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VEČERA, J., VERNER, K., VÍT, J., 2020: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 list 24-342 Brno-jih. - Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-981-3. neuveden.
- BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. - ČSAV, Praha, 1005 p.
- DEMEK, J., HAVLÍČEK, M., KIRCHNER, K., NEHYBA, S., PETROVÁ, P., BUBÍK, M., GILÍKOVÁ, H., 2005: Příspěvek k poznání geologické situace na jv. svahu Červeného kopce v Brně. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2004*, 8-11.
- DUDEK, A., 1980: The crystalline basement block of the Outer Carpathians in Moravia: Bruno-Vistulicum. - *Rozpravy Československé akademie Věd, řada matematických a přírodních věd*, Praha, 85 p.
- FINGER, F., HANŽL, P., PIN, C., VON, Q. A., STEYRER, H. P., 2000: The Brunovistulian: Avalonian Precambrian sequence at the eastern end of the Central European Variscides?. - In: Franke, W., Haak, V., Oncken, O., Tanner, D., ed.: *The Brunovistulian: Avalonian Precambrian sequence at the eastern end of the Central European Variscides?*. - Geological Society, London, Special Publications Home, 103-112.
- FRANZ, G., LIEBSCHER, A., 2004: Physical and chemical properties of the epidote minerals—an introduction. - *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 56, 1, 1-81.
- HANŽL, P., BALDÍK, V., BUBÍK, M., BURIÁNEK, D., DOLNÍČEK, Z., DVOŘÁK, I., FŮRYCHOVÁ, P., HAVLÍN, A., HRDLIČKOVÁ, K., KOČIÁNOVÁ, L., KONEČNÝ, F., KREJČÍ, O., KREJČÍ, Z., KRUMLOVÁ, H., KRYŠTOFOVÁ, E., MÜLLER, P., PALEČEK, M., PECINA, V., PECKA, T., POUL, I., SEDLÁČKOVÁ, I., SKÁČELOVÁ, D., SKÁČELOVÁ, Z., SLOBODNÍK, M., ŠRÁMEK, J., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VEČERA, J., VÍT, J., 2020: Vysvětlivky k Základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 24-324 Brno-sever. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-976-9.
- KRUŽA, T., 1962: O nerostech a horninách z brněnské vyvřeliny. - *Almanach MM*, 2, 108-112.
- KRUŽA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940-1965. - *Moravské muzeum v Brně*, 380 p.
- LINHART, J., 1960: Příspěvek k poznání povrchu syrovicko-ivaňské terasy. - *Zprávy geomorfologického výzkumu v Roce 1959*, 1.
- SOBEK, K., LOSOS, Z., ŠKODA, R., HOLÁ, M., NASDALA, L., 2023: Crystal chemistry of ferriallanite-(Ce) from Nya Bastnäs, Sweden: Chemical and spectroscopic study. - *Mineralogy and Petrology*, 117, 345-357.
- ŠTELCL, J., WEISS, J. (ED.), GREGEROVÁ, M., STANĚK, J., ŠTELCL, J. (1986): *Brněnský masív*. - Universita J. E. Purkyně v Brně, Brno.
- VARLAMOV, D. A., ERMOLAEVA, V. N., CHUKANOV, N. V., JANCEV, S., VIGASINA, M. F., PLECHOV, P. Y., 2019: New Data on Epidote-Supergroup Minerals: Unusual Chemical Compositions, Typochemistry, and Raman Spectroscopy. - *Geology Of Ore Deposits*, 61, 8, 827-842.
- VÍT, J., HANŽL, P., 2003: Říční terasy Svitivity na Zemědělské ulici v Brně 10. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2002*, 10, 13-14.
- ZEMAN, A., 1974: Quaternary of the surrounding of Stránská skála. - *Sborník geologických Věd, Anthropozoikum* 10, 41-72.
- ZEMAN, A., 1980: Zpráva o přehledném výzkumu kvartéru a geomorfologie v úseku Jih se zaměřením na morfostrukturní analýzu pro vyhledávání ložisek přírodních uhlovodíků. - *MS Geofond*, Praha.
- ZEMAN, A., 1982: Fluvialní a fluvioakustrinní sedimenty Brněnské kotliny. - In: Musil R., ed.: *Kvartér brněnské kotliny*. Stránská skála IV, 55-84. - *Studia geographica* 80, Brno.