Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
82(1997):51–61

STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ ASOCIACÍ TĚŽKÝCH MINERÁLŮ SPODNÍHO MIOCÉNU V JZ. ČÁSTI KARPATSKÉ PŘEDHLUBNĚ

HEAVY MINERAL STUDIES OF LOWER MIOCENE SEDIMENTS
IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE CARPATHIAN FOREDEEP

SLAVOMÍR NEHYBA, JAROMÍR LEICHMANN

Abstract

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.

Heavy mineral studies of Lower Miocene sediments in the southwestern part of the Carpathian Foredeep.

Statistical analysis of heavy mineral data of Lower Miocene (Eggenburgian, Ottnangian) sediments from the southwestern part of the Carpathian Foredeep lead to the discrimination of the main heavy mineral components. The components for the Znojmo region are: ZIRCONE – APATITE + HORNBLENDE – STAUROLITE + KYANITE + TOURMALINE – GARNET and for the Miroslav region: ZIRCONE + RUTILE (+ Apatite) – APATITE – HORNBLENDE – STAUROLITE + TOURMALINE – KYANITE – (Garnet). The main source from the Moravicum and from the Dyje Batholith was recognised in the Lower Miocene deposits of the Znojmo region. The dominant source for the Miroslav region was the Brno Massif and partly the Moldanubicum. The Cretaceous sediments were an important source for both regions.

In full detail the deposits in the Miroslav region can be subdivided into 3 units according to the environment of deposition. The nearest area (mainly the Brno Massif) was the source for the basal alluvial-fluvial deposits. The middle deltaic deposits have several sources (mainly the Brno Massif, the Moravicum, less important was the role of the Moldanubicum). The upper shallow marine deposits point to the broadest source area. The input from the Cretaceous sediments was higher with broader source area.

Key words: Lower Miocene deposits, Carpathian Foredeep, heavy minerals, statistical techniques, correspondence factor analysis, provenance.

Slavomír Nehyba, Dept. of Geology and Paleontology, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic.

Jaromír Leichmann, Dept. of Geology and Paleontology, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic.

Acknowledgements

The authors are very grateful to Prof. Dr. P. Faupl, Vienna University, Austria for introducting them to the statistical computer program.

Úvod

Sedimenty spodního miocénu (eggenburg, ottnang) jz. části karpatské předhlubně jsou produkty depozice v terestrickém, přechodném a marinním prostředí. Sedimentologické studium vrtných jader (vrty PMK 1, 1A, 1B, 2, 2A, 3, 3A, 4, 4A, 5, 5A, 6, 6A, 7, 9, 10) a odkryvů v širším okolí Miroslavi, spolu s aplikací sekvenční strati-

grafie, umožnilo rozlišit 3 základní segmenty. Jejich hraniční povrchy odráží podstatnou změnu podmínek sedimentace a depozičního prostředí. (Nehyba 1995a, b)

Bazální segment (segment I) je tvořen aluviálně-fluviálními sedimenty. Jeho sedimentace byla ovlivněna morfologií krystalinického podloží, charakterem, množstvím a rychlostí snosu. V segmentu byly zjištěny vulkanoklastické horniny, které odpovídají vulkanoklastikům zastiženým v okrajovém a pánevním vývoji sv.eggenburgu v širším okolí Znojma.

Střední segment (segment II) představují deltové sedimenty. Faciální sukcese odráží postupný vývoj (od báze do nadloží) od čela delty k deltové plošině. Převážná část je tvořena faciemi deltové plošiny a nejvyšší část má charakter opuštění deltou, což dokládá progradaci delty do pánve. Sedimentace segmentu II vedla v zájmovém území k zarovnání reliéfu. V segmentu byla zjištěna vulkanoklastika, která jsou korelovatelná s polohami bentonitů a montmorillonitových jílů v okolí Višňové, Horních Dunajovic a Plavče.

Nejvyšší segment (segment III) je představován mělkomořskými sedimenty a jeho součástí jsou rzehakiové vrstvy. V jeho nadloží se místně nacházejí sedimenty karpatu, tvořící další celek.

Při srovnání se stratigraficky odpovídajícími sedimenty v širším okolí Znojma a v Dolním Rakousku lze konstatovat, že sedimenty eggenburgu a ottnangu v jz. části předhlubně sedimentovaly za postupující transgrese spodnomiocenního moře. Především díky depozici na okraji pánve odrážejí vyčleněné segmenty změny relativní hladiny, které jsou v podstatné míře ovlivněny rychlostí a charakterem přinášeného sedimentu. Je tedy třeba odlišit celkový vývoj pánve a lokální podmínky (Nehyba 1996). Jednou z metod, jak podpořit tento depoziční model je i využití výsledků sedimentárně-petrografického studia.

Studium těžkých minerálů

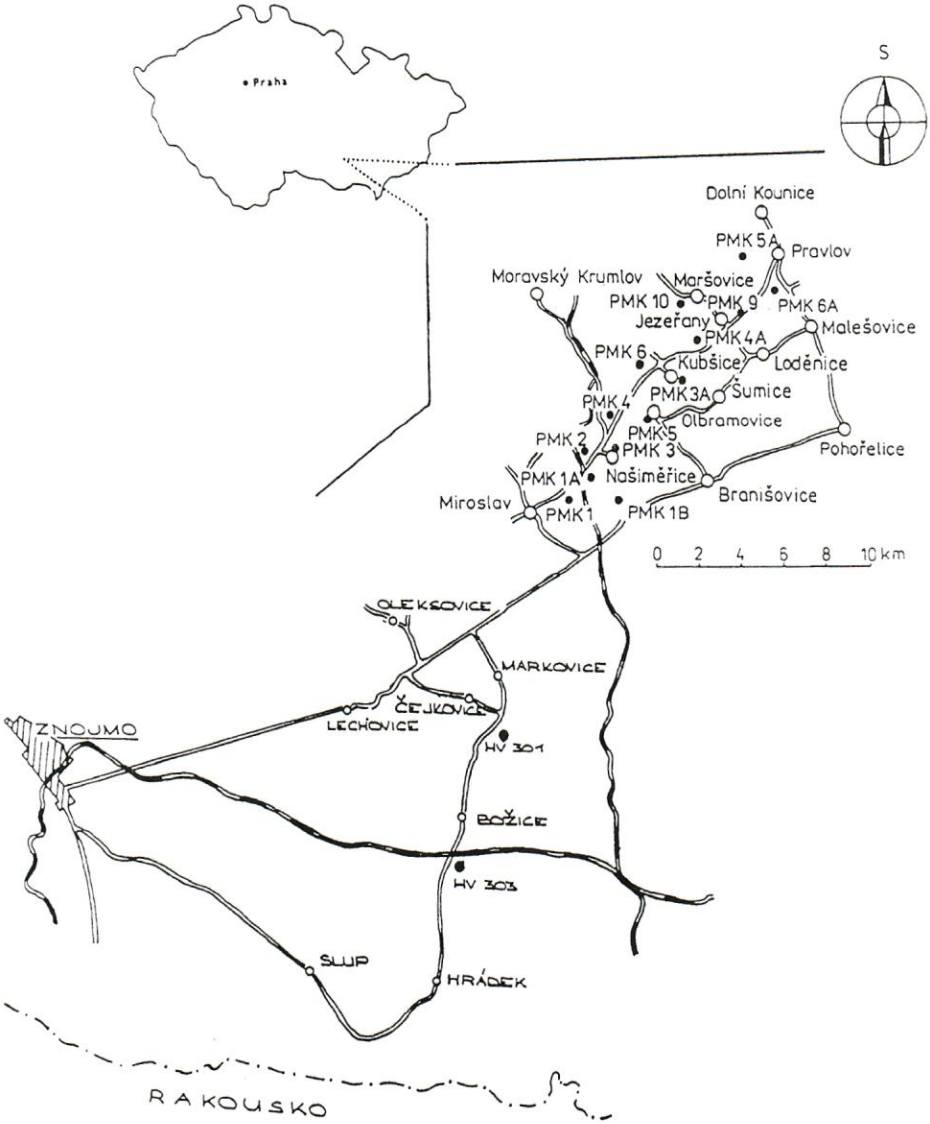
Statistické vyhodnocení asociací těžkých minerálů

Využití těžkých minerálů (TM) k poznání sedimentů karpatské předhlubně je jednou z nejčastěji používaných sedimentárně-petrografických technik (Krystek 1981; 1983; Krystek, Tejkal 1968 atd.). Asociace TM jsou zde velmi rozmanité a změny lze pozorovat jak v čase, tak často i v prostoru (regionálně). Pro eggenburg ani ottnang nebyly vyčleněny vyhraněné asociace TM, obvyklý je až na výjimky (např. tzv. bezstaurolitový spodní miocén) poměrně nízký obsah granátu, výrazné zastoupení staurolitu s kyanitem a zirkonem, charakteristický je také andaluzit. Vznik společenstev bohatých staurolitem je Krystkem (1981) spojován s klimatickými pochody (typ zvětrávání). Hranice ottnang/karpat je spjata s nápadnou změnou asociace, která je vysvětlována ukončením snosu těchto zvětralin do pánve ve spojitosti s rychlejší subsidencí a relativně rychlejším zdvihem západního okraje pánve.

Vzhledem k řadě vlivů, které hrají roli pro celkové spektrum TM, jsou často využívány k vyhodnocení složité statistické postupy (např. Stattegger 1986). Složení spektra TM závisí obecně především na složení zdrojových hornin, zvětrávacích procesech, transportu, depozici, syn- i postdepozičních pochodech (Morton 1985). Množství různých vlivů je hlavním důvodem, proč jsou vyčleňovány nejrůznější indexy (Morton, Hallsworth 1994).

Také v karpatské předhlubni byly využity statistické metody k zhodnocení asociací TM. V jižní části předhlubně bylo ve spodnomiocenních sedimentech faktorovou analý-

zou detailně rozlišeno několik typů asociací (Krystek 1981). Zájmovou oblast zastupuje skupina charakteristická většinou nízkým obsahem granátu (10 % až 30 %), zvýšeným obsahem staurolitu (často nad 20 %), obsahem kyanitu většinou pod 10 % a mnohdy značným obsahem zirkonu. Vzhledem k sedimentologickým poznatkům a množství novějších analýz bylo vhodné použít statistické techniky k případnému získání nových poznatků.



Obr. 1. Lokalizace studované oblasti.
Fig. 1. Location of the studied area and of drill wells.

Jako vstupní údaje sloužily dva soubory vzorků. První tvořily analýzy z sedimentů eggenburgu i eggenburg-ottnangu z širšího okolí Znojma (soubor Znojmo). Výsledky byly převzaty z prací Batík, Čtyroký a kol. (1977); Čtyroký, Batík a kol. (1982); Novák (1978). Druhý soubor tvořily výsledky ze sedimentů eggenburgu až ottnangu z vrtů PMK (soubor Miroslav) a jejich nejbližšího okolí. Do tohoto souboru byly zahrnuty nově provedené analýzy (Nehyba 1995b; Novák 1986, Škoda 1986). Absolutní výsledky jednotlivých analýz viz Nehyba (1995b). Lokalizace zájmové oblasti viz obr. 1.

Prvním krokem bylo určení průměrného zastoupení jednotlivých minerálů (tabulka 1). Soubor Znojmo má vyšší průměrné zastoupení především zirkonu, turmalínu a staurolitu, zatímco soubor Miroslav obsahuje více granátu a případně amfibolu i epidotu. Při rozdělení souboru Miroslav do 3 segmentů lze směrem k bázi sledovat růst zastoupení především kyanitu a amfibolu, dále i turmalínu a naopak pokles zastoupení apatitu a staurolitu. Projevuje se také opačné chování dvou skupin minerálů. První, která je nejméně zastoupena v segmentu 2, tvoří zirkon a rutil. Druhou, která je nejvíce zastoupena v segmentu 2, tvoří epidot, andaluzit a granát.

Složitější statistickou metodou je použití korelační analýzy dvou minerálů. Za tímto účelem byl vypočten korelační koeficient minerálů v rámci statistického souboru Statgraphics a využita také jednoduchá závislost dvou minerálů s pomocí programu QPRO.

Byla zjištěna nižší pozitivní korelace rutilu a zirkonu v souboru Znojmo a vyšší v souboru Miroslav. V souboru Miroslav je pozitivní korelace mezi zirkonem a apatitem pouze v segmentu 3. V souboru Znojmo je tento vztah spíše slabě negativní. Zirkon s epidotem, amfibolem, kyanitem je vždy slabě negativní, negativní poměr ke staurolitu je o něco výraznější, zvláště v souboru Znojmo a segmentu 1. Zirkon a turmalín jsou slabě negativní v rámci segmentu 1, v segmentu 2 a souboru Znojmo není vztah jasný a v segmentu 3 je už pozitivní korelace (zdroj z nově erodovaných hornin?).

Pokud se týká vztahu turmalínu a apatitu je pozitivní korelace především v segmentu 3. V souboru Znojmo je slabě negativní. Turmalín a rutil mají v souboru Znojmo a v segmentu 3 přímou závislost. V ostatních sekvencích není vztah jasný.

V rámci souboru Znojmo je určitá pozitivní korelace mezi apatitem a amfibolem, granát je silně pozitivní k apatitu a slabě k amfibolu. Tyto vztahy v souboru Miroslav buď chybí, nebo jsou jen slabě patrné (výjimka je segment 2). Granát s rutilem, kyanitem, turmalín a epidot jsou v obou případech velmi slabě negativní až bez závislosti, výraznější je negativní závislost se zirkonem (hlavně Znojmo a segment 1).

V obou případech je slabá pozitivní korelace mezi staurolitem a turmalínem. Zatímco staurolit je v okolí Znojma pozitivně korelován ke kyanitu, v případě Miroslavi je tomu tak pouze v sekvenci 1.

Dva nejvíce zastoupené minerály, tj. staurolit a granát, mají v obou souborech negativní korelaci. Jen o něco slabší je negativní korelace staurolitu a amfibolu.

Tabulka 1. Průměrné zastoupení těžkých minerálů ve studovaných souborech.
Table 1. The average concentration of heavy minerals in the studied groups of samples.

Soubor	počet analýz	zirkon (%)	turmalin (%)	rutil (%)	apatit (%)	staurolit (%)	kyanit (%)	epidot (%)	amfibol (%)	andalusit (%)	granat (%)	varia (%)	ZTR ind. (%)
Znojmo	52	14,60	5,27	3,53	2,51	25,54	7,54	1,93	2,66	0,33	31,60		23,40
Segment 1	11	19,30	3,50	9,90	0,80	13,40	13,40	5,10	7,60	0,03	29,14	1,50	32,70
Segment 2	34	6,90	2,00	3,50	2,10	19,30	8,00	4,10	6,90	0,06	43,30	2,40	13,40
Segment 3	27	10,40	2,00	4,30	1,60	24,50	6,80	3,50	1,70	0,07	41,30	1,80	18,10
Miroslav	93	11,54	2,80	4,90	2,00	23,50	8,40	3,00	4,04	0,11	37,30	1,60	19,20

Dalším krokem bylo využití multivariační statistické analýzy umožňující zohlednit vzájemnou závislost většího množství minerálů. Studované analýzy byly vyhodnoceny na statistickém programu CORANA (korespondenční faktorová analýza) na Universitě Vídeň díky prof. Fauplovi, který tento postup využívá (Faupl, Rohrlich, Roetzel 1988). Získaný 3osý systém je výsledkem redukce původního 11osého, kde každá proměnná (minerál) představovala osu a každý vzorek (analýza) pak vektor v tomto prostoru. Tento 3osý system je rozkreslen do 2 rovin (osy 1 a 2, osy 1 a 3). Vzorky a minerály jsou promítnuty do rovin jako body. Jednotlivé minerály lze označit jako minoritní či majoritní, což se využívá zvláště v případě dominance některého minerálu, která může znesnadňovat určení vzájemných vztahů.

Nejprve byly zhodnoceny oba soubory jako jeden celek. Při takovém postupu nedošlo k jejich podstatnému rozlišení ani v diagramu, kdy byly všechny minerály považovány za majoritní (soubor je velmi konzistentně nahromaděn kolem středu), ani v diagramu, kde byly granát a staurolit označeny jako minoritní (větší rozlišení jednotlivých dat). Jako nejvíce diagnostické se jeví minerály: ZIRKON (+ RUTIL) – KYANIT + TURMALÍN (+ STAUROLIT) – AMFIBOL (+ GRANÁT). Některé vzorky mají anomální pozici (převážně díky obsahu varií).

Soubory Znojmo a Miroslav byly dále studovány samostatně. Příklady korelačních diagramů jsou na obr. 2 a 3.

Vzorky ze souboru Miroslav byly hodnoceny korespondenční faktorovou analýzou z 5 pohledů (všechny minerály majoritní; minoritní granát; minoritní staurolit a granát; minoritní granát, staurolit a zirkon a minoritní granát, staurolit a amfibol). Následně se jako diagnostické minerály jeví: ZIRKON + RUTIL (+ APATIT) – APATIT – AMFIBOL – STAUROLIT + TURMALÍN – KYANIT – (GRANÁT).

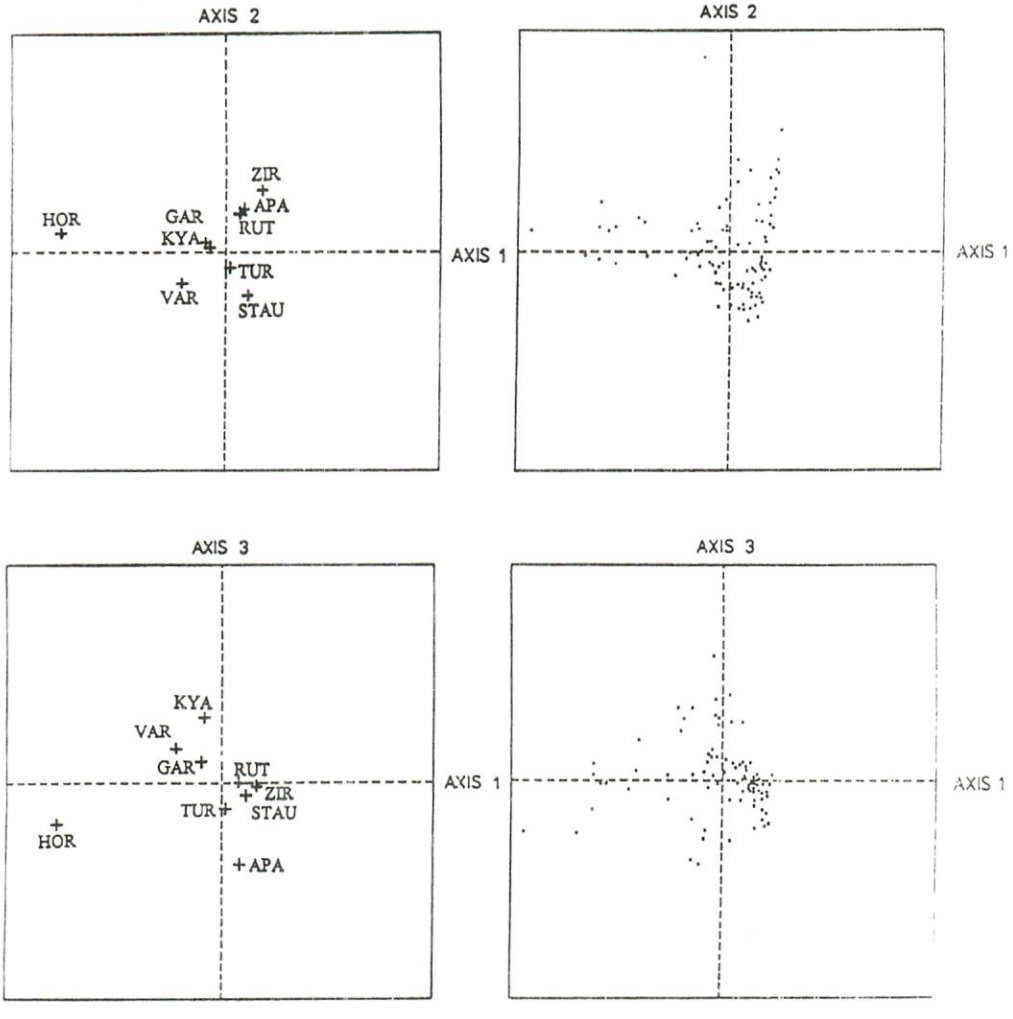
Vzorky ze souboru Znojmo byly hodnoceny z pohledu všech minerálů majoritních (soubor velmi ucelený) a minoritního granátu a staurolitu. Jako diagnostické se jeví minerály: ZIRKON – APATIT + AMFIBOL – STAUROLIT + KYANIT + TURMALÍN – GRANÁT.

Těžké minerály a provenience

Výsledky statistického zpracování asociací TM naznačily možnosti zjištění provenience. Pro hlavní diagnostické minerály je zjednodušeně přijata představa o dominantním původu z jednoho zdroje a zdroje by měly být odlišné. Tímto postupem je jednoznačně upřednostňována závislost spektra TM na petrografickém složení zdrojové horniny (primární zdroj). Pro potvrzení následujících představ bude třeba provést především chemické analýzy některých minerálů a případně srovnat zrnitostní parametry se spektrem TM. Vzhledem k směru transportu klastického materiálu do pánve od generelně od Z a SZ a geologickým jednotkám, které zde vystupují, mohou zdrojovou oblast pro soubor Miroslav tvořit – brněnský masiv, moravikum, moldanubikum a boskovická brázda. Významným lokálním zdrojem mohl být také tzv. kulm miroslavské hrásti (Otava – ústní informace). Pro soubor Znojmo pak dyjský masiv, moravikum a moldanubikum. Tuto provenienci potvrzuje petrografické studium psefitické frakce (Krystek 1983; Nehyba 1995b).

Ve spektru TM jižní části brněnského masívu převažuje apatit (32–49 %) nad zirkonem (21–44 %), titanitem (1–8 %) a granátem (0–39 %) (Štelcl et al. 1977). V některých typech granitoidů jižní části brněnského masívu je zastoupen amfibol (do 5 % objemu horniny), v dioritech dosahuje obsah amfibolu až 30 % objemu horniny (Leichmann 1996). V horninách jižní části masívu je hojně zastoupen i epidot, který Štelcl et al. (1977) neuvádí, podobně jako amfibol. Pro bítešskou ortorulu, která tvoří největší podíl na povrchovém rozšíření moravika, je charakteristická asociace apatit (22–29 %), granát (28–45 %), zirkon (18–29 %), turmalín (do 7 %) a rutil (do 3 %) (Štelcl et al. 1977). Plošně málo významné výskyty svratecké ortoruly (Štelcl et al.

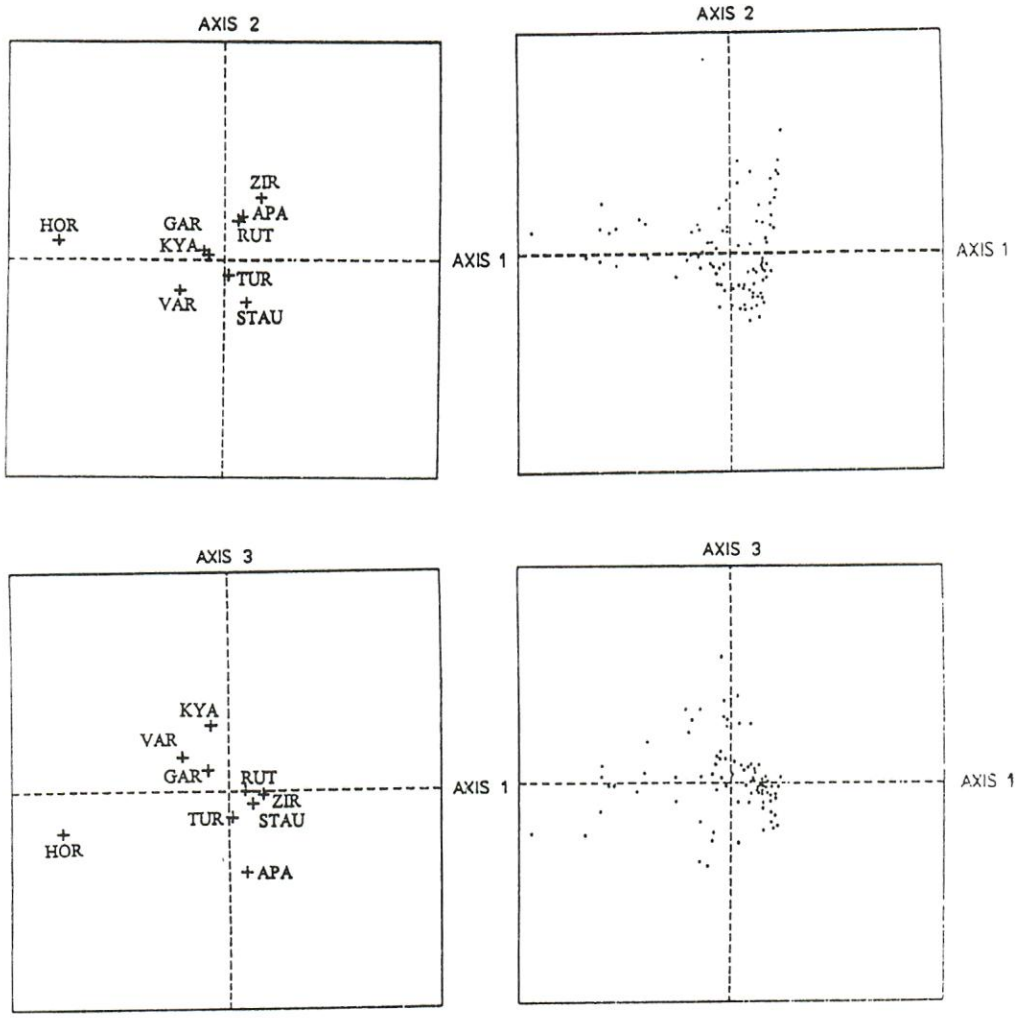
1977) jsou charakterizovány asociaci granát (27–36 %), apatit (22–25 %), zirkon (17–23 %), turmalín (do 4 %), rutil (do 3 %) a epidot (do 7 %). Z metasedimentů moravika uvádí Pivnička (1995) z centrální části lukovské jednotky v údolí Dyje západně od Znojma staurolit a granát, Batík (1984) i kyanit. Směrem k severu mizí nejprve staurolit a kyanit, na severním konci klenby u Horních Dunajovic se vytrácí i granát. Vymizení nejprve staurolitu a kyanitu a následně i granátu na jihu dyjské klenby zjistil Hoeck (1975). Ve svratecké klenbě, ve skupině bílého potoka (Jaroš, Mísař 1976) zjistil Weber (1996) pouze granát. Častou složkou metasedimentů moravika dyjské i svratecké klenby je turmalín. Výskyty staurolitu a kyanitu jsou ve svratecké klenbě vázány na úzký pruh tzv. svorové zóny (Jaroš, Mísař 1976) probíhající severo-jižním směrem mezi Štěpánovem a Nedvědicí (Burkhart 1953, Kruťa 1962). Svorová zona je však již některými autory (např. Schulmann et al. 1991) přiřazována k moldanubiku. Z oblasti moldanubika jsou k dispozici údaje o akcesorických minerálech z granulitů (Štelcl et al. 1977) a gfoehlských rul (Niedermayer 1967). Pro granulity je typická asociace granát (52–84 %), kyanit (0–34 %), sillimanit (1–7 %), rutil (1–5 %), zirkon, ilmenit a apatit (do 6 %). Gfoehlské ortoruly se vyznačují asociací granát–silimanit–kyanit–zirkon–rutil–turmalín. Uvedené dva typy hornin – granulity a gfoehlské ruly – budují společně převážnou část moldanubika v předpokládané provenientní oblasti.



Obr. 2. Korelační diagram pro soubor Miroslav (staurolit a granát minoritní).
Fig. 2. Correlational diagram of the heavy minerals suite for the Miroslav region (staurolite and garnet as minorite minerals).

Z pískovců boskovické brázdy od Oslavan uvádí Štelcl et al. (1977) asociaci granát (30 %), zirkon (23 %), apatit (13 %), rutil a turmalín (do 5%). Z arkozových pískovců, konglomerátických arkóz a prachových břidlic boskovické brázdy od Drásova uvádí Štelcl et al. (1981) granát (31–42 %), apatit (8–18 %), turmalín (9–19 %), zirkon (7–17 %) a rutil (3–6 %). Obsah opákních minerálů se pohybuje mezi 5 a 28 %.

Významným TM sedimentů eggenburgu a ottnangu je granát. Zdrojem granátu mohou být všechny uvedené geologické jednotky. Pro detailnější posouzení jeho provenince bude nutné provést srovnání chemismu a zonace granátu ze studovaných sedimentů s údaji z potenciálních zdrojů. Podobné závěry je možno učinit pro apatit a zirkon. Turmalín má svůj původ nejspíše v horninách moravika a boskovické brázdy. Zdroje rutilu je možno hledat nejspíše v horninách moldanubika a boskovické brázdy, kde tvoří podstatnou část asociace těžkých minerálů. V horninách brněnského a dyjského masívu



Obr. 3. Korelační diagram pro soubor Miroslav (granát minoritní).
Fig. 3. Correlational diagram of the heavy minerals suite for the Miroslav region (garnet as minorite mineral).

i v horninách moravika se tento minerál vyskytuje pouze v nepatrném množství (Štelcl et al. 1977). Amfibol a epidot ukazují na přítomnost materiálu derivovaného z hornin brněnského a dyjského masívu. Toto tvrzení bude ale nutno podepřít studiem chemismu těchto minerálů, neboť jejich zdrojem mohou být i poměrně četné polohy amfibolitů v moldanubiku. Na zdroj z jižní části brněnského masivu ukazuje nízké zastoupení titanitu ve vzorcích. Kyanit má svůj původ velmi pravděpodobně v granulitech a gfoehlských rulách moldanubika a metasedimentech moravika.

Složitěji se hledá vysvětlení pro vysoké obsahy staurolitu. Jeho obsah kolísá ve studovaných sedimentech mezi 13 % a 25 %. Vysoký obsah staurolitu ve studovaných sedimentech je ve zjevném rozporu s velmi omezeným rozšířením minerálu v uvažovaných zdojových oblastech. Staurolit je ve svém výskytu omezen na málo rozsáhlé oblasti metasedimentů moravika. V moldanubiku, brněnském a dyjském masivu a boskovické brázdě se nevyskytuje vůbec nebo jenom velmi vzácně. Primární výskyty staurolitu jsou vzdáleny desítky kilometrů (Nedvědice, Hardegg). Pro část studovaných sedimentů lze předpokládat velmi krátký transport (max. první kilometry). Proto jsou za zdroj staurolitu považovány sedimenty křídového stáří (tzv. sladkovodní spodní cenoman), kde byla zjištěna co do obsahu staurolitu srovnatelná asociace TM (Krystek 1959). Pro výrazný zdroj z těchto hornin navíc svědčí četné redepozice křídové mikrofauny do sedimentů karpatské předhlubně (Krystek 1983). Oblast východního okraje českého masívu byla tedy ve spodním miocénu zakryta těmito sedimenty. Na značný rozsah křídových sedimentů v zájmové oblasti usuzoval Malkovský et al. (1974). Změnu asociace těžkých minerálů spojenou s hranicí ottnang/karpat lze proto vysvětlit ukončením eroze těchto sedimentů ve zdrojové oblasti.

Celkově je pro vzorky ze souboru Miroslav ve srovnání s oblastí Znojma pravděpodobný vyšší přínos z brněnského masívu, moldanubika a křídy. Zastoupení zdrojových hornin se ale částečně měnilo v rámci jednotlivých segmentů.

V segmentu 1 byl zjištěn nejvyšší ZTR index, relativně zvýšený podíl kyanitu, amfibolu a slabě i turmalínu, naopak snížený podíl apatitu a staurolitu, negativní vztah epidotu a kyanitu (opačně k segmentu 3). To ukazuje na zdroj převážně z nejbližších geologických jednotek. Tato představa odpovídá charakteru transportu (aluviální až fluviální sedimentace). V rámci této sekvence jsou podobné vztahy mezi turmalínem – zirkonem a turmalínem – staurolitem jako na Znojemsku, což ukazuje na zčásti obdobný zdroj v těchto oblastech. To, že se objevuje apatit, amfibol, epidot ve vzorcích, u nichž předpokládáme původ z hluboce zvětralého krystalinika, lze vysvětlit zvýšeným reliéfem zdrojové oblasti.

Segment 2 je typický nejnižším ZTR indexem, nejvyšším podílem granátu a epidotu, negativní závislostí staurolitu a granátu, zirkonu a turmalínu. To ukazuje na více zdrojů i přínos relativně čerstvého materiálu. Důležitou roli hraje brněnský masív, moravikum a křída, moldanubikum je minoritní. Je třeba uvážit jeho celkově jemnozrnější charakter a pravděpodobně zarovnanější reliéf proti segmentu 1.

Segment 3 má o něco vyšší ZTR index než segment 2, nejvyšší zatoupení staurolitu a apatitu, nejnižší zastoupení kyanitu, amfibolu i turmalínu, vyšší pozitivní korelaci mezi zirkonem a rutilem, zirkonem a apatitem, turmalínem a apatitem, turmalínem a rutilem i epidotem a kyanitem. Tyto vztahy lze nejspíše vysvětlit výraznější primární rolí moldanubika a křídy v provenienci. Vztahy mezi zirkonem a rutilem, zirkonem a apatitem, turmalínem a apatitem, turmalínem a rutilem jsou velmi podobné jako na Znojemsku.

Výsledky tedy mohou sloužit k potvrzení představ o depozičním prostředí. V aluviálně-fluviálním segmentu bylo zdrojem materiálu nejbližší okolí, segment deltový je typický širším spektrem zdrojových hornin a v segmentu mělkomořském je zdroj ještě

širší. Zastoupení staurolitu v souboru Miroslav stoupá od segmentu 1 (13 %) k segmentu 3 (24 %). Ve stejném směru se snižuje obsah amfibolu (ze 7,6 % na 1,7 %) a epidotu (5,1–3,5 %). Z toho lze usoudit, že oblast pokrytá těmito sedimenty byla rozsáhlá, neboť jejich vliv roste s předpokládaným rozsahem zdrojové oblasti. Potvrzuje to pokles zastoupení amfibolu a epidotu, derivovaných pravděpodobně z lokálního zdroje tj. brněnského masívu.

V rámci izolovaných reliktů marinního neogénu, kterým se připisuje stáří eggenburg-ottnang (Hladilová, Nehyba 1992) bylo zjištěno relativně nízké zastoupení staurolitu. To by naznačovalo, že křídové sedimenty v době neogenní sedimentace jen slabě zasahovaly na jihozápadnější (vůči zájmové oblasti) okraj Českého masívu (okolí Moravských Budějovic).

Pro soubor Znojmo je vyšší relativní přínos z hornin moravika a dyjského masívu, nižší z brněnského masívu, křídy a pravděpodobně i moldanubika. Zdrojem epidotu může být zčásti i tasovický typ biotitického granodioritu, což by mohl být i zdroj apatitu + amfibolu + granátu, které zde mají pozitivní korelaci na rozdíl od Miroslavi. Turmalín + staurolit + kyanit, které zde mají také pozitivní korelaci, by mohly pocházet ze svorů moravika.

Předchozí představy lze částečně podpořit výsledky orientačního petrografického studia zrnitostní frakce 1–3 mm (Nehyba 1995b), které ukazuje jak na zdroj z intenzivně zvětralého krystalinika, tak i výraznou roli redepozice. Segment 1 je petrograficky relativně nejchudší (horniny nejbližšího okolí), segment 2 má již širší petrografické spektrum a segment 3 představuje nejširší zdrojovou oblast.

Závěr

Některé statistické metody byly využity k vyhodnocení asociací těžkých minerálů spodního miocénu (eggenburg, ottnang) jz. části karpatské předhlubně. Vstupní soubory představovaly jednak analýzy ze širšího okolí Znojma (soubor Znojmo) a dále analýzy z okolí Miroslavi (soubor Miroslav). Statistické metody zahrnovaly výpočet základních charakteristik souborů, korelační analýzu dvou minerálů a multivariační statistickou analýzu.

Výsledky statistického zpracování, které ukazují na vzájemné vztahy jednotlivých minerálů, vedly k vyčlenění hlavních diagnostických minerálů (či skupin minerálů). Pro ně byla přijata představa o dominantním původu z jednoho zdroje. Pro soubor Znojmo jsou to minerály ZIRKON – APATIT + AMFIBOL – STAUROLIT + KYANIT + TURMALÍN – GRANÁT. Pro soubor Miroslav pak minerály ZIRKON + RUTIL (+ APATIT) – APATIT – AMFIBOL – STAUROLIT + TURMALÍN – KYANIT – (GRANÁT). Z hlediska provenience tyto výsledky naznačují, že v souboru Znojmo hrál relativně vyšší roli přínos z hornin moravika a dyjského masívu a nižší z brněnského masívu, křídových sedimentů a pravděpodobně i moldanubika proti souboru Miroslav. V návaznosti na sedimentologické studium byly vzorky z okolí Miroslavi rozděleny do tří segmentů. Výsledky ze segmentu 1 (aluviálně-fluviální) ukazují na dominantní zdroj převážně z nejbližších jednotek, tj. brněnského masívu. Segment 2 (deltový) odpovídá z hlediska provenience mísení materiálu z více zdrojů (především brněnský masív a moravikum, menší role moldanubika). Segment 3 (mělkomořský) ukazuje na ještě širší zdrojovou oblast. Pro všechny segmenty je předpokládán významný zdroj ze sedimentů křídy (tzv. sladkovodní cenoman). Tyto sedimenty pokrývaly značnou oblast a ukončení jejich eroze lze spojit se změnou asociace těžkých minerálů v karpatské předhlubni (hranice ottnang/karpat). Určení provenience bude třeba potvrdit výsledky chemických analýz některých minerálů.

SUMMARY

Results of heavy minerals studies from Lower Miocene (Eggenburgian, Ottnangian) sediments from the SW part of the Carpathian Foredeep were statistically analysed. Samples from both outcrops and well cores were studied. Interpretation of the depositional environment was based on sedimentological studies. Nehyba (1995a) recognized 3 segments in the studied area. Basal segment (segment I) is a product of alluvial-fluvial deposition. Middle segment (segment II) is a product of deltaic deposition and the upper segment (segment III) is represented by shallow-marine deposits. Oncophora beds are a part of segment 3. The broader regional correlation with similar deposits in the surroundings of Znojmo in the Czech Republic and with deposits in Lower Austria proved that the deposition occurred during gradual transgression. Segments reflect local progradational and retrogradational phases (relative sea level changes). Individual cycles were directed mainly by the velocity of deposition and by the amount and character of material transported into the basin. The close position of the studied area to the margins of the basin played an important role.

Two groups of samples were studied. The first group is built by samples from the broader surroundings of Znojmo, the second one by samples from the surroundings of Miroslav. A correspondence factor analysis (a distribution free technique) was used as the main statistical technique.

The results of statistical analyses show the internal relations of individual minerals and lead to the discrimination of the main heavy mineral components. These components are predominantly from one source and can be used in the provenance studies. Zircon – Apatite + Hornblende – Staurolite + Kyanite + Tourmaline – Garnet are the components for the Znojmo region. Zircone + Rutile (+ Apatite) – Apatite – Hornblende – Staurolite + Tourmaline – Kyanite – (Garnet) are the components for the Miroslav region. The important role of the source from the Moravicum and the Dyje Batolith was recognised for the Znojmo region. For the Miroslav region, an important role of the Brno Massif and probably of the Moldanubicum was recognised. The Cretaceous sediments were important source for both groups, but mainly for the Miroslav region.

The sediments of the Miroslav region were subdivided into 3 units according to the depositional environment. The closest geological units (mainly the Brno Massif) were the source for the deposits of segment I. Studied samples from segment II have several sources (mainly the Brno Massif, partly the Moravicum, the Cretaceous sediments and the Moldanubicum). Deposits from segment III point to an even broader source area. The role of the Cretaceous deposits was more important in the case of the broader source area. The Cretaceous sediments ("freshwater Cenomanian" deposits) covered broad areas on the eastern rim of the Bohemian Massif during the Lower Miocene. These sediments were eroded and the end of their erosion is connected with a sharp change in the heavy mineral suite (Ottnangian/Karpathian boundary).

The provenance studies should be confirmed by the chemical analyses of some selected heavy minerals.

Podporováno grantem GA ČR č. 205/95/1211.

LITERATURA

BATÍK, P., 1984: Geologická stavba moravika mezi bítešskou rulou a dyjským masívem. Věst Ústř. úst. geol. 59/6, 321–330.

BATÍK, P., ČTYROKÝ, P. a kol., 1977: Vysvětlivky k zákl. geologické mapě 1:25 000 34–131 Šatov. – Archiv ČGÚ Praha.

BATÍK, P., ČTYROKÝ, P. a kol., 1977: Vysvětlivky k zákl. geologické mapě 1:25 000 34–131 Šatov. – Archiv ČGÚ Praha.

BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Nakl. ČSAV.

ČTYROKÝ, P., BATÍK, P. a kol., 1982: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR, 1:25 000, 34–113, Znojmo. – ÚÚG Praha.

FAUPL, P., ROHRLICH, V., ROETZEL, R., 1988: Provenance of the ottnangian sands as revealed by statistical analysis of their heavy mineral content (Austrian Molasse Zone, Upper Austria and Salzburg). – Jb. Geol. B.–A., 131, 1, 11–20. Wien.

HLADILOVÁ, Š., NEHYBA, S., 1992: Sedimentological and paleontological study of Tertiary sediments from Nové Syrovice (SW. Moravia, Czechoslovakia). – Scripta, 22, 66–76. Brno.

HÖCK, V., 1975: Mineralzonen in Metapeliten und Metapsamiten der Moravischen Zone in Niederösterreich. – Mitt. geol. Ges. 66–67, 49–60.

JAROŠ, J., MÍSAŘ, Z., 1976: Nomenklatura tektonických a litostratigrafických jednotek svratecké klenby moravika. – Věst. Ústř. úst. geol. 51, 113–122.

KRŮTA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. Brno.

KRYSTEK, I., 1959: Příspěvek k poznání geneze a stáří rudických vrstev. – Kras v Českoslov. 1; 257–265. Praha.

KRYSTEK, I., 1981: Použití výzkumu společenstev těžkých minerálů v sedimentárních komplexech. – Folia. Fac. Sci. Univ. Nat. Purk. Brun., Geol., 22, 3; 101–107. Brno.

KRYSTEK, I., 1983: Výsledky faciálního a paleogeografického výzkumu mladšího terciéru na jv. svazích Českého masivu v úseku „Jih". – Folia. Fac. Sci. Univ. Nat. Purk. Brun., Geol., 24, 9; 1–47. Brno.

KRYSTEK, I., 1986: Poznámky k vývoji karpatské předhlubně. – MS PřF MU Brno.

KRYSTEK, I., TEJKAL, J., 1968: K litologii a stratigrafii miocénu jihozápadní části karpatské předhlubně na Moravě. – Folia. Fac. Sci. Univ. Nat. Purk. Brun., Geol., 9, 7; 1–31. Brno.

LEICHMANN, J., 1996: Geologie und Petrologie des Brno Massivs. – Nepublikovaná disertace. MS Universität Salzburg.

MALKOVSKÝ, M. et al., 1974: Geologie české křídové pánve a jejího podloží. – Praha.

MORTON, A. C., 1985: Heavy minerals in provenance study. – in: Zuffa G. G. (ed.): provenance of arenites. – D. Reidel Publ. Co.; 249–277. Boston.

MORTON, A. C., HALLSWORTH, C., 1994: Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. – Sedimentary Geology 90, 241–256.

NEHYBA, S., 1995a: Sedimentology of Lower Miocene sediments in the SW part of the Carpathian Foredeep (Czech Republic). – 16th Regional Meeting of IAS, Abstracts, Aix-les-Bains. France.

NEHYBA, S., 1995b: Sedimentologické studium miocénu jz. části karpatské předhlubně na Moravě. – Doktorská disertační práce, 1–122. Archiv katedry geologie a paleontologie PřF MU Brno.

NEHYBA, S., 1996: Sedimentologické studium miocénu jz. části karpatské předhlubně. – Abstrakty konference Sedimentární geologie v České republice '96, str. 31. Praha.

NIEDERMAYER, G., 1967: Die akzesorischen Gemengteile von Gf;hler Gneis, Granitgneis und Granulit im niederösterreichischen Waldviertel. – Ann. Naturhistor. Mus. Wien 70, 19–27.

NOVÁK, Z., 1978: Petrografická charakteristika sedimentů neogénu na listu 34–113 Znojmo. – MS Geofond Praha.

NOVÁK, Z., 1986: Litologická charakteristika sedimentů neogénu (vrty PMK). – MS ČGÚ Praha.

PIVNIČKA, L., 1995: Metamorfoza lukovské skupiny moravika. – MS katedra mineralogie a petrografie PřF MU Brno.

SCHULMANN, K., LEDRU, M., AUTRAN, A., MELKA, R., LARDEAUX, J. M., URBAN, M., LOBKOWICZ, M., 1991: Evolution of nappes in the eastern margin of the Bohemian Massif: a kinematic interpretation. – Geologische Rundschau, 80/1, 73–92.

STATTEGGER, K., 1986: Die Beziehungen zwischen Sediment und Hinterland: Mathematisch-statistische Modelle aus Schwermineral daten rezenter fluviatiler und fossiler Sedimente. – Jb. Geol. B.–A., 128, 449–512. Wien.

ŠKODA, S., 1986: Sedimentologické zpracování spodnomiocenních sedimentů v oblasti Olbramovice–Pravlov. – MS katedra geologie a paleontologie PřF MU Brno.

ŠTELCL, J., SVOBODA, L., STANĚK, J., FOJT, B., 1977: Akcesorické minerály předpokládaných provenientních oblastí autochtoního paleozoika, mesozoika a paleogénu v podloží karpatské předhlubně. – Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun. XVIII, 11. Brno.

ŠTELCL, J., WEISS, J., FOJT, B., ROZEHNAL, L., MALÝ, L., 1981: Příspěvek k řešení hlubší geologické stavby brněnského masívu s využitím seismického výzkumu pomocí metody Vibroseis. – Geofyzika Brno.

WEBER, R., 1996: Metamorfoza hornin skupiny bílého potoka. – MS katedra mineralogie a petrografie PřF MU Brno.