

**STUDIUM TĚŽKÝCH MINERÁLŮ V KLASTICKÝCH  
SEDIMENTECH KAMBRICKÉHO A DEVONSKÉHO STÁŘÍ  
NA JIHOVÝCHODNÍ MORAVĚ  
- PROVENIENCE A SEDIMENTOLOGIE**

TRANSLUCENT HEAVY MINERALS FROM SILICICLASTIC SEDIMENTS OF THE CAMBRIAN  
AND DEVONIAN AGE, SE MORAVIA, CZECH REPUBLIC, CASE STUDY  
OF PROVENANCE AND SEDIMENTOLOGY

DAVID BURIÁNEK, HELENA GILÍKOVÁ, SLAVOMÍR NEHYBA, JIŘÍ OTAVA

*Abstract:*

Buriánek, D., Gilíková, H., Nehyba, S., Otava, J. 2008: Studium těžkých minerálů v klastických sedimentech kambrického a devonského stáří na jihovýchodní Moravě - provenience a sedimentologie, *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 93, 169-184.

*Translucent heavy minerals from siliciclastic sediments of the Cambrian and Devonian age, SE Moravia, Czech Republic, Case study of provenance and sedimentology*

Lower Cambrian and Middle Devonian siliciclastic sediments (arcoses, sandstones and conglomerates) form more than 2 km thick sedimentary cover of Brunovistulicum (Precambrian crustal blocks). Several facies identifying similar depositional environments were found both in the Cambrian and Lower and Middle Devonian siliciclastics. There were repeated transitions between the terrestrial and shallow marine conditions. The chemical composition of detrital garnets and tourmalines sampled both from the Cambrian and the Devonian sediments reflect similar provenance. Metasediments, mainly gneisses and schists as the main source rocks, were identified for the oldest parts of the Lower Cambrian sedimentary successions. Higher within the Lower Cambrian successions, a gradual decrease of granitoids in the source material was proved. There is a distinct hiatus between Cambrian and Devonian sediments. The composition of translucent heavy mineral assemblage in the Devonian sediments is strongly influenced by redeposition from older (Cambrian) sediments above the hiatus.

*Key words:* South Moravia, Cambrian, Devonian, siliciclastics, sedimentary environments, heavy minerals, provenance

David Buriánek, Česká geologická služba, Leitnerova 22, Brno, e-mail: david.burianek@geology.cz

Helena Gilíková, Česká geologická služba, Leitnerova 22, Brno, e-mail: helena.gilikova@geology.cz

Slavomír Nehyba, Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, Brno, e-mail: slavek@sci.muni.cz

Jiří Otava, Česká geologická služba, Leitnerova 22, Brno, e-mail: jiri.otava@geology.cz

## 1. Úvod

Na východním okraji Českého masivu se přímo v nadloží brunovistulika nacházejí červenohnědé, ojediněle šedé až zelené siliciklastické sedimenty, které pokrývají velkou část brunovistulika. Sedimenty mohou dosahovat značných mocností (až 1700 m). V dřívějších pracích byly tyto sedimenty označovány jako sedimenty facie Old Red nebo bazální klastika.

Na základě studia macerátů z šedozelených laminovaných a masivních jílovitých prachovců se podařilo doložit spodnokambrické stáří značné části klastických sedimentů (JACHOWICZ a PŘICHYSTAL 1997, FATKA a VAVRDOVÁ 1998, VAVRDOVÁ a BEK 2001, VAVRDOVÁ *et al.* 2003). Sedimenty spodního až středního devonu dosahují mocnost zpravidla jen několika desítek metrů, což je v rozporu s dřívějšími představami (např. SKOČEK 1980, ZUKALOVÁ *et al.* 1981).

Ve studovaných sedimentech výrazně dominují psefity a psamity, zatímco aleurity tvoří většinou jen drobné polohy. V šedě zbarvených jemnozrnných psamitech a aleuritech se jen vzácně nacházejí fosilní zbytky identifikující stáří studovaného sedimentu. Z toho důvodu je možnost korelovat vzorky z různých částí studovaného území značně omezená. Přesto byly studované vzorky na základě paleontologie, petrografie a sedimentologie rozděleny do dvou skupin (tab.1). První skupinu tvoří vzorky s ověřeným nebo předpokládaným kambrickým stářím a druhou vzorky s ověřeným devonským nebo předpokládaným devonským stářím.

## 2. Metodika

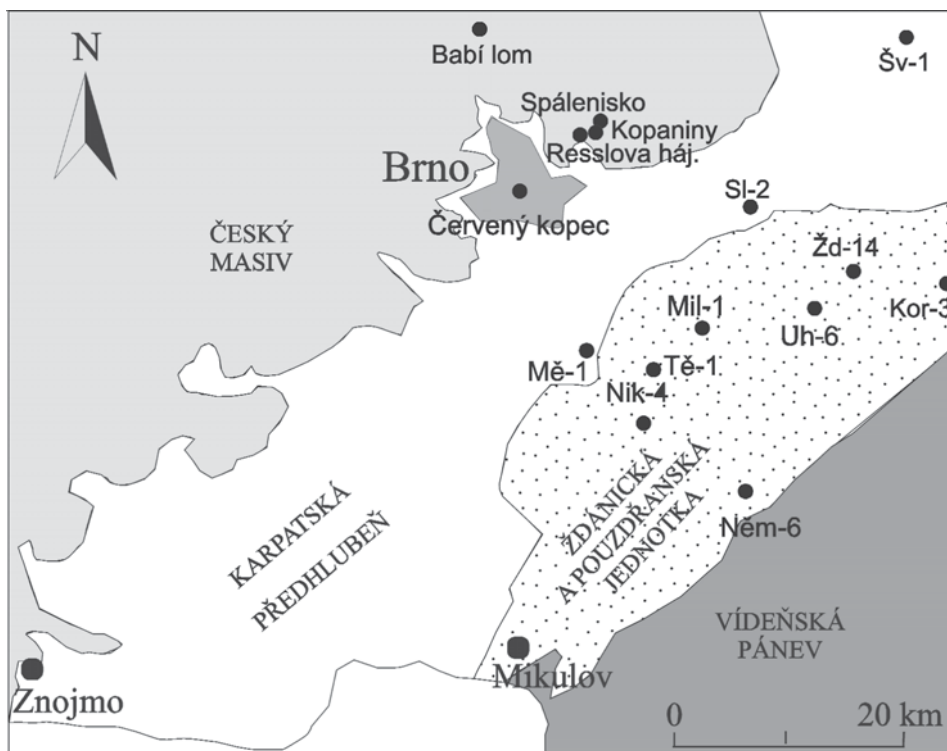
Na základě litologie a strukturních znaků byly odebrány klastické sedimenty z výchozů v blízkém okolí Brna a z celé řady vrtů na jihovýchodní Moravě (obr. 1). Sedimenty ze studovaných vrtných jader, které byly nesouvisle a nestejněmálně jádrovány, byly rozděleny do několika litofacií podle MIALLA (1996). S pomocí Markova pravidla (např. HARPER 1984) jsme se pokusili zjistit případnou vertikální organizaci facií studovaných sedimentů z vrtných jader a na jejich základě interpretovat depoziční prostředí.

V některých odebraných vzorcích byly studovány asociace průsvitných těžkých minerálů (TM). Při jejich vyhodnocení 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).

Vybraná zrna TM byly dále analyzovány pomocí elektronové mikrosondy Cameca SX-100 (operátoři R. Čopjaková, P. Sulovský) 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). 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 12O. Použité zkratky minerálu jsou podle KRETZE (1983). Kromě našich dat byly při přípravě srovnávacího diagramu z potenciálních zdrojových hornin použity již dříve publikované analýzy (ČOPJAKOVÁ 2001, LEICHMANN 1996, VALLOVÁ 2005).

## 3. Geologie, sedimentologie a depoziční prostředí

Klastické sedimenty kambrického stáří zjištěné v některých vrtech na jihovýchodní Moravě leží přímo na krystalických horninách brunovistulika. Tyto sedimenty se usazovaly během spodního kambria (např. VAVRDOVÁ *et al.* 2003). Horniny podobného petrografického charakteru, ale spodně devonského až středně devonského stáří (např. GILÍKOVÁ 2007), leží buď přímo na horninách brunovistulika anebo na sedimentech kambrického stáří (PURKYŇOVÁ *et al.* 2004). Mezi sedimenty kambria a devonu existuje obrovský časový hiát, jehož vznik se prozatím nepodařilo jednoznačně vysvětlit. Doposud ne-



Obr. 1. Pozice studovaných vzorků na jihovýchodním okraji Českého masivu.

Fig. 1. Distribution of the studied samples on the southeastern margin of Bohemian massif.

jsou spolehlivě paleontologicky doloženy sedimenty siluru ani ordoviku. Ve středním devonu siliciklastická sedimentace pozvolně přechází do karbonátové.

**Sedimenty kambrického stáří** byly zjištěny pouze z vrtného záznamu. Jedná se o vrty Měnin-1, Němčičky-6 a vrt Němčičky-3, ze kterého jsme ale nezískali žádný studijní materiál. Ve vrtech Měnin-1 a Němčičky-6 převažují arkózy a arkóзовé pískovce, méně jsou zastoupeny jílovce s prachovci a ojediněle petromiktní slepence. V sedimentech byly rozpoznány litofacie: planárně šikmo zvrstvené slepence (facie Gp) a pískovce (facie Sp), horizontálně zvrstvené pískovce (litofacie Sh) a jílovce s prachovci (litofacie Fh). V těchto nesouvisle jádrovaných sedimentech byl s pomocí Markova pravidla (např. HARPER 1984) zjištěn následující statisticky významný litofaciální sled **Gp-(St)-Sp-Sh-Fh (resp. Sp-Sh-Fh)** (GILÍKOVÁ 2007). Faciální sled Gp-Sp lze interpretovat jako produkt hrubozrnného vodního toku (divočící řeky?), kde jemnozrnnější sledy litofacie Sh a Fh představují sedimentaci v klidnějších podmínkách „mimo koryta“ (srovnej MIALL 1996, BRIDGE 2003). Místy byly v jemnozrnných sedimentech nalezeny stopy po biogenní aktivitě. Tyto stopy, společně s nálezem fosilních mikroorganismů a autigenního glaukonitu, dokládají sedimentaci v mělkomořských podmínkách. Z naznačeného litofaciálního sledu, charakteru sedimentů a jejich texturních znaků se lze domnívat, že sedimentace ve spodním kambriu pravděpodobně probíhala v interakci dvou sedimentačních prostředí (např. GILÍKOVÁ 2007). Většinou zde převládaly čistě terestrické subsystémy (prostředí divočících řek) nad mořskými, kde místy docházelo k oscilacím mořské hladiny – ?prostředí divočící delty (srovnej POSTMA 1990). Několik metrů mocné hrubozrnné slepence a pís-

kovce, jejich špatné zrnitostní vytřídění, nízký až střední stupeň opracování klastické složky ukazují na poměrně rychlou a vzdálenostně krátkou sedimentaci.

Obdobnou charakteristiku mají také některé další siliciklastické sedimenty, které bez paleontologických důkazů řadíme mezi sedimenty kambrického stáří: vrty Milešovice-1 (hl. 2954–3202,2 m), Nikolčice-4 (850–1506 m), Těšany-1 (4100,5–4257 m) a Uhřice-6 (1274–1357 m).

U sedimentů **devonského stáří** výrazně převažují masivní, velmi vyvrálé, zrnitostně špatně vytříděné, křemenné slepence litofacie Gm, ve kterých se nacházejí vložky velmi vyvrálých křemenných pískovců litofacie Sm. Pískovce, popř. slepence, přecházejí do horizontálně zvrstvených jemnozrnných pískovců (litofacie Sh), jílovců a prachovců (litofacie Fh). Z vrtných jader a ojediněle i z výchozů byl rozpoznán litofaciální sled **Gm-Sm-Sh-Fh** (GILÍKOVÁ 2007). Zjištěnou faciální asociaci lze nejspíše spojovat se sedimentací v rámci mediální nebo distální části aluviálního kužele, popř. v prostředí divočicích řek (srovnej MIALI 1996, BRIDGE 2003, RUST 1984). Jedná se o sedimenty, které byly rychlými splachy transportovány na poměrně krátkou vzdálenost. Jako produkt sedimentace v klidnějších podmínkách, sedimentace „mimo koryta“, lze považovat jemnozrnnější sledy litofacie Sh a Fh (srovnej MIALI 1996, BRIDGE 2003). Jen ojediněle byly některé jemnozrnnější facie bioturbovány (vrty Měnín-1 a Uhřice-1). Sedimentace v období spodního až středního devonu tedy probíhala převážně v terestrickém prostředí – v prostředích aluviálních kuželů nebo divočicích řek (Resslova hájenka, Spálenisko, Červený kopec, Babí lom a vrty Ždánice-14, Koryčany-3). V místech, kde sedimentační pánev byla ovlivněna oscilacemi mořské hladiny (vrty Měnín-1, Uhřice-1), se patrně siliciklastické sedimenty ukládaly v prostředí kuželových popř. divočicích delt (srovnej POSTMA 1990). Na základě minerální skladby sedimentů tzn. dominantní přítomnosti křemene s minimálním zastoupením živců a středním stupněm opracovanosti křemenných zrn se lze domnívat, že převážná část sedimentů může pocházet z již dříve uložených starších sedimentů, které byly resedimentovány do pánve v průběhu spodního až středního devonu, anebo se jedná o sedimenty, které pocházejí ze zvětralého krystalinika.

## 4. Těžké minerály

### 4.1. Složení asociace těžkých minerálů

Ze studia průsvitných těžkých minerálů se zjistilo, že ve všech studovaných vzorcích dominují stabilní a ultrastabilní těžké minerály, jejich zastoupení se výrazně mění (obr. 2). Tyto rozdíly souvisejí se stratigrafickou pozicí a stářím sedimentu. Vzorky, u kterých známe nebo předpokládáme kambrické stáří, mají poměrně stabilní minerální asociaci, která se vyznačuje zastoupením zirkonu (20–45 mod. %), granátu (23–37 mod. %), turmalínu (5–23 mod. %) a apatitu (0–25 mod. %). Z ostatních minerálů je ještě poměrně často přítomen amfibol (max. 8 mod. %). Naproti tomu vzorky považované za devonské jsou více variabilní pokud jde o složení těžkých minerálů. Vždy je zastoupen zirkon (22–79 mod. %) a turmalín (1–43 mod. %), ostatní minerály vystupují jen v některých vzorcích (tab. 1): granát (0–12 mod. %), rutil (0–13 mod. %), apatit (0–28 mod. %) a amfibol (0–20 mod. %). V některých vzorcích mohou být přítomny také další minerály a to maximálně do 10 mod. % (rutil, pyroxen, kyanit, andalusit, monazit, minerály epidotové skupiny, chromit, titanit).

Rozdíly v obsazích zirkonu a granátu umožňují oddělit sedimenty kambria a devonu. Tyto změny znázorňuje diagram GZi-ATi (MORTON a HALLSWORTH 1994), který poměrně dobře zobrazuje změny v horninovém složení snosové oblasti (obr. 2). Na základě srovnání stratigrafické pozice vzorků a složení asociace těžkých minerálů se podařilo vyčlenit v obou stratigraficky odlišných sedimentech několik skupin. **Skupina K1** obsahuje vzorky kambrického stáří a je reprezentována čtyřmi vzorky (vrty Měnín-1 (2039 m); Uhřice-6,

Tabulka. 1. Asociace těžkých minerálů ve studovaných vzorcích.

Table 1. Heavy minerals assemblage in studied samples.

minerály / označení vzorku	stáří zjištěné nebo předpokládané	zirkon	granát	turmalín	rutil	apatit	amfibol	ky+and+st	ostatní
Měnin-1 (1370 m)	kambrium	42,0	27,5	9,3	2,8	10,0	7,5	0,0	1,0
Měnin-1 (2039 m)	kambrium	20,0	37,4	19,0	1,6	18,2	2,2	0,8	0,8
Němčičky-6	kambrium	44,7	31,7	15,7	1,7	0,0	2,7	1,0	2,7
Milešovice-1	kambrium	27,5	22,5	20,0	2,5	25,0	2,5	0,0	0,0
Nikolčice-4	kambrium	41,0	27,4	12,6	6,4	3,2	7,2	1,0	1,2
Těšany-1	kambrium	25,5	25,3	23,0	2,5	21,8	0,0	0,3	1,8
Uhrčice-6	kambrium	36,3	27,2	4,8	3,3	18,5	6,4	0,8	3,0
Měnin-1 (468 m)	devon	75,0	10,0	10,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Slavkov-2	devon	51,0	6,7	22,7	7,3	2,0	6,7	1,7	2,0
Švábenice-1	devon	57,3	1,8	20,0	2,5	5,0	4,0	1,0	8,5
Koryčany-3	devon	79,0	0,0	0,5	9,0	8,5	0,5	0,0	2,5
Ždánice-14	devon	28,7	9,7	22,0	10,0	0,0	20,4	0,0	9,2
Resslerova hájenka	devon	55,0	4,6	6,0	2,0	28,4	0,0	0,0	4,0
Spálenisko	devon	75,0	2,0	6,0	4,0	10,0	0,5	2,5	0,0
Kopaniny	devon	50,4	0,0	43,0	1,2	1,2	2,4	0,0	1,8
Červený kopec	devon	78,0	3,0	3,0	13,0	2,0	0,0	1,0	0,0
Babí lom	devon	60,5	9,5	2,5	13,0	13,0	0,0	0,0	1,5

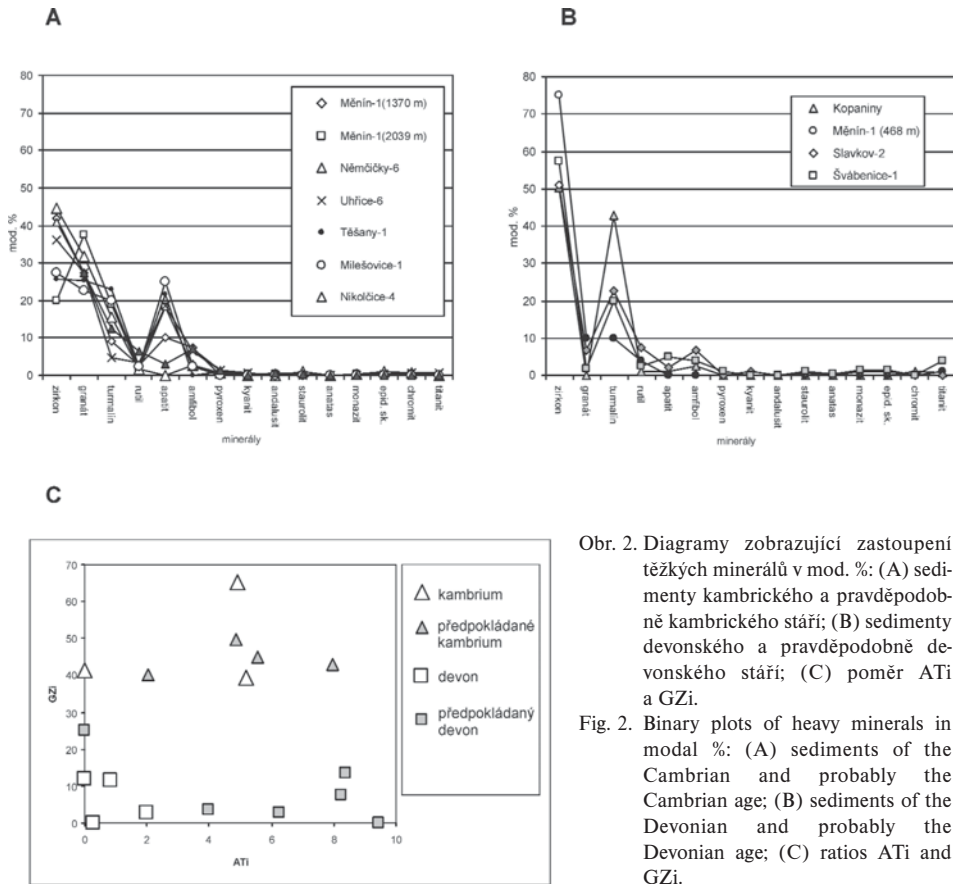
Těšany-1, Milešovice-1). Pro tyto vzorky je typické, že index  $GZi > 42$  a  $ATi > 4,8$ . **Skupina K2** také obsahuje vzorky kambrického stáří (vrty Měnin-1 (1370 m), Němčičky-6, Nikolčice-4), ale je charakterizována  $GZi$  indexem kolem 40 a  $ATi < 5,2$ . Další 3 skupiny jsou vyčleněny pro vzorky devonského stáří. **Skupina D1** (vrt Koryčany-3, Spálenisko, Červený kopec, Babí lom) má nízký index  $GZi < 14$  a vyšší hodnoty indexu  $ATi > 4$ . **Skupina D2** obsahuje vzorky klastických sedimentů devonského stáří v asociaci s devonskými vápenci (Kopaniny, vrty Měnin-1 (468 m), Slavkov-2, Švábenice-1). Vzorky Kopaniny, Slavkov-2, Švábenice-1 tvoří drobné polohy ve vápencích devonského stáří a vzorek z vrtu Měnin-1 zase polohu při bázi karbonátové sedimentace. Na rozdíl od předchozí skupiny jsou zde hodnoty obou zmíněných indexů nízké  $GZi < 12$  a  $ATi < 2$ . Zbývající dva vzorky tvoří **skupinu D3** (Resslerova hájenka a Ždánice-14). Svou asociací TM se od ostatních vzorků devonského stáří liší. Charakteristické jsou pro ně vyšší obsahy turmalínu (6–22 %) v kombinaci s vysokými obsahy apatitu (28 %) nebo amfibolu (20 %).

#### 4.2. Chemické složení živců, epidotů, amfibolů a pyroxenů

Plagioklasy v sedimentech kambrického i devonského stáří mají nízkou bazicitu, která se pohybuje v rozmezí  $Ab_{94-100}$ .

Zastoupení pyroxenů ve všech studovaných sedimentech je velmi nízké (maximálně 2 mod. %). Analyzován byl pouze pyroxen v devonském sedimentu z vrtu Ždánice-14 (předpokládaný devon). Jedná se o klinopyroxen, který svým složením odpovídá diopsidu ( $X_{Fe} = 0,3$ ,  $Al = 0,08$  apfu,  $Na = 0,04$  apfu).

Amfiboly jsou ve všech studovaných vzorcích téměř vždy přítomné, avšak jen v malém množství (většinou do 8 mod. % pouze jeden vzorek má obsahy kolem 20 mod. %). V sedimentech devonského i kambrického stáří mají většinou podobné chemické složení. Odpovídají magnesiohornblendu méně často pargasitu a edenitu ( $Si = 5,9-7,9$  apfu.,  $Fe/(Fe+Mg) 0,51-0,19$ ). Kromě toho vzorky kambrického stáří obsahují amfibol aktinolitického složení a jedna analýza ze sedimentů devonského stáří spadá do pole tschermakitu. Epidoty ze vzorků devonského stáří mají obsahy pistacitové komponenty v rozmezí 20–31 mol. %.



Obr. 2. Diagramy zobrazující zastoupení těžkých minerálů v mod. %: (A) sedimenty kambrického a pravděpodobně kambrického stáří; (B) sedimenty devonského a pravděpodobně devonského stáří; (C) poměr ATi a GZi.

Fig. 2. Binary plots of heavy minerals in modal %: (A) sediments of the Cambrian and probably the Cambrian age; (B) sediments of the Devonian and probably the Devonian age; (C) ratios ATi and GZi.

### 4.3. Chemické složení granátu a turmalínu

Mezi jednotlivými vzorky byly zaznamenány rozdíly v chemickém složení granátů.

U granátů ze vzorků s ověřeným kambrickým stářím naprosto převažují granáty almandin-spessartinové (tab. 2). Granáty s převahou almandinové komponenty ( $Alm_{50-80}$ ) tvoří 66 % studovaných zrn. Druhou nejvýraznější komponentou v granátech je spessartin. Granáty s obsahem ( $Sps_{50-70}$ ) tvoří 9 % ze studovaných zrn. Většina granátů má obsahy pyropové komponenty nízké a to pod 20 mol. %. Pouze 22 % granátů má obsahy vyšší než 20 mol. % této komponenty ( $Prp_{20-49}$ ). Pouze 4 % granátů mají obsahy Grs komponenty nad 20 mol. %. Velmi podobné chemické složení mají také granáty ze vzorků, u nichž se kambrické stáří předpokládá. Granáty s převahou almandinové komponenty ( $Alm_{50-78}$ ) tvoří 79 % studovaných zrn. Granáty s obsahem ( $Sps_{50-75}$ ) tvoří 8 % ze studovaných zrn.

Chemické složení granátů ze vzorků ze spodního a středního devonu se od kambrických poněkud liší. Opět jsou výrazně zastoupeny granáty almandin-spessartinové. Zrna s převahou almandinové komponenty, ale většinou představují pouze do 40 % studovaných zrn. Granáty s  $Grs_{10-36}$  jsou zastoupeny v množství zhruba 78 % studovaných zrn granátů. Granáty s obsahem  $Sps$  komponenty v rozmezí 50–83 mol. % tvoří 18 % studovaných zrn. Většina granátů má obsahy pyropové komponenty pod 20 mol. %. Z celé skupiny se poněkud vymyká vzorek z vrtnu Ždánice-14, kde naprosto převažují almandin-grossularové granáty ( $Alm_{52-80}$   $Grs_{2-32}$   $Prp_{2-17}$   $Sps_{1-18}$ ).

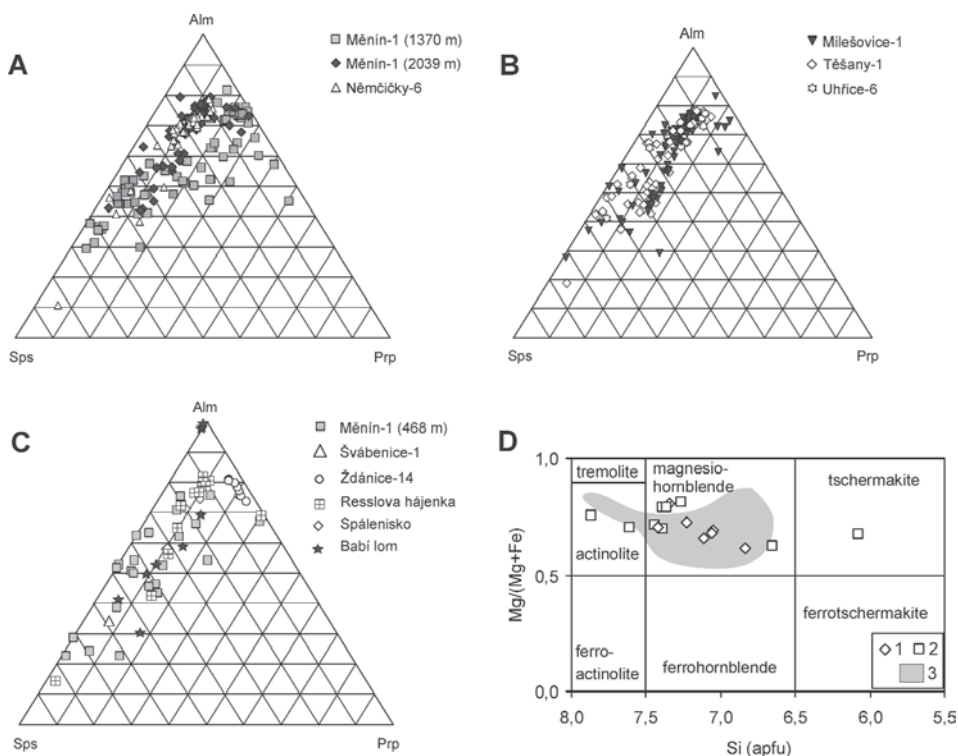
Tabulka 2. Chemické složení granátu z pískovců.

Table 2. Chemical composition of garnets from sandstones.

lokalita	Mě-1 (1370m)	Mě-1 (2039m)	Mě-1 (2039m)	Něm-6	Něm-6	Mě-1 (468 m)	Mě-1 (468 m)	Mil-1	Mil-1	Tě-1	Tě-1
SiO <sub>2</sub>	38,64	37,14	37,35	37,25	36,80	37,13	37,37	38,17	37,07	37,39	37,30
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,00	0,01	0,03	0,06	0,01	0,13	0,00	0,12	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,93	21,25	21,35	20,78	20,31	20,38	20,43	21,09	20,44	20,72	20,69
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,00	0,00	0,25	0,76	0,63	0,80	0,64	0,70	0,31	0,42
FeO	24,33	30,52	26,91	30,49	27,01	24,96	18,94	27,70	22,33	30,30	30,90
MnO	0,18	7,70	10,62	6,91	11,29	10,37	17,39	4,77	13,55	6,12	5,52
MgO	4,09	2,28	2,56	2,59	2,41	2,58	3,63	6,09	1,96	3,14	3,05
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,15	0,08	0,24	0,00	0,00	0,10	0,28	0,32
CaO	10,96	1,04	1,03	1,65	1,05	3,17	1,35	1,89	3,84	1,62	1,82
Celkem	99,87	99,98	99,88	100,18	99,90	99,53	100,08	100,35	100,10	99,91	100,01
Si <sup>4+</sup>	3,02	2,99	3,00	3,00	2,99	3,01	3,00	3,00	3,00	3,01	3,01
P <sup>5+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti <sup>4+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T - site	3,02	2,99	3,00	3,01	3,00	3,01	3,00	3,00	3,00	3,01	3,01
Al <sup>3+</sup>	1,93	2,02	2,02	1,98	1,95	1,95	1,93	1,95	1,95	1,97	1,96
Cr <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>3+</sup>	0,03	0,00	0,00	0,02	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03
Ti <sup>4+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
B - site	1,97	2,02	2,02	2,00	2,00	2,00	1,99	1,99	2,00	2,00	2,00
Fe <sup>2+</sup>	1,59	2,08	1,85	2,06	1,84	1,69	1,27	1,82	1,51	2,04	2,08
Mn <sup>2+</sup>	0,01	0,53	0,72	0,47	0,78	0,71	1,18	0,32	0,93	0,42	0,38
Mg <sup>2+</sup>	0,48	0,27	0,31	0,31	0,29	0,31	0,43	0,71	0,24	0,38	0,37
Ca <sup>2+</sup>	0,92	0,09	0,09	0,14	0,09	0,27	0,12	0,16	0,33	0,14	0,16
Na <sup>+</sup>	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
A - site	3,00	2,98	2,97	2,98	3,01	2,99	3,01	3,01	3,00	2,98	2,98
Alm	52,28	70,07	62,30	68,96	61,19	56,42	41,73	60,14	49,86	68,59	69,81
Andr	1,72	0,00	0,00	0,76	2,34	1,92	2,43	1,89	2,13	0,95	1,28
Grs	29,34	3,01	2,91	3,96	0,60	7,19	1,45	3,43	9,01	3,75	3,99
Prp	16,16	9,23	10,33	10,42	9,78	10,47	14,61	23,91	7,91	12,68	12,30
Sps	0,41	17,68	24,39	15,84	25,99	23,88	39,77	10,63	31,09	14,03	12,62
Uv	0,09	0,01	0,07	0,05	0,10	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00

Při studiu chemického složení turmalinů byly zaznamenány rozdíly mezi vzorky různého stáří, avšak nejsou tak velké jako rozdíly ve složení granátu. Na základě studia materiálů z 18-ti vzorků můžeme konstatovat určité odlišnosti mezi vzorky kambrického a devonského stáří.

Většina analyzovaných zrn turmalínu odpovídá skoryl-dravitu až hliníkem bohatému skoryl-dravitu (obr. 5). Ve vzorcích devonského stáří se objevily i turmalíny s vysokým obsahem uvitové komponenty. V pozici X převažuje sodík. Podle klasifikace HENRY a GUIDOTTI (1985) má většina zrn chemické složení odpovídající turmalinům z Li chudých pegmatitů a aplitů a také Al bohatých nebo chudých metapelitů (tab. 3).



Obr. 3. Trojúhelníkové diagramy Sps-Alm-Prp pro granáty z pískovců (A-C): (A) kambrického stáří; (B) předpokládaného kambrického stáří; (C) devonského a předpokládaného devonského stáří. Klasifikační diagram (LEAKE *et al.* 1997) pro amfiboly (D): 1 - sedimenty devonského a předpokládaného devonského stáří, 2 - sedimenty kambrického a předpokládaného kambrického stáří, 3 - amfiboly z hornin metabazitové zóny.

Fig. 3. Ternary plots Sps-Alm-Prp of garnets from sandstones (A-C): (A) sediments of the Cambrian age, (B) sediments of probably the Cambrian age, (C) sediments of the Devonian and probably the Devonian age. Classification diagram (LEAKE *et al.* 1997) of amphiboles (D): 1 - sediments of the Devonian and probably the Devonian age, 2 - sediments of the Cambrian and probably the Cambrian age, 3 - amphibole of the rocks from metabasite zone.

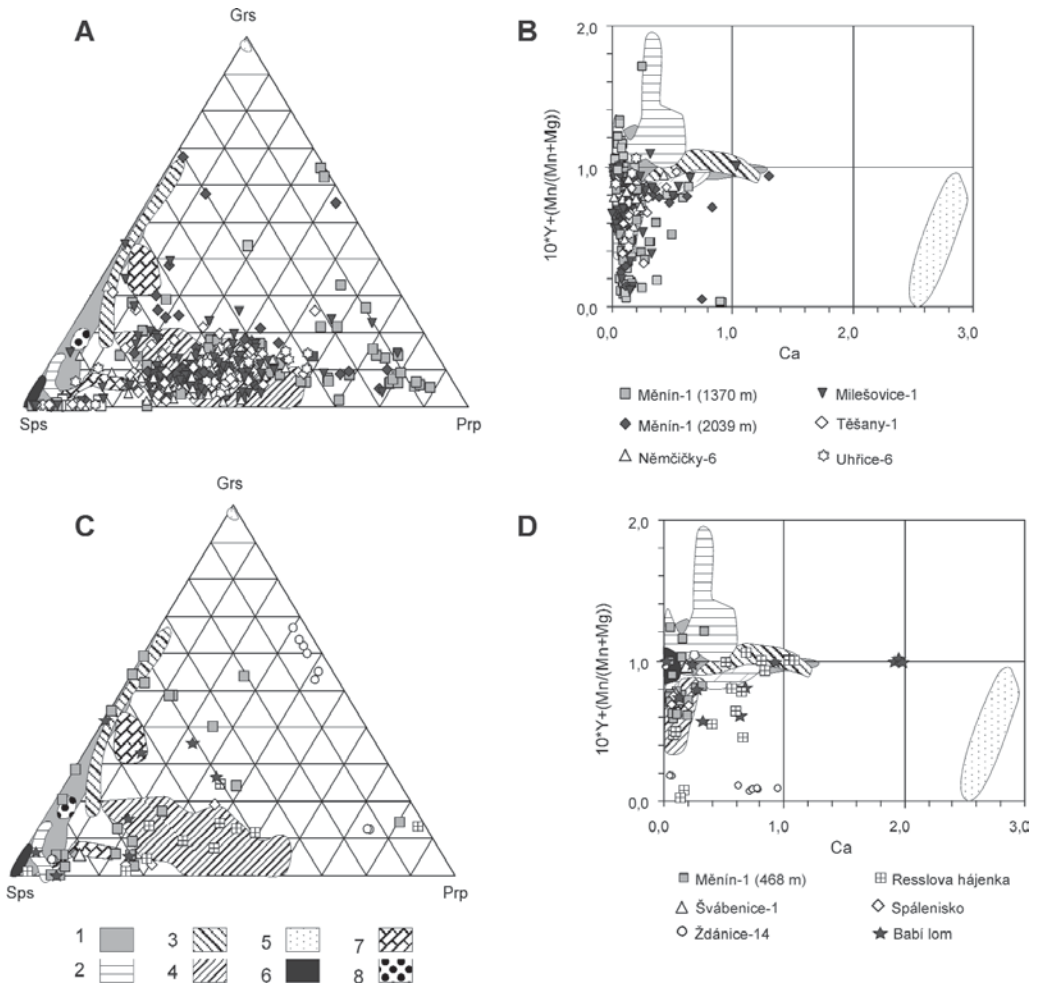
#### 4.4. Typologie zirkonů

V celkovém množství studovaných vzorků je množství automorfních zirkonů variabilní. V sedimentech kambrického stáří se množství automorfních zirkonů pohybuje okolo 50–60 mod. %. V sedimentech devonského stáří je již zastoupení automorfně omezených zirkonů výrazně odlišné. Nejnižší je ze vzorku z devonské části vrtu Měnín-1 (25 mod. %) a nejvyšší je od Resslovy hájenky (75 mod. %). Všeobecně lze konstatovat, že množství automorfně omezených zirkonů je závislé na stupni vyzrálosti sedimentu.

V křemenném pískovci ze sedimentů devonského stáří jsou automorfně omezená zrna zastoupena v menším množství (např. vrt Měnín-1 (devonská část), Červený kopec) než u arkóz a arkózovitých pískovců od Resslovy hájenky a z vrtů Němčičky-6 a Měnín-1 (kambrická část).

V sedimentech kambrického stáří dominují zirkony S24 a S23 (podle Pupinovy klasifikace, PUPIN 1980), v podřadném množství to jsou typy S12 a S13. Ve vzorcích devon-





Obr. 4. Trojúhelníkové (Sps-Grs-Prp) a binární diagramy ( $10xY(Mn/(Mn+Mg))$  vs. Ca (apfu)) pro granáty z pískovců a granáty z potenciálních zdrojových hornin: (A-B) pro sedimenty kambrického a předpokládaného kambrického stáří, (C-D) pro sedimenty devonského a předpokládaného devonského stáří: 1 - granitoidy dyjský masiv, 2 - granit brněnský masiv, 3 - rhyolity metabazitové zóny, 4 - ruly a migmatity a restitické granity z granitoidů brněnského masivu, 5 - vápenatosilikátové horniny z pláště brněnského masivu, 6 - granity z valounů hádského slepence, 7 - granitoidy z okolí Olomouce, 8 - pegmatity z žil brněnského masivu. Data ze zdrojových hornin: VALLOVÁ 2005, KRMIČEK 2006, LEICHMANN 1996, ČOPIJKOVÁ 2001.

Fig. 4. Ternary (Sps-Grs-Prp) and binary plots ( $10xY(Mn/(Mn+Mg))$  and Ca (apfu)) of garnets from sandstones and garnets from probable source rocks: (A-B) sediments of the Cambrian and probably the Cambrian age, (C-D) sediments of the Devonian and probably the Devonian age: 1 - granitoides of the Thaya massif, 2 - granite of the Brno massif, 3 - rhyolites of metabasite zone Brno massif, 4 - gneisses and migmatites from granites of the Brno massif, 5 - calc-silicate rocks from mantle of the Brno massif, 6 - granites from the Hády conglomerate, 7 - granitoides surroundings of the Olomouc, 8 - pegmatites from veins of the Brno massif. Data from source rocks: VALLOVÁ 2005, KRMIČEK 2006, LEICHMANN 1996, ČOPIJKOVÁ 2001.

Tabulka 3. Chemické složení turmalínu z pískovců.

Table 3. Chemical composition of tourmaline from sandstones.

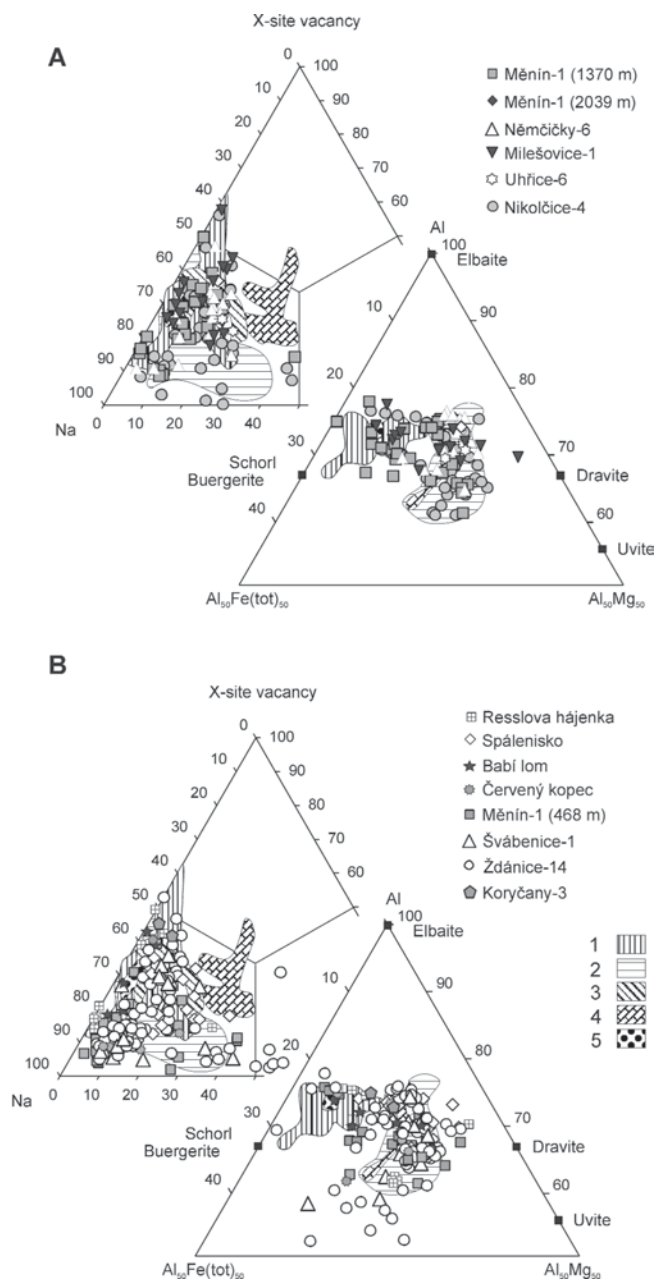
lokalita	Mě-1 (1370m)	Mě-1 (1370m)	Mě-1 (468 m)	Mě-1 (468 m)	Něm-6	Něm-6	Šv-1	Šv-1	Šv-1	Mil-1	Mil-1
SiO <sub>2</sub>	35,61	36,17	36,77	36,99	36,30	36,67	36,86	36,34	36,72	36,33	36,85
TiO <sub>2</sub>	0,43	1,09	0,78	0,24	0,81	0,70	0,67	0,42	0,31	0,79	1,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,57	33,07	29,25	30,30	34,14	34,59	34,44	32,29	32,61	34,46	32,39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,08	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07	0,00	0,00	0,05	0,03
FeO	12,65	8,18	9,36	9,93	6,52	6,30	6,19	7,83	10,19	6,61	7,77
MgO	3,57	5,37	7,25	6,09	5,58	6,09	5,97	6,49	4,77	5,59	5,92
CaO	0,42	0,95	1,53	0,18	0,63	0,91	0,64	0,86	0,19	0,83	0,65
MnO	0,16	0,01	0,04	0,07	0,06	0,05	0,00	0,00	0,11	0,06	0,09
Na <sub>2</sub> O	2,06	1,72	1,81	2,79	1,75	1,72	1,74	1,82	2,22	1,64	1,88
K <sub>2</sub> O	0,07	0,07	0,03	0,02	0,05	0,06	0,00	0,04	0,00	0,06	0,04
F	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
H <sub>2</sub> O*	3,58	3,67	3,63	3,63	3,68	3,74	3,72	3,66	3,66	3,70	3,54
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10,37	10,65	10,54	10,52	10,67	10,83	10,79	10,59	10,62	10,73	10,74
O=F	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Celkem*	100,51	101,03	100,99	100,74	100,25	101,70	101,10	100,34	101,40	100,84	101,15
T: Si <sup>4+</sup>	5,966	5,902	6,066	6,113	5,911	5,885	5,936	5,962	6,012	5,885	5,966
Al <sup>3+</sup>	0,034	0,098	0,000	0,000	0,089	0,115	0,064	0,038	0,000	0,115	0,034
B <sup>3+</sup>	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Z: Al <sup>3+</sup>	6,000	6,000	5,688	5,901	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Mg <sup>2+</sup>	0,000	0,000	0,312	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y: Al <sup>3+</sup>	0,201	0,262	0,000	0,000	0,463	0,428	0,472	0,206	0,293	0,464	0,146
Ti <sup>4+</sup>	0,054	0,133	0,097	0,029	0,100	0,084	0,081	0,052	0,038	0,096	0,127
Cr <sup>3+</sup>	0,002	0,011	0,001	0,001	0,004	0,005	0,008	0,000	0,000	0,006	0,004
Mg <sup>2+</sup>	0,892	1,306	1,470	1,401	1,355	1,456	1,432	1,588	1,164	1,349	1,428
Mn <sup>2+</sup>	0,023	0,001	0,005	0,010	0,008	0,007	0,000	0,000	0,015	0,008	0,013
Fe <sup>2+</sup>	1,772	1,116	1,292	1,372	0,888	0,845	0,834	1,074	1,395	0,896	1,052
sum Y, Z	8,943	8,829	8,865	8,813	8,818	8,826	8,828	8,920	8,904	8,819	8,770
X: Ca <sup>2+</sup>	0,076	0,166	0,271	0,031	0,110	0,157	0,111	0,150	0,034	0,144	0,113
Na <sup>+</sup>	0,671	0,544	0,578	0,894	0,554	0,537	0,543	0,579	0,705	0,515	0,589
K <sup>+</sup>	0,015	0,014	0,006	0,004	0,011	0,012	0,000	0,009	0,000	0,012	0,008
vakance	0,239	0,276	0,146	0,071	0,324	0,295	0,346	0,262	0,261	0,329	0,289
OH <sup>-</sup>	4,000	3,993	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,824
F	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,176
catsum	18,705	18,553	18,785	18,855	18,494	18,531	18,482	18,658	18,656	18,490	18,481

\* vypočteno ze stechiometrie; calculated by stoichiometry.

ského stáří také dominují zirkony S24 a S23, ale výrazně zde jsou oproti sedimentům kambrického stáří zastoupeny typy S7 a S8.

## 5. Diskuse

Sedimenty kambrického stáří a pravděpodobně kambrického stáří jsou zachovány pouze jako nepatrné zbytky vrtných jader v několika vrtech. Na základě sedimentárních texturních znaků spolu s výsledky litofaciální analýzy se lze domnívat, že větší část sedimentů se ukládalo v terestrickém prostředí, pravděpodobně v prostředích divočicích řek.



Obr. 5. Trojúhelníkové diagramy Fe - Mg - Al a Na+K - Ca - X<sup>□</sup> pro turmalin z pískovců: (1 - rhyolity brněnský masiv, 2 - metabazitová zóna brněnského masivu, 3 - pegmatity brunovistulika, 4 - ruly brunovistulika, 5 - hádský slepenec). Data ze zdrojových hornin: FILIP *et al.* 2003, KRMÍČEK 2006.

Fig. 5. Ternary plots Fe - Mg - Al and Na+K - Ca - X<sup>□</sup> for tourmalines from sandstones (1 - rhyolites from the Brno massif, 2 - metabasite zone of Brno massif, 3 - pegmatites from the Brunovistulicum, 4 - gneisses and migmatites from the Brunovistulicum, 5 - Hády conglomerate). Data from source rocks: FILIP *et al.* 2003, KRMÍČEK 2006.

Nelze také vyloučit prostředí distální popř. mediální části aluviálního kužele. V těchto sedimentech se také výrazně projevila sedimentace v mělkomořském prostředí, především v těch částech sedimentárního cyklu, kde se nacházejí stopy po vrtavých organismech anebo mořské mikroorganismy. Pravděpodobně se jedná o prostředí divočících delt. Spolehlivě jsou tyto sedimenty zachovány ve vrtech Němčičky-6 a Měnín-1.

Ve spodním až středním devonu byly zjištěny, obdobně jako u sedimentů kambrického stáří, dvě sedimentační prostředí, terestrické a mořské. Větší část zrnitostně špatně vytržiděných slepenců a pískovců se ukládala v terestrickém prostředí, v prostředí mediálních až distálních částí aluviálních kuželů, popř. divočících řek. Převážně se jedná o velmi vyzrálé sedimenty, které mohly být redeponovány z již dříve uložených sedimentů anebo derivovány z hluboce zvětralého krystalinika. Část sedimentů, především z vrtného záznamu, byla postižena bioturbací mořských organismů. Tyto sedimenty se pravděpodobně ukládaly v prostředí kuželových popř. divočících delt.

Depoziční systémy, jak v kambriu tak v devonu, poměrně citlivě reagovaly na relativní změny mořské hladiny. Absence souvislejšího rostlinného pokryvu a možný (nikoliv nutně) výraznější reliéf představovaly vhodné podmínky pro rychlý a poměrně krátký transport velkého množství detritického materiálu do pánve.

Sedimentologická studia bez průkazných paleontologických výsledků u sedimentů neznámého stáří nerozlišila sedimenty kambria a předpokládaného kambria od sedimentů devonu a předpokládaného devonu. Poměrně dobře oddělily sedimenty kambria od devonu rozdíly v obsazích zirkonu a granátu vyjádřené indexy GZi-ATi (MORTON a HALLSWORTH 1994). Tyto rozdíly patrně souvisí se změnami petrografického složení hornin ve snosové oblasti v důsledku postupující eroze. Nemalý vliv patrně měl i stupeň zvětrání zdrojových hornin. MORTON a HALLSWORTH (1999) upozorňují, že index ATi se může snižovat během zvětrávání a index GZi během pohřbení a diagenese (v důsledku rozpouštění granátu). Na povrchu některých studovaných zrn granátu jsou dokonce stopy po leptání patrné. Protože však GZi je nejvyšší v sedimentech s nejhlubším pohřbením, předpokládáme, že tento index nebyl diagenetickým rozpouštěním granátu výrazně ovlivněn.

Chemické složení granátů a turmalínů a morfologie zirkonů ze studovaných vzorků byly srovnány s analýzami minerálů z povrchových výchozů brněnského masivu. Na základě těchto dat se domníváme, že potenciálním (avšak ne nutně jediným) zdrojem byly horniny brunovistulika. Tento výsledek dobře koresponduje s tím, že tato klastika leží přímo na horninách brunovistulika.

Zirkony S23 a S24 podle grafu typologických evolučních trendů (PUPIN 1980) odpovídají zirkonům z I-typových granitů a zirkony S7, S8, S12 a S13 S-typovým granitům. Srovnáním četnosti zastoupení jednotlivých typů zirkonů ze studovaných lokalit a z potenciálních zdrojových hornin brněnského masivu bylo zjištěno, že určitá podobnost se objevuje pouze s některými typy granitoidů. Jedná se o typy granitů, které pocházejí ze západní části brněnského masivu (okolí Ostopovic a Střelic, LEICHMANN 1996 a pers. comm.), které se z ~25 % překrývají. Zajímavé je, že jen ojediněle se v některých typech granodioritů nacházejí zirkony typu S7, S8, S12 a S13, které jsou charakteristické pro S-typové granity. Naopak ve studovaných klastických sedimentech se vyskytují v hojném množství. Jedním z potenciálních zdrojů mohou také být S-typové turmalín-muskovitické granity s granátem, které byly zastíženy ve valounech v hádkém slepenci (KRMÍČEK 2006).

Většina granátových zrn ze sedimentů kambrického stáří má chemické složení podobné jako chemické složení granátů z rul a migmatitů z metamorfního pláště brněnského masivu. Mnohem méně je granátů, které svým chemickým složením odpovídají granátům z granitoidů brněnského masivu. Část granátů nemůžeme přiřadit k žádné srovnávací skupině hornin (obr. 4). Chemické složení granátu ze sedimentů spodního a středního devonu většinou opět spadá do pole granátů z pláště brněnského masivu.

Avšak výrazně se zde také projevuje granát, který svým chemickým složením odpovídá granitům brněnského masivu a ryolitům z metabazitové zóny brněnského masivu (viz obr. 4). Také se ve studovaném souboru vyskytuje celá řada zrn s atypickým chemickým složením granátů, které nejsou z dnešních povrchových výchozů brunovistulika známe. Například granáty bohaté na pyropovou komponentu ( $\text{Prp}_{20-49}$ ), které jsou typické pro horniny metamorfované za vysokých tlaků a teplot jako jsou granulity a eklogity (ČOPIJKOVÁ 2001).

Vzorky kambrického stáří nebo vzorky u nichž se toto stáří předpokládá obsahují turmalíny s podobným chemickým složením. Naprosto převažují turmalíny, které svým chemickým složením odpovídají turmalínům v hydrotermálních žilách z metabazitové zóny brněnského masivu. Přinejmenším část turmalínů pravděpodobně z hydrotermálních žil pochází. Dokazují to nalezená klastická zrna složená z tence jehlicovitých krystalů. Agregáty tence jehlicovitých turmalínů jsou typické právě pro hydrotermální žíly. Tuto interpretaci podporuje také dnešní zastoupení turmalínu v různých částech brunovistulika. Nejvíce turmalínu se na dnešních výchozech brunovistulika vyskytuje právě v křemenných žilách, které prorážejí horniny metabazitové zóny brněnského masivu. Kromě převažujícího turmalínu z hydrotermálních žil v metabazitové zóně se objevuje také turmalín s vyššími obsahy  $X_{\text{Fe}}$ , který svým chemickým složením odpovídá turmalínu z ryolitů prorážejících metabazitovou zónu. Granity s turmalínem se dnes v brněnském masivu nevyskytují, avšak v minulosti tomu bylo pravděpodobně jinak, jak dokládá petrografické složení hádkských slepenců (KRMÍČEK 2006). Tyto horniny nejsou mezi klasty slepenců příliš hojné. To naznačuje, že turmalinické granity neměly nikdy v brunovistuliku příliš velký plošný rozsah. V metasedimentech brunovistulika, které dnes vystupují na povrch, není turmalín běžný. Nemůžeme ale vyloučit, že v minulosti byly v této jednotce přítomny metapelite bohaté turmalíny, protože mnoho analýz ze studovaných sedimentů by charakteristikám turmalínu z těchto hornin odpovídalo (HENRY a GUIDOTTI 1985).

Minerální asociace těžkých minerálů s převahou turmalínu, který se podobá turmalínu z hydrotermálních žil, jsou typické pro vzorky, které se nacházejí blízko dnešních povrchových výchozů metabazitové zóny. Dále na východ se nacházejí sedimenty s turmalíny, které jsou typické pro ryolity metabazitové zóny (Uhřice-6 a Němčičky-6).

Vzorky devonského stáří obsahují turmalíny, jejichž chemické složení není tak jednotné jako v kambrických vzorcích. Opět naprosto převažují turmalíny podobné těm z hydrotermálních žil v metabazitové zóně brněnského masivu. Zastoupení hliníkem bohatých skorylů typických pro ryolity v metabazitové zóně je však nízké a to navíc ve vzorcích poblíž výchozů těchto hornin brněnského masivu (Resslova hajenka, Spálenisko). Poněkud specifické složení má vzorek z lokality Ždánice-14. Obsahuje relativně hodně zrn turmalínů s vysokým obsahem uvitové komponenty.

Studovaná zrna živců v klastických sedimentech odpovídají pouze albitu, což může být částečně dáno složením zdrojových hornin, ale patrně také odráží skutečnost, že bazické plagioklasy většinou postihly sekundární alterace. Pyroxen v těchto sedimentech pravděpodobně pochází z vápenatosilikátových hornin (erlanů) v metamorfním plášti brněnského masivu. Většina studovaných zrn amfibolu má podobné složení jako amfiboly z metabazitové zóny brněnského masivu (obr. 3). Chemické složení epidotu poměrně dobře odpovídá chemickému složení tohoto minerálů z hornin brněnského masivu.

Naprostá většina studovaných granátů se vyznačuje převahou almandinové nebo spessartinové komponenty. Většina turmalínů svým chemickým složením odpovídá skoryl-dravitu (s mírnou převahou Mg nad Fe) a hliníkem bohatému skoryl-dravitu. Tyto údaje v kombinaci s údaji o chemickém složení dalších minerálů (např. amfibolů nebo živců) umožňují vyčlenit několik hlavních typů zdrojových hornin. Hlavním zdrojem materiálu pro studované sedimenty byl metamorfovaný vulkanosedimentární komplex prorážený kyselými vulkanity a intruzemi granitoidů. Takto můžeme charakterizovat právě komplex hornin brunovistulika, který leží v podloží studovaných sedimentů. Část studovaných

těžkých minerálů však neodpovídá horninám brunovistulika, které jsou dnes odkryty na povrchu. Zdrojovými horninami pro tento materiál mohly být dnes již denudované části brunovistulika nebo dnes již neexistující jednotky v nadloží brunovistulika. Tento materiál však také může pocházet ze starších sedimentů nebo odlišných krystalinických jednotek, které tehdy obklopovaly brunovistulikum.

Kombinací metod sedimentologie a mineralogie se podařilo interpretovat vývoj sedimentace na východním okraji Českého masivu. Přerušované zde vznikaly rozsáhlé akumulace klastických sedimentů od spodního kambria až do středního devonu, přičemž prozatím chybí důkazy o charakteru sedimentace během ordoviku a siluru.

**Skupina K1** patrně představuje stratigraficky nejstarší sedimenty. Do této skupiny náležejí vzorky z vrtů Měnín-1 (2039 m), Uhřice-6, Těšany-1 a Milešovice-1. Vzorek z vrtu Měnín-1 z hloubek 2039 m odpovídá bazálnímu kambriu. Na základě určité litologické a sedimentologické podobnosti, zbývající vzorky ze skupiny K1 mohou také spadat do období počátku sedimentace těchto klastických sedimentů. Po stránce sedimentologické se jedná o nevyzrálé arkóзовé pískovce a slepence, které jsou pravděpodobně produktem transportu vodními toky na poměrně krátkou vzdálenost. V sedimentu jsou sice výrazně zastoupeny ultrastabilní minerály ( $Zr+Tu+Rt = 41-51 \text{ mod. } \%$ ), avšak zároveň je poměrně hojně zastoupen apatit a v malém množství jsou často přítomny amfiboly, pyroxeny nebo metamorfní minerály jako kyanit a andalusit.

**Skupina K2** reprezentuje sedimenty velmi podobného charakteru (Měnín-1 (1370 m), Němčičky-6, Nikolčice-4). Také tyto sedimenty běžně obsahují ve svém těžkém podílu několik % amfibolů nebo jsou přítomny metamorfní minerály, jako andalusit nebo staurolit. Jedná se o sedimenty stratigraficky mladší (Měnín-1, hl. 1370 m a Němčičky-6) než jsou vzorky ze skupiny K1 (Měnín-1, hl. 2039 m). Většina těchto vzorků patrně pochází ze střední a svrchní části spodního kambria. Opětovně se jedná o nevyzrálé arkóзовé pískovce transportované poměrně krátce vodními toky do sedimentární pánve.

Sedimenty následující **skupiny D1** (vrt Koryčany-3, Spálenisko, Červený kopec, Babi lom) vznikaly po poměrně dlouhém hiátu až během spodního devonu. Obrovskou mezeru v sedimentárním záznamu můžeme vysvětlit mladšími tektonickými pohyby během variské orogeneze, avšak pravděpodobnější vysvětlení je, že se v této době studovaná oblast v důsledku tektonických pohybů změnila z akumulární na denudační. Při této erozi byly patrně i starší kambrické sedimenty částečně denudovány. Pro tyto sedimenty je charakteristické ukládání v prostředí výplavových kuželů popř. divočících řek. Sedimenty jsou vyzrálé a tomu odpovídá i složení asociace těžkých minerálů. Převažují ultrastabilní minerály ( $Zr+Tu+Rt = 76-94 \text{ mod. } \%$ ), amfibol téměř chybí (do 1 %) a vzácně se objevuje kyanit nebo staurolit. Část materiálu je patrně produktem resedimentace starších sedimentů (patrně kambrických). Na tuto skutečnost poukazuje vyšší opracování klastů, zejména vysoký poměr angulárních zirkonů vůči automorfním zrnům.

**Skupiny D2 a D3** nesou známky určitého oživení dynamiky reliéfu. Mírně se snižuje vyzrálость sedimentů, objevují se polymiktní slepence a dokonce polohy ryolitových tufů a tufitů. U skupiny D2 (Kopaniny, vrty Měnín-1 468 m, Slavkov-2, Švábenice-1) zůstává zastoupení ultrastabilních minerálů vysoké ( $Zr+Tu+Rt = 80-95 \text{ mod. } \%$ ), ale opět se ve spektru TM objevuje amfibol (až 8 %), staurolit a kyanit. Zbývající dva vzorky ze **skupiny D3** (Resslova hájenka a Ždánice-14) se od ostatních liší vyššími obsahy turmalínu (6–22 %) v kombinaci s vysokými obsahy apatitu (28 %) nebo amfibolu (20 %). Siliciklastické sedimenty skupiny D2 se objevují v asociaci s devonskými vápenci. Tyto sedimenty se pravděpodobně ukládaly v mořském prostředí.

## Závěr

Data získaná studiem těžkých minerálů naznačují, že brunovistulikum mohlo představovat hlavní zdroj materiálu pro klastické sedimenty spodního kambria a spodního až středního devonu na jihovýchodním okraji Českého masivu. Tento zdroj měl poměrně neměnný charakter po velmi dlouhou dobu. Dokonce nepozorujeme výrazné rozdíly mezi sedimenty z různých částí jihovýchodní Moravy. Část studovaných minerálních zrn se nicméně neshoduje přesně se srovnávacím materiálem z brunovistulika a může mít jiný zdroj. Takovýmto zdrojem by mohly být například méně metamorfované části brunovistulika anebo jiné geologické jednotky, které již dnes nemáme pro srovnání k dispozici, protože byly buď zcela erodovány anebo v dnešní tektonické stavbě území nevycházejí na povrch.

Ke zvětrávání materiálu studovaných hornin docházelo v převažujících pouštních podmínkách, nejspíše už s omezenou mírou eroze a ukládání sedimentu. Značná vyžralost většiny sedimentů naznačuje intenzivní zvětrávání a redepozici materiálů již v denudační oblasti těchto sedimentů. Tyto procesy mohly do značné míry homogenizovat spektrum TM a zapříčinily smíšení materiálu z různých částí denudační oblasti. Studium asociací TM v kombinaci s chemickým složením granátu a turmalínu však naznačuje určitý vývoj v denudační oblasti těchto sedimentů. Během spodního kambria došlo k výrazné denudaci brunovistulika. Z počátku byly odkryty převážně metamorfované horniny (hlavně metasedimenty) a bazické případně ultrabazické horniny, které bývají některými autory interpretovány jako část ofiolitového komplexu (LEICHMANN 1996), tedy západní část metabazitové zóny. Během sedimentace mladší části spodnokambrického vrstevního sledu byly odkryty hlubší partie brunovistulika s rozsáhlými tělesy granitoidů, avšak i nadále se na složení spektra TM podílí materiál derivovaný z metamorfního pláště těchto intruzí. Během svrchního kambria byla již přilehlá část paleokontinentu brunovistulika zcela neplenizována. To může být jeden z důvodů proč ve studovaných profilech chybí sedimenty ordoviku, siluru a nejspodnějšího devonu. Během spodního a středního devonu se erozně-depoziční dynamika mírně obnovila. Do sedimentačního prostoru byl přinášén materiál ze spodnopaleozoických (?kambrických) klastických sedimentů i zvětralého a již značně denudovaného krystalinického podloží. Lokálně pak patrně dochází na začátku karbonátové sedimentace k intenzivnější denudaci a do sedimentačního bazénu se dostávají méně vyžralé arkóзовé sedimenty, místy dokonce polymiktní slepence. Tyto horniny opět obsahují materiál převážně derivovaný z brunovistulika.

## Poděkování

Předložená práce vznikla v rámci interního projektu ČGS č. ú. 326800.

Autoři děkují J. Leichmannovi za kritické přečtení rukopisu a poskytnutá data o těžkých minerálech z některých zdrojových hornin v brněnském masivu, dále děkují MND Hodonín a. s. za umožnění odebrání vzorků z vrtné dokumentace.

## LITERATURA

- BRIDGE, J. S., 2003: Rivers and Floodplains. – Blackwell Publ., 1–491. Oxford.
- ČOPIJKOVÁ, R., 2001: Využití chemismu detritických granátů při zjišťování provenience sedimentů kulmu Dražanské vrchoviny. – MS, Disertační práce PfF MU, Brno.
- FATKA, O., VAVRDOVÁ, M., 1998: Early Cambrian Acritarcha from sediments underlying the Devonian in Moravia (Měnin borehole, Czech Republic). – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 1, 73, 55–60. Praha.
- FILIP, J., NOVÁK, M., BURIÁNEK, D. 2003: Mineralizace vázané na borem bohatá fluida v brunovistuliku. – MS, grant FRVŠ, PfF MU Brno.

- GILÍKOVÁ, H., 2007: Petrografické složení a sedimentární prostředí klastických sedimentů spodního paleozoika. – *MS, PFF MU Brno*.
- HARPER, C. W., 1984: Improved method of facies sequence analyses. – In R.G. Walker (Ed.): *Facies models*. – *Geosci. Can. Rep. Ser.*, 11–13.
- HENRY, D. J., GUIDOTTI, C. V., 1985: Tourmalines as a petrogenetic indicator mineral: an example from sturroite-grade metapelites of NW Maine. – *Amer. Miner.*, 70, 1–15.
- JACHOWICZ, M., PŘICHYSTAL, A., 1997: Nález spodnokambrických sedimentů v hlubokých vrtech na jižní Moravě. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1996*, 64. Brno.
- KRMÍČEK, L., 2006: Petrologický výzkum hádského slepence. – *MS, diplomová práce, MU Brno*.
- 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., MANDARING, 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. – *Mineral. Mag.* 61, 295–321.
- LEICHMANN, J., 1996: *Geologie und Petrologie des Bruenner Massivs*. – *MS Universitaet Salzburg*.
- MIALL, A. D., 1996: *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. – Springer-Verlag, 1-582. Berlin, Heidelberg, New York.
- MORTON, A. C., HALLSWORTH, C. R., 1994: Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. – *Sediment. Geol.* 90, 241–256.
- MORTON, A. C., HALLSWORTH, C. R., 1999: Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. – *Sediment. Geol.* 124, 3–29.
- POSTMA, G., 1990: Depositional architecture and facies of river and fan deltas? A synthesis. In Collela A., Prior D. B. (Eds.): *Coarse-grained deltas*. – *Spec. Publ. Int. Assoc. Sediment.*, 10, 13–27.
- PUPIN, J. P., 1980: Zircon and granite petrology. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207–220.
- PURKYŇOVÁ, E., GILÍKOVÁ, H., JACHOWICZ, M., FILIPIAK, P., 2004: Paleobotanical records from basal Devonian clastics in Měnin and Kozlovice boreholes (Moravia, Czech Republic). – *Čas. Slez. Muz. Opava (A)*, 3, 53, 193–204. Opava.
- RUST, B. R., 1984: Proximal braidplain deposits in the Middle Devonian Malbaie Formation of Eastern Gaspé, Quebec, Canada. – *Sedimentology*, 31, 675–695.
- VALLOVÁ, S., 2005: Granáty v granitoidních horninách východního okraje Českého masivu. – *MS, diplomová práce, Brno*.
- VAVRDOVÁ, M., BEK, J., 2001: Further palynomorphs of Early Cambrian age from clastic sediments underlying the Moravian Devonian (borehole Němčičky-3). – *Czech Geol. Survey Bull.*, 2, 76, 113–115. Praha.
- VAVRDOVÁ, M., MIKULÁŠ, R., NEHYBA, S., 2003: Lower Cambrian siliciclastic sediments in Southern Moravia (Czech Republic) and their paleogeographical constraints. – *Geol. Carpathica*, 2, 54, 67–79. Bratislava.
- ZUKALOVÁ, V., KALVODA, J., GALLE, A., HLADIL, J., 1981: Biostratigrafie paleozoika v hlubokých vrtech jihovýchodně od Brna, 7–30. In: Kalvoda, J. (ed.), *Biostratigrafie paleozoika na jihovýchodní Moravě*. – *Knihovnička zemního plynu a nafty (Hodonin)*, 2, 255 str., 1 příloha.