

## TĚŽKÉ MINERÁLY Z VLTAVÍNONOSNÝCH SEDIMENTŮ V OKOLÍ VRÁBČE: IMPLIKACE PRO PALEOGEOGRAFIÍ

HEAVY MINERALS FROM MOLDAVITE-BEARING SEDIMENTS IN THE VICINITY OF VRÁBČE:  
PALEOGEOGRAPHIC IMPLICATIONS

DAVID BURIÁNEK, JAN KARMAZIN

### Abstract

Buriánek, D., Karmazin, J., 2024: Těžké minerály z vltavínonosných sedimentů v okolí Vrábče: implikace pro paleogeografii. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 109, 1, 99–124 (with English summary).

*Heavy minerals from moldavite-bearing sediments in the vicinity of Vrábče: paleogeographic implications*

The area of Southern Bohemia in vicinity of the Budějovice Basin is known for the occurrence of moldavites. This study provides sedimentological and mineralogical descriptions of the Miocene to Pleistocene moldavite-bearing sediments in the vicinity of Vrábče (Vrábče and Koroseky beds); heavy minerals from these sediments were investigated in order to reconstruct their source areas. Both sediment types (Vrábče and Koroseky beds) contain variable amounts of kyanite, tourmaline, garnet, staurolite, and rutile in their transparent heavy mineral assemblages. The heavy minerals were derived mainly from migmatites to paragneisses, and their minor part was sourced most likely from weathering of marbles, calc-silicate rocks, orthogneiss, muscovite granites and/or pegmatites. Eclogites, amphibolites, and ultrabasic rocks were identified as significant sources of material for forming the Vrábče and Koroseky beds based on the chemical composition of garnet and spinel. At least a part of the kyanite probably comes from the granulites. The Miocene Vrábče beds represent the product of alluvial/lacustrine-fan sedimentation. Based on their abrasion degree heavy minerals in these sediments were transported on short distances (max. several km), probably from rocks strongly affected by Cretaceous and Paleogene weathering (Prachatice Mountains). The assemblage and composition of heavy minerals from fluvial sediments of the Koroseky beds show excellent correlation with mineralogy of rocks in their close vicinity. Detrital opaque heavy minerals are significant constituents of Koroseky beds. The chemical composition of ilmenite clasts suggests a source in basic rocks (amphibolites, eclogites). The dominance of quartz and/or feldspars in the clastic material, together with the prevalence of zircon and Th-rich monazite in heavy minerals assemblage, indicate that a significant part of the clastic material was derived from the weathering of granitoids (mainly durbachites). The minor part of the heavy mineral assemblages (e.g., staurolite, cassiterite) either comes from more distant parts of the Moldanubian Unit or represents a recycled material from older sedimentary sequences (e.g., Neogene, Cretaceous sediments).

*Key words:* Moldavite-bearing sediments, Sedimentology, Heavy minerals, Mineralogy, South Bohemia

Buriánek David, Czech Geological Survey, branch Brno, Leitnerova 22, 602 00 Brno, Czech Republic; Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic  
Karmazin Jan, Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic

### ÚVOD

Geneze vltavínů je všeobecně spojována s dopadem meteoritu ve středním miocénu do oblasti dnešního Bavorska (např. KRŠUL 2008, SCHWARZ a LIPPOLT 2014). Při průletu

atmosférou se materiál vyvržený impaktem měnil na sklovitou hmotu (vltavíny), která následně dopadala na povrch dnešní České republiky, Rakouska, Německa a Polska (TRNKA a HOUZAR 2002, KRŠUL 2008, BRACHANIEC 2015). Po dopadu se pak často v důsledku eroze dostaly vltavíny hlavně do deluviofluviálních, fluviálních a lakustrinních sedimentů. Vltavínonosné sedimenty v České republice můžeme rozdělit minimálně do dvou hlavních oblastí - jihočeské a západomoravské (BOUŠKA *et al.* 1987). Menší výskyty jsou i na dalších místech jako je například chebská (např. BOUŠKA *et al.* 1995, ŘANDA *et al.* 2008) a vídeňská pánev (KOEBERL *et al.* 1988, TRNKA 2020). Geneze jednotlivých typů vltavínonosných sedimentů představuje stále diskutovaný problém zejména mezi sběrateli (např. PLEČER a WELSER 2020, WELSER *et al.* 2020). Tuto otázku však nemůžeme řešit bez adekvátní znalosti petrografické a mineralogické variability zmíněných sedimentů. Petrografickým rozbohem vltavínonosných sedimentů se systematicky zabývali KONTA (1966), BOUŠKA (1966), ROST (1972) a PRIMAS (1990). Detailní mineralogický popis a zejména chemické složení těžkých minerálů v asociaci s vltavíny však většinou chybí.

Cílem práce je interpretovat informace o chemickém složení těžkých minerálů a přispět tak k otázce proveniencí klastického materiálu vltavínonosných sedimentů. Studovaná oblast kolem obce Vrábče je situována do předhůří Šumavy, jihozápadně od Českých Budějovic. Na ploše zhruba 2 km<sup>2</sup> se nachází řada výskytů vltavínonosných sedimentů, které můžeme rozdělit na dva hlavní typy pojmenované jako korosecké a vrábečské vrstvy. Toto označení zahrnuje fluviálně-lakustrinní sedimenty (ŽEBERA 1967, TRNKA a HOUZAR 2002), přičemž názory na jejich stáří se liší. FLAŠAR a ŠTĚPANČÍKOVÁ (2022) předpokládají že vrábečské vrstvy sedimentovaly v průběhu sarmatu až bádenu, zatímco korosecké vrstvy jsou pliocenního stáří. Většina starších autorů (ŽEBERA 1967, 1977a, b, TRNKA a HOUZAR 2002, WELSER 2020) naproti tomu předpokládá, že obě sedimentární jednotky vznikaly současně (báden-sarmat).

## GEOLOGIE STUDOVANÉ OBLASTI

Obec Vrábče se nachází 9,5 km jihozápadně od Českých Budějovic. Většina popisovaných lokalit se nachází v blízkém okolí této obce. Širší okolí studovaného území geologicky spadá do moldanubika a menší část zakrývájí sedimenty českobudějovické pánve (obr. 1a, b).

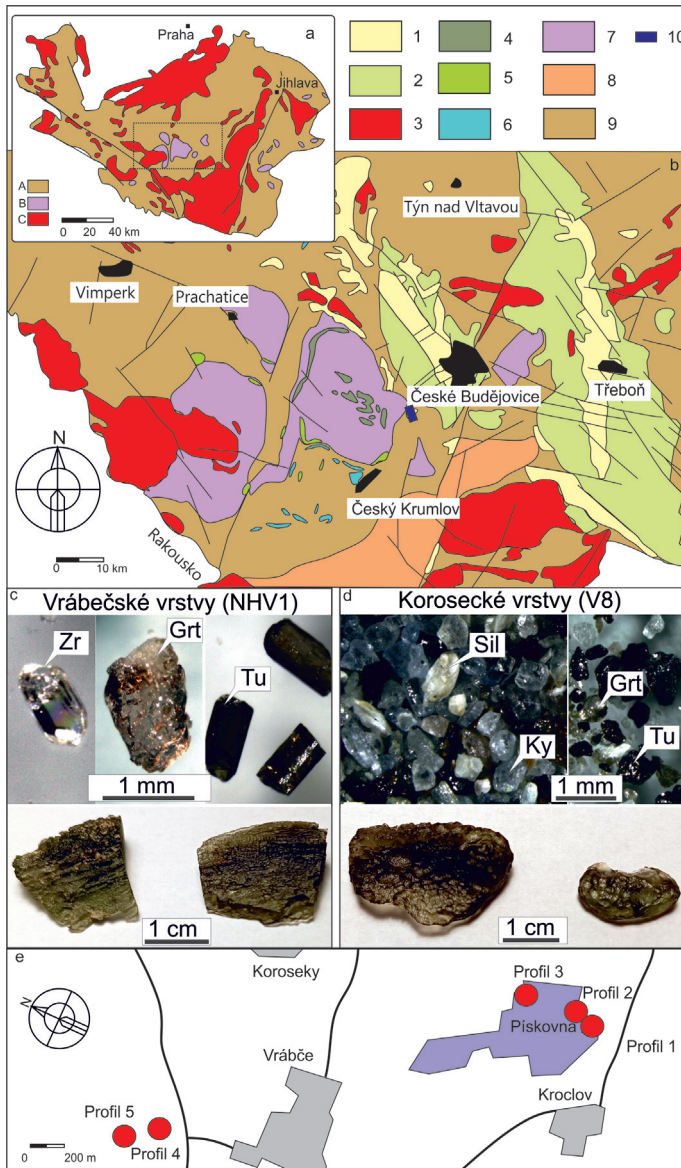
Vystupují zde metamorfované horniny pestré a z části jednotvárné skupiny moldanubika. Jednotvárnou skupinu reprezentují převážně biotitické a silimanit-biotitické pararuly. V pestré skupině jsou kromě dominantních migmatitů přítomna tělesa mramorů, erlanů, amfibolů, kvarcitů, eklogitů a serpentinitů. Severozápadně vystupuje granulitový masiv Blanského lesa. Metamorfované horniny jsou proráženy žilami variských porfyrů, porfyritů a leukokratických žul (MÍSAŘ *et al.* 1983).

Nejstarší sedimenty na území českobudějovické pánve jsou řazeny do svrchního paleozoika. Dominantní sedimentární výplň však tvoří mesozoické a kenozoické sedimenty (MALKOVSKÝ 1979). Výplně pánve tvoří především jezerní a říční jezerní sedimenty. Tato jezera však patrně občas komunikovala s alpskou předhlubní (ŘEHÁKOVÁ 1963).

**(I) Klikovské souvrství** (svrchní křída) je nejrozsáhlejší a nejmocnější stratigrafickou jednotkou a nasedá přímo na často fosilně zvětralé podloží (MALECHA 1964). V sedimentární sekvenci se střídají písčité a jílovité vrstvy (SLÁNSKÁ 1967). V těžké frakci převládá zirkon, turmalín, rutil, kyanit a granát. Monazit, staurolit, anatas jsou méně hojné. Ojedinele je přítomen také apatit, andalusit a sillimanit (KODYM *et al.* 1978).

**(II) Paleogenní sedimentace začíná pískovci a píský lipnického souvrství** (eocén až oligocén).

**(III) Po delším hiátu následuje ve spodním miocénu sedimentace zlivského souvrství** tvořeného převážně z jílu, pískovců a slepenců (SLÁNSKÁ 1974).



Obr. 1. Zjednodušená geologická mapa moldanubika (<https://mapy.geology.cz/geocr50>) (a) a geologická mapa studované oblasti A: Migmatity, ruly a svory, B: Granulit, C: Granit, (b) 1: Kenozoické sedimenty, 2: Křídové sedimenty, 3: Granit, 4: Peridotit, 5: Eklogit a amfibolit, 6: Mramor, 7: Granulit, 8: Svory, 9: Migmatit, 10: Zájmová oblast. Typické tvary vltavínu a těžké minerály koroseckých (c) a vráběčských (d) vrstev: silimanit (Sil), kyanit (Ky), granát (Grt), turmalín (Tu) a zirkon (Zr). (e) Lokalizace studovaných sedimentárních profilů.

Fig. 1. Simplified geological map of the Moldanubian Unit and geological map of the study area (<https://mapy.geology.cz/geocr50>) A: Migmatites, gneisses and micaschists, B: Granulite, C: Granite, (b) 1: Cenozoic sediments, 2: Cretaceous sediments, 3: Granite, 4: Peridotite, 5: Eclogite, and amphibolite, 6: Marble, 7: Granulite, 8: Conglomerates, 9: Migmatite, 10: Area of interest. Typical moldavite shapes and heavy minerals of the Koroseky (c) and Vrábče (d) beds: sillimanite (Sil), kyanite (Ky), garnet (Grt), tourmaline (Tu) and zircon (Zr). (e) Localization of studied sedimentary profiles.

(IV) V průběhu spodního a středního miocénu sedimentuje **mydlovarské souvrství**, které je složeno z (1) jílovitých písků a slepenců na bázi, (2) zelených jílů s uhelnou sloují uprostřed a (3) nazelenalých jílů a diatomitů v horní části. Sedimenty mydlovarského souvrství pravděpodobně zasahují až do bezprostřední blízkosti studované oblasti, a to v okolí Kamenného Újezdu, kde převládají písčitojílovité sedimenty (KODYM *et al.* 1978). Asociace těžkých minerálů je tvořena zejména zirkonem, sillimanitem, rutilem a turmalínem a malým podílem je téměř vždy zastoupen anatas, andalusit, kyanit, granát a monazit. Někde se vyskytuje epidot, klinozoisit, titanit, amfibol, apatit, brookit, leukoxen a staurolit (KODYM *et al.* 1978). Sedimenty této jednotky zřejmě reprezentují rozvětvenou síť až několik km širokých fosilních říčních údolí (řada reliktů u Horažďovic, Písku, Bechyně, Týna nad Vltavou a Tábora). V místech výrazně menšího přínosu hruběji klastického materiálu se ukládaly jemnozrnné sedimenty, které jsou typické hlavně pro oblasti jezerní sedimentace. Při okrajích českobudějovické pánve existovaly lokálně bažiny (až 10 m mocná uhelná slouj) a v třeboňské pánvi místy sedimentovaly rozsivky. Druhově poměrně chudé fauny gastropodů v sedimentech mydlovarského souvrství dokládají limnický až fluvialní charakter sedimentace (KADLECOVÁ a KOCOURA 2016). Podle ŘEHÁKOVÉ (1963) mají rozsivky ve spodní části mydlovarského souvrství sladkovodní charakter ve svrchní části pak marinního nebo brakického původu. To je možné vysvětlit komunikací jihočeských pánví s alpskou předhlubní (PEŠEK *et al.* 2010).

(V) V nadloží mydlovarského souvrství leží **domanínské souvrství**, které již obsahuje vltaviny (MALKOVSKÝ 1975). Tyto sedimenty se zachovaly jen v terénních depresích nebo v tektonicky pokleslých krátech. Pro tyto sedimenty je typická přítomnost montmorillonitu a nízký stupeň vytrídění (PEŠEK *et al.* 2010). Od mydlovarského souvrství se domanínské souvrství liší jiným společenstvím rozsivek (ŘEHÁKOVÁ 1963, 1969). K sedimentaci docházelo převážně v jezerním prostředí. Do jezer pak ústily drobné toky (PEŠEK *et al.* 2010) a proto v tomto odstavci také popisujeme svrchně miocenní sedimenty, které stratigraficky částečně odpovídají domanínskému souvrství (MALKOVSKÝ 1979). Mezi nejrozšířenějšími sedimenty tohoto typu jsou vrábečské vrstvy. Po petrografické stránce se skládají z jílů, písčitých jílů, jílovitých písků s ostrohrannými klasty. Převládajícím typem sedimentů je hrubozrnný písek až štěrčík s neopracovanými klasty živců, křemene a úlomků krystalinických hornin (např. VRÁNA *et al.* 1990). Místy se vyskytují malé čočky písčitého štěrku složeného z živců a křemene (NESROVNAL 1990). Sedimenty vrábečských vrstev byly deponovány v období svrchního badenu až svrchního sarmatu (TRNKA a HOUZAR 2002, PLEČER a WELSER 2020). Jedná se o výplně depresí v původním reliéfu. Sedimenty pravděpodobně prodělaly transport o délce prvních desítek až stovek metrů a dosahují obvykle mocností do 6 m. Vltaviny se v nich vyskytují nahodile v různých hloubkových úrovních a koncentracích (ŽEBERA 1977b).

Pro miocenní až pliocenní říční písky až štěrky (BOUŠKA 1992, FLAŠAR a ŠTĚPANČÍKOVÁ 2022, TRNKA a HOUZAR 2002) nejjistého stratigrafického zařazení je typický obsah redeponovaných a sekundárně korodovaných vltavinů. Uloženy jsou typické svou velkou mocností a velkým plošným rozsahem. Sedimentace probíhala za různých podmínek, přičemž dominují říční a deltové sedimenty. K nejrozšířenějším sedimentům tohoto typu jsou korosecké vrstvy, které poprvé popsal ŽEBERA (1967). Největší rozšíření i mocnost mají u obce Vrábče (ŽEBERA 1967). Jejich stratigrafickým ekvivalentem by mohly být i štěrkopísky s výrazným obsahem hrubších křemenných valounů, ležící v j. části třeboňské pánve (PEŠEK *et al.* 2010). Jako specifické hrubozrnné facie bývají vyčleňovány záhorčické písčité štěrky a kamenoujezdské štěrky (ŽEBERA 1967). Fluvialní sedimenty typu koroseckých vrstev byly v oblasti mimo jihočeská jezera deponovány rovněž před pádem vltavinů.

(VI) Ledenické souvrství pliocenního stáří je zastoupeno silně písčitými jíly, které se zřejmě ukládaly v prostředí průtočných jezer (PEŠEK *et al.* 2010).

Dnes se vltaviny také nachází v řadě geneticky a stratigraficky rozdílných typech sedimentů pliocenního až holocenního stáří (ŽEBERA 1977). Svahové hlíny a sutě pleistocenní-

ho stáří obsahují neopracované nebo, málo opracované vltaviny (BOUŠKA 1990). Zaoblené vltaviny se vyskytují zejména ve fluviálních sedimentech např. v okolí Písku, Týna nad Vltavou, Veselí nad Lužnicí, Soběslavi, a dokonce až u Prahy (BOUŠKA *et al.* 1987, BOUŠKA a LANGE 1999).

## METODIKA

### *Odběr vzorků*

Popis a přesná pozice sedimentárních profilů jsou uvedeny v kapitole níže. Celkem bylo odebráno deset vzorků. Osm vzorků bylo odebráno v pískovně na třech různých profilech. Další dva vzorky byly odebrány na lokalitě Vrábče „Nová Hospoda“ (SMETANA 1991). U všech odebraných vzorků byla použita stejná metodika zpracování. Nejprve bylo odebráno cca 2 kg materiálu na zrnitostní a valounovou analýzu a poté 10 litrů materiálu, ze kterého byl za pomoci rýžování získán koncentrát těžkých minerálů na laboratorní zpracování. Dále byly zpracovány vzorky granátu ze tří rozdílných poloh z bývalé pískovny Vrábče – Vrubic a granáty z těžebního prostoru Vrábče – Boršov (HANZLÍK a SPUDIL 2007).

Pro srovnání byly studovány těžké minerály (hlavně granát) z horninových vzorků v blízkém okolí. Jednalo se o granulit z katastru obce Kvítkovice a eklogit z katastru obce Vrábče. Oba vzorky pocházely z úlomků v ornici.

### *Příprava sedimentu pro zrnitostní analýzu*

Z vysušeného vzorku bylo pomocí kvartace získáno 2 kg materiálu. Zrnitostní separace proběhla mokrou cestou pomocí sít o velikostech ok 10,0–0,063 mm. Jednotlivé frakce zachycené sítí byly vysušeny a zváženy. V rámci zrnitostní analýzy bylo zkoumáno 8 vzorků z koroseckých vrstev (V1 až V8) a dva vzorky z vrábečských vrstev (VNH1 – VNH2).

### *Příprava těžkých minerálů*

Koncentrát těžkých minerálů, vzniklý rýžováním, byl rozdělen v těžké kapalině (LST nasycený vodný roztok heteropolywolframanu sodného,  $h = 2,96 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ ) a získána těžká frakce. Hustota LST kapaliny byla 2,962 g/ml. Některé vzorky byly rozděleny pomocí elektromagnetu Cook na tři skupiny podle magnetických vlastností. Jako první byla nastavena intenzita na 0,4 A. Tím došlo k odseparování v průměru 85 % veškerých těžkých minerálů (hlavně ilmenit a magnetit). Následně se intenzita zvýšila na 0,7 A a tím se zbylý vzorek rozdělil na paramagnetické a nemagnetické minerály. V paramagnetické skupině byl například staurolit a granát. Naopak v nemagnetické skupině zrna kyanitu, zirkonu a rutilu.

Procentuální zastoupení těžkých minerálů bylo zjištěno na základě studia v binokulárním mikroskopu a elektronovém mikroskopu. Všechny vzorky pak byly prohlédnuty v polarizačním optickém mikroskopu. Cílem bylo určení jednotlivých minerálních fází, přičemž se jednalo převážně o průsvitné minerály.

Průsvitná frakce pak byla využita pro zhotovení vzorků (tablet) určených pro studium chemického složení minerálních fází pomocí elektronového mikroskopu. Tablety obsahovaly asociace TM paramagnetických a nemagnetických minerálů ze vzorků V3 až V8. Magnetické minerály byly analyzovány pouze v jednom případě, a to u vzorku V5. U vzorků z vrábečských vrstev byla do tablety vložena celá minerální asociace. Následně byly všechny tablety vakuově pokryty uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm.

### *Podmínky měření*

Chemické složení minerálů bylo analyzováno pomocí elektronové mikrosondy Cameca SX100 (operátor P. Gadas) na Pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy (Společné pracoviště Ústavu geologických věd PřF MU a České geologické služby). Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV,



průměr elektronového svazku 5–10  $\mu\text{m}$ , proud 10–30 nA, načítací čas 20 sekund. Jako standardu bylo užito ( $K\alpha$  linie): augit (Si, Mg), ortoklas (K), jadeit (Na), chromit (Cr), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), rodonit (Mn),  $\text{TiO}$  (Ti). U většiny minerálních fází byla provedena jedna analýza v každém zrně. Pouze u granátů byly analyzovány okraj a střed zrna pokud bylo zrně dostatečně velké. Minerály byly přepočteny v programu Microsoft Excel. Krystalochemické vzorce turmalínu byly rozpočteny na 15 kationtů v pozici Y+Z+T, přičemž ze stechiometrie byl dopočten B = 3. Krystalochemický vzorec granátu byl vypočten na 12 O, spinely na 4 O a 3 kationty, a staurolit na 46 O.

## VÝSLEDKY

### Popis sedimentárních profilů a doplňkových odběrových míst

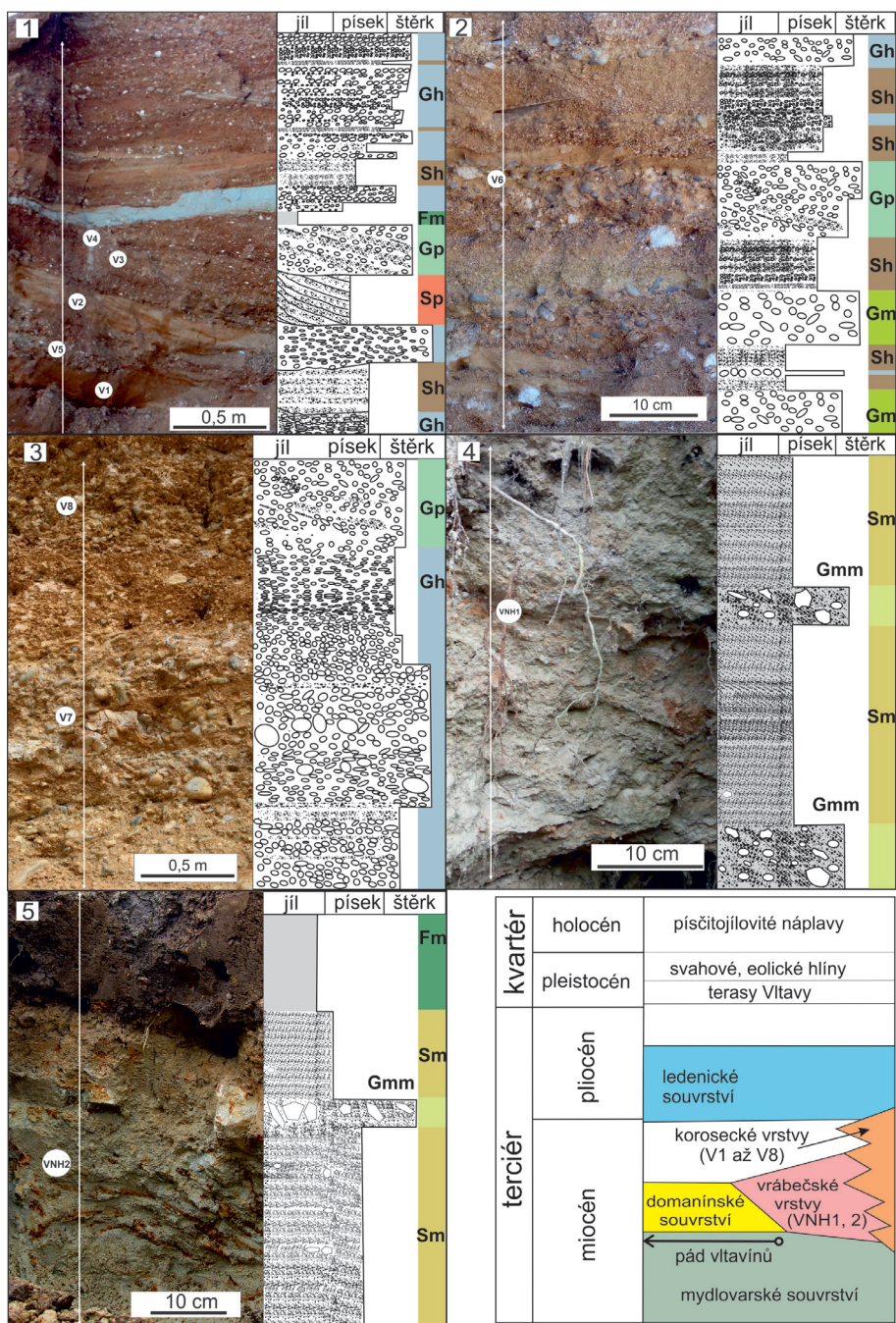
**(I)** První tři profily z pískovny Vrábče-Kroclov reprezentují sedimentárních **profily koroseckých vrstev** (obr. 2). **Profil 1** se nacházel v jz. části pískovny (GPS: 48,9063717N; 14,3934767E, nadmořská výška 504,08 m n. m.). Polohy písku směrem nahoru zjemňují a vykazují subhorizontální nebo šikmé, někdy zvlněné zvrstvení. Polohy štěrku jsou většinou bez zřetelné gradace. Nejspodnější set vrstev tvoří rezavě hnědý hrubozrnný pisek s příměsí štěrkovité frakce 6,3 % (V1). Nad ní se nacházela čocka tvořená převážně hrubozrnným štěrskem světle rezavé barvy (V5). Nad čockou byla dobře vytríděná písková vrstva rezavě hnědé až bílé barvy (V2). Největší zastoupení na profilu tvořil set vrstev rezavého písčitého štěrku (V4). Uvnitř setu vrstev (V4) se nacházela čocka světle hnědé až rezavého písčitého štěrku (V3). Subhorizontálně zvrstvený set vrstev písku a štěrku ve svrchní části profilu místy obsahoval jílovité závalky šedavé barvy. Vzácně se zde také vyskytly drobné polohy jemného jílu a písku. Spodní hranice písčitých a jílovitých vrstev je ostrá (2 až 35 cm) a často erozivní.

**Profil 2** byl situován v jižní části pískovny (GPS: 48,9071439N; 14,3939703E, nadmořská výška 504,2 m n. m.). Na tomto profilu byl odebrán jeden vzorek (V6) ze štěrkopískové polohy. Jednalo se o rychle střídající se polohy horizontálně zvrstvených písčitých štěrků a písků s variabilním stupněm vytrídění, které směrem nahoru obvykle zjemňují.

**Profil 3** se nacházel v jv. části pískovny (GPS: 48,9097141 N; 14,3940370E, nadmořská výška 505,50 m n. m.). V této části pískovny se vyskytovaly jílovité závalky o velikosti až cca 20 cm. Sediment ve třetím profilu byl hrubozrnnější (písčité štěrky), tvořil až 2 m mocné horizontálně zvrstvené nebo masivní polohy (bez patrného zvrstvení, V7, V8).

Podle klasifikace MIALLA (1977, 1985, 2006) jsou tři profily koroseckých vrstev z pískovny (obr. 2, profil 1 až 3) dominantně tvořeny zvrstvenou štěrkovou litofaci (Gh) (obr. 2, profil 1 a 3), které tvoří protáhlá izolovaná tělesa. Tato facie se skládá z drobně až středně zrnitých, dobře vytríděných štěrků s podpůrnou strukturou klastů. Na tuto facii nasedá planárně šikmě zvrstvená litofacie (Gp) budovaná písky a štěrky, nebo litofacie masivních štěrků s podpůrnou strukturou valounů až podpůrnou strukturou písčité matrix (Gm). Místy se objevují vložky subhorizontálně nebo planárně šikmě zvrstvených štěrkovito-jílovitých písků až jílovitých písků (místy s valounky) litofacie Sp a Sh (obr. 2, profil 1). Nebo se zde vyskytuje střídání nepravidelných až 10 cm mocných poloh tvořených pískem s valouny až drobnozrnným štěrskem (zaoblené a polozaoblené valouny o velikosti až 4 cm) s podpůrnou strukturou písčité matrix a nepravidelných 5–10 cm mocných relativně jemnozrnnějších poloh tvořených špatně vytríděným pískem. Při bázi se místy vyskytuje šikmě zvrstvená písčité litofacie St (nejsou zachyceny na profilech). Místy jsou patrné drobné polohy jílu náležející k nivním sedimentům (uloženiny údolní nivy, obr. 2, profil 1).

Vzorky z Kroclova (V1–V8) granáty neobsahovaly, proto byly doplněny o vzorky z Vrubické pískovny a o granátem bohatou čocku z Kroclova. Granáty z Kroclova pochází z malé štěrkopískové polohy zpevněné limonitem. Granáty v této vrstvě dosahovaly velikosti až 3 mm a byly velice hojné. Kromě granátů byly v sedimentu polozaoblené klasty křemene a živce.



Obr. 2. Studované profily s vyznačenými místy odběru vzorků a stratigrafická tabulka vltavinonosných sedimentů (upraveno podle BOUŠKY 1992, TRNKY a HOUZARA 2002, FLAŠARA a ŠTĚPANČIKOVÉ 2022).  
 Fig. 2. Studied profiles with position sampling points and stratigraphic table of moldavite-bearing sediments (modified from BOUŠKA 1992, TRNKA and HOUZAR 2002, FLAŠAR and ŠTĚPANČIKOVÁ 2022).

Z dalších těžkých minerálů byl prokazatelně přítomný kyanit (odběrové místo GPS: 48,9576392N, 14,3091506E; hloubka cca - 15 m). Druhý vzorek granátů pochází z bývalé Vrubicke pískovny, kde byl odebrán (v letech 1990 a 1991) ze tří různých poloh. Všechny polohy se nacházely v současnosti ve vytěženém prostoru Vrábče - Vrubic. Hloubka odběru byla v rozmezí 65-250 cm. Jednalo se o polohy písčitého štěrku s klasty do 0,5 cm (DOLEŽAL 1991).

**(II) Popis dvou sedimentárních profilů vrábčských vrstev** (obr. 2) pochází z lokality Vrábče - Nové Hospody. **Profil 4** byl odebrán v typických vrábčských vrstvách (GPS: 48.9246525N; 14.3736761E, nadmořská výška 505,37 m n. m.). Sediment se skládal ze šedobílého jílovitého pisku s rezavými čočkami jílovito-písčitého štěrku.

**Profil 5** (GPS: 48,9258925N; 14,3713222E, nadmořská výška 500,25 m n. m.) byl na lokalitě zvané „Pole u železniční trati“. Sediment se skládal ze zelenošedého až narezlého pisku a jílovito-písčitého štěrku s místy relativně velkými kusy granodioritu (polohy měly mocnost až 30 cm).

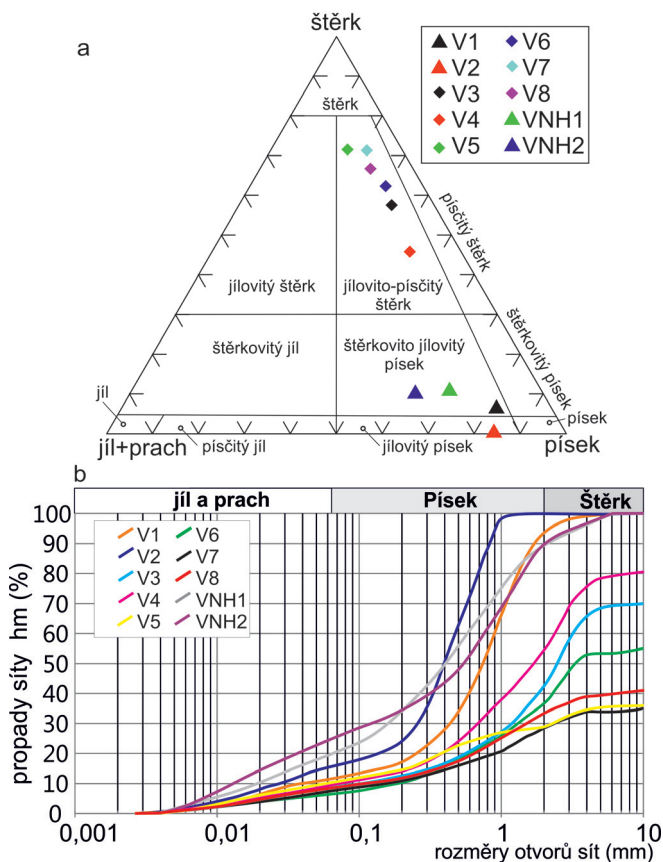
V sedimentárních profilech vrábčských vrstev z lokality Vrábče - Nové Hospody dominují šedobílé a zelenošedé až narezlé jílovité pisky s polohami a čočkami štěrkovito-jílovitých písků (Sm) místy obsahující štěrkové klasty, které jsou jen velmi slabě opracované. V profilech 4 a 5 se vyskytují drobné až hrubé štěrky s podpůrnou písčitou nebo jílovito-písčitou základní hmotou (obr. 2, litofacie Gmm). Větší klasty jsou slabě zaoblené až ostrohranné a reprezentované křemenem, metamorfovanými či plutonickými horninami.

### **Petrografická charakteristika sedimentů**

Petrografické složení klastů ve vrábčských vrstvách vykazuje nízký stupeň mineralogické zralosti (klasty alterovaných živců a jílové minerály v matrix). Klasty štěrku jsou poloostrohranné až zaoblené. Většina těžkých minerálů má zachovány původní krystalové tvary (obr. 1d). Dominantní litologii zde byly polohy štěrkovito-jílovitého pisku (obr. 3a) s proměnlivým obsahem štěrkovité frakce. Velikost většiny klastů byla do 6 cm, pouze lokálně se vyskytly polohy s klasty o velikosti až 30 cm. Na čtvrtém studovaném profilu byly nalezeny ostrohranné až poloostrohranné klasty křemenů, záhněd, granitoidů, alterovaných živců a opálů. Na pátém studovaném profilu dominovaly v pšefitické frakci ostrohranné klasty granitu. Hodnoty vytrídění ( $\sigma_1$ ) se pohybují v rozmezí mírně vytríděného pisku 0,91 (VNH1) až špatně vytríděného pisku u vzorku VNH2 (1,29). Průměrná velikost zrn je pro vzorek VNH1 0,65 mm a pro vzorek VNH2 0,75 mm. Tvary vltavinů jsou často kapkovité nebo eliptické (TRNKA a HOUZAR 1991). V mnoha případech jsou tyto tvary rozlámané a nacházíme jejich ostrohranné úlomky (obr. 1c).

Složení všech vzorků štěrků z koroseckých vrstev je podobné. Dominují rezavě zbarvené pisky a štěrky s podpůrnou strukturou klastů, které přechází do štěrků s podpůrnou strukturou písčité matrix. Mineralogická zralost štěrků a písků je většinou vysoká. Písčítá frakce obsahuje hlavně klasty křemeně a často je také přítomen silně kaolinizovaný živec (Profil 1 a 2). Těžké minerály jsou většinou poloostrohranné až zaoblené (obr. 1c) a někdy nesou známky koroze (granát, obr. 1c). Štěrkové klasty ve většině případů dosahují maximálně průměru kolem 4 cm. Pouze lokálně je velikost klastů větší, jak dokládá třetí profil z pískovny Vrábče-Kroclov, kde se běžně vyskytují klasty až 7 cm v průměru. Ve všech vzorcích převažoval polozaoblený až zaoblený, mléčně bílý až šedý křemen a občasné zaoblené klasty živců, které byly značně alterované (sericitizace, kaolinizace). Klasty metamorfovaných a vyvřelých hornin (ruly a granitoidy) byly spíše vzácností. Klasty živců nebo hornin většinou tvoří maximálně 5 % frakce nad 2 mm. Místy se nacházely i železité konkrce, nebo tenké vrstvy a čočky jílu. Zrnitostní analýza byla provedena u 8 vzorků z koroseckých vrstev (V1-V8). Na základě klasifikace FOLKA (1954), odpovídá většina vzorků jílovito písčitému štěrku (obr. 3a), přičemž procentuální zastoupení štěrku kolísá mezi 46-71 % (950 až 2 mm), procentuální zastoupení pisku (2,0 až 0,063 mm) tvořilo 21-33 % a prachovitá s jílovitou frakcí (pod 0,063 mm) tvořily cca 8-12 % (obr. 3b). Vzorky V1 a V2 svou zrnitostí spadají do klasifikačního pole štěrkovito-jílovitého pisku a jílovitého pisku (obr. 3a).





Obr. 3. (a) Zrnitostní diagram všech odebraných vzorků (upraveno podle FOLKA 1954). (b) Zrnitostní křivky studovaných vltavinonosných sedimentů.

Fig. 3. (a) Grain size diagram of all samples collected (modified from FOLK 1954). (b) Grain size curves of the studied moldavite-bearing sediments.

Na základě střední velikost zrn a hodnoty vytrřídění (FOLK a WARD 1957) můžeme písčité polohy klasifikovat jako mírně (V1) až velmi dobře vytrříděné (V2). Hodnota vytrřídění ( $\sigma_1$ ) u vzorku V1 s průměrnou velikostí zrn 0,8 mm je rovna 0,74, zatímco u vzorku V2 s průměrnou velikostí zrna 0,39 mm je 0,32. Tvary vltavinů jsou mírně zaoblené s výraznou skulptací (obr. 1c), která vznikla pravděpodobně naleptáváním během dlouhodobého uložení v písčitém šterku.

### Těžké minerály

(1) Minerální asociace ve vzorcích z vráběčských vrstev (tab. 1) obsahovala: zirkon (25–23 %), monazit a xenotim (27–20 %), turmalin (18–15 %), ilmenit (13–11 %), granát (13–10 %), kyanit (7–8 %), zbytek tvořil rutil, staurolit a spinelidy (obr. 4a, b). Ve vzorku VNH2 se akcesoricky vyskytoval apatit.

Ilmenit je přítomen jako zaoblená či polozaoblená nepravidelná opakní zrna o proměnlivých velikostech. Byla charakteristická kovovým až kovově matným leskem. V BSE snímcích byl ilmenit většinou nehomogenní místy je leukoxenitizovaný, nebo srůstá s  $\text{TiO}_2$  minerálními fázemi.

Zirkon měl ve vzorcích dominantní zastoupení. Část zrn byla oválná, část idiomorfni s dosud patrnými krystalovými plochami a krátce sloupečkovitým habitem. Barva bezbarvá, mléčně zakalená až nažloutlá. Vlivem metamiktizace byla některá zrna černá. Všechna zrna monazitu byla silně zaoblená a nepravidelná. Barva citronově žlutá až medově nažloutlá.

Turmalín je poměrně vzácný mírně zaoblený, zonální a často obsahovala inkluze křemene (obr. 4c). Sloupcovitá, dobře omezená až zaoblená zrna turmalínu měla světle hnědou až tmavě hnědou barvu. V BSE obraze byla nezonální i oscilačně zonální zrna.

Kyanit vytvářel převážně zaoblená, polozaoblená zrna. Kromě kyanitu se ve vzorcích objevoval sillimanit, jako agregáty jehlicovitých, hedvábně lesklých krystalků.

Oproti ostatním zrnům těžkých minerálů vykazovaly granáty průměrně o 2 mm větší velikost. Krystalové plochy nebyly pozorovány a zrna měla nepravidelný tvar místy se znaky koroze.

(2) Minerální asociace byla ve vzorcích z **koroseckých vrstev** velice podobná. Většina těžkých minerálů jevíva opracování během transportu o větší či menší alteraci. Dominantním těžkým minerálem byl ilmenit (obr. 4a), který byl zastoupen v koncentracích 78–90 % (tab. 1). Druhým nejhojnějším minerálem byl kyanit (5–10 %). Průsvitnou frakci těžkých minerálů (obr. 4b) tvořil zirkon (1–6 %), monazit a xenotim (0,2–3,2 %), rutil (0,4–0,9 %), turmalín (0,06–0,77 %), staurolit (0,05–0,77 %) a spinel (méně než 0,5 %). Dále byl nalezen kasiterit ve vzorku V5 a niobotantaláty ve vzorcích V2 a V6.

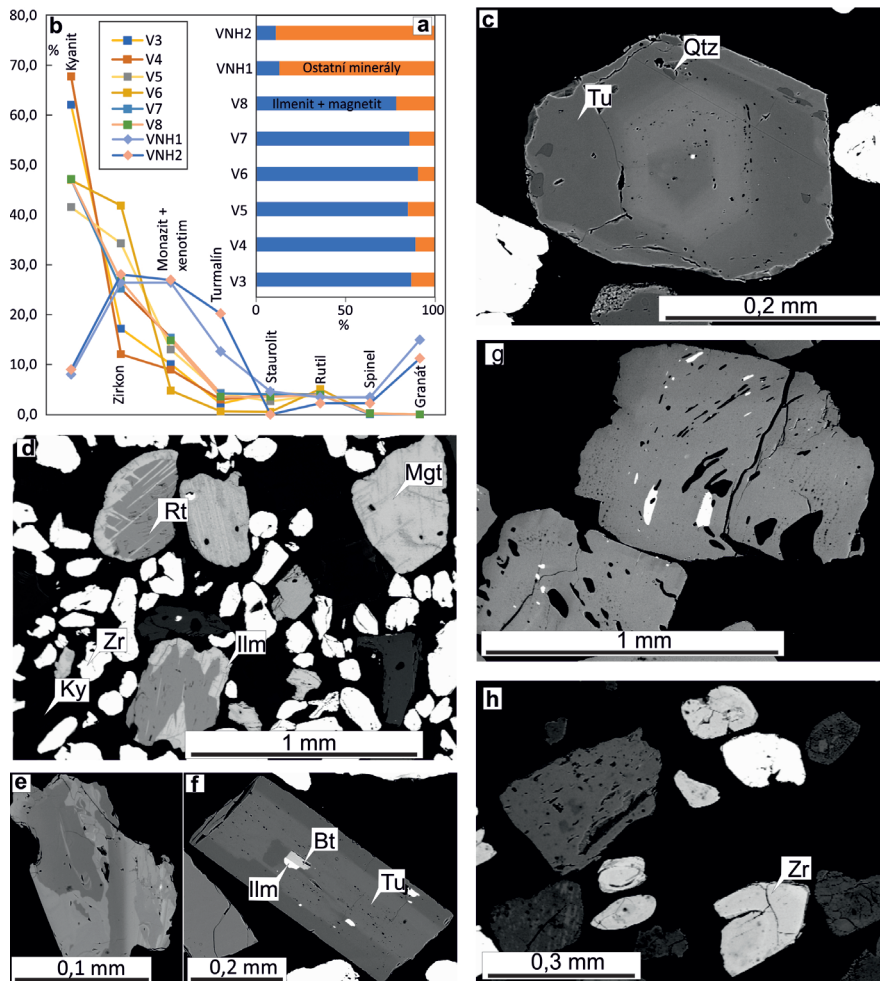
Ilmenit vytvářel zaoblená či polozaoblená nepravidelná opakní zrna. Byl charakteristický kovovým až kovově matným leskem. Některá zrna byla potažena oxo-hydroxidy železa, a to hlavně ve vzorku V4. V BSE snímcích je patrné že se lišty ilmenitu, často prorůstají s blíže neurčenými TiO<sub>2</sub> minerálními fázemi (patrně rutil). Některá zrna byla podél okrajů alterovaná (leukoxenitizovaná). Občas byly patrné srůsty ilmenitu s jinými minerály: ilmenit + křemen, ilmenit + monazit, ilmenit + sillimanit/kyanit, ilmenit + zirkon. Minerály skupiny TiO<sub>2</sub> se vyskytují jako nepravidelná zrna a někdy jsou lemována ilmenitem nebo s ním srůstají (obr. 4d). Některá zrna mohla být tmavě červená, někdy hnědá. Ojedinele byla zjištěna i zrna niobotantalátů (obr. 4e). Místy se vyskytuje magnetit (obr. 4d). K ilmenitu jsou započtena i ojedinelá zrna alterovaného magnetitu a hematit.

Kyanit (obr. 4d) se převážně vyskytuje jako zaoblená a polozaoblená zrna s patrnou štěpností. Makroskopicky vykazuje modrou barvu a v UV záření (vlnová délka 254 nm) luminescenci. Sillimanit se většinou vyskytoval jako drobné agregáty jehlicovitých, hedvábně lesklých krystalů srůstajících s ilmenitem. Andalusit tvořil do 1 mm velké narůžovělé sloupcovité agregáty.

Tabulka 1. Zastoupení těžkých minerálů ve vzorcích z koroseckých a vrábečských vrstev.

Table 1. Abundances of the heavy minerals in the studied samples from Koroseky and Vrábče beds.

Vzorek	V3	V4	V5	V6	V7	V8	VNH1	VNH2
Popis	korosecké vrstvy						vrábečské vrstvy	
Ilmenit	86,69	89,05	84,84	90,4	85,6	78,21	13	11
Kyanit	8,26	7,42	6,3	4,51	6,77	10,3	7	8
Zirkon	2,29	1,32	5,2	4,02	3,62	5,85	23	25
Monazit	1,22	0,97	1,71	0,17	1,76	2,55	18	15
Turmalín	0,29	0,33	0,65	0,06	0,61	0,77	11	18
Staurolit	0,58	0,44	0,4	0,05	0,58	0,77	4	0
Rutil	0,52	0,44	0,61	0,49	0,57	0,86	3	2
Xenotim	0,12	0,01	0,26	0,29	0,45	0,69	5	9
Spinel	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04	0	3	2
Granát	0	0	0	0	0	0	13	10
Suma	100	100	100	100	100	100	100	100
Váha	8,27 g	55,28 g	4,22 g	3,27 g	79,49 g	11,44 g	1,72 g	1,62 g
Hloubka	7,5 m	7,2 m	7,7 m	4 m	9,5 m	6 m	1 m	1 m



Obr. 4. Diagram znázorňující zastoupení ilmenitu a magnetitu (a) a průsvitné frakce těžkých minerálů (b) v jednotlivých studovaných vzorcích. (c-h) Charakteristické příklady těžkých minerálů (BSE snímky) ze studovaných sedimentů z vrábčeských vrstev (VNH2) a koroseckých (V3, V2, V6, VR1): (c) turmalín ze vzorku (VNH2), (d) ilmenit (Ilm), rutil (Rt), magnetit (Mgt), zirkon (Zr) a kyanit (Ky) ve vzorku V6, (e) zonální Fe-kolumbit ze vzorku V2, (f) turmalín a (g) staurolity s inkluzemi křemene ze vzorku VR1, (h) zirkon ze vzorku V6 a.

Fig. 4. Diagram showing the content of ilmenite and magnetite (a) and translucent fractions of heavy minerals (b) in individual studied samples. (c-h) Characteristic examples of heavy minerals (BSE images) from the studied sediments of the Vrábče beds (VNH2) and Koroseky (V3, V2, V6, VR1): (c) tourmaline from sample (VNH2), (d) ilmenite (Ilm), rutile (Rt), magnetite (Mgt), zircon (Zr) and kyanite (Ky) in sample V6, (e) zoned Fe-columbite from sample V2, (f) tourmaline (g) staurolites with quartz inclusions from sample VR1, (h) zircon from sample V6.

Spinely byly v binokulárním mikroskopu pozorovány jako tmavě modré až černé krystalky. Některá zrna byla silně alterovaná kolem okrajů.

Dominovala oválná až slabě zaoblená sloupcovitá zrna turmalínu (obr. 4f). Barva světla hnědá až černá v závislosti na velikostech zrn. Na BSE snímcích převažují nezonální zrna nebo nevýrazně oscilačně zonální klasty. V některých zrnech byly přítomny inkluze křemene, ilmenitu a biotitu.

Neštěpná, nepravidelná ostrohranná až mírně zaoblená zrna staurolitu jsou tmavě hnědé až hnědo-oranžové barvy. Chemicky je poměrně homogenní, někdy obsahuje inkluze křemene, z nichž je patrné že se jednalo o rotované helicitické porfyroblasty (obr. 4g).

Zirkon vykazoval ve vzorcích variabilní stupeň opracování. Část zrn byla oválná, část idiomorfni s dosud patrnými krystalovými plochami a krátce sloupcovitým habitem. Bezbarvé, často mléčně zakalené nebo vlivem metamiktizace červené/černé. Na BSE snímcích převažují zirkony chemicky homogenní nebo oscilačně zonální (obr. 4h). Monazit a xenotim se většinou vyskytují jako polozaoblená zrna, která jsou bez zřetelné chemické zonálnosti (drobná zrna do 0,03 mm). Všechna zrna monazitu byla silně zaoblená, nepravidelná. Barva citrónově žlutá až medově žlutá.

### Chemické složení vybraných minerálů

Celkem bylo analyzováno 74 klastů turmalínu, z toho 64 analýz z koroseckých vrstev a 10 analýz z vrábečských vrstev. Chemické složení turmalínu (tab. 2) z obou sedimentárních jednotek je podobné. Vzhledem k nižšímu počtu analýz je variabilita turmalínu z vrábečských vrstev menší. Naprostá většina turmalínu leží svým chemickým složením mezi oxy-skorylem a Fe-bohatým dravitem (obr. 5a, b). V pozici X převažuje buď Na (0,445–0,873 *apfu*), nebo vakance (0,036–0,555 *pfu*). V pozici Y převládá u většiny turmalínů Mg (0,122–2,237 *apfu*). Obsahy Fe kolísají v rozmezí 0,581–1,973 *apfu*, přičemž turmalíny s vysokým obsahem Fe se svým složením blíží oxy-skorylu a vzácně také foititu (vzorek V6). Obsahy Al v pozici Y dosahují max. 1,148 *apfu* a obsahy Ti jsou nízké (0,011–0,176 *apfu*). Obsahy F dosahují maximálně 0,640 *apfu*. V klasifikačním diagramu HENRY a GUIDOTTI (1985) se většina analýz koncentruje v poli Li-chudých granitů, pegmatitů a aplitů. Poměrně značné množství analýz turmalínů z koroseckých vrstev pak leží v polích Al-bohatých a Al-chudých metapelitů a metapsamitů. Některé analýzy (vzorek V3 a V5), vykazují vyšší obsahy Ca (až 0,464 *apfu*) a spadají svým chemickým složením do pole turmalínů z vápenato-silikátových hornin.

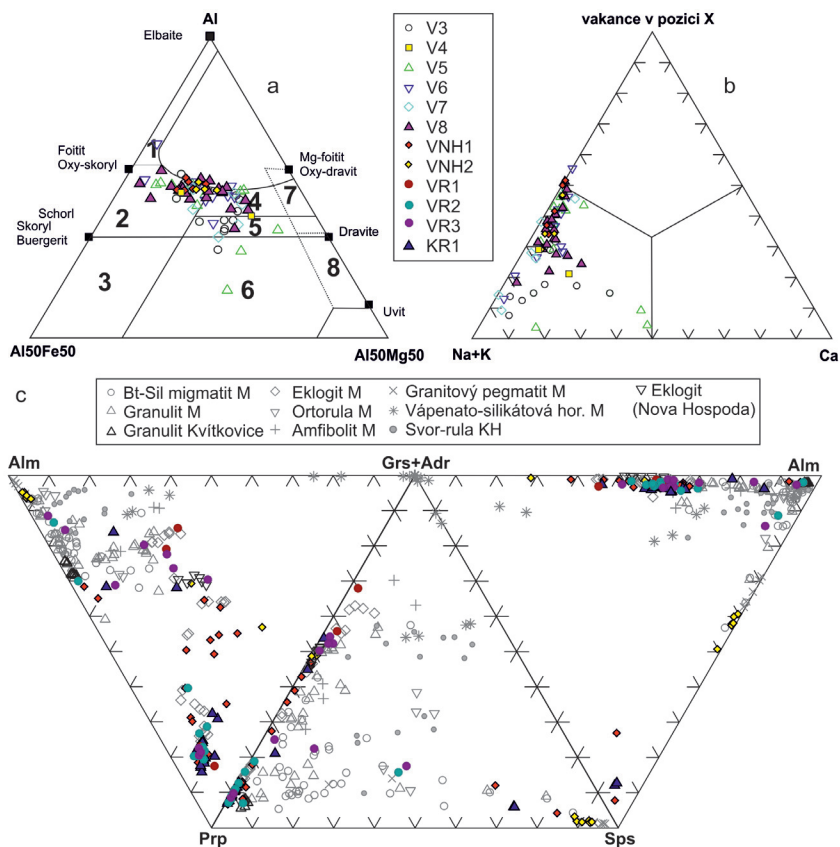
Celkem bylo analyzováno 23 zrn granátů z vrábečských vrstev, a to ze dvou vzorků VNH1 a VNH2. Z koroseckých vrstev byly analyzovány 4 vzorky, které byly získané z poloh bohatých granátem odebrané mimo studované profily. Důvodem je, že v námi odebraných vzorcích granát chyběl. Ve vzorku z Kroclova (KR1) bylo analyzováno 23 zrn granátu. Také bylo analyzováno 27 zrn ze tří vzorků odebraných ve Vrubicé pískovně a označených jako VR1 – VR3. Chemické složení granátů z vrábečských vrstev je variabilní (tab. 3), přičemž dominují granáty s převahou almandinové a pyropové komponenty (obr. 5c). Granáty s vyšším zastoupením spessartinové komponenty jsou méně časté. Nejhojnější skupinou 35 % jsou pyrop-almandin-grosulárové granáty ( $\text{Prp}_{30-49} \text{Alm}_{16-39} \text{Grs}_{15-39} \text{Adr}_{4-9} \text{Sps}_{0-1}$ ), které se svým chemickým složením podobají granátům z některých eklogitů a amfibolitů moldanubika. Mírně se však liší od granátů z eklogitů, které se nachází v jejich nejbližším okolí (lokalita Nová Hospoda). Druhou skupinou (26 %) jsou almandin-spessartinové granáty ( $\text{Alm}_{48-57} \text{Sps}_{38-48} \text{Prp}_{3-4} \text{Adr}_1$ ), tyto granáty pochází z granitických pegmatitů nebo migmatitů. Další skupinu (22 %) reprezentují pyropové granáty ( $\text{Prp}_{59-74} \text{Alm}_{11-26} \text{Adr}_{1-8} \text{Uv}_{1-8} \text{Grs}_{0-6} \text{Sps}_1$ ), které pochází z eklogitů, nebo z ultrabazických hornin (serpentinů). Zhruba 9 % studovaných granátů reprezentují almandin-pyropové (Alm<sub>60-65</sub> Prp<sub>31-34</sub> Adr<sub>0-5</sub> Grs<sub>0-2</sub> Sps<sub>1</sub>) a zbývajících 8 % reprezentují zrna s převahou spessartinové komponenty (Sps<sub>57-81</sub> Prp<sub>13-22</sub> Alm<sub>3-10</sub> Adr<sub>4-6</sub>). V obou případech se jedná o granáty neznámého původu. Chemické složení granátů z koroseckých vrstev z lokality Kroclov se z velké



části (79 %) shoduje s chemickým složením granátů (Prp<sub>72-77</sub> Alm<sub>9-15</sub> Grs<sub>4-10</sub> Uv<sub>1-9</sub> Adr<sub>0-4</sub> Sps<sub>1</sub>) z eklogitů (ultrabazických hornin) a podstatně méně jsou zastoupeny (13 %) granáty z migmatitů (Alm<sub>42-66</sub> Prp<sub>15-31</sub> Grs<sub>9-25</sub> Sps<sub>0-2</sub>). I v těchto sedimentech se nacházejí ojedinělá zrna s převahou spessartinové komponenty (Sps<sub>68-69</sub>) u nichž se nepodařilo zjistit původ. Podobné složení mají i granáty ze tří vzorků z lokality Vrubice. Také zde jsou hojně zastoupeny granáty s převahou pyropové komponenty (Prp<sub>58-79</sub> Alm<sub>9-24</sub> Grs<sub>4-9</sub> Uv<sub>2-6</sub> Adr<sub>0-4</sub> Sps<sub>1</sub>) z eklogitů (59 %). Almandinem a pyropem bohaté granáty jsou zastoupeny v obsahu kolem 30 % (Alm<sub>35-66</sub> Prp<sub>15-34</sub> Grs<sub>1-33</sub> Adr<sub>0-3</sub> Sps<sub>1-2</sub>) a almandinové granáty pak tvoří 11 % (Alm<sub>68-82</sub> Prp<sub>11-14</sub> Grs<sub>2-4</sub> Adr<sub>0-2</sub> Sps<sub>3-13</sub>).

Tabulka 2. Chemické složení turmalínu z koroseckých a vráběčských vrstev.  
Table 2. Chemical composition of tourmaline from Koroseky and Vrábče beds.

Vzorek	V3	V3	V5	V5	V6	V6	V8	V8	VNH1	VNH2
Pozice	korosecké vrstvy								vráběčské vrstvy	
SiO <sub>2</sub>	36,36	37,49	37,02	38,22	37,56	36,87	35,65	36,72	37,01	36,87
TiO <sub>2</sub>	0,80	0,69	0,23	0,68	0,78	0,32	1,28	0,84	0,12	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,83	34,00	34,06	34,09	33,40	35,80	34,13	34,18	35,35	34,67
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,05	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	10,40	6,16	12,00	5,16	6,30	9,93	8,45	7,20	9,77	8,72
MgO	6,59	6,11	1,85	6,27	5,98	0,48	4,53	5,27	3,01	4,34
CaO	0,35	0,41	0,07	0,53	0,26	0,08	0,73	0,40	0,00	0,26
MnO	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,24	0,06	0,00	0,15	0,11
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	2,65	1,94	1,63	1,51	2,17	2,37	1,84	1,91	1,52	2,07
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
F	0,20	0,21	0,45	0,17	0,17	1,20	0,24	0,20	0,24	0,22
H <sub>2</sub> O*	3,32	2,95	2,73	2,78	2,82	1,40	2,95	3,00	3,06	3,03
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10,36	10,70	10,46	10,73	10,63	10,26	10,51	10,60	10,61	10,67
O=F	0,09	0,09	0,19	0,07	0,07	0,50	0,10	0,09	0,10	0,09
Celkem	99,86	100,71	100,60	100,32	100,22	98,67	100,29	100,24	100,79	101,61
T: Si	6,096	6,087	6,152	6,190	6,140	6,247	5,896	6,019	6,065	6,005
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,000	0,000	0,000
Z: Al	5,698	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Mg	0,302	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y: Al	0,000	0,507	0,671	0,507	0,434	1,148	0,549	0,603	0,827	0,654
Ti	0,100	0,085	0,029	0,082	0,096	0,040	0,159	0,104	0,015	0,084
Cr	0,000	0,007	0,000	0,008	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,345	1,478	0,458	1,515	1,458	0,122	1,116	1,287	0,735	1,054
Mn	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,035	0,008	0,000	0,021	0,015
Fe <sup>2+</sup>	1,458	0,837	1,668	0,699	0,862	1,408	1,168	0,986	1,338	1,188
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X: Ca	0,063	0,072	0,013	0,092	0,046	0,015	0,129	0,069	0,000	0,046
Na	0,860	0,612	0,525	0,473	0,689	0,779	0,591	0,607	0,484	0,653
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,010
Vak.	0,076	0,316	0,462	0,434	0,266	0,206	0,270	0,324	0,516	0,291
O	0,176	0,699	0,737	0,906	0,837	1,778	0,621	0,615	0,535	0,592
OH	3,716	3,195	3,027	3,006	3,074	1,582	3,253	3,279	3,343	3,294
F	0,108	0,106	0,236	0,089	0,089	0,640	0,126	0,106	0,122	0,114



Obr. 5. Chemické složení turmalínu a granátu ze studovaných vltavinonosných sedimentů: (a) Klasifikační ternární diagramy zobrazující chemické složení turmalínů (upraveno podle HENRY a GUIDOTTI, 1985): (1) Li - bohaté granitoidy, pegmatity, aplity, (2) Li-chudé granitoidy, pegmatity, aplity, (3) Fe - bohaté křemen-turmalínové horniny, (4) Al-bohaté metapelity a metapsamity, (5) Al - chudé metapelity a metapsamity, (6) vápenato-silikátové horniny. (b) Ternární diagram Grs+Adr-Prp-Alm, Prp-Grs+Adr-Sps, Alm-Sps-Grs+Adr zobrazující chemické složení granátů. Šedé značky indikují složení předpokládaných zdrojových hornin (PETRAKAKIS 1986, BLUMEL *et al.* 1977, DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ *et al.* 2014, PERTOLDOVÁ *et al.* 2011, PERTOLDOVÁ *et al.* 2013, SORGER *et al.* 2018, COOKE *et al.* 2000, JANOUŠEK *et al.* 2018, MEDARIS *et al.* 2006, MESSIGA a BETTINI 1990, ŽÁČEK *et al.* 2022, ŠTĚDRÁ *et al.* 2012, BABUREK 1995), černé značky nově odebrané vzorky hornin.

Fig. 5. Chemical composition of tourmaline and garnet from the studied moldavite-bearing sediments: (a) Classification ternary diagrams showing the chemical composition of tourmalines (modified from HENRY and GUIDOTTI, 1985): (1) Li-rich granitoids, pegmatites, aplites, (2) Li-poor granitoids, pegmatites, aplites, (3) Fe-rich quartz-tourmaline rocks, (4) Al-rich metapelites and metapsamites, (5) Al-poor metapelites and metapsamites, (6) calcisilicate rocks. (b) Grs+Adr-Prp-Alm, Prp-Grs+Adr-Sps, Alm-Sps-Grs+Adr ternary diagrams showing the chemical composition of garnets. Gray marks indicate the composition of the assumed source rocks (PETRAKAKIS 1986, BLUMEL *et al.* 1977, DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ *et al.* 2014, PERTOLDOVÁ *et al.* 2011, PERTOLDOVÁ *et al.* 2013, SORGER *et al.* 2018, COOKE *et al.* 2000, JANOUŠEK *et al.* 2018, MEDARIS *et al.* 2006, MESSIGA and BETTINI 1990, ŽÁČEK *et al.* 2022, ŠTĚDRÁ *et al.* 2012, BABUREK 1995), black marks are new rock samples.

Tabulka 3. Chemické složení granátu z koroseckých a vrábečských vrstev.  
Table 3. Chemical composition of garnet from Koroseky and Vrábče beds.

Vzorek	KR1	KR1	KR1	KR1	VR1	VR1	VNH1	VNH1	VNH1	VNH2
Pozice	korosecké vrstvy						vrábečské vrstvy			
SiO <sub>2</sub>	38,38	39,29	38,19	42,02	38,85	42,32	38,22	36,79	40,41	36,26
TiO <sub>2</sub>	1,39	0,18	0,04	0,30	0,07	0,27	0,09	0,12	0,08	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,39	22,04	20,93	22,05	21,31	21,92	21,45	20,74	22,29	20,32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,03	0,09	1,60	0,01	1,82	0,03	0,01	0,03	0,00
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,01	0,01	0,00	0,01	0,05	0,03	0,10	0,01	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,15	0,00	0,91	0,00	0,53	1,69	1,76	1,38	0,41
FeO	27,03	20,18	30,41	7,28	23,69	7,09	27,43	1,29	15,14	24,16
MnO	1,00	0,43	0,17	0,33	0,76	0,32	0,48	35,00	0,35	17,51
MgO	7,68	8,11	3,83	20,42	5,23	20,63	8,81	3,10	13,32	0,66
CaO	3,07	9,42	6,39	5,08	9,85	5,19	1,69	1,43	7,15	0,33
Celkem	100,04	99,84	100,04	99,98	99,77	100,14	99,96	100,33	100,16	99,82
Si	2,983	2,994	3,000	2,990	3,000	3,000	2,963	2,955	2,986	2,990
Al	0,017	0,006	0,000	0,010	0,000	0,000	0,037	0,045	0,014	0,010
T - pozice	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Si	0,000	0,000	0,022	0,000	0,022	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	1,943	1,975	1,952	1,839	1,954	1,833	1,923	1,918	1,927	1,965
Cr	0,002	0,002	0,006	0,090	0,001	0,102	0,002	0,001	0,002	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,008	0,000	0,049	0,000	0,028	0,099	0,107	0,077	0,025
Fe <sup>2+</sup>	0,000	0,005	0,000	0,006	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,081	0,010	0,002	0,016	0,004	0,014	0,005	0,007	0,004	0,009
Mg	0,000	0,000	0,017	0,000	0,019	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,007	0,001	0,001
A - pozice	2,027	2,000	1,977	2,000	1,977	1,994	2,029	2,032	2,009	1,999
Fe <sup>2+</sup>	1,758	1,282	2,013	0,427	1,541	0,406	1,778	0,087	0,935	1,666
Mn <sup>2+</sup>	0,066	0,028	0,011	0,020	0,050	0,019	0,032	2,381	0,022	1,223
Mg	0,890	0,922	0,434	2,166	0,587	2,179	1,018	0,371	1,467	0,081
Ca	0,255	0,769	0,542	0,388	0,821	0,395	0,140	0,123	0,566	0,029
B - pozice	2,969	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,969	2,962	2,990	3,000
Almandin	59	42	66	14	50	12	60	3	31	55
Andradit	0	0	0	2	0	1	5	4	4	1
Grosulár	9	25	18	6	28	7	0	0	15	0
Pyrop	30	31	15	73	21	74	34	13	49	3
Spessartin	2	1	0	1	2	1	1	81	1	41
Uvarovit	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0

Celkem bylo analyzováno 40 zrn spinelů z toho 32 analýz z koroseckých vrstev a 8 analýz z vrábečských vrstev. Počet analýz v rámci jednotlivých vzorků byl variabilní (1–8 analýz na vzorek). Chemické složení spinelidů (tab. 4) z obou typů sedimentů se příliš neliší, proto je popisujeme současně. Chemické složení spinelů je ve většině případů izomorfní směs chromitové (Cr 0,00–1,54 *apfu*), spinelové (Mg 0,10–0,89 *apfu*) a hercynitové (Fe<sup>2+</sup> 0,08–0,78 *apfu*) složky (obr. 6a, b). V diagramu Cr/(Cr + Al) vs. Mg/(Mg + Fe) je patrné, že většina spinelidů má zvýšený obsah Cr (Cr/(Cr + Al) až 0,83; obr. 6a). Takové spinelidy pochází z ultrabazických hornin (serpentinitů a peridotitů moldanubika). Někteří zrna ze vzorků V5 a V6 mají složení, které se blíží složení chromitů ze serpentinitů z lokality poblíž Ktiše (VERNER *et al.* 2013). Většina spinelů (87 %) obsahuje 20 až 76 mol. % chromitové a magnezio-chromitové komponenty a pochází tedy patrně z ultrabazických nebo z bazických hornin (BARNES a ROEDER 2001). Někteří spinelidy ze vzorků V6 a V8 vykazují vysoké obsahy gahnitové komponenty (až 0,61 *apfu* Zn). Svým chemickým složením spadají

v ternárním diagramu podle HEIMANNOVÉ *et al.* (2005) do pole pegmatitů a patrně odpovídají gahnitu (obr. 6b) zjištěnému v některých ortorulách moldanubika. Poslední skupinou jsou takřka čisté spinely (Mg 0,965–0,89), které spadají do klasifikačního pole mramorů a navíc odpovídají svým chemickým složením některým mramorům v moldanubiku (HOUZAR *et al.* 2017; obr. 6b). Bohužel nejsou k dispozici relevantní data z blízkého okolí lokality.

Staurolit se vyskytuje ve vzorcích vzácně. Jeho chemické složení (obr. 7a, b) se ve všech vzorcích sedimentů blíží složení staurolitu ze svorů ve svrateckém krystalniku, a to zejména díky nízkým obsahům Zn (0,03–0,37 *apfu*). Poměry Mg/(Mg+Fe+Mn+Cr+Zn) (0,09–0,19) a Al (17,38–18,794 *apfu*) jsou variabilní, avšak nedosahují hodnoty zjištěné pro inkluzi staurolitu v bavariku (SORGER *et al.* 2018) nebo v kaplické jednotce (PETRI *et al.* 2014).

Tabulka 4. Chemické složení spinelu z koroseckých a vrábečských vrstev (ostatní = trevorit, franklinit, jacobsit, Mg-ferrite, coulsonite).

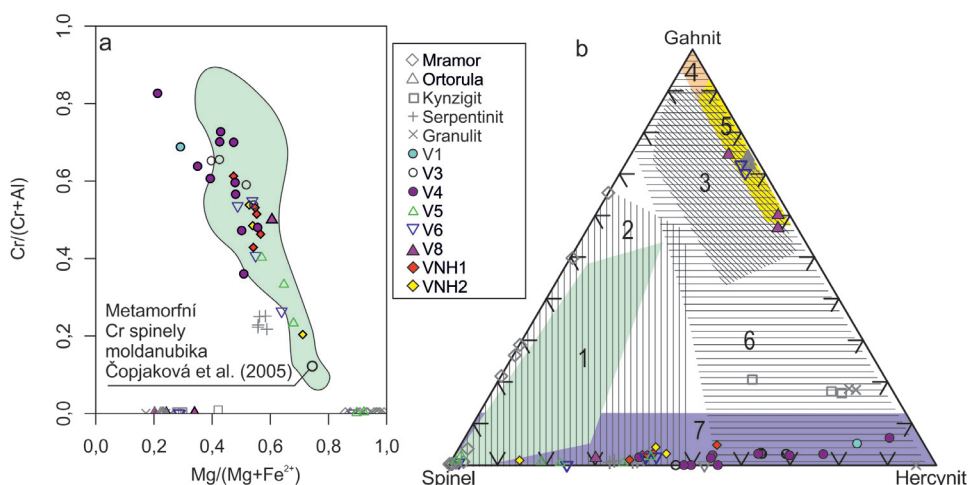
Table 4. Chemical composition of spinel from Koroseky and Vrábče beds (other = trevorite, franklinite, jacobsite, Mg-ferrite, coulsonite).

Vzorek	V1	V3	V4	V4	V6	V8	VNH 1	VNH 1	VNH 2	VNH 2
Pozice	korosecké vrstvy						vrábečské vrstvy			
SiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08	0,05	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,71	0,56	0,16	0,48	0,00	0,06	0,12	0,13	0,22	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,71	23,60	29,68	14,69	57,73	28,45	31,92	25,46	25,19	50,21
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,42	45,88	39,61	51,13	0,00	42,42	35,70	40,28	43,78	19,17
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,30	0,15	0,00	0,00	0,14	0,17	0,23	0,26	0,11
NiO	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
FeO	29,00	19,27	18,83	23,73	11,76	15,06	19,04	20,67	18,82	12,49
MnO	0,43	0,23	0,20	0,31	0,18	0,17	0,25	0,24	0,24	0,13
MgO	5,80	10,00	10,62	9,88	2,61	12,97	12,07	12,02	11,49	17,28
ZnO	0,45	0,16	0,00	0,00	27,87	0,19	0,38	0,28	0,29	0,26
Celkem	99,81	100,01	99,24	100,22	100,14	99,48	99,74	99,40	100,34	100,01
Fe <sup>2+</sup>	0,702	0,503	0,481	0,528	0,280	0,380	0,454	0,443	0,469	0,282
Mn	0,012	0,006	0,005	0,008	0,004	0,004	0,006	0,006	0,006	0,003
Mg	0,288	0,466	0,484	0,476	0,114	0,583	0,537	0,549	0,524	0,695
Zn	0,011	0,004	0,000	0,000	0,602	0,004	0,008	0,006	0,006	0,005
Ni	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
A - pozice	1,036	0,991	0,973	1,023	1,000	0,973	1,008	1,008	1,011	0,991
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,001	0,001
Ti	0,018	0,013	0,004	0,012	0,000	0,001	0,003	0,003	0,005	0,002
Al	0,578	0,868	1,068	0,559	1,992	1,011	1,122	0,920	0,909	1,596
Cr	1,276	1,133	0,956	1,305	0,000	1,012	0,842	0,977	1,060	0,409
V	0,004	0,008	0,004	0,000	0,000	0,003	0,004	0,006	0,006	0,002
Fe <sup>3+</sup>	0,106	0,000	0,000	0,113	0,008	0,000	0,021	0,087	0,012	0,000
B - pozice	1,964	2,009	2,027	1,977	2,000	2,027	1,992	1,992	1,989	2,009
Mg/Mg+Fe <sup>2+</sup>	0,291	0,481	0,501	0,474	0,289	0,606	0,542	0,553	0,528	0,711
Cr/Cr+Al	0,688	0,566	0,472	0,700	0,000	0,500	0,429	0,515	0,538	0,204
ulvöspinel	3	3	1	2	0	0	1	1	1	0
gahnit	2	1	0	0	72	1	2	1	1	1
galaxit	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
chromit	61	54	46	64	0	49	41	48	52	20
magnetit	4	0	0	3	0	0	0	2	0	0
spinel	4	19	26	12	4	34	32	27	25	67
hercynit	23	22	26	15	24	15	23	18	20	11
ostatní*	2	1	0	3	0	0	1	3	1	1



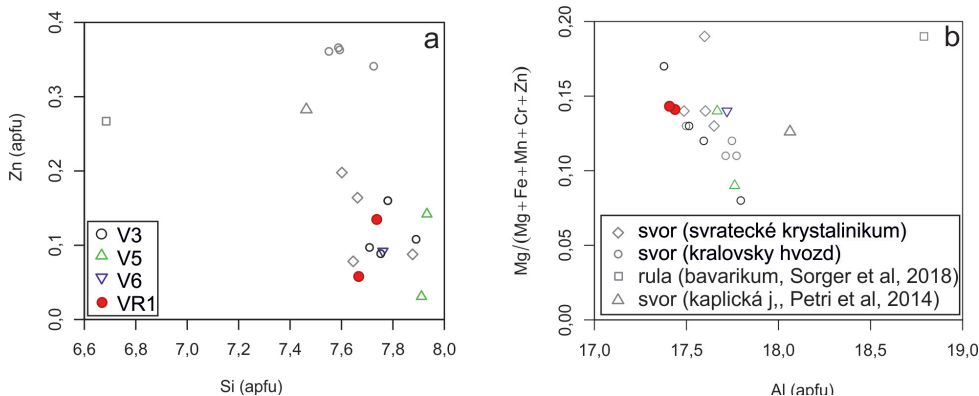
Ilmenity z vráběčských vrstev mají stabilní chemické složení, které je poměrně blízké čistému koncovému členu s příměsí MnO v obsazích 1,8 až 4,4 hm. % a nízkým obsahem MgO (pod 0,13 hm. %). Takové chemické složení je velmi podobné složení ilmenitů z amfibolitů v moldanubiku (RENÉ 2008). Ilmenity z koroseckých vrstev mají podobné složení (MgO pod 0,64 hm. %), ale rozptýl v obsazích MnO je větší (0,2 až 6,2 hm. %). Ilmenity někdy tvoří lem kolem rutilů, které mohou mít až 0,68 hm. % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ve vzorcích (V2 a V6) se vyskytla tři zrna niobotantalátů s výraznou chemickou zonalitou danou variabilitou v obsazích niobu a tantalu. Tyto niobotantaláty jsou klasifikovány jako Fe-kolumbity nebo Fe-tapiolity ( $Mn/(Mn+Fe) = 0,02$  až  $0,22$  a  $Ta/(Ta+Nb) = 0,10$  až  $0,83$ ) a svým chemickým složením odpovídají niobotantalátům z vysoce frakcionovaných pegmatitů (Lhenice a Nová Ves) nebo granitů například z oblasti Šejb a Homolky (NOVÁK *et al.* 2018).

Monazity z vráběčských vrstev mají variabilní zastoupení ThO<sub>2</sub> od 3,7 do 15,7 wt. % zatímco v koroseckých vrstvách dosahuje obsah ThO<sub>2</sub> v monazitu maximálně 9,8 wt. %.



Obr. 6. Chemické složení spinelů ze studovaných vltavinonosných sedimentů: (a) Binární Cr/(Cr + Al) vs. Mg/(Mg + Fe) diagram pro Cr-spinely s polem spinelů ze serpentinitů (ČOPIJKOVÁ *et al.* 2005). (b) Ternární diagram spinel-gahnit-hercynit (mol.%) pole znázorňující složení spinelu z možných zdrojových hornin (upraveno podle HEIMANNOVÉ *et al.* 2005): (1) Mramor, (2) Metamorfovaná ložiska masivních sulfidů a S-chudé v Mg –Ca Al alterovaných zónách, (3) Metamorfovaná ložiska masivních sulfidů v Fe-Al metasedimentárních a metavulkanických horninách, (4) Metabauxit, (5) Pegmatity, (6) Nealterované a hydrotermálně alterované metasedimentární a metavulkanické horniny, bohaté Fe-Al, (7) Al-bohaté granulity. V diagramu jsou dále vynesena data z možných zdrojových hornin: mramor (HOUZAR *et al.* 2017), ortorula (LOSERTO VÁ *et al.* 2013), kynzigit, serpentinit, granulit (VERNER *et al.* 2013).

Fig. 6. Chemical composition of spinels from the studied moldavite-bearing sediments: (a) Binary Cr/(Cr + Al) vs. Mg/(Mg + Fe) diagram for Cr-spinels with a field of spinels from serpentinites (ČOPIJKOVÁ *et al.* 2005). (b) Ternary spinel-gahnite-hercynite (mol.%) field showing the compositional fields source rocks (modified from HEIMANN *et al.* 2005) for spinel in: (1) Marbles. (2) Metamorphosed massive sulfide deposits and S-poor rocks in Mg-Ca-Al alteration zones. (3) Metamorphosed massive sulfide deposits in altered Fe-Al metasedimentary and metavolcanic rocks. (4) Metabauxites. (5) Granitic pegmatites. (6) Unaltered and hydrothermally altered Fe-Al-rich metasedimentary and metavolcanic rocks. (7) Aluminous granulites. The diagram also shows data from possible source rocks: marble (HOUZAR *et al.* 2017), orthogneiss (LOSERTO VÁ *et al.* 2013), kynzigite, serpentinite, granulite (VERNER *et al.* 2013).



Obr. 7. Chemické složení staurolitu (a) diagram Si vs. Zn a (b) diagram Al vs. Mg/(Mg+Fe+Mn+Cr+Zn).  
 Fig. 7. Chemical composition of staurolite (a) diagram of Si vs. Zn and (b) diagram of Al vs. Mg/(Mg+Fe+Mn+Cr+Zn).

## DISKUSE

### Petrografická charakteristika vybraných hornin v okolí studované oblasti a jejich předpokládaný podíl na dotaci studovaných sedimentů

Podloží studované oblasti je budováno (a) horninami jednotvárné skupiny moldanubika, která je reprezentována zejména migmatitizovanými pararulami až leukokratními migmatity a s ojedinělými polohami erlanů a amfibolitů; (b) granulity a granulitovými rulami; (c) durbachity a (d) žilnými horninami (pegmatity, žilnými horninami granitového a dioritového složení).

Leukokratní granulity jsou často postiženy různým stupněm retrográdních přeměn (zejména vznik biotitu a sillimanitu na úkor granátu a kyanitu). Vzácně se zde vyskytují drobná tělesa tmavých pyroxenických granulitů o mocnosti maximálně několika desítek metrů. Místy, zejména podél hranice granulitových těles, se nachází drobná tělesa amfibolitů a ultrabazických hornin (serpentinů a serpentinizovaných peridotitů). V granoblastické základě hmotě leukokratních granulitů (VERNER *et al.* 2013) jsou xenomorfně omezená zrna křemene zastoupena 15–30 mod. %. Perthitický draselný živec je xenomorfně omezený, nebo tvoří větší oválné porfyroblasty. Hypautomorfní plagioklas bývá polysyntetický zdvojitěný. Granát složením odpovídá almandinu s významným obsahem pyropové složky ( $\text{Alm}_{49-72}\text{Prp}_{21-28}\text{Grs}_{1-25}\text{Sps}_{2-3}$ ) tvoří drobná oválná, vzácně atolová zrna, nebo oválné porfyroblasty (až 2 mm). Někdy se spolu s granátem vyskytuje destičkovitý kyanit. Z akcesorických minerálů je běžně přítomen rutil, apatit a zirkon. Biotit v hornině chybí, nebo je zastoupen do 5 mol. %. Nově byl odebrán vzorek na katastru obce Kvitkovice (odběrové místo GPS: 48,9576392N, 14,3091506E). V BSE obraze bylo pozorováno zrno granátu s inkluzí rutilu, lemováno sekundárním biotitem. Analýzy potvrdily minimální zonalitu granátu a jeho chemické složení je podobné ostatním granátům ze zdejších granulitů ( $\text{Alm}_{68-73}\text{Prp}_{24-28}$ ). Dále je hornina tvořena křemenem, plagioklasem, biotitem, K-živcem a sloupcovitým kyanitem. Akcesoricky byl přítomen monazit a zirkon. Pouze několik granátů z vrábečských vrstev svým chemickým složením odpovídá granátům z granulitů (VR2, VR3; obr. 5c) nicméně přinejmenším část kyanitu patrně z granulitů pochází.

Serpentinity jsou šedozelené až šedé, celistvé horniny, v nichž dominují minerály serpentínové skupiny. Často jsou patrné až 2 mm velké relikty klinopyroxenu (VERNER *et al.* 2013). Poměrně běžným akcesorickým minerálem je chromový spinel ( $\text{Cr}/(\text{Al}+\text{Cr}) = 0,22-0,25$ ). Většina Cr-bohatých spinelidů patrně pochází z ultrabazických hornin molda-

nubika, ale nemají stejné chemické složení jako Cr-spinely ze studovaného vzorku serpentinitu (viz. obr. 6a).

Tělesa středně zrnitého amfibolitu a granátického amfibolitu se skládají z hypautomorfního amfibolu (pargasit) a plagioklasu (anortit). Oválná zrna granátu jsou zatlačována symplektem, složeným z pargasitu, enstatitu a plagioklasu. Amfibol často uzavírá relikty ortopyroxenu a klinopyroxenu. Diopsid také tvoří inkluze v granátu. Relikty granátů jsou poměrně bohaté grossularovou komponentou ( $\text{Alm}_{46-56}\text{Prp}_{17-28}\text{Grs}_{20-22}\text{Adr}_{2-5}\text{Sps}_{1-4}$ ). Mezi akcesorickými minerály převládají drobná oválná zrna apatitu a ilmenitu (2–3 mol. % pyrofanitové komponenty). Místy se v amfibolitech objevují až několik dm mocné polohy erlanů, složené z klinopyroxenu, plagioklasu a grosulárového granátu. Hypautomorfní zrna pyroxenu bývají někdy zatlačována amfibolem. Typickým akcesorickým minerálem je titanit (VERNER *et al.* 2013). Úlomky eklogitu nalezené v katastru obce Vrábče (odběrové místo GPS: 48,9263119N, 14,3682517E). Obsahují granát s kelyfitickými lemy. Akcesoricky byl přítomný ilmenit a baryt. Chemické složení odpovídalo almandinu ( $\text{Alm}_{35-42}$ ) s vysokým obsahem pyropové ( $\text{Prp}_{24-28}$ ) a grosulárové ( $\text{Grs}_{24-29}$ ) komponenty. Z ekogitů pravděpodobně pocházejí pyropové granáty ( $\text{Prp}_{59-79}$ ), které jsou ve vrábečských vrstvách zastoupeny v obsazích kolem 22 % a v koroseckých vrstvách až v obsazích 79 %. Nicméně část těchto granátů může pocházet i ze serpentinitů. Z ekogitů nebo amfibolitů také mohou pocházet pyrop-almandin-grosulárové granáty ( $\text{Prp}_{30-49}\text{Alm}_{16-39}\text{Grs}_{15-39}$ ), které jsou v sedimentech vrábečských vrstev zastoupeny až 35 %.

Biotit-cordieritický migmatit až sillimanit-granátická migmatitizovaná pararula jsou dominantními typy této části jednotvárné skupiny moldanubika. Leukosom se skládá hlavně z xenomorfního perthitického draselného živce, křemene a hypautomorfního plagioklasu. Biotit je zastoupený v malém množství, avšak dominuje v až 2 cm mocných polohách melanosomu. Poměrně časté jsou minerály jako granát, sillimanit a cordierit. Sillimanit tvoří jehlicovité agregáty, nejčastěji bývá obklopen mladším cordieritem nebo je uzavírán v biotitu. Oválná zrna cordieritu jsou přítomna v melanosomu i v leukosomu. Často nesou známky sekundárních přeměn (pinitizace). Porfyroblasty granátu ( $\text{Alm}_{58-81}\text{Prp}_{12-35}\text{Adr}_{0-5}\text{Grs}_{0-5}\text{Sps}_{1-5}$ ) bývají obklopeny biotitem a obsahují hojné oválné inkluze křemene. Jako běžné akcesorické minerály jsou přítomny zirkon, monazit, apatit a ilmenit (VERNER *et al.* 2013). Kinzigit z lomu ssv. od Ktiše obsahuje automorfní granát s vyšším obsahem almandinové komponenty ( $\text{Alm}_{69-79}\text{Prp}_{19-30}\text{Sps}_{<1}\text{Grs}_{1-9}$ ; KOBAYASHI *et al.* 2011). Kvarcit, muskovitický kvarcit tvoří četná, nejčastěji několik desítek metrů mocná protažená tělesa v migmatitech. Někdy může i kvarcit obsahovat granát. V migmatitech se pak často také vyskytují žily pegmatitů, které obsahují spessartinový granát. Ze všech těchto hornin mohou pocházet almandin-spessartinové granáty ( $\text{Alm}_{48-57}\text{Sps}_{38-48}$ ) zastoupené ve vrábečských vrstvách zhruba 26 % a v koroseckých vrstvách 13 %.

Horniny s minerální asociací obsahující kasiterit a niobotantaláty se vyskytují především na druhé straně Třeboňské a Českokobudějovické pánve v okolí Šejb a Homolky (Novohradské hory; např. NOVÁK *et al.* 2018, BREITER a SCHARBERT 1995). Není však také vyloučeno, že se jedná o přínos z lokálních zdrojů, například pegmatitových žil (Lhenice a Nová Ves).

V minerální asociaci těžkých minerálů studovaných sedimentů se nepodařilo potvrdit přítomnost minerálů (granát, staurolit) ze svorů Královského hvozdu a kaplické jednotky (VERNER *et al.* 2021, PETRI *et al.* 2014). Chemické složení staurolitu se spíše blíží staurolitům z Českomoravské vysočiny (např. ze svorů ve svrateckém krystalíniku), avšak může také pocházet z některých bližších výskytů staurolitů, jejichž mineralogie nebyla prozatím detailně studována (například z muskovit-biotitických rul ± sillimanit, granát, kyanit, staurolit asociovaných v oblasti kolem Chýnova (VRÁNA 2014)). Je tedy možné, že jde o redeponovaný materiál ze starších sedimentů. Ostrohranný tvar klastů může být důsledkem koroze a rozpadu klastů ve starších sedimentech, z nichž byly redeponovány.

Chemické složení turmalínů indikuje dominanci granitických hornin a metasedimentů ve zdrojových horninách, ale neumožňuje přesně lokalizovat jejich původ. Některé tur-

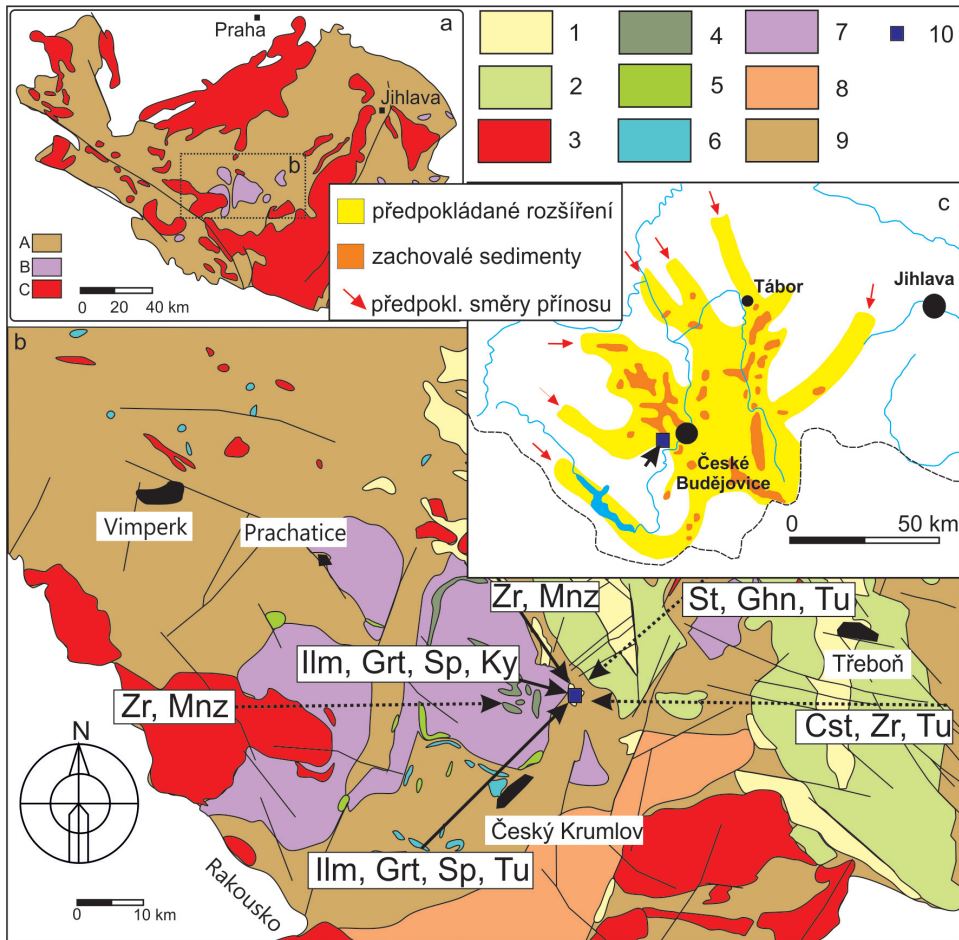
maliny však naznačují přisun materiálu z karbonátových hornin, což potvrdilo chemické složení některých spinelů, které patrně pochází z mramorů (HOUZAR *et al.* 2017). Některé spinely mají vysoký obsah gahnitové komponenty a svým chemickým složením blíží gahnitu v některých ortorulách moldanubika (LOSERTOVÁ *et al.* 2013).

### **Sedimentologická interpretace studovaných sedimentárních profilů**

Ve vrábečských vrstvách je výrazně zastoupen zirkon, monazit (xenotim), turmalín a granát. Tyto minerály naznačují, že hlavním zdrojem materiálu pro vznik těchto sedimentů byly zvětralinny vyvěřelých a metamorfovaných hornin z blízkého okolí (obr. 8c). Chemické složení klastického granátu a spinelu nasvědčuje přínos ze zvětralin migmatitů, eklogitů (amfibolitů), ultrabazických hornin a pegmatitů. Nelze vyloučit ani zvětralinny granulitů jako minoritní zdroj (granát + rutil + kyanit). Imenit indikuje významný podíl amfibolitů ve zdrojové oblasti. Všechny tyto horniny se nachází v bezprostředním okolí lokality, což potvrzuje lokální zdroj klastického materiálu. Nepřítomnost amfibolu a pyroxenu zase naznačuje, že jde o materiál, který byl před erozí postižen intenzivním chemickým zvětráváním (amfiboly a pyroxen se patrně změnil na jílové minerály a chlorit). Důležitá je přítomnost ostrohranných horninových fragmentů (psamitických a psefitických), která naznačuje krátký transport. Také těžké minerály jsou většinou bez známek opracování (ostrohranné, maximálně poloostrohranné). Patrně se tedy jedná a redeponované zvětralinny, které byly snášeny do prohlubní v terénu a jezerních pánví. Sedimentologický záznam studované lokality indikuje sedimentační prostředí typické pro distální část aluviálního kužele (pravděpodobně z blízké Prachatické hornatiny). Sedimentární profily vrábečských vrstev z lokality Vrábče – Nové Hospody reprezentují hlavně jílovité až šterkovito-jílovité písky (obr. 1e). Velmi často se zde vyskytují drobně až hrubě zvrstvené šterky s podpůrnou písčitou nebo jílovito-písčitou základní hmotou (obr. 2, profil 4 a 5), které náleží k litofaci Gmm a bývají interpretovány jako produkty úlomkotoků z distálních částí aluviálních kuželů (NEMEC a POSTMA 1993, MOSCARIELLO 2017). Litoface Gmm často vzniká, když se transport sedimentu zastaví v důsledku ztráty vody z úlomkotoků, které pasivně využívají topografii koryt v aluviálním kuželu (MIALL 1977, 1985, 2006). Podle klasifikace BLAIRA a MCPHERSONA (1994) zjištěná sedimentární sekvence reprezentuje druhé, nebo třetí vývojové stádium aluviálního kužele. Vrábečské vrstvy představují produkt sedimentace aluviálních kuželů, patrně při jejich vyústění do jezera (obr. 8c). Jezerní sedimenty v blízkosti vrábečských vrstev byly většinou interpretovány jako součást domanínského souvrství. V době sedimentace domanínského souvrství bylo území jihočeských pánví z velké části pod hladinou relativně mělkého jezera, které svojí hloubkou dosahovalo maximálně několik desítek metrů (ŽEBERA 1977). Domanínské souvrství je tvořeno hlavně písky, písčitými jíly, jíly s diatomitovou příměsí až diatomitovými jíly což jsou dominantně jezerní sedimenty. Lokálně se zde vyskytují lignitové slaje, lignitové jíly (ŽEBERA 1976). Přičemž jílová frakce obsahuje jako hlavní složku montmorillonit, chlorit a kaolinit (BOUŠKA a LANGE 1999), kterou můžeme považovat za přeplavený materiál starších zvětralin (BOUŠKA 1992).

Interpretace koroseckých vrstev je komplikovaná zejména díky nejasnému stáří. Sedimenty tohoto typu patrně v dané oblasti vznikaly již od miocénu a to dokonce ještě před dopadem vltavinů (obr. 2). V době vzniku koroseckých vrstev se již formovala dnešní říční síť, ale mnohé toky měly odlišnou snosovou oblast (obr. 8a, b). Říční šterky, které jsou dnes uloženy v nadmořských výškách kolem 480 až 530 m n. m. jsou interpretovány jako relikty uloženin Vltavy, Malše a Křemžského potoka při vyústění do českobudějovického jezera (BALATKA a SLÁDEK 1962). Stejní autoři uvádějí, že Vltava v té době patrně tekla od Rožumberka přes Český Krumlov až do českobudějovické pánve. Většina granátu a spinelu patrně pochází z eklogitů a ultrabazických hornin, které mohou mít lokální původ. Některé spinely pochází z mramorů (obr. 8b). Petrografický charakter vrstev písčitých sedimentů (kombinace klastů živeců a hojná přítomnost zirkonu) naznačují přínos z granitoidů.





Obr. 8. Zjednodušená geologická mapa moldanubika (<https://mapy.geology.cz/geocr50>): (a) s detailní geologickou mapou studované oblasti a vyznačenými předpokládanými hlavními směry přínosu těžkých minerálů (černá plná šipka), a minoritními směry přínosu (černá přerušovaná šipka) během sedimentace koroseckých (b) a vrábčských vrstev (c): A: Migmatity, ruly a svory, B: Granulit, C: Granit, 1: Kenozoické sedimenty, 2: Křídové sedimenty, 3: Granit, 4: Peridotit, 5: Eklogit a amfibolit, 6: Mramor, 7: Granulit, 8: Svory, 9: Migmatit, 10: Zájmová oblast. (c) Schematická mapa rozšíření miocenních sedimentů spíš v jihočeských pánvích (upraveno podle CHLUPÁČE *et al.* 2002, červená šipka směry transportu klastických sedimentů v celé sedimentární pánvi). Minerální zkratky: ilmenit (Ilm), granát (Grt), zirkon (Zr), kyanit (Ky), monazit (Mnz), staurolit (St), spinel (Sp), gahnit (Ghn), turmalín (Tu), kasiterit a niobotantaláty (Cst).

Fig. 8. Simplified geological map of Moldanubian Unit (<https://mapy.geology.cz/geocr50>): (a) with a detailed geological map of the studied area and main directions of clastic sediments transport (dark solid arrow) or minor directions of contribution heavy minerals (dark dashed arrow) during the sedimentation of the Koroseky (b) and Vrábče beds (c): A: Migmatites, gneisses and micaschists, B: Granulite, C: Granite, 1: Cenozoic sediments, 2: Cretaceous sediments, 3: Granite, 4: Peridotite, 5: Eclogite and amphibolite, 6: Marble, 7: Granulite, 8: Conglomerate, 9: Migmatite, 10: Area of interest. (c) Schematic map of the distribution of Miocene sediments in South Bohemian Basins (modified from CHLUPÁČ *et al.* 2002, red arrow directions of clastic sediments transport in whole sedimentary basin). Mineral abbreviations: ilmenite (Ilm), garnet (Grt), zircon (Zr), kyanite (Ky), monazite (Mnz), staurolite (St), spinel (Sp), gahnite (Ghn), tourmaline (Tu), cassiterite, and niobotantalates (Cst).

Nejpravděpodobnějším zdrojem jsou durbachity (některé monazity mají vysoké obsahy Th což je typické pro tyto horniny), které se v okolí nachází (např. západně položený netolic-  
ký masív, obr. 8b). Většina těžkých minerálů je opracována (poloostrohanná až zaoblená)  
fluviálním transportem. Velmi pravděpodobně se v případě studovaných sedimentů jednalo  
o kombinaci materiálu přinášeného lokálními toky a říčních sedimentů transportovaných  
z větší vzdálenosti přičemž podíl materiálu redeponovaného ze starších sedimentů (např.  
vrábečské vrstvy) nemůžeme přesně určit. V jemné frakci koroseckých vrstev z pískovny  
u Chlumu byl rentgenograficky určen illit, kaolinit, křemen a živec, což svědčí o teplejším  
klimatu a kratším období zvětrávání materiálu před snosem do říčního koryta (VRÁNA *et al.*  
1990). Tři profily koroseckých vrstev (obr. 1e) z pískovny Vrábče-Kroclov (obr. 2, profil  
1až 3) odkryly opakující se písková a šterková tělesa interpretovaná jako výplň říčního ko-  
ryta. Podle BOUŠKY (1986, 1987) jsou jemnozrnnější sedimenty zastížené v pískovně vý-  
sledkem sedimentace na okrajích říčních toků (říční mělčiny) zatím co hrubozrnné šterky  
reprezentují střed tehdejšího toku což je poněkud zjednodušený pohled. V profilech pře-  
vládají horizontálně zvrstvené šterkové litofacie (Gh) (obr. 2, profil 1 a 3), které tvoří pro-  
táhlá izolovaná tělesa. Na tuto facií nasedá subhorizontálně, nebo planárně šikmě zvrstve-  
ná litofacie (Gp) budovaná pisky a šterky. Lokálně je přítomna litofacie šterků (špatně  
vytříděný písčité šterk) s podpůrnou strukturou písčité matrix (Gm). Místy se objevují vloz-  
ky planárně nebo šikmě zvrstvených šterkovito-jilovitých písků až jilovitých písků (místy  
s valounky) litofacie Sh, Sp (obr. 2, profil 1). Jednotlivé dílčí polohy mají nepravidelný čoč-  
kovitý tvar s šikmým nebo subhorizontálním zvrstvením. Tato faciální asociace je tvořena  
především 0,5–3 m mocnými faciemi Gh, Gp a podřízeně (až 0,5 m mocné) sedimenty fa-  
cií Sp, Sh indikuje vznik ve fluviálním prostředí (např. JACKSON 1976, MIAL 2006). Sedi-  
menty litofacií Sp ukazují na tvorbu písčitých valů, které migrovaly po šterkových tělesech  
(Gp). K sedimentaci tedy patrně docházelo na rozsáhlých příbřežních tělesech a v aktiv-  
ním říčním korytu (MIAL 1977, 1985, 2006). Místy jsou patrné drobné polohy jílu (Fm)  
náležející k nivním sedimentům (uloženiny údolní nivy, obr. 2, profil 1).

## ZÁVĚRY

Práce je věnována sedimentologickému a mineralogickému popisu vrábečských a ko-  
roseckých vrstev v okolí Vrábče. V obou případech se jedná o sedimenty, kde jsou přítom-  
ny vltaviny. Studovaná oblast představuje klíčové místo pro pochopení sedimentace o flu-  
viálně-lakustrinních sedimentů s vltaviny, protože se zde na malé ploše vyskytují oba typy  
sedimentů. Přítomnost vltavin zároveň jasně definuje spodní hranici stáří těchto sedi-  
mentů. Přesný stratigrafický rozsah je však stále předmětem diskuze, protože tyto sedimenty  
neobsahují paleontologický záznam. Z hlediska interpretace zdrojových oblastí studova-  
ných sedimentů jsme učinili několik důležitých závěrů:

(1) Chemické složení průsvitné frakce těžkých minerálů indikuje pro oba studované  
typy sedimentů, že většina materiálu pochází z hornin moldanubika a přilehlých jednotek.  
Výrazně jsou zastoupeny těžké minerály, které patrně pochází z hornin vyskytujících se  
v blízkém okolí. Na základě chemického složení granátu a spinelu byly jako významný  
zdroj materiálu pro vznik koroseckých a vrábečských vrstev identifikovány eklogity, amfi-  
bolity a ultrabazické horniny. Dokonce i chemické složení ilmenitů naznačuje dominantní  
zdroj klastického materiálu v metamorfních sekvencích bohatých na amfibolity a eklogity.  
Tyto horniny se často nachází v asociaci s granulity, které se však jako zdroj granátu proje-  
vily spíše minoritně. Na druhou stranu pravděpodobně z granulitů pochází velká část kya-  
nitu. Dalším důležitým zdrojem klastického materiálu byly migmatity a migmatitizované  
pararuly, které se nachází v blízkém okolí.

(2) Ve studovaných minerálních asociacích nejsou přítomny minerály jako amfibol  
a pyroxen. Předpokládáme, že to je z velké části důsledek intenzivního zvětrávání před ero-  
zí a depozicí těžkých minerálů.

(3) Dominance kyselých živců a křemene v některých částech koroseckých vrstev společně s častou přítomností zirkonu a Th-bohatého monazitu naznačují možnost, že velká část tohoto materiálu byla derivována ze zvětralin granitoidů, a to zejména durbachitů (hojně dvojčatné vyrostlice draselného živce).

(4) V malém množství byly v klastickém materiálu z koroseckých vrstev přítomny těžké minerály z mramorů, vápenato-silikátových hornin, ortorul a pegmatitů.

(5) V sedimentárním klastickém materiálu z koroseckých vrstev se nepodařilo potvrdit přínos granátu a staurolitu ze svorů a rul odkrytých v oblasti královského hvozdu, bavorika a v kaplické jednotce.

Starší miocenní vrábečské vrstvy představují produkt sedimentace v distální části aluviálního kuželu. Zdrojová oblast těchto sedimentů byla z velké části překryta produkty intenzivního chemického zvětrávání během křída a paleogénu. Právě tyto zvětraliny byly hlavním zdrojem klastického materiálu. Důležitá je přítomnost ostrohranných psamitických a psefitických fragmentů, která naznačuje krátký a rychlý transport, například během přívalových dešťů. Klasy těžkých minerálů vykazují nízký stupeň opracování.

V koroseckých vrstvách jsou klasy těžkých minerálů postiženy vyšším stupněm opracování. Podle našich zjištění odráží korosecké vrstvy počátky formování dnešní říční sítě. V případě studovaných lokalit se velmi pravděpodobně jedná o kombinaci materiálu přinášeného lokálními toky a říčních sedimentů transportovaných z větší vzdálenosti, přičemž podíl materiálu redeponovaného ze starších sedimentů nemůžeme přesně určit. Mísí se zde materiál s hornin postižených intenzivním zvětráváním (ilmenity z bazických hornin) a materiál s nízkým stupněm chemického zvětrávání (klasy živců).

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl vytvořen v rámci řešení DKRVO/ČGS (2018–2022), za finanční podpory projektu České geologické služby číslo 321180 („Základní geologické mapování“). Autoři děkují recenzentům za podnětné připomínky.

## LITERATURA

- BABŮREK, J., 1995: High, medium and low pressure assemblages from the Czech part of the Královský Hvozd Unit (KHU) in the Moldanubian Zone of SW Bohemia. – J. Czech. Geol. Soc., 40, 115–126.
- BALATKA, B., SLÁDEK, J., 1962: Říční terasy v českých zemích. – 578 s. NČSAV, Praha.
- BARNES, S., ROEDER, P., 2001: The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks. – J. Petrol. 42, 2279–2302.
- BLAIR, T. C., MCPHERSON, J. G., 1994: Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. J. Sed. Research. – 64 (3a), 450–489.
- BLUMEL, P., SCHREYER, W., 1977: Phase Relations in Pelitic and Psammitic Gneisses of Sillimanite-Potash Feldspar and Cordierite-Potash Feldspar Zones in Moldanubicum of Lam-Bodenmais Area, Bavaria. – J. Petrol., 18, 3: 431–459.
- BOUŠKA, V., BOROVEC, Z., CIMBÁLNÍKOVÁ, A., KRAUS, I., LAJČÁKOVÁ, A., PAČESOVÁ, M., 1987: Přírodní skla. – Academia, 133–135. Praha.
- BOUŠKA, V., LANGE, J. M., 1999: Geology of the moldavite-bearing sediments in Central Europe. – Schriften des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden 10, 20–24.
- BOUŠKA, V., MOTIL, V., ROST, R., ŠEVČÍK, J., 1995: Moldavites from the Cheb Basin. Bulletin of the Czech Geological Survey 70, 73–80.
- BOUŠKA, V., 1966: Geologie a stratigrafie vltavinových nalezišť v Čechách a na Moravě. – Sborník Nar. Muzea, R. B, 22, 67–88.
- BOUŠKA, V., 1992: Tajemné vltaviny. – Nakladatelství Gabrieli, 47–60, Praha.
- BRACHANIEC, T., SZOPA, K., KARWOWSKI, Ł., 2015: A new discovery of parautochthonous moldavites in south-western Poland, Central Europe. Meteoritics & Planetary Science, 50, 10, 1697–1702.

- BREITER, K., SCHARBERT, S., 1995: The Homolka Magmatic Centre - an Example of Late Variscan Ore Bearing Magmatism in the Southbohemian Batholith (Southern Bohemia, Northern Austria). - *Jb. Geol. B.-A.* 138, 9-25.
- COOKE, R.A., O'BRIEN, P. J., CARSWELL, D. A., 2000: Garnet zoning and the identification of equilibrium mineral compositions in high-pressure-temperature granulites from the Moldanubian Zone, Austria. - *J. Met. Geol.*, 18, 551-569.
- ČOPIAKOVÁ, R., ŠKODA, R., PERTOLDOVÁ, J., 2005: Cr-bohaté spinely z ultramafických hornin moldanubika. - *Acta. Mus. Morav., Sci. Geol.*, 90, 89-98.
- DOLEŽAL, I., 1991: Zhodnocení mineralogických a ložisko-geologických poměrů na lokalitě Vrábče u Českých Budějovic. - Diplomová práce. PřF UK, 3, 22, 46. Praha.
- DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ, B., BARNET, I., ČÍZEK, D., HEJTMÁNKOVÁ, P., HROCH, T., HOLUB, F. V., JANDERKOVÁ, J., KOŠULIČOVÁ, M., KOTKOVÁ, J., KRÝSTOFOVÁ, E., KRUPÍČKA, J., MARTÍNEK, K., NAHODILOVÁ, R., PACHEROVÁ, P., POŇAVIC, M., SKÁCELOVÁ, D., TRUBAČOVÁ, A., VERNER, K., ŽÁČKOVÁ, E., 2014: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR list Vlachovo Březí 22-344. - 177 s. MS Archiv ČGS
- FLAŠAR, J., ŠTĚPANČIKOVÁ, P., 2022: Plio-Pleistocene paleodrainage reconstruction using moldavite-bearing and morphostratigraphically related deposits (Southern Bohemia, Czech Republic). - *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 586, 110783.
- FOLK, R. L., 1954: The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. - *J. Geol.* 62, 344-359.
- FOLK, R. L., WARD, W. C., 1957: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. - *J. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- HANZLÍK, P., SPUDIL, J., 2007: Závěrečná zpráva úkolu Vrábče - Boršov. Surovina: křemen (KR), šterkopišek (SP). - G E T s.r.o., 14-18. Praha.
- HEIMANN, A., SPRY, P. G., TEALE, G. S., 2005: Zincian spinel associated with metamorphosed Proterozoic base-metal sulfide occurrences, Colorado: a re-evaluation of gahnite composition as a guide in exploration. - *Can. Mineralogist*, 43, 601-622.
- HOUZAR, S., NOVÁK, M., CÍCHA, J., 2017: Přehled minerálních asociací a litologie mramorů české části moldanubika (Český masív). - *Bull. mineral.-petrol. odděl. Nár. muz. Praze.*, 25, 113-140 <https://mapy.geology.cz/geocr50>
- CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z., 2011: Geologická minulost České republiky. - *Academia*, 323-325. Praha.
- JACKSON, R. G., 1976: Depositional model of point bars in the Lower Wabash river. - *J. Sed. Petrol.*, 46, 579-594.
- JANOUSEK, V., GERDES, A., VRANA, S., FINGER, F., ERBAN, V., FRIEDL, G., BRAITHWAITE, C. J. R., 2007: Low-pressure granulites of the Liřov Massif, Southern Bohemia: Visuan metamorphism of Late Devonian plutonic arc rocks. - *J. Petrol.*, 47, 705-744.
- KADLECOVÁ, E., KOCURA V., 2016: Nové nálezy gastropodů z miocénu jižních Čech (českobudějovická pánev). - *Zpráv. geol. výzk.* 49, 191-194.
- KOBAYASHI, T., HIRAJIMA, T., KAWAKAMI, T., SVOJTKA, M., 2011: Metamorphic history of garnet-rich gneiss at Ktiš in the Lhenice shear zone, Moldanubian Zone of the southern Bohemian Massif, inferred from inclusions and compositional zoning of garnet. - *Lithos*, 124, 46-65.
- KODYM, O., ČELODOVÁ, J., GABRIELOVÁ, N., HOKR, Z., HOLÁSEK, O., KNOBLOCH, E., KRÁSNÝ, J., LIBALOVÁ, J., MALECHA, A., ODEHNAL, L., ŘEHÁKOVÁ, Z., ŠALANSKÝ, K., & ŽEBERA, K. 1978: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 list 32-223 Kamenný újezd (Vydání I). - Ústřední ústav geologický.
- KOEBERL, C., BRANDSTÄTTER, F., NIEDERMAYR, G., KURAT, G., 1988: Moldavites from Austria. - *Meteoritics* 23, 325-332
- KONTA, J., 1966: Tektites in Bollemia iCentral Europe and their relation to the tektite bearing sediments. - *Acta Universitatis Carolinae, Geologica.* 2, 81-97.
- KRŠUL, V. (2008): Tátové vltavinů. - *Mínérál*, 16, 2, 140-146. České Budějovice.
- LOSERTOVÁ, L., BUŘIVAL, Z., LOSOS, Z., 2013: Mineralogická charakteristika a chemismus Fe-gahnitu z Cetoraze u Pacova, Česká republika. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 1, 47-51. ISSN 1211-0329.
- MALECHA, A., SUK, M., ZIKMUND, J., 1964: Stavba a podloží jihočeských pánví. - *Sbor. Geol. věd, ř. Geologie*, 4, 97-120. Nakl. ČSAV Praha.
- MALKOVSKÝ, M., 1979: Tektogeneze platformního pokryvu Českého masívu. - *Knihovna ÚÚG*, 53. 176 s. Praha.
- MEDARIS, L., BEARD, B., JELÝNEK, E., 2006: Mantle-Derived, UHP Garnet Pyroxenite and Eclogite in the Moldanubian Gföhl Nappe, Bohemian Massif: A Geochemical Review, New P-T Determinations, and Tectonic Interpretation. - *Int. Geol. Rev.* 48, 765-777.
- MESSIGA, B., BETTINI, E., 1990: Reactions behaviour during kelyphite and symplectite formation: a case study of mafic granulites and eclogites from the Bohemian Massif. - *European J. Miner.*, 2, 125-144.
- MIALI, A. D., 1977: A review of the braided river depositional environment. *Earth-Science Reviews.* - 13, 1-62.

- MIALL, A. D., 1985: Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. – *Earth-Science Reviews*, 22, 261–308.
- MIALL, A. D., 2006: *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Analysis and Petroleum Geology*. – Springer-Verlag, New York, 582.
- MÍŠAR, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, V., 1983: *Geologie ČSSR I, Český masív*. – Státní pedagog. nakl., 333 s. Praha.
- MOSCARIELLO, A., 2017: Alluvial fans and fluvial fans at the margins of continental sedimentary basins: geomorphic and sedimentological distinction for geo-energy exploration and development. – *Geological Society, London, Special Publications*, 440, 1, 215–243. doi:10.1144/sp440.11
- NEMEC, W., POSTMA, G., 1993: Quaternary alluvial fans in southern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. In: Marzo M., Puigdefabregas C. (Eds.), *Alluvial Sedimentation*. – Oxford, IAS, 17, 235–276.
- NESROVNAL, I., 1992: Nové poznatky o vltavínosných sedimentech v okolí Vrábče. *Přírodovědný sborník Západoomoravského muzea v Třebíči*, 18, 154–159.
- NOVÁK, M., CHLÁDEK, Š., UHER, P., GADAS, P., 2018: Complex magmatic and subsolidus compositional trends of columbite-tantalite in the beryl-columbite Sejby granitic pegmatite, Czech Republic: role of crystal-structural constraints and associated minerals. – *J. Geosci.*, 63, 253–263.
- PESEK, J., ADÁMEK, J., BRZOBOHATÝ, R., BUBÍK, M., CÍCHA, I., DAŠKOVÁ, J., DOLÁKOVÁ, N., ELZNIC, A., FEJFAR, O., FRANCŮ, J., HLADILOVÁ, Š., HOLCOVÁ, K., HONEK, J., HOŇKOVÁ, K., JURKOVÁ, Z., KRÁSNÝ, J., KREJČÍ, O., KVAČEK, J., KVAČEK, Z., MACŮREK, V., OPLUŠTIL, S., MIKULÁŠ, R., PÁLENSKÝ, P., ROJÍK, P., SKUPIEN, P., SPUDIL, J., SÝKOROVÁ, I., ŠIKULA, J., ŠVÁBENICKÁ, L., TEODORIDIS, V., TITL F., TOMANOVÁ-PETROVÁ, P., ULRYCH, J., 2010: Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. – Praha: Česká geologická služba, 438 s. ISBN 978-80-7075-759-8.
- PERTOLDOVÁ, J., BRÍZOVÁ, E., HOLÁSEK, O., JANDERKOVÁ, J., MARTÍNEK, K., POŇAVÍČ, M., ŠRÁMEK, J., TRUBAČ, J., VRÁNA, S., ČÍZEK, D., KOŠULIČOVÁ, M., VERNER, K., BURDA, J., KRUPÍČKA, J., DVOŘÁK, I., 2011: vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25000 Smrčina 32–144. – 119 s. MS Česká geologická služba Praha
- PERTOLDOVÁ, J., NAHODILOVÁ, R., BRÍZOVÁ, E., ČÍZEK, D., DVOŘÁK, I., HOLÁSEK, O., HOLUB, F. V., JANDERKOVÁ, J., KARENOVÁ, J., KNĚSL, I., KOŠULIČOVÁ, M., KRUPÍČKA, J., MARTÍNEK, K., PACHEROVÁ, P., POŇAVÍČ, M., RUKAVIČKOVÁ, L., SKÁCELOVÁ, Z., ŠTOR, T., VERNER, K., VRÁNA, S., 2013: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000, list 32–231 Horní Planá. – 192 s. MS Archiv České geologické služby Praha
- PETRAKAKIS, K., 1986: Metamorphism of High-Grade Gneisses from the Moldanubian Zone, Austria, with Particular Reference to the Garnets. – *J. Met. Geol.* 4, 3, 323–344.
- PRIMAS, M., 1990: Distribuce těžkých minerálů ve vltavínosných sedimentech jižních Čech. – diplomová práce. PíF UK, 5–11. Praha.
- RENÉ, M. (2008). Titanite-ilmenite-magnetite phase relations in amphibolites of the Chýnov area (Bohemian massif, Czech Republic). – *Acta Geodyn. Geomater.* 5, 239–246.
- ROST, R. (1972): Vltaviny a tektity. – Nakl. ČSAV, 84–94, Praha.
- ŘANDA, Z., MIZERA, J., FRÁNA, J., KUČERA, J., 2008: Geochemical characterization of moldavites from a new locality, the Cheb Basin, Czech Republic. – *Meteorit. Planet. Sci.* 43, 461–467.
- ŘEHÁKOVÁ, Z., 1963: Jihočeské pánevní sedimenty ve světle diatomových analýz. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 38, 311–323.
- ŘEHÁKOVÁ, Z., 1969: Beitrag zur stratigraphischen Gliederung des Neogens der südböhmischen Becken. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 44, 307–309.
- SCHWARZ, W. H., LIPPOLT, H. J., 2014: <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar step-heating of impact glasses from the Nördlinger Ries impact crater—Implications on excess argon in impact melts and tektites. – *Meteoritics & Planetary Science*, 49(6), 1023–1036.
- SLÁNSKÁ, J., 1967: Sedimentologie jihočeských pánví. Kandidátská práce. – MS Česká geologická služba, Praha.
- SLÁNSKÁ, J., 1974: Continental Cretaceous and Tertiary Sedimentation in the South Bohemian Basin. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlung* 146, 3, 385–406.
- SMETANA, R., 1991: Vrábče – Nová Hospoda, vltavínové sedimenty. – *Geoindustria, GMS*, 4–12, Praha.
- SORGER, D., HAUZENBERGER, C. A., LINNER, M., IGLSEDER, C., FINGER, F., 2018: Carboniferous Polymetamorphism Recorded in Paragneiss-Migmatites from the Bavarian Unit (Moldanubian Superunit, Upper Austria): Implications for the Tectonothermal Evolution at the End of the Variscan Orogeny. – *J. Petrol.*, 59, 1359–1382.
- ŠTĚDRÁ, V., BRÍZOVÁ, E., ČÍZEK, D., JANDERKOVÁ, J., KOTKOVÁ, J., KRUPÍČKA, J., KRÝSTOFOVÁ, E., KUNCEOVÁ, E., MARTÍNEK, K., POŇAVÍČ, M., PACHEROVÁ, P., ŠEBESTA, J., ŠRÁMEK, J., TRUBAČOVÁ, A., VERNER, K. (2012): Vysvětlivky k Základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000, list 32–122 Zbytiny. – MS ČGS Praha. 125 s. MS Archiv ČGS, Praha.



- TRNKA, M., 2003: Atypické vltaviny ze Slavče u Trhových Svinu (Jižní Čechy), IX. Mezinár. Konf. o vltavínech, tektonice a impaktovém procesu (Fr. Lázně 2002). – Pnrodov. sbor. Západomorav. muzea v Třebíči. 41–2003, 31–44.
- TRNKA, M., 2020: Původní rozsah, geologický vývoj a málo známá místa pádového pole vltavinů – Minerál, 3, 195–206. České Budějovice.
- TRNKA, M., HOUZAR, S., 1991: Moravské vltaviny. – Muzejní a vlastivědná společnost v Brně a Západomoravské muzeum v Třebíči.
- TRNKA, M., HOUZAR S., 2002: Moldavites: a review. – Bulletin of the Czech Geological Survey, 77, No. 4, 283–302.
- VERNER, K., BABŮREK, J., BRÍZOVÁ, E., BURIÁNEK, D., DUDÍKOVÁ SCHULMANNOVÁ, B., DUŠEK, K., DVOŘÁK, I., HAVLÍN, A., HRAZDÍRA, P., KUNCEOVÁ, E., KRYŠTOFOVÁ, E., MAŠEK, D., POŇAVIČ, M., PŘECHOVÁ, E., SKÁCELOVÁ, Z., ŠEBESTA, J., SEDLÁČKOVÁ, I., TRUBAČ, J. 2021: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR 1 : 25 000, list 21–424 Čachrov. – 96 s. MS Archiv Česká geologická služba, Praha.
- VERNER, K., BRÍZOVÁ, E., BURIÁNEK, D., DUDÍKOVÁ, B., HEJTMÁNKOVÁ, P., HOLUB, F. V., JANDERKOVÁ, J., KNĚSL, I., KRYŠTOFOVÁ, E., ŠRÁMEK, J., FRANĚK, J., KRUPÍČKA, J., NÝVL, D., POŇAVIČ, M., PACHEROVÁ, P., PERTOLDOVÁ, J., MARTÍNEK, K., DVOŘÁK, I., RENÉ, M., 2013: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25.000 list 32–213 Ktiš. – 132 s. MS Archiv České geologické služby, Praha.
- PETRI, B., ŠTÍPSKÁ, P., SKRZYPEK, E., SCHULMANN, K., CORSINI, M. AND FRANĚK, J. 2014: Thermal and mechanical behaviour of the orogenic middle crust during the syn- to late-orogenic evolution of the Variscan root zone, Bohemian Massif. – J. Meta. Geol., 32, 599–626.
- PLECER, V., WELSER P. (2020) Magická pětistovka. – Minerál, 28, 3, 207–216. České Budějovice
- VRÁNA, S., DOMÁCÍ, L., HAZDROVÁ, M., LÍBALOVÁ, J. STRÍDA, M., ŠALANSKÝ, K., ŽEBERA, K., 1984: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 32–242 Trhové Sviny. – Ústř. Úst. geol., Praha.
- VRÁNA, S., (2014): Korund-kyanit-zoisit-muskovitická hornina z Chýnova u Tábora. – Zpráv geol. výzk., 47: 144–148.
- WELSER, P., ZIKÉŠ, J., PLECEK, V., MALEK O., MARTAUS, A., 2020: Příspěvek k poznání sedimentace vltavínosných vrstev na ložisku Chlum u Ločenic. – Minerál, 28, 3, 217–227. České Budějovice.
- ŽÁČEK, V., HAVLÍČEK, P., JANDERKOVÁ, J., KOTKOVÁ, J., KRYŠTOFOVÁ, E., NEČAS, J., POŇAVIČ, M., PŘECHOVÁ, E., SEDLÁČKOVÁ, I., SKÁCELOVÁ, Z., ŠKODA, R., VERNER, K., 2022: Vysvětlivky k Základní geologické mapě České republiky 1:25 000, 22–341 Vacov. – MS Praha
- ŽEBERA, K., 1967: Moldavite-bearing sediments between Koroseky and Holkov in South Bohemia. – Věst. ÚÚG, 42, 5, 327–337, Praha. [in Czech].
- ŽEBERA, K., 1977a: Moldavitefelder in Südböhmen. – Věst. Ústř. Úst. geol., 52, 47.
- ŽEBERA, K., 1977b: Jihočeská krajina v době pádu vltavínového deště. – Geol. pr., 3, 78–80. Praha.
- NESROVNAL, I., 1990: Závěrečná zpráva úkolu Vrabče – Boršov, č.ú. 29 83 2401. Geoindustria GMS, s.p., Praha.