

KDE JE ZDROJ KLASTICKÝCH SEDIMENTŮ MIOCÉNU BRNĚNSKA?

WHERE DO THE MIOCENE CLASTIC SEDIMENTS OF THE BRNO REGION COME FROM?

DAVID BURIÁNEK, PAVLA TOMANOVÁ PETROVÁ & JIŘÍ OTAVA

Abstract

Buriánek, D., Tomanová Petrová, P., Otava, J. (2012): Kde je zdroj klastických sedimentů miocénu Brněnska? – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 97, 1, 153–166.

Where do the Miocene clastic sediments of the Brno region come from?

Selected samples and localities of the Otnangian and Badenian sands at the eastern margin of Bohemian Massif have been studied to establish their provenance, origin, environments and facies: I. Otnangian sands and gravels transported by rivers (site Brno-Bystrc). Both clasts of gravels and translucent heavy mineral suite (mainly staurolite-garnet-epidote) reflect substantial share of the Moravicum and of the Brno Massif as primary source areas. The material was transported by a paleoflow running from W or NW. The most of grains show short transport. II. Badenian sands deposited as foreshore and shoreface facies (site Brno-Oslavany). The source area was relatively small, restricted to the closest vicinity of the shore and small streams flowing from W and or from NW drained it. The detrital material originated from nearby weathered rocks of the Moravicum and probably the Svratka Crystalline Unit. Heavy mineral suite consists mainly from garnets and amphiboles. The influence of older (Otnangian) sediments had been minor at this locality. III. Badenian (“Brno sands”; site Brno-Obrány) river delta sediments derived from larger area. Translucent heavy mineral assemblage (mainly garnets, stable small share of staurolite, epidote, apatite, tourmaline and rutil) and reworked Karpatian and Otnangian fossils reflect share of older sediments in the source. Nevertheless grains from crystalline rocks of the Moravicum and of the Brno Massif are most abundant.

There was a stable source area at the western margin of the Carpathian Foredeep during the Otnangian and Badenian. The wider range of translucent heavy mineral assemblage in Otnangian sands indicates derivation from products of pre-Miocene (Cretaceous and/or Paleogene) weathering. The most indicative mineral of Otnangian deposits is staurolite. More intensive erosion caused by uplift of crystalline unit on western margin of the Carpathian Foredeep (Moravicum, Svratka unit and Brno Massif) during Badenian produced typical garnet-rich assemblages.

Key words: South Moravia, Miocene, siliciclastics, heavy minerals, provenance

David Buriánek, Pavla Tomanová Petrová & Jiří Otava: Czech Geological Survey, Leitnerova 22, Brno, e-mail: david.burianek@geology.cz

1. Úvod

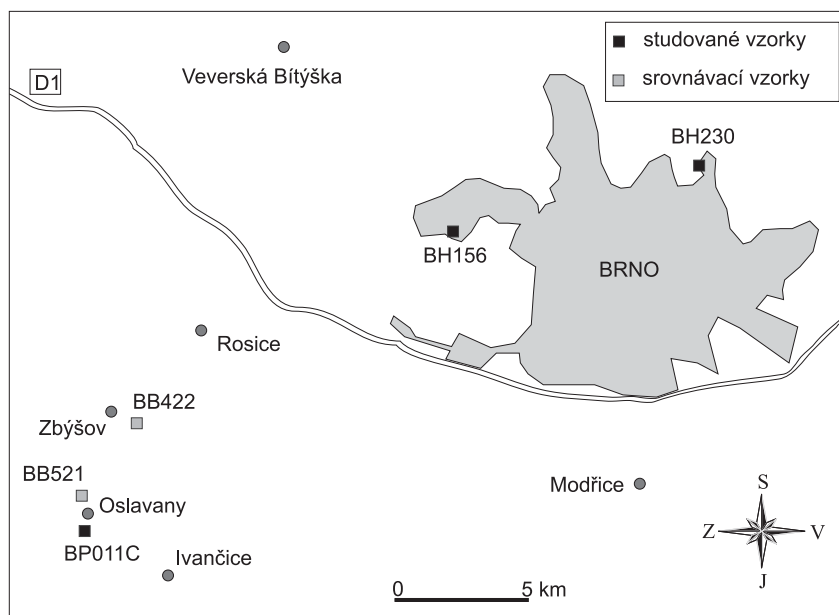
Sedimenty karpatské předhlubně (od eggenburgu do badenu) obsahují poměrně pestré spektrum těžkých minerálů. Tyto minerály mohou představovat účinný nástroj při paleogeografických interpretacích a určení rozsahu zdrojových oblastí těchto sedimentů.

V rámci sedimentace v karpatské předhlubni můžeme pozorovat výraznou změnu ve složení těžkých minerálů, která je obvykle spojována s hranicí ottang/karpat (např. KRYS-TEK 1981 nebo NOVÁK 1986). Sedimenty eggenburgu a ottnangu mají většinou poměrně

nízký obsah granátu a naopak výrazné zastoupení staurolitu, případně kyanitu. V sedimentech karpátu a badenu zastoupení granátu výrazně roste (místa až přes 90 obj. %). Vznik asociací těžkých minerálů bohatých staurolitem bývá spojován s intenzivním předmiocenním zvětráváním hornin na východním okraji Českého masivu, přičemž zdrojem těžkých minerálů mohly být horniny krystalinického podloží nebo křídové sedimenty (NEHYBA a LEICHMANN 1997, NEHYBA *et al.* 2007). Změna asociace těžkých minerálů na hranici ottang/karpat je interpretována jako důsledek ukončení odnosu starších zvětralin a zvýšení významu eroze spojené s rychlejším výzdvihem západního okraje pánve (KRYSTEK 1981). Výrazný vliv mohl mít také rozdílný zdroj materiálu (NEHYBA 2001).

V rámci tohoto příspěvku jsme zvolili tři lokality, které se vyskytují při západním okraji karpatské předhlubně (obr. 1). Jedná se o sedimenty fluviální, deltové nebo příbřežní pásma. U těchto sedimentů můžeme předpokládat, že poměrně dobře reprezentují materiál přinášený do sedimentační pánve a nejsou ovlivněny míšením s materiálem z jiných snosových oblastí. V tomto případě by neměl mít výraznější vliv přínos materiálu z flyšových sedimentů (ždánické a pouzdřanské jednotky) a kulmských sedimentů. Uvažujeme spíše o možnosti přínosu materiálů redepozicí z křídových sedimentů, které tvořily pokryv větší části Českého masivu a jeho krystalinických jednotek na západ od karpatské předhlubně.

Zvolené sedimenty mohou pomoci lépe charakterizovat oblasti snosu a zdrojové horniny sedimentů karpatské předhlubně.



Obr. 1. Lokalizační schéma studovaných lokalit.

Fig. 1. Location map of the studied sites.

Metodika

V odebraných vzorcích (tab. 1) byly studovány asociace průsvitných těžkých minerálů (TM). Vzorky o hmotnosti 1 kg byly síťovány mokrou cestou na frakci 0,063–0,25 mm a následně proběhla separace v těžké kapalině (Tetrabromethan, $C_2H_2Br_4$; $D = 2,964 \text{ g/m}^3$). Získaný koncentrát byl pak studován pod polarizačním mikroskopem.

Tabulka 1. Lokalizace vzorků a složení asociace průsvitných těžkých minerálů.

Table 1. Sample location and composition of the translucent heavy mineral assemblage.

vzorek	BH156	BP011C	BH230	BB521	BB422
lokalita	Bystrc	Oslavany	Obrány	Balinka	Zbýšov
stáří	ottnang	baden	baden	sluňák	perm
zirkon	0,3	0,2	1,1	19,0	6,3
granát	21,2	61,2	80,0	0,2	0,4
turmalín	2,0	2,2	2,1	11,0	6,8
rutil	2,0	1,0	2,1	11,4	3,2
apatit	2,4	0,8	3,4	-	81,0
amfibol	4,4	25,8	-	-	-
pyroxen	1,3	-	-	-	-
kyanit	3,4	0,5	0,6	48,4	-
andalusit	-	0,5	0,2	0,6	-
sillimanit	1,0	1,3	1,0	1,4	-
staurolit	47,5	4,8	4,3	7,6	-
anatas (br.)	0,3	-	0,2	-	0,3
monazit	-	-	-	-	-
epid. sk.	12,5	1,7	4,5	0,4	1,1
chromit	-	-	0,2	-	0,4
titanit	1,7	-	0,5	-	0,1
ostatní					0,3
celkem	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ATi	5,4	2,7	6,2	0,0	0,0
GZi	98,4	99,7	98,6	1,0	1,0

Vybraná zrna těžkých minerálů byla dále analyzována pomocí elektronové mikrosondy Cameca SX-100 (operátor P. Gadas) na Ústavu geologických věd PřF MU v Brně. Měření probíhalo ve vlnově disperzním módu za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, průměr elektronového svazku 5 μm , proud 30 nA, načítací čas 20 sekund. Jako standardu bylo užito (Ka X-ray linie): augit (Si, Mg), ortoklas (K), jadeit (Na), chromit (Cr), almandin (Al), andradit (Fe, Ca), rodonit (Mn), TiO (Ti). V každém vzorku bylo analyzováno kolem 20 zrn granátu (20–24 analýz), 5–10 zrn turmalínu a ostatní minerály byly analyzovány pouze orientačně (1–5 analýz).

Krystalochemický vzorec turmalínu je přepočten na 31 aniontů, přičemž ze stechiometrie byl dopočten B = 3, OH+F = 4 a krystalochemický vzorec granátu byl vypočten na 12 O. Použité zkratky minerálu jsou aplikovány podle KRETZE (1983). Kromě našich dat byly při přípravě diagramu použity již dříve publikované analýzy (ČOPIJKOVÁ 2007, VALLOVÁ 2005). Při vyhodnocení bylo pro amfiboly užito platné klasifikace LEAKE *et al.* (1997) a trojmocné železo bylo počítáno metodou 13eCNK (SCHUMACHER 1997).

Geologická pozice a petrografická charakteristika

Pro studium byly zvoleny tři lokality písků až štěrků, které leží poblíž kontaktu neogenních sedimentů s podložními horninami brněnského masivu nebo boskovické brázd. Jeden vzorek reprezentuje sedimentaci v říčním toku a zbývající dva představují sedimenty vzniklé v podmínkách na pobřeží nebo v příbřežní zóně. Jednotlivé vzorky však vznikly v rozdílných fázích vývoje karpatské předhlubně.

Bystrc (vzorek BH156)

První lokalita je situována jižně od sídliště Bystrc. Výchozy vystupují v rokli na levém přítoku Vrbovce přímo pod bystrckým sídlištěm. Zde jsou odkryty jemnozrné amfibolity s polohami metaryolitů. Na konci rýhy vystupují neogenní štěrky diskordantně nasedající

na podložní krystalinické horniny. V profilu 3 m mocném lze pozorovat hrubozrnné písky s valouny, na bázi šterky s polozaoblenými valouny do 10 cm a 2 lavice do 30 cm zpevněných vápnných pískovců. Vzorek, v jehož průsvitné těžké frakci dominují staurolit a granát (obr. 2), byl odebrán z hrubozrnných písků ve střední části profilu.

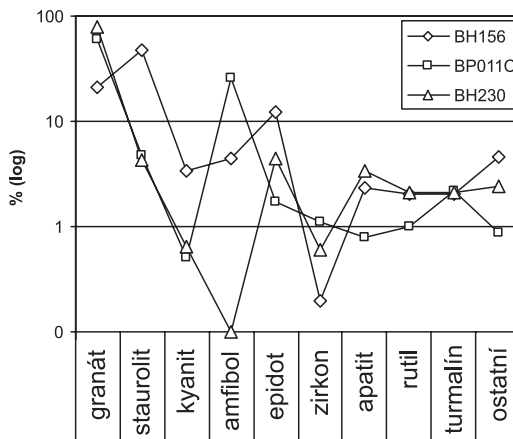
Psefitickou frakci tvoří drobně až středně zrnité petromiktiní písčité šterky s podpůrnou strukturou písčité matrix a s polohami závalků tvořených šedými nevápnitými jíly. Šterky obsahují valouny bitešských ortorul a granitoidů brněnského masivu. Jejich stáří nebylo přesně zjištěno, ale patrně se jedná o sedimenty ottnangu. Z faunistického hlediska jsou bezfosilní.

Pískovna Oslavany (vzorek BP011C)

Opuštěná pískovna (délka 40 m a výška 8,5 m) je situována na jižním okraji Oslavan nedaleko silnice do Letkovic. Tato lokalita je holostratotypem spodnobadenských sedimentů (CICHA 1978).

Sedimentologické studium vedlo k vyčlenění 5 litofacií: Sl, Sr, Ss, Sp, a M (NEHYBA *et al.* 2009). V profilu dominuje paralelně laminovaný jemnozrnný až velmi jemnozrnný písek litofacie Sl. Tato litofacie se ojedinele zastupuje s jemnozrnnými písky s čeřinovým zvrstvením litofacie Sr a jemnozrnnými až střednozrnnými písky s „misovitým“ zvrstvením litofacie Ss. Ve vrchní části studovaného profilu byla zjištěna 70 cm poloha hrubozrnného až velmi hrubozrnného písku s planárním šikmým zvrstvením litofacie Sp. V samém stropu profilu se nacházejí erozní korytovitá tělesa vyplněná jílovitým prachovcem (litofacie M). Horninu lze z petrografického hlediska charakterizovat jako jemnozrnný vápnný písek/pískovec až písčité vápenec. Tvoří ji klasty naprosto dominujícího křemene, dále draselné živce a kyselý plagioklasy, případně lupínky slíd, zrna glaukonitu, dále úlomky hornin (klasty křemen-živcové a vzácně klasty jílovce) a zlomky schránek organismů, které tvoří asi 50 obj. % obsahu klastické složky. Ve výbrusech byly rozpoznány úlomky schránek měkkýšů, foraminifer, ostnů ježovek a fragmenty stélek řas. Karbonátový tmel má bazální charakter a místy koroduje klasty křemene. Sediment je zrnitostně dobře vytríděný, stupeň opracování klastické složky je střední. V průsvitné těžké frakci získané z jemnozrnných písků s čeřinovým zvrstvením litofacie Sr je výrazně zastoupen především granát a amfibol (obr. 2).

Mikrofauna hrubozrnných písků je ochuzená, ve vzorcích se vzácně vyskytují foraminify *Lenticulina vortex* (Ficht. et Moll), *Heterolepa dutemplei* (d'Orb.), *Globigerina bulloides* d'Orb. apod., které jsou doprovázeny fosiliemi redeponovanými z ottnangských rzechakiových vrstev. Mikrofauna jílových závalků dokládá typické spodnobadenské společenstvo s foraminiferami, ostrakody, fragmenty zoárií mechovek, jehlic hub a ostnů ježovek. Mezi foraminiferami dominují planktonní druhy jako např. *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orb.), *G. bisphericus* Todd, *Paragloborotalia mayeri* (Cush. et Ell.), *Obandiyella bykovae* (Ais.) doprovázené bentickými druhy *Vaginulinopsis pedum* (d'Orb.), *Semivulvulina pectinata* (Rss.), *Bolivina antiqua* d'Orb. a dalšími. Jílovité prachovce litofacie M ob-



Obr. 2. Podíl hlavních průsvitných těžkých minerálů ve studovaném vzorku (BH156: Bystrc-ottnang, BP011C: Oslavany-baden, BH230: Obrány-baden).

Fig. 2. Proportion of main translucent heavy minerals in the studied sample (BH156: Bystrc-Ottningian, BP011C: Oslavany-Badenian, BH230: Obrány-Badenian).

sahují spodnobadenskou faunu s foraminiferami *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orb.), *G. bisphericus* Todd a *Praeorbulina glomerata circularis* (Blow) zóny M5b sensu BERGGREN *et al.* 1995.

Brno-Obřany (vzorky BH230)

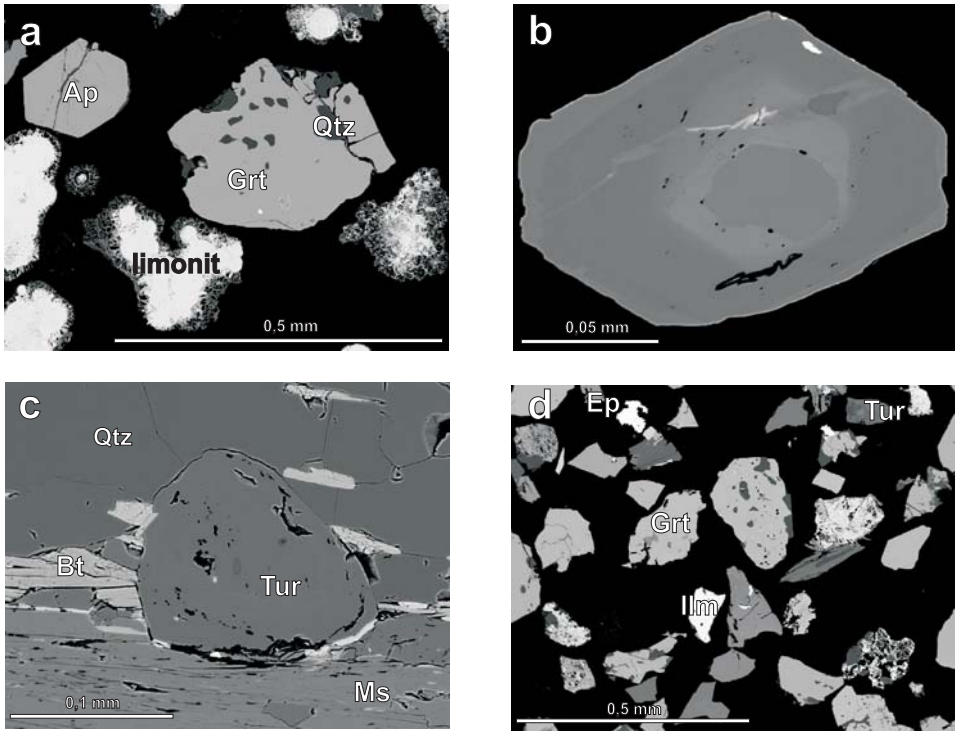
Třetí lokalita se nachází za garážemi v Brně-Obřanech. Na bázi v zářezu vysokém 4 m jsou odkryty „brněnské písky“ spodního badenu. Podobné lokality se nachází i v jiných částech Obřan (HANŽL *et al.* 2011).

Jedná se o hnědožluté, žlutošedé až šedé, místy rezavé, vápnité a proměnlivě zrnité písky až pískovce. Polymiktní špatně vytríděné středně až hrubě zrnité písky a štěrky jsou subhorizontálně uložené, s častým planárním šikmým zvrstvením, vzácněji s protisměrným korytovitým zvrstvením (KRYSTEK a TEJKAL 1968, KRYSTEK 1974). V rámci vrstev je možné pozorovat gradační zvrstvení. Vyskytují se četné neprůběžné konkrecionálně zpevněné polohy vápnnitého pískovce, často se v píscích objevují závalky ottanganských, karpatských i spodnobadenských jílu. Písky obsahují bohatou mikrofaunu foraminifer, mechovek, méně ostrakodů, zbytky ježovek aj. Dominují relativně mělkovodní bentosní foraminifery (PETROVÁ *et al.* 1998; BUBÍK a PETROVÁ 2004). Ve společenstvu se vyskytuje pseudoasociace foraminifer s nepočítanými planktonními druhy *Globigerinoides trilobus* (Rss), *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orb.), *Globigerinella obesa* (Bolli), *Globigerina praebulloides* Blow, *Tenuitellinata angustiumbilitata* (Bolli). Bentosní složka společenstva je oproti planktonní početnější a diverzifikovanější a je zastoupena taxony *Heterolepa dutemplei* (d'Orb.), *Stilostomella scabra* (Rss.), *Siphonina reticulata* (Czjzk.), *Hanzawaia bouena* (d'Orb.), *Ammonia viennensis* (d'Orb.), *Cibicoides* sp., *Bolivina scalprata retiformis* Cush., *B. scalprata mioenica* McFad., *Uvigerina pygmaea* Papp *et* Turn., *Lenticulina* sp., *Nonion commune* (d'Orb.), *Bulimina buchiana* d'Orb., *Praeglobobulina pyrula* (d'Orb.), *Elphidium* sp.

Místy písky přecházejí do vápnných pískovců až písčitých vápenců. Drobně zrnitý kalcit tvoří bazální tmel. Písky a pískovce jsou zrnitostně špatně vytríděny, stupeň opracování klastů je variabilní. Z klastické složky dominují poloostrohranná až polozaoblená zrna křemene o velikosti 0,2–0,5 mm. Z dalších litických úlomků to jsou poloostrohranná zrna draselného živce, kyselého plagioklasu a slíd. Ze slíd převažuje muskovit nad chloritizovaným biotitem. Celkově slídy zaujímají maximálně 15 % objemu v hornině a oválná zrna glaukonitu mají v hornině zastoupení přibližně do 1 obj. %. Z horninových úlomků byly zjištěny granitoidy, fylity, ruly a prachovce. Výrazně se na skladbě podílejí i zlomky schránek organismů, které zaujímají místy až 10 obj. %. Průsvitná těžká frakce se vyznačuje převahou granátu (obr. 2).

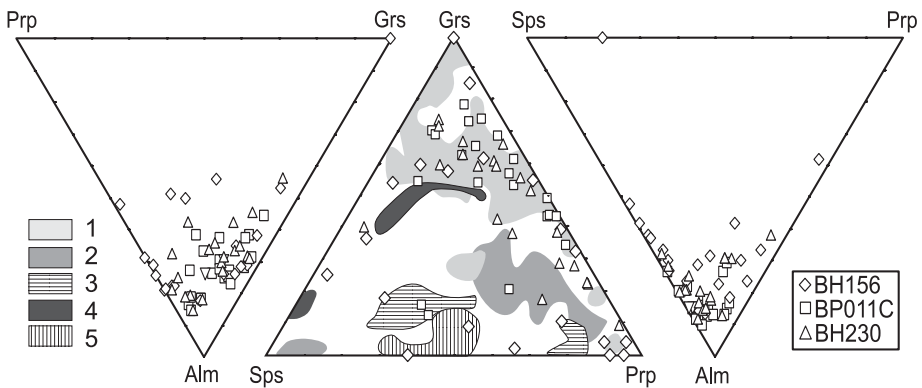
Charakteristika frakce těžkých minerálů

Ve vzorku BH156 (Bystrc, rokle) převažuje staurolit nad granátem (47,5 vs. 21,2 obj. %). Polozaoblená zrna staurolitu obsahují protažené inkluze křemene (obr. 3a). Chemické složení staurolitu je poměrně široké (Al = 17,47–18,19 apfu; $X_{Fe} = 0,82–0,89$; Zn = 0,05–0,09 apfu). Četné inkluze křemene obsahuje také poloostrohranný až automorfni granát. Chemické složení (obr. 4, tab. 2) tohoto minerálu je poměrně široké ($Alm_{31–72} Sps_{1–48} Prp_{3–46} Grs_{0–46} Adr_{0–4}$) a jedno zrno odpovídá grosuláru ($Grs_{80} Adr_{20}$). Výrazně jsou zastoupeny minerály epidotové skupiny, který často tvoří ostrohranná zrna (12,5 obj. %). Amfibol (4,4 obj. %) svým chemickým složením odpovídá magnesioblendě (Si = 6,79–6,81 apfu; $X_{Fe} = 0,81–0,86$). Mezi alumosilikáty dominuje kyanit (3,4 obj. %) a méně je zastoupen sillimanit (1 obj. %). V malém množství je přítomen také turmalín (obr. 5; Al = 5,83–6,07 apfu; $X_{Fe} = 0,34–0,41$; Na = 0,83–0,87 apfu). Rutil převažuje nad anatasem a dohromady tvoří 2,3 obj. %. Zirkon (0,3 obj. %), apatit (2,3 obj. %) a titanit (1,7 obj. %) tvoří automorfni zrna. Vysoký stupeň automorfie si zachovávají také zrna turmalínu a amfibolu. Běžné jsou framboidální pyrity postižené limonitizací.



Obr. 3. Těžké minerály (BSE obrázky): (a) granát a apatit z lokality Bystře (vzorek BH156), (b) turmalín v sedimentu z lokality Oslavany (vzorek BP011), (c) turmalín ve svoru z moravika (Padochov), (d) těžké minerály z lokality Obřany (vzorek BH230).

Fig. 3. Heavy minerals (BSE images): (a) garnet and apatite from locality Bystře (sample BH156), (b) tourmaline in sediment from locality Oslavany (sample BP011), (c) tourmaline in mica schist from Moravicum (Padochov), (d) heavy minerals from locality Obřany (sample BH230).



Obr. 4. Prp-Alm-Gr, Sps-Gr-Pr a Sps-Alm-Pr trojúhelníkový diagramy pro granáty: (1) moravikum, (2) moldanubikum, (3) svratecké krystalinikum, (4) granity brněnského masivu, (5) migmatity brněnského masivu (BH156: Bystře-Ottňangian, BP011C: Oslavany-baden, BH230: Obřany-baden).

Fig. 4. Prp-Alm-Gr, Sps-Gr-Pr and Sps-Alm-Pr ternary plots for garnet: (1) Moravicum, (2) Moldanubicum, (3) Svratka Crystalline Complex, (4) granites from Brno Massif, (5) migmatites from Brno Massif (BH156: Bystře-Ottňangian, BP011C: Oslavany-Badenian, BH230: Obřany-Badenian).

Tabulka 2. Chemické složení granátu (reprezentativní analýzy).
Table 2. Chemical composition of garnet (representative analysis).

Lok.	BP 011C	BP 011C	BH 156	BH 156	BH 156	BH 230	BH 230
SiO ₂	37,36	37,66	37,44	37,93	38,14	37,19	38,41
TiO ₂	0,13	0,08	0,00	0,18	0,02	0,00	0,18
Al ₂ O ₃	20,99	20,87	21,15	20,57	21,67	20,89	21,11
Cr ₂ O ₃	0,03	0,05	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	0,24	0,00	0,49	0,11	0,71	1,31	0,00
FeO	29,54	33,13	25,77	27,18	30,73	21,53	22,68
MnO	3,03	0,48	11,30	4,00	1,11	11,27	5,38
MgO	0,87	1,79	3,88	1,96	6,85	0,70	2,12
Na ₂ O	0,01	0,05	0,09	0,07	0,01	0,01	0,08
Y ₂ O ₃	0,04	0,02	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	8,26	6,21	0,18	8,18	1,18	8,00	10,74
Total	100,50	100,34	100,46	100,20	100,45	100,90	100,71
Si	2,993	3,000	2,992	3,000	2,980	2,976	3,000
Al	0,007	0,000	0,008	0,000	0,020	0,024	0,000
T site	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Si	0,000	0,015	0,000	0,024	0,000	0,000	0,019
Al	1,974	1,969	1,984	1,933	1,976	1,946	1,955
Cr	0,002	0,003	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001
Fe ³⁺	0,014	0,000	0,030	0,007	0,042	0,079	0,000
Ti	0,008	0,005	0,000	0,011	0,001	0,000	0,011
Y	0,002	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
B site	1,999	1,993	2,020	1,975	2,020	2,025	1,986
Fe ²⁺	1,978	2,218	1,723	1,812	2,008	1,441	1,490
Mn	0,206	0,032	0,765	0,270	0,074	0,764	0,358
Mg	0,104	0,206	0,463	0,209	0,798	0,083	0,236
Ca	0,709	0,533	0,016	0,699	0,099	0,686	0,904
Na	0,001	0,008	0,013	0,010	0,002	0,001	0,012
A site	2,998	2,997	2,979	3,000	2,980	2,975	3,000
Alm	66	74	58	59	67	48	49
Adr	1	0	1	0	2	4	0
Grs	23	18	0	24	1	19	31
Prp	3	7	16	8	27	3	8
Sps	7	1	26	9	2	26	12

Ve frakci těžkých minerálů ze vzorku BP011 (Oslavany pískovna) dominuje granát (61 obj. %), který obsahuje inkluze křemene a vzácně také ilmenitu. Zrna granátu (Alm₅₃₋₈₁ Sps₀₋₁₇ Prp₃₋₂₂ Grs₄₋₃₇ Adr₀₋₁) jsou většinou poloostrohanná až polozaoblená (vzácně také zaoblená) a často nesou známky koroze karbonátovým tmelem. Granáty vzácně srůstají s křemenem a muskovitem, což naznačuje, že patrně pocházejí ze svorů. Společně s granáty se vyskytuje kyanit (0,5 obj. %), který obsahuje inkluze rutilu. Rutil se taktéž vyskytuje ve formě samostatných zrn (1 obj. %) a někdy srůstá s ilmenitem, jehož až 0,3 mm dlouhé listovité krystaly obsahují inkluze křemene. Po granátu je nejhojnějším těžkým minerálem amfibol tvořící 26 obj. %. Amfibol je chemicky poměrně homogenní (obr. 6) a odpovídá magnesiohornblendu až tschermakitu (Si = 6,35–6,74 apfu; X_{Fe} = 0,67–0,69). Jeho polozaoblená zrna vzácně uzavírají inkluze minerálů epidotové skupiny. Epidot (1,7 obj. %) se také vyskytuje jako samostatná automorfní zrna. Ostrohanná až polozaoblená zrna staurolitu (4,8 obj. %) obsahují četné inkluze křemene. Automorfní krystalky turmalínu (2,2 obj. %) naznačují jeho krátký transport vodním tokem (obr. 3b). Někteří zrna (tab. 3) vykazují výraznou zonalnost (Al = 5,79–6,27 apfu; X_{Fe} = 0,28–0,48; Na = 0,66–0,97 apfu). Apatit (0,8 obj. %) a zirkon (0,2 obj. %) tvoří polozaoblená až oválná zrna. Dále je přítomen andalusit a sillimanit.

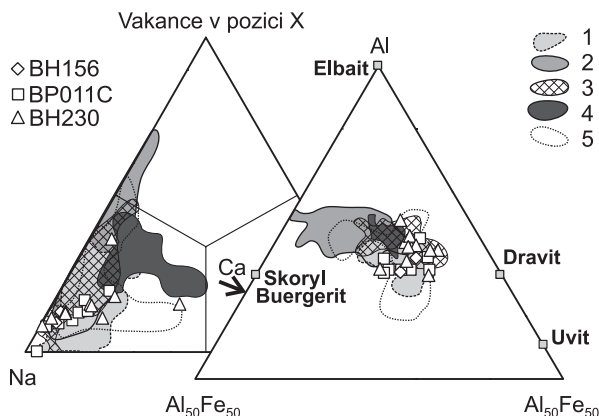
Tabulka 3. Chemické složení turmalínu (reprezentativní analýzy).

Table 3. Chemical composition of tourmaline (representative analysis).

Lok.	BP 011C	BP 011C	BH 156	BH 156	BH 230	BH 230	BH 230
SiO ₂	36,82	37,03	36,71	37,14	36,58	37,24	36,81
TiO ₂	0,81	0,76	1,10	0,48	0,98	0,77	0,94
Al ₂ O ₃	29,87	30,50	29,95	31,55	32,25	31,99	30,89
V ₂ O ₃	0,05	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03
Cr ₂ O ₃	0,06	0,05	0,04	0,00	0,08	0,08	0,08
FeO	9,29	6,03	8,54	6,65	6,70	4,22	7,38
MgO	6,18	8,32	6,85	7,32	6,28	8,16	6,90
CaO	0,46	0,51	0,22	0,21	0,28	0,11	0,89
MnO	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
ZnO	0,00	0,08	0,01	0,00	0,07	0,03	0,08
Na ₂ O	2,53	2,48	2,72	2,64	2,59	2,74	2,08
K ₂ O	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03	0,06	0,02
F	0,23	0,27	0,31	0,24	0,20	0,22	0,19
Cl	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
H ₂ O *	3,50	3,54	3,48	3,56	3,56	3,59	3,56
B ₂ O ₃ *	10,48	10,62	10,53	10,65	10,62	10,70	10,59
O=F	0,10	0,11	0,13	0,10	0,09	0,09	0,08
Total	100,27	100,13	100,40	100,41	100,19	99,87	100,37
T site							
Si ⁴⁺	6,105	6,061	6,062	6,062	5,989	6,047	6,042
Al ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000
Z site							
Al ³⁺	5,837	5,884	5,828	6,000	6,000	6,000	5,975
Mg ²⁺	0,163	0,116	0,172	0,000	0,000	0,000	0,025
Y site							
Ti ⁴⁺	0,100	0,093	0,137	0,059	0,120	0,094	0,116
Al ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,070	0,213	0,122	0,000
Cr ³⁺	0,008	0,006	0,006	0,000	0,011	0,010	0,011
V ³⁺	0,006	0,004	0,006	0,003	0,005	0,006	0,004
Fe ²⁺	1,289	0,825	1,180	0,907	0,918	0,573	1,012
Mg ²⁺	1,364	1,915	1,515	1,781	1,532	1,976	1,663
Mn ²⁺	0,004	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000
Zn	0,000	0,010	0,001	0,000	0,009	0,004	0,010
X site							
Ca ²⁺	0,082	0,089	0,039	0,037	0,049	0,018	0,156
Na ⁺	0,814	0,786	0,869	0,834	0,821	0,862	0,662
K ⁺	0,007	0,005	0,000	0,004	0,006	0,012	0,004
vak	0,097	0,120	0,092	0,125	0,124	0,106	0,178
OH	3,875	3,859	3,836	3,871	3,892	3,887	3,900
F	0,121	0,139	0,162	0,124	0,106	0,113	0,097
Cl	0,004	0,001	0,002	0,005	0,002	0,000	0,003
B ³⁺	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
catsum	18,876	18,914	18,908	18,886	18,808	18,833	18,858
ansum	31,000	31,000	31,000	31,000	31,000	31,000	31,000

* dopočteno ze stechiometrie, veškeré Fe uvažováno jako FeO

V asociaci těžkých minerálů ze vzorku BH230 (Obřany, garáže) opět dominuje polozaoblený až ostrohranný granát (80 obj. %), v tomto případě obsahující hojné inkluze křemene, někdy také ilmenitu, vzácně pak biotitu a rutilu. Chemické složení granátu (obr. 4) je poměrně široké ($\text{Alm}_{40-85} \text{Sps}_{0-26} \text{Prp}_{3-25} \text{Grs}_{2-43} \text{Adr}_{0-4}$). Poměrně hojně je také zastoupení minerálů epidotové skupiny (4,5 obj. %) a staurolitu (4,3 obj. %). Chemické složení staurolitu je dosti široké ($\text{Al} = 17,4-17,8 \text{ apfu}$; $\text{Zn} = 0,02-0,05 \text{ apfu}$; $X_{\text{Fe}} = 0,79-0,82$). Následuje apatit (3,4 obj. %), turmalín (2 obj. %) a rutil. Turmalín (obr. 5) je často nezonální nebo má nepravidelnou zonálnost či oscilační zonálnost (tab. 3; $\text{Al} = 5,9-6,6 \text{ apfu}$; $X_{\text{Fe}} = 0,22-0,49$; $\text{Na} = 0,49-0,91 \text{ apfu}$). Mezi zirkony převažují oválená zrna nad automorfními (0,8 vs. 0,3 obj. %). Dále jsou zastoupeny andalusit, kyanit a sillimanit (dohromady tvoří 1,7 obj. %) a v malém množství je přítomen titanit, brookit a chromspinel.



Obr. 5. Chemické složení turmalínu z neogenních sedimentů v trojúhelníkových diagramech Al-Al₅₀Mg₅₀-Al₅₀Fe₅₀ a vakance v pozici X-Na-Ca: (1) moravikum, (2) moldanubikum, (3) svratecké krystalinikum, (4) granity a migmatity brněnského masivu, (5) bazický pás brněnského masivu (BH156: Bystrc-ottang, BP011C: Oslavany-baden, BH230: Obřany-baden).

Fig. 5. Chemical composition of tourmaline from Miocene sediments of tourmaline in ternary plots Al-Al₅₀Mg₅₀-Al₅₀Fe₅₀ and X-site vacancy-Na-Ca: (1) Moravicum, (2) Moldanubicum, (3) Svratka Crystalline Complex, (4) granites and migmatites from Brno Massif, (5) basic belt of Brno Massif (BH156: Bystrc-Ottangian, BP011C: Oslavany-Badenian).

Diskuse

Na základě faktorové analýzy (KRYSTEK 1981, NEHYBA a LEICHMANN 1997) bylo včleněno několik zdrojových oblastí (moravikum, moldanubikum, křídové sedimenty a horniny brněnského masivu) pro neogenní sedimenty karpatské předhlubně. Relativní uniformita v chemickém složení granátu a turmalínu v sedimentech z různých částí karpatské předhlubně a z různých stratigrafických stupňů může být způsobena míšením materiálů z řady rozdílných zdrojů nebo naopak přínosem materiálu ze stabilní snosové oblasti. Sedimenty ottangu mají pestřejší asociace těžkých minerálů, což bývá vysvětlováno vyšším podílem křídových a paleogenních zvětralin (zejména hornin moravika a moldanubika) ve zdrojové oblasti těchto sedimentů. Minerální asociace mladších badenských sedimentů jsou bohatší granátem v důsledku dotace zvětralým materiálem například z čela karpatské orogenní fronty (NEHYBA a BURIÁNEK 2004).

Při vyhodnocení spektra těžkých minerálů byly použity indexy ATi (100× počet zrn apatitu/počet zrn apatitu a turmalínu) a GZi (100× počet zrn granátu/počet zrn granátu a zirkonu). Tyto indexy mají minimalizovat hydrodynamické a diagenetické efekty, které

mají vliv na složení spektra těžkých minerálů ze zdrojových hornin během sedimentace a diagenese (MORTON a HALLSWORTH 1994). Pro všechny tři lokality jsou tyto hodnoty podobné ($ATI = 2,7-6,2$; $GZi = 98,4-99,7$). Proto není nutné při srovnávání jednotlivých vzorků zohledňovat rozdílná sedimentační prostředí a diagenetické pochody (koroze zrn karbonátovým tmelem).

Studované lokality vykazují v souladu se staršími studiemi rozdíl mezi složením těžkých minerálů v sedimentech ottnangu a badenu. Avšak chemické složení minerálů a stupeň opracování klastů potvrzují, že dominoval přínos z lokálních zdrojů ležících na západ od těchto lokalit. Redepenané fosilie a větší zaoblení některých klastů těžkých minerálů v badenských sedimentech indikují přítomnost materiálu pocházejícího ze starších sedimentů. Otázkou zůstává, v jakém poměru se mísil detrit přinášený z krystalinika a redeponovaný materiál starších sedimentů a zvětralin.

Vliv starších sedimentů

V okolí lokality Oslavy (BP011C) vystupují silicifikované reliktů starých (křídových?, paleogenních?) zvětralin zachované v podobě „sluňáků“. Ty nám umožňují interpretovat složení spektra těžkých minerálů zvětralin pokrývajících Český masiv před miocénní transgresí. Tyto starší zvětralin obsahovaly spektrum těžkých minerálů, jehož složení je oproti podložním krystalickým horninám redukováno o některé minerální fáze díky specifickému typu zvětrávání (např. OTAVA 1997, OTAVA 2010). Těžké minerály těchto zvětralin byly zachovány díky odolnosti sluňáků vůči zvětrávání. Ve sluňáku z lokality Oslavy (BP011C) převažuje kyanit (48 obj. %) a po něm následuje zirkon (19 obj. %), méně jsou zastoupeny turmalín, rutil a staurolit (každý kolem 10 obj. %). Rozsah chemického složení staurolitu je podobný jako u miocénních vzorků ($Al = 17,5-17,6$ apfu; $X_{Fe} = 0,80-0,83$). Některá zrna však vykazují vyšší obsahy Zn (0,02–0,92 apfu), což je typické pro horniny svrateckého krystalinika (BURIÁNEK 2010). Také chemické složení turmalínu můžeme vysvětlit míšením materiálů z moravika, brněnského masivu a případně také svrateckého krystalinika.

Kyanity jsou typickým těžkým minerálem pro sedimenty sladkovodního cenomanu. A právě tyto sedimenty mohly představovat zdroj těžkých minerálů pro paleogenní zvětralin (OTAVA 2010). Vysoký podíl kyanitu v paleogenní silicikrustě (sluňáku) poměrně dobře koreluje s vysokými obsahy tohoto minerálu v sedimentech eggenburgu a ottnangu (např. KRÝSTEK 1981). Proto mohly být právě staré paleogenní zvětralin hlavním zdrojem materiálu pro tyto sedimenty. Tuto skutečnost také potvrzuje chemické složení turmalínu, které je ve sluňáku podobné jako ve studovaném vzorku ottnangského pisku. Během badenu, kdy vznikaly plážové písky u Oslav, však tyto zvětralin byly již patrně ze snosové oblasti z velké části erodovány.

Zmíněný sluňák leží v nadloží permských a karbonských sedimentů boskovické brázdy. Proto byl pro studium odebrán také jeden vzorek z těchto sedimentů. Jedná se o permský pískovec z nedalekého Zbyšova (BB422). V tomto sedimentu naprosto převažuje apatit (81 obj. %). V malém množství jsou přítomny turmalín, zirkon a rutil. Ve srovnání se sluňákem zcela chybí kyanit a staurolit. Oba vzorky mají velmi nízké zastoupení granátu (pod 0,5 obj. %). Chemické složení turmalínu indikuje primární zdroj materiálu z moravika, moldanubika a patrně také svrateckého krystalinika (obr. 7).

V permských sedimentech nalezneme klasty turmalínu s různým stupněm zaoblení (některá zrna jsou dokonce automorfní) a ve sluňáku převažují zaoblené a zakulacené klasty turmalínu.

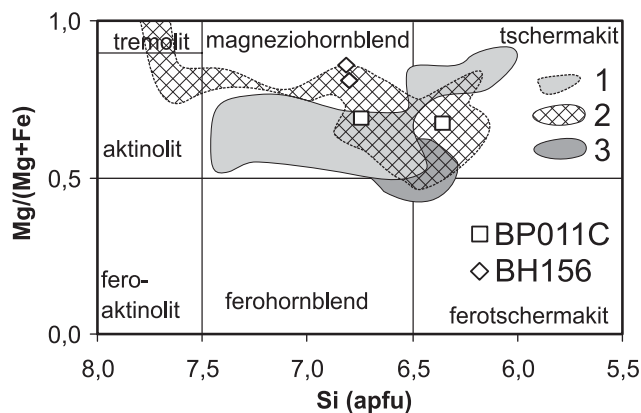
Permské sedimenty tedy pravděpodobně nepředstavovaly hlavní zdroj materiálu pro vznik studovaných sluňáků.

Permské sedimenty svým materiálem také pravděpodobně výrazně nedotovaly studovaný vzorek badenských písků u Oslav. Svědčí pro to mineralogické složení těžkého podílu sedimentů permského stáří, v němž často téměř chybí granát. Také chemické složení turmalínu není totožné, protože jsou zde zastoupena zrna pocházející pravděpodobně z granitů moldanubika (obr. 7), která v badenských pískách nebyla zastížena. Toto konsta-

tování však platí pouze pro část sedimentárního profilu kde byl vzorek odebrán. Naše zjištění není možné zobecnit pro celý profil nebo dokonce pro celou oblast.

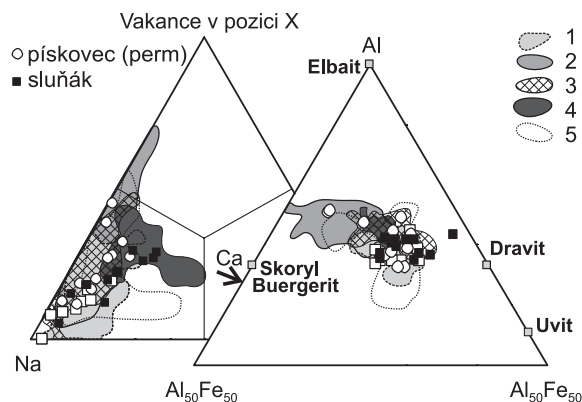
Zdrojové horniny a prostředí sedimentace

Štěrký a písky nalezené v Bystrci (BH156) patrně náležejí k sedimentům ottnangu. Svědčí pro to charakter sedimentů, jejich geologická pozice a také podobnost spektra těžkých minerálů s jinými lokalitami ottnangu v okolí (viz např. NEHYBA *et al.* 2007). Pro tyto sedimenty je typické vysoké zastoupení staurolitu (47 obj. %) a kyanitu ve srovnání s obsahem granátu (21 obj.%) a někdy také vyšší obsahy amfibolu (viz. HANŽL *et al.* 2011). Výchoz je poměrně malý, a proto je komplikované určení charakteru sedimentace. Je však pravděpodobné, že tyto petromiktní štěrky představují sladkovodní fluvialní, případně deltové sedimenty. Mezi dobře zaoblenými klasty ve štěrcích dominují horniny brněnského masivu a moravika. Sedimenty leží přímo na horninách metabazitové zóny brněnského masivu. Frakce těžkých minerálů by tedy měla odrážet charakter snosové oblasti paleotoku, v němž sedimenty vznikly. Mezi těžkými minerály dominují ty, které jsou typické pro metapelitey metamorfované v amfibolitové facii. Ideálními primárními zdrojovými horninami by byly staurolitické svory s granátem a kyanitem, tedy horniny typické zejména pro svratecké krystalinikum a moravikum. Většina granátů také svým chemickým složením odpovídá granátům ze svorů ve svrateckém krystaliniku a moraviku (obr. 4). Rozsah chemického složení granátu je poměrně široký a některá zrna pocházejí s velkou pravděpodobností z amfibolitů a vápenatosilikátových hornin (zejména granáty, které mají vysoké obsahy Grs). Chemické složení zrn turmalínu poměrně dobře koreluje s chemickým složením tohoto minerálu v metapelitech svrateckého krystalinika a moravika (obr. 5). Mezi turmalíny však chybí zrna, která mají chemické složení odpovídající turmalínům z migmatitů svrateckého krystalinika (srovnej viz NEHYBA a BURIÁNEK 2004). Tuto skutečnost můžeme interpretovat jako důkaz o převaze turmalínů pocházejících z metapelitů moravika. Chemické složení magnesianhornblendu (obr. 6) se blíží chemickému složení amfibolů z některých amfibolitů v moraviku, což poměrně dobře odpovídá výraznému zastoupení klastů bitešských ortorul ve štěrcích. Minerály epidotové skupiny, stejně jako apatit a titanit, mohou pocházet z moravika, ale jejich automorfní tvar naznačuje velmi krátký transport, a proto je pravděpodobnější lokální zdroj, tedy zvětraliny granodioritů brněnského masivu. Z metamorfovaných hornin brněnského masivu mohou pocházet také některé granáty.



Obr. 6. Klasifikační diagram Si-Mg/(Mg+Fe) pro amfiboly (LEAKE *et al.* 1997): (1) brněnský masiv, (2) moravikum, (3) svratecké krystalinikum.

Fig. 6. Classification diagram Si-Mg/(Mg+Fe) of amphiboles (LEAKE *et al.* 1997): (1) Brno Massif, (2) Moravicum, (3) Svratka Crystalline Complex.



Obr. 7. Chemické složení turmalínu ze sluňáku a permského pískovce a sedimentů paleogénu a permu v trojúhelníkových diagramech $Al-Al_{50}Mg_{50}-Al_{50}Fe_{50}$ a vakance v pozici X-Na-Ca: (1) moravikum, (2) moldanubikum, (3) svratecké krystalinikum, (4) granity a migmatity brněnského masivu, (5) bazický pás brněnského masivu (permský pískovec-BB422; Zbýšov sluňák-BB521, Balinka).

Fig. 7. Chemical composition of tourmaline from silicite and Permian sandstone and Paleogene and Permian sediments in triangular plots $Al-Al_{50}Mg_{50}-Al_{50}Fe_{50}$ and X site vacancy-Na-Ca: (1) Moravicum, (2) Moldanubicum, (3) Svratka Crystalline Complex, (4) granites and migmatites from Brno Massif, (5) basic belt of Brno Massif (Permian sandstone-BB422 Zbýšov; silicite-BB521, Balinka).

Sedimenty odkryté v pískovně u Oslavan (BP011) interpretujeme jako produkt depozice v oblasti březního pásma (příbřeží/foreshore, předbřeží/shoreface) spodnobadenského moře (NEHYBA *et al.* 2009). Sedimentace byla ovlivněna bouřkovou činností, což nejspíše ukazuje na podmínky pobřeží nechráněného systémem bariér. V literatuře je popisován „transgresivní charakter“ lokality (CICHA 1978), na který by mohla poukazovat existence tělesa jílovitého prachovce v nadloží písků. Na rozdíl od sedimentů ottnangu je minerální asociace těžkých minerálů badenských sedimentů bohatší na granát (61 obj. %). Chemické složení granátu je také mnohem méně diverzifikované. Naprostá většina zrn svým chemickým složením odpovídá granátům z metapelitů moravika. V malém množství jsou přítomny granáty, které pravděpodobně pocházejí z hornin svrateckého krystalinika a moldanubika. Toto složení granátů poměrně dobře koreluje s geologickou stavbou oblasti v nejbližším okolí studované lokality a to ve směru západním a severozápadním. Chemické složení amfibolu, který tvoří 26 obj. % průsvitné těžké frakce, naznačuje taktéž jejich zdroj v amfibolitech moravika. Chemické složení turmalínu také můžeme vysvětlit přínosem z nejbližšího okolí (horniny moravika a svrateckého krystalinika). Zajímavá je v této souvislosti přítomnost drobných lupinek grafitu v mnoha zrnech turmalínu (obr. 3b), což je typické právě pro svory z olešnické skupiny moravika (obr. 3c), která vystupuje asi 1 km sz. od studované lokality. Chemická zonálnost těchto turmalínů ze svorů je velmi podobná zonálnosti v některých zrnech ze sedimentů (jádra lemovaná nepravidelnou zónou s vyšším X_{Fe}). Krátký transport naznačuje také úplná absence opracování klastů turmalínu. V přibližně stejné vzdálenosti se vyskytují rovněž svory svrateckého krystalinika, v nichž byl zjištěn kyanit. Na základě těchto údajů můžeme předpokládat převážně lokální zdroj materiálů pro vznik studovaných příbřežních písků.

Brněnské písky na lokalitě v Obřanech (BH230) sedimentovaly v prostředí hrubozrnné delty (BUBÍK *et al.* 2006; NEHYBA 2001). Ve valounech brněnských písků nalezneme zastoupeny křemen, dále křídové silicity, křídové pískovce, ortoruly a pararuly, devonské vápence, granitoidy, horniny kulmské facie, kvarcity, jurské vápence a aplity (BUBÍK *et al.* 2006). Vyskytují se zde karbonátovým tmelem zpevněné polohy, nezávislé na vrstevnatosti. Stejně jako v předchozím případě i zde je složení granátu poměrně homogenní, většina

zrn má chemické složení odpovídající granátům z metapelitů moravika, vzácně i z moldanubika. Z moravika také patrně pochází staurolit a část turmalinů. Některé turmalíny mají nepravidelnou zonálnost, která je spíše typická pro některé hydrotermální turmalíny z brněnského masivu (obr. 3d). Z tohoto zdroje zřejmě také pochází turmalíny s vyšším obsahem Ca. V brněnském masivu mohou mít původ i minerály epidotové skupiny. Zajímavá je v této souvislosti nepřítomnost amfibolu ve studovaném vzorku. Celkově vyšší stupeň opracování některých minerálů naznačuje delší transport a možnou redepozici některých studovaných zrn. Velmi pravděpodobným vysvětlením může být též intenzivní opracování zrn dlouhodobým přemýváním v litorálním prostředí. Asociace průsvitných těžkých minerálů v sedimentech v okolí studované lokality Obrány obsahuje vysoké procento granátů (kolem 70 obj. %), místy minerály skupiny amfibolu (až 26 obj. %), zastoupení kyanitu a staurolitu nepřesahuje 4 obj. % (HANŽL *et al.* 2011). Toto kolísání v obsahu amfibolů může souviset s občasným přínosem ze zvětralin bohatých amfibolem v blízkém okolí (granodiority brněnského masivu nebo horniny metabazitové zóny).

Závěry

Studované písky a štěrky ottnangského stáří (Bystrc, rokle) reprezentují materiál transportovaný říčním tokem. Klasty ve štěrcích, stejně tak jako spektrum těžkých minerálů a jejich chemické složení, dávají podobný obraz o snosové oblasti všech těchto sedimentů. Tato oblast s velkou pravděpodobností zahrnovala primárně hlavně moravikum a brněnský masiv, přičemž paleotok přitékal ze západu nebo severozápadu. Většina zrn vykazuje poměrně krátký transport.

Písky badenského stáří u Oslavan sedimentovaly v oblasti březního pásma. Také v tomto případě byla snosová oblast relativně malá a zahrnovala patrně oblast pobřeží, případně jeho nejbližší okolí drenované drobnými toky přitékajícími od západu nebo severozápadu. Hlavním zdrojem materiálu pro sedimenty byly horniny moravika a případně také svrateckého krystalinika vystupující v blízkosti lokality. Vliv starších sedimentů a zvětralin byl v tomto případě minoritní.

Poslední lokalita (Obrány, garáže) představuje takzvané brněnské písky, které reprezentují deltové sedimenty. Snosová oblast byla mnohem rozsáhlejší a na složení se významněji podílely starší sedimenty, což potvrzují nálezy redeponovaných fosilií karpátu a ottnangu. Přesto mezi těžkými minerály převažují zrna, která pocházejí z krystalických hornin moravika a brněnského masivu.

Zjištěné údaje z okolí Brna naznačují stabilní snosovou oblast během ottnangu i badenu. Studované písky ottnangského stáří mají ve srovnání se sedimenty badenu odlišné, pestřejší, staurolitem bohaté asociace průsvitných těžkých minerálů, což patrně souvisí s vyšším podílem křídových a/nebo paleogenních zvětralin ve zdrojové oblasti během sedimentace v ottnangu. Granátem bohaté minerální asociace v píscích spodního badenu odrážejí zvýšenou erozi krystalinických jednotek na západním okraji pánve.

Poděkování

Autoři děkují S. Nehybovi a J. Šmerdovi za kritické pročtení rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou projektu ČGS 390003 (Základní geologické mapování Brněnska v měřítku 1:25 000).

LITERATURA:

BERGGREN, W. A., KENT, D. V., SWISHER, C. C., AUBRY, M. P., 1995: A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. – Society of Sedimentary Geology, Spec. Publ. 54: 129–212.

- BUBÍK, M., PETROVÁ, P. 2004: Foraminifery brněnských písků ve vrtu Černovice TGB-1. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2003, 11, 14–17.
- BUBÍK, M., NEHYBA, S., PETROVÁ, P., POSPÍŠIL, O., 2006: Miocénní sedimenty ve vrtu HVS-2 v areálu spalovny Sako a. s. v Brně-Lišní. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2005, 13, 32–35.
- BURIÁNEK, D., 2010: Interpretace chemického složení těžkých minerálů v sedimentech z řeky Hodoninky. – Geol. výzk. Mor. Slez., 17, 14–18.
- CICHA, I., 1978: Holostratotypen der Unterstufen des Badenien. Moravien. In: A. Papp, I., Cicha, J., Seneš, F., Steininger (Editors), Badenian (Moravien, Wielicien, Kosovien). – Chronostratigraphie und Neostratotypen, Miozän der Zentralen Paratethys. VEDA, Bratislava, 146–148.
- ČOPIAKOVÁ, R., 2007: Odraz změn provenience v psefitické a psamitické frakci sedimentů myslějovického souvrství. – MS, disertační práce, PŘF MU Brno., Brno.
- HANŽL, P., BALDÍK, V., BUBÍK, M., BURIÁNEK, D., DOLNÍČEK, Z., DVORÁK, I., FÜRYCHOVÁ, P., HAVLÍN, A., HRDLÍČKOVÁ, K., KOCIÁNOVÁ, L., KONEČNÝ, F., KREJČÍ, O., KREJČÍ, Z., KRUMLOVÁ, H., KRYŠTOFOVÁ, E., MÜLLER, P., PALEČEK, M., PECINA, V., PECKA, T., POUL, I., REZ, J., SKÁČELOVÁ, D., SKÁČELOVÁ, Z., SLOBODNÍK, M., ŠRÁMEK, J., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., VEČERA, J., VÍT, J., 2011: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 24-324 Brno-sever. – Závěrečná zpráva, 1–188, MS Česká geologická služba. Praha.
- KRETZ, R., 1983: Symbols for rock-forming minerals. – Amer. Mineral., 68, 277–279.
- KRYSTEK, I., 1974: Výsledky sedimentologického výzkumu sedimentů spodního badenu v karpatské předhlubni (na Moravě). – Folia Fac. Sci. Nat. Uni. Purk. Brun., 15, 8, 1–32.
- KRYSTEK, I., 1981: Použití výzkumu společenstev těžkých minerálů v sedimentárních komplexech. – Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purk. Brun., Geologia 22, 3, 101–107.
- KRYSTEK, I., TEJKAL, J., 1968: K litologii a stratigrafii miocénu jihozápadní části karpatské předhlubně na Moravě. – Folia Fac. Sci. Natur. Univer. Purk. Brun., 9, 7, 1–31.
- LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F. C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J. A., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W., YOUZHI, G., 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – Amer. Mineral., 82 (9–10), 1 019–1 037.
- MORTON, A. C., HALLSWORTH, C. R., 1994: “Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones”. – Sedimentary Geology 90, 241–256.
- NEHYBA, S., 2001: Lower Badenian coarse-grained deltas in the southern part of the Carpathian Foredeep (Czech Republic). – Abstracts of 21st Meeting of International Association of Sedimentologists, Davos, 96–97.
- NEHYBA, S., LEICHMANN, J., 1997: Statistické zpracování asociací těžkých minerálů spodního miocénu v jz. části karpatské předhlubně. – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol., 82, 51–61. Brno.
- NEHYBA, S., BURIÁNEK, D., 2004: Chemismus detritických granátů a turmalinů – příspěvek k určení provenience jemnozrnných neogénních sedimentů karpatské předhlubně. – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol., 89, 149–159.
- NEHYBA, S., OTAVA, J., BUBÍK, M., PETROVÁ, P., KIRCHNER, K., 2007: Miocénní sedimenty v Brně-Bohunicích (ubytovna Fakultní nemocnice Brno). – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2006, 14, 31–34.
- NEHYBA, S., TOMANOVÁ PETROVÁ, P., GILÍKOVÁ, H., HORÁKOVÁ, M., 2009: Příspěvek k poznání depozičního prostředí sedimentů spodního badenu na lokalitě Oslavany. – Geol. výzk. Mor. Slez., 16, 17–20.
- NOVÁK, Z., 1986: Litologická charakteristika sedimentů neogénu (vrty PMK). – MS, ČGS Brno.
- OTAVA, J., 1997: Křemenné arkózové pískovce mezi Únanovem a Tvořihrázi: Devonská klastika nebo reliktu terciérní durikrusty? – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1996, 4, 37–38.
- OTAVA, J., 2010: Těžké minerály kenozoika Brněnska - možnosti a úskalí interpretací. – Geol. výzk. Mor. Slez., 81–84.
- PETROVÁ, P., NOVÁK, Z., VALEŠ, V., 1998: Zpráva z výzkumu vrtu Černovice HVI-61. – Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1997, 5, 32.
- SCHUMACHER, J. C., 1997: Appendix 2: the estimate of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. – Can. Mineral., 35, 238–246.
- VALLOVÁ, S., 2005: Granáty v granitoidních horninách východního okraje Českého masivu. – MS, diplomová práce PŘF MU, Brno.