

Terciární říční sedimenty v širším okolí Jihlavy

Tertiary river deposits in the wider surroundings of the Jihlava city

Michal Francírek¹✉, Slavomír Nehyba²

¹ GEOMIN s.r.o., Znojemská 78, 586 01 Jihlava

² Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

Key words:

Jihlava Furrow, facies analysis, channel infill, flood plain, crevasse splay

✉ francirek@geomin.cz

Editor:

Pavla Tomanová Petrová

Abstract

Tertiary deposits have been known around Jihlava city for many years. However, they have never been thoroughly studied. Most of the known occurrences are situated in the Jihlava Furrow. During the drilling research, these Tertiary deposits were newly detected in three wells: HGM-1, V1 and V4. Facies analysis, petrography and gamma spectrometry were performed on samples taken from all three wells. The model of basement of Cenozoic deposits has been constructed. Based on facies analysis, 8 lithofacies (7 studied deposits and 1 eluvium) have been described. The study of lithofacies has made the recognition of the depositional environments of the Tertiary deposits possible. The depositional environments of these deposits are interpreted as fluvial channelized gravels and non-channelized deposits (flood plain, crevasse splays, oxbow lake and lake). The channelized gravels have been found by the well HGM-1 in the overburden of the crystalline rocks of the Moldanubian. Their thickness is relatively low (1.7 m) and the channels were probably not deep. The non-channelized deposits are formed by clays, silts and fine-grained sands. In the upper part of the succession a layer of organic deposits (peat) has been detected. The results of petrography have shown that material originated from local sources, especially Moldanubian Unit and Jihlava Massif (gneisses, mica-schistes, granitoids, less importantly pegmatites and phyllites). High concentrations of Th and U have been found in the studied deposits. These high concentrations can be associated with the source rocks. The values of Th/U and Th/K ratios are significantly higher in the studied deposits than in eluvium. This indicates conditions of weathering and sedimentation, and also points to input of the material from several sources. The model of crystalline basement shows that there were probably at least two spatially separated fluvial river systems. One river system was situated in the area of Velký Beranov and Měšín. The preserved remains of the second system are visible in the area of Jihlava city and its peripheral parts (Bedřichov and Pávov).

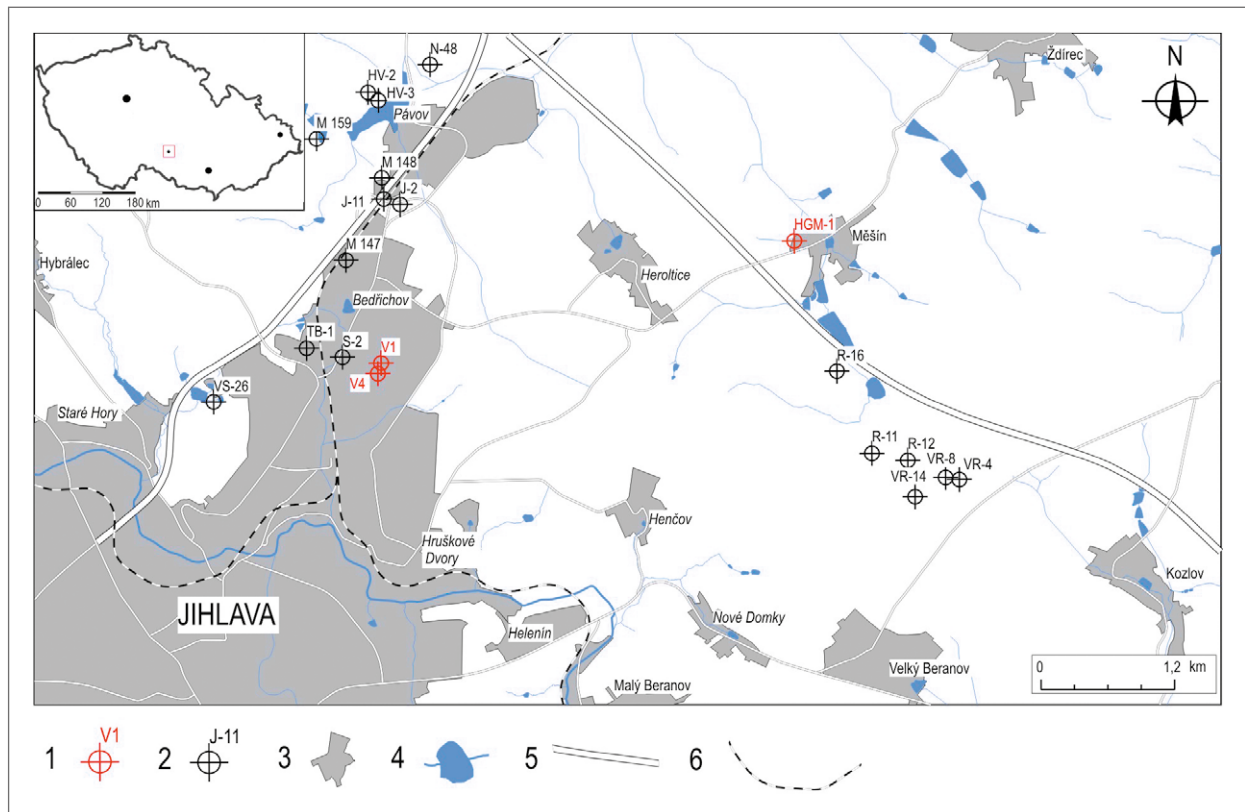
Úvod

V okolí Jihlavy jsou již delší dobu známy kenozoické sedimenty, které tvoří pokryv krystalinických hornin a zároveň představují výplň jihlavské/jihlavsko-sázavské brázdy. Jihlavská/jihlavsko-sázavská brázda tvoří sníženinu tektonického původu na rozvodí Jihlavy a Sázavy vázanou na průběh přibyslavské mylonitové zóny směru S–J s rozsáhlými plošinami zarovnaného povrchu s pozůstatky neogenních písků a jílu (Demek ed. 1987). Dle Veselý (1976) jde o příkopovou propadlinu podobající se boskovické nebo blanické brázdě. Jedná se o povrchový projev přibyslavského zlomu (Mísař 1983). Krystalinické horniny moldanubika, především pararuly a migmatity, drobná tělesa amfibolitů, granulitů, skarnů a vzácně i kvarcitů, jsou v prostoru zlomového pásma přeměny

Doporučená citace článku:

Francírek, M., Nehyba, S. (2019). Terciární říční sedimenty v širším okolí Jihlavy. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 26, 1–2, 24–33.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2019-1-2-24>



Obr. 1: Pozice studovaných vrtů HGM-1, V1 a V4 a archivních vrtů.

Legenda: 1 – studované vrty; 2 – archivní vrty; 3 – město/obec/místní část; 4 – jezero/rybník/řeka/potok; 5 – dálnice/silnice; 6 – železnice.

Fig. 1: Position of studied drill holes HGM-1, V1 and V4 and archive drill holes.

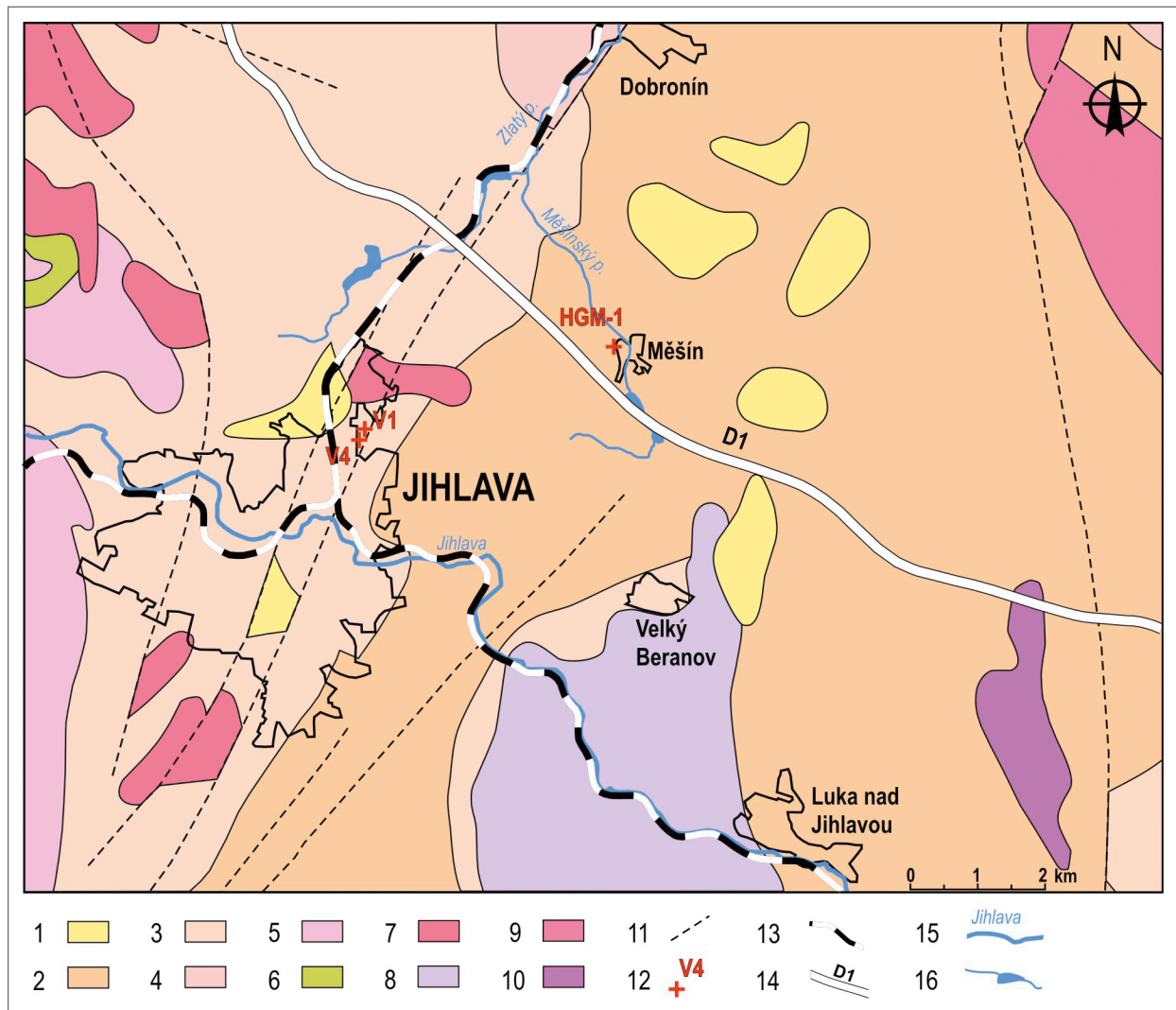
Legend: 1 – studied drill holes; 2 – archive drill holes; 3 – city/village/local part; 4 – lake/pond/river/stream; 5 – motorway/road; 6 – railway.

na mylonity a kataklazity (Veselá 1976; Mísař 1983). Sedi- mentární výplň jihlavské brázdy je známa z okolí Jihlavy a poté až Železných Hor (Stárková et al. 2015). Jelikož je brázda situovaná ve vyšší nadmořské výšce, podléhala silné denudaci a zachovala výplň je málo mocná. Výplň v okolí Jihlavy je tvořena především tercierními šter- kopisky a písčitémi jíly lakustrinního původu (Veselá 1976). Nově byly tyto tercierní sedimenty dokumentovány během inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu v okolí Jihlavy. Až 4,4 m mocné tercierní usazeniny zastihl především hlubší hydrogeologický vrt HGM-1 v Měšíně pod tenkým pokryvem kvartérních sedimentů. Další výskyty tercierních sedimentů byly zjištěny mělkými inženýrskogeologickými vrty V1 a V4 pro stavbu haly v Bedřichově u Jihlavy. Pozice těchto vrtů je znázorněna na obrázku 1. Všechny tyto výskyty terci- erních sedimentů nebyly dosud známy a nejsou proto ani vyznačeny ve stávající geologické mapě (obr. 2).

První zmínky o tercierních sedimentech pochází z první poloviny 20. století, kdy Hinterlechner (1913) bě- hem mapování v okolí Jihlavy popsal písčité a šterkovité sedimenty. Tyto sedimenty považoval za relikv vodního toku, stejně jako Zapletal (1928) a Novák (1943). Podle Freisinga (1938) se jedná o plážové sedimenty, naopak Sý- kora (1949) určil původ těchto sedimentů jako lakustrinní. Podrobně kenozoické sedimenty v okolí Jihlavy studoval a mapoval Hrádek (1969). V šedesátých letech 20. století

probíhalo intenzivní geologické mapování v okolí Jihlavy, v rámci něhož byly zdokumentovány tercierní sedimenty (Veselá 1970). Další sedimenty tercierního stáří byly po- psány během stavby dálnice D1 na lokalitě Rytířsko (Bílek, Rybařík 1972). Zmínky o tercierních sedimentech pochází mnohdy z různých popisů inženýrskogeologických vrtů, avšak tyto popisy je potřeba brát s určitou rezervou, proto- že leckdy dochází k záměně kvartéru, terciéru a zvětralého krystalinika (Veselá 1970).

Studium sporopylových asociací humózního ho- rizontu, který byl zjištěn v rámci tercierních sedimentů Jihlavska, ukázalo podobnost s pliocenními sedimenty lednického souvrství jihočeských pánví (Konzalová 1969). Další výzkum pískovců provedli Maštera a Veselá (1997), z jejichž výsledků je patrná podobnost pískov- ců v okolí Měšina a Dobronína (jihlavská brázda) se svrchnoviseckými drobnými myslejovického souvrství drahanského kulmu. V oblasti jz. části Českomoravské vrchoviny jsou tercierní (neogenní) sedimenty popisovány také z okolí Moravských Budějovic a Třebíče (Koutek 1971; Nehyba, Hladilová 2004; Zágoršek et al. 2009). Neogenní sedimenty z prostoru Moravských Budějovic jsou interpretovány jako produkty okrajového mělkého moře (Nehyba, Hladilová 2004), kdežto v okolí Kraslic nad Oslavou odpovídají pelagickým podmínkám otevřeného moře (Zágoršek et al. 2009).



Obr. 2: Lokalizace studovaných vrtů v geologické mapě (upraveno podle Geologické mapy České republiky 1 : 500 000, Cháb red. 2007).

Legenda: 1 – jíly, písky, štěrky (terciér); 2 – biotit-sillimanitové ruly (prekambrium–paleozoikum); 3 – cordieritické ruly/migmatity (prekambrium–paleozoikum); 4 – migmatizované ruly a migmatity (prekambrium–paleozoikum); 5 – felzické granulity (prekambrium); 6 – peridotity, serpentinity (prekambrium); 7 – dvojslídne granity (variská intruziva); 8 – pyroxen-biotitické syenity (variská intruziva); 9 – amfibol-biotitické syenogranity (variská intruziva); 10 – biotit-amfibolické tonality a křemenné diority (variská intruziva); 11 – zlom; 12 – studované vrtý; 13 – železnice; 14 – dálnice; 15 – řeka/potok; 16 – jezero/rybník.

Fig. 2: Location of the studied drill holes in the geological map (modified after the Geological Map of the Czech Republic 1 : 500 000, Cháb red. 2007).

Legend: 1 – clays, sands, gravels (Tertiary); 2 – biotite-sillimanite gneisses (Precambrian–Paleozoic); 3 – cordierite gneisses/migmatites (Precambrian–Paleozoic); 4 – migmatitized gneisses and migmatites (Precambrian–Paleozoic); 5 – felsic granulites (Precambrian); 6 – peridotites, serpentinites (Precambrian); 7 – two-mica granites (Variscan intrusions); 8 – pyroxene-biotite syenites (Variscan intrusions); 9 – amphibole-biotite syenogranites (Variscan intrusions); 10 – biotite-amphibole tonalites (Variscan intrusions); 11 – fault; 12 – studied drill holes; 13 – railway; 14 – motorway; 15 – river/stream; 16 – lake/pond.

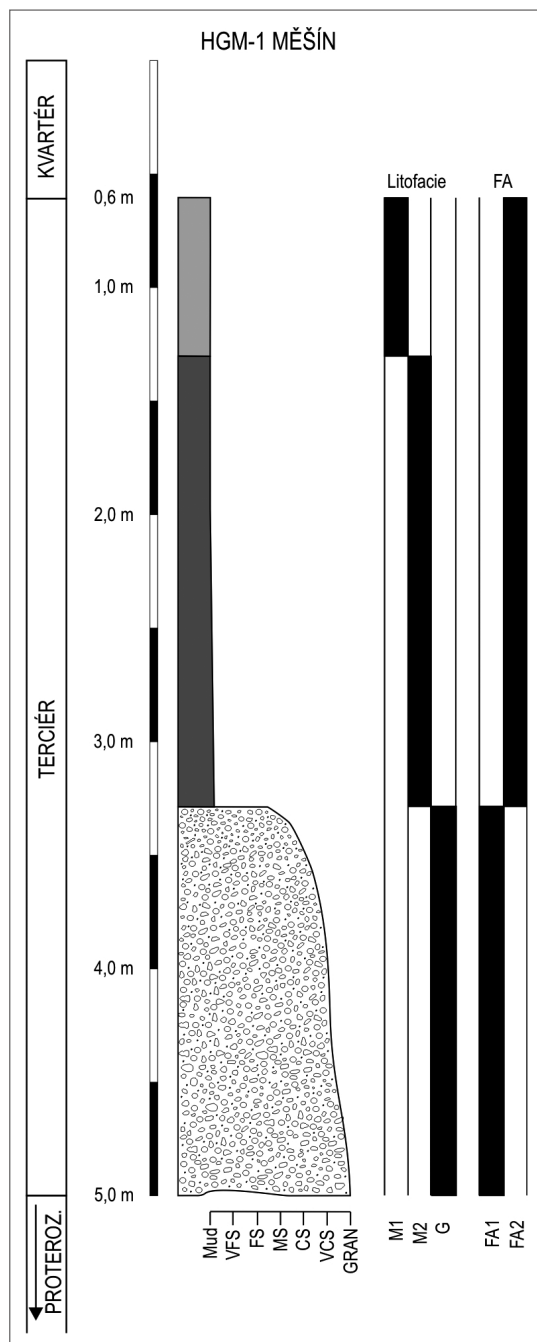
Metodika

Studované sedimenty byly makroskopicky popsány a litofaciální analýza byla provedena podle obvyklých pravidel Mialla (1989), Readinga (1996) a Nemece (2005). Tvar a zaoblení nejhrubší frakce (> 4 mm) byl určen vizuálně s pomocí metody Powerse (1982). Zrnitostní analýza byla realizována kombinovanou metodou normovaných sít („za mokra“) a laserové difrakce (Retsch AS 200 síťovací analyzátor a Cilas 1064 laserový granulometr). K určení zrnitostních charakteristik (Mz, σ_I) byly využity vzorce dle Folka a Warda (1957). Studium petrografického

složení frakce nad 2 mm proběhlo v jednotlivých vzorcích v populaci 3–200 zrn. Gamaspektrometrická analýza byla provedena na 10 vzorcích, navážka se pohybovala kolem 300 g. Měření (30 minut každý vzorek) přirozené radioaktivity proběhlo na gamaspektrometru GR-320 SPEC za účelem zjištění přirozené koncentrace radioaktivních prvků draslíku, uranu a thoria. Celková radioaktivita byla vypočtena jako tzv. standardní gamazáření (SGR) dle vzorce $SGR [API] = 16,32 \times K (\%) + 8,09 \times U (\text{ppm}) + 3,93 \times Th (\text{ppm})$ – API/American Petroleum Institute units.

Tab. 1: Stručný popis vyčleněných litofacií.
Tab. 1: List of lithofacies.

Symbol	Popis
M1	Světle hnědý až šedohnědý masivní prach, místy šedě smouhovaný, zbytky zuhelnatělé organické hmoty. Ojedinelé přítomny zrnka pyritu.
M2	Hnědě šedavý, olivově hnědě zelený až hnědavě šedozeleň masivní smouhovaný prach, místy slabě jemně písčité, světle slídnatý. $M_z = -6,0 \phi$, $\sigma_I = 2,2 \phi$.
M3	Světle zelenošedý jílovitý prach planárně laminovaný, hnědě smouhovaný, slabě jemně písčité, světle slídnatý, nevápnitý. Přítomny zbytky rozložené organické hmoty.
M4	Světle šedozeleň, hnědě smouhovaný jemně písčité prach, planárně laminovaný. Laminy jemnozrnného až středozrnného písku jsou neprůběžné a místy až čočkovité.
S1	Žlutavě zelený, hnědě smouhovaný prachovitý písek, místy vložky nazelenalého prachu. Masivní. $M_z = -3,5 \phi$, $\sigma_I = 1,4 \phi$.
S2	Rašelina černé barvy charakteru prachovitého písku se šterkem. Zetlelé kusy organické hmoty. $M_z = -2,3 \phi$, $\sigma_I = 3,0 \phi$.
S3	Rezavě hnědý středně až hrubě zrnitý písek se šterkem (eluvium). $M_z = -1,2 \phi$, $\sigma_I = 6,4 \phi$.
G	Šedý až modrošedý prachovito-písčité šterk, masivní, světle slídnatý, max. klasty 3 cm. $M_z = -3,5 \phi$, $\sigma_I = 1,4 \phi$.



Obr. 3: Sedimentární profil vrtu HGM-1.
Fig. 3: Sedimentological log of drill hole HGM-1.

Za použití programu Surfer 9 byl vytvořen schematický model předterciérního podloží povrchu krystalinika, k jehož vytvoření byla využita volně dostupná data z několika stovek vrtů z databáze „Vrtná prozkoumanost“ na webu České geologické služby (https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/, ČGS 2019).

Výsledky

1. Faciální analýza

Na základě podrobného studia vrtných jader bylo vyčleněno celkem 8 litofacií, které jsou podrobně popsány v tabulce 1. Zrnitostní a petrografické charakteristiky byly klíčové při určování litofacií. Využití primárních sedimentárních struktur bylo menší vzhledem k jejich částečné destrukci, která byla způsobena technologií vrtání. Na základě prostorové distribuce a depozičních procesů byly litofacie seskupeny do faciálních asociací (FA). Nápadná je relativní litologická pestrost sedimentů, značné rozdíly v jejich zrnitosti a vytřídění, rychlá faciální změna a celkový nahoru zjemňující trend. Výskyty litofacií i faciálních asociací v rámci jednotlivých vrtů jsou prezentovány na obrázcích 3, 4 a 5.

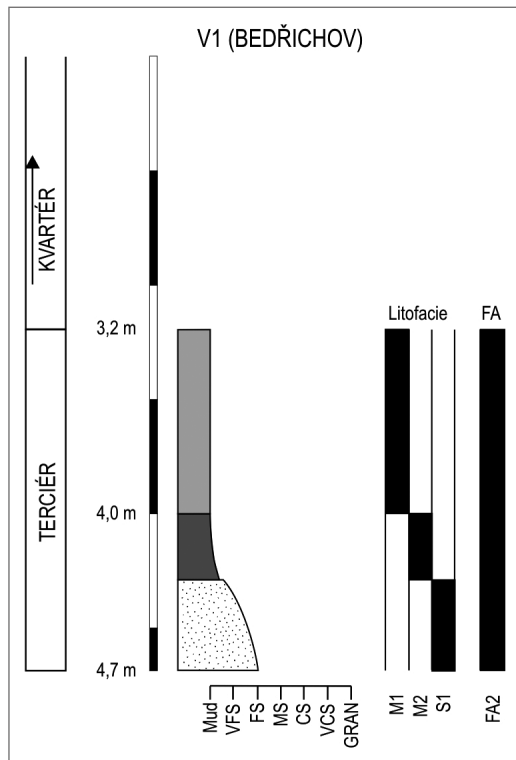
Byly vyčleněny celkem dvě faciální asociace. První faciální asociace FA1 je tvořena litofacií G. FA1 představuje bazální část terciérních sedimentů a byla zjištěna pouze ve vrtu HGM-1 v hloubce od 3,3 do 5 m (mocnost 1,7 m), kde přímo nasedá na předterciérní podloží. Sedimenty FA2 jsou tvořeny litofaciemi M1, M2, M3, M4, S1 a S2. FA2 byla dokumentována ve vrtech V1 a V4 a v nadloží FA1 ve vrtu HGM-1. Pro tuto faciální asociaci jsou typické jemnozrnné sedimenty, především prachy s proměnlivým obsahem písčité frakce. Báze FA2 je ostrá a planární.

Interpretace:

Na základě faciální a zrnitostní analýzy bylo rekonstruováno depoziční prostředí studovaných sedimentů.

FA1 Sedimenty říčního koryta

FA1 je tvořena jednou facií G a dokumentována byla pouze ve vrtu HGM-1. FA1 představuje šterky tvořící výplň říčního koryta (Maizels 1993). Původ korytových šterků je spojen s říčními nebo hyperkoncentrovanými proudy. Hyperkoncentrované proudy představují subaerické, fluidní, turbulentní proudy vody a směsi sedimentu, která je velice hustá. Sedimentace takovéto směsi neprobíhá trakčním způsobem (Nemec 2009). Původ



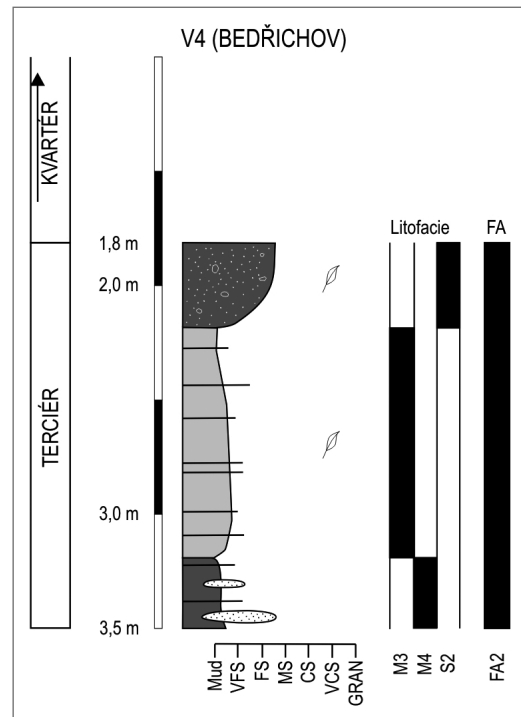
Obr. 4: Sedimentární profil vrtu V1.

Fig. 4: Sedimentological log of drill hole V1.

těchto sedimentů lze spatřovat ve zředění úlomkotoků a hustotních proudů v říčním korytu (Sohn et al. 1999). Relativně malá mocnost sedimentů (1,7 m) vylučuje existenci hlubokého koryta.

FA2 Mimo korytové sedimenty

V této FA dominují jemnozrnné klastické sedimenty (prachy a jíly) s vložkami nebo vrstvami jemnozrnného až velmi jemnozrnného písku. Sedimenty FA2 jsou typické pro výplavovou plošinu/„flood plain“ (Hjellbakk 1997), průvalové sedimenty/„crevasse splay“ (Roberts 2007) nebo mrtvá ramena řek (Bábek et al. 2008). Na tyto depoziční prostředí ukazuje i blízká spojitost se šterky říčního koryta. Je možné uvažovat, že došlo k průrvě břehu koryta během vysokého stavu vody v řece. Nepřítomnost bioturbace v sedimentech ukazuje na relativně rychlou sedimentaci a krátká období bez přínosu materiálu. Laminy hrubozrnnějšího materiálu jsou spojeny s epizodickými eventy (průtrže, povodně, ...), během nichž docházelo k jeho sedimentaci ve vzdálenější části sedimentačního prostoru. Naopak na klidnou sedimentaci ukazují organické sedimenty (facie S2), které mohou souviset s pedogenetickými procesy v „crevasse splay“ nebo mrtvých ramenech a jejich přeměnou na močály. Sedimentace



Obr. 5: Sedimentární profil vrtu V4.

Fig. 5: Sedimentological log of drill hole V4.

organického materiálu probíhá většinou v distálních částech výplavové plošiny (Burns et al. 2017), kde mohou také vznikat mělká jezera (Gulliford et al. 2017), v nichž sedimentují především jíly, prachy a jemnozrnné písky s polohami organické hmoty (Kukulak et al. 2016).

2. Petrografie

Valounová analýza psefitické frakce 5 vzorků ukázala značnou stabilitu horninového materiálu. V jednom případě (vrt V4 vzorek 1,8–2,2 m) byla zjištěna přítomnost velkého množství zuhelnatělé rostlinné hmoty (nebyla dále uvažována při provenienčním studiu). V rámci tohoto vzorku bylo také zjištěno nejpestřejší petrografické spektrum psefitických klastů.

Samostatně byl hodnocen vzorek HGM-1 eluvium (facie S3, hloubka 8 m). Zde byly přítomny především ostrohranné či poloostrohranné klasty zvětralého krystalinika (nejspíše ortoruly), dále svory a křemen-živcový agregát sporadicky se slídou. Přítomnost polozaoblenných a poloostrohranných klastů křemene souvisí nejspíše s kontaminací z nadloží způsobenou nejspíše vyzvednutím jádra.

Další čtyři vzorky (vrt V4 vzorek 1,8–2,2 m, vrt V1 vzorek 4,0–4,3 m a 4,3–4,7 m, a vrt HGM-1 vzorek

Tab. 2: Zastoupení tvarů a zaoblení studovaných klastů.

Tab. 2: Frequency of roudness and sphericity of studied clasts.

Vzorek	Tvar (%)	Zaoblení (%)	DI	SL	A	SA	SR	R
	SF	ČE						
V1 (4,0–4,3 m)	83,3	16,7	–	–	33,3	50	16,7	–
V1 (4,3–4,7 m)	83,9	4,8	6,5	4,8	72,2	19,7	6,1	–
HGM-1 (3,3–5,0 m)	70,8	21,6	4,9	2,7	19,5	48,8	29,3	4,9
V4 (1,8–2,2 m)	69,8	20,8	5,7	3,8	17,7	25,5	23,5	33,3

3,3–5,0 m) jsou hodnoceny společně. Největší zastižené klasty v hodnocených vzorcích tvořily angulární či subangulární klasty křemene (max. osa A – 4 cm), křemen-živcového agregátu (1 cm) nebo zvětřalého granitoidu (3 cm). Výrazné bylo především zastoupení bělavého, příp. čirého méně často našedlého křemene (31,1–81,3 %). Nejnižší procentuální zastoupení křemene bylo zjištěno právě ve vzorku s vysokým podílem zuhelnatělé rostlinné hmoty. V tomto vzorku bylo také zjištěno nejvyšší zastoupení zaoblených klastů. Analýza tvaru a zaoblení křemenných klastů je znázorněna v tabulce 2. Z tabulky je zřejmá výrazná role sférického tvaru zrna a poměrně velké rozdíly v jejich zaoblení. Až na jednu výjimku je patrné relativně nízké zaoblení zrn.

Velmi významné bylo zastoupení křemen-živcového agregátu (často se slídou), který byl většinou relativně čerstvého vzhledu. Výraznější role zvětřávání, příp. výraznější role diferencovaného fyzikálně-chemického zvětřávání, byla patrná jen u malého procenta těchto zrn. Zastoupení křemen-živcového agregátu v populaci psefitických zrn se pohybovala od 13,8 % do 52,7 %. Zrna mají obvykle sférický tvar (65,2–85,4 %), méně často tvar čepelovitý (10,0–21,6 %).

Zastoupení klastů ostatních hornin bylo v jednotlivých vzorcích velmi proměnlivé. Obvykle byla zjištěna určitá přítomnost hornin krystalinika, která obvykle představovala do 10 % spektra klastů. V jednom případě (vrt V4 vzorek 1,8–2,2 m) však představovala 27,1 %. Jednalo se především o klasty svorů, granitoidů a rul. Méně časté jsou klasty pegmatitu, kvarcitu či fylitu. Klasty granitoidů a rul jsou obvykle sférické, klasty svorů a fylitů často čepelovité. Pro klasty krystalinických hornin je obecně typické nízké zaoblení, klasty jsou obvykle angulární či subangulární. Pouze v případě jednoho vzorku (vrt V4 vzorek 1,8–2,2 m) byly také zjištěny klasty zaoblené a polozaoblené.

Velmi ojediněle a pouze ve dvou vzorcích byly zjištěny klasty sedimentárních hornin. Jednalo se především o nevápnitý šedý křemenný pískovec relativně hrubozrný. Jeho klasty byly sférické či diskovité a většinou zaoblené, příp. polozaoblené. V jednom vzorku byly dále zjištěny ojedinělé klasty světle šedého prachovce sférického tvaru, které byly jak ostrohranné tak polozaoblené.

V jednom případě (vrt V4 vzorek 1,8–2,2 m) byla rozpoznána přítomnost velmi hrubozrnného pískovce až drobnozrnného slepence s vápnitým tmelem. Klasty dosahovaly až 4 cm. Slepence měl podpurnou strukturu matrix. Jednotlivá zrna této horniny byla tvořena křemem, svory, granitoidem a křemen-živcovým agregátem. Jednalo se buď o zbytky karbonátové zvětřávací kůry, příp. o karbonátový hardplan.

Interpretace:

Celkově lze konstatovat zdroj materiálu z intenzivně zvětřalého krystalinika. Klasty jsou dominantně tvořeny vysoce odolným materiálem, což ukazuje na relativně vysokou minerální zralost. Zdrojem byly převážně okolní horniny (moldanubikum, jihlavský masiv). Část materiálu pochází nejspíše z původně mocného zvětřalinového pláště, transport proběhl jen na krátkou vzdálenost. Takové

klasty si potom uchovaly „původní tvar zrn“ a vykazují nízké zaoblení. Petrografické složení odráží geologickou stavbu blízkého okolí. Klasty sedimentárních hornin lze spojit se starší výplní jihlavské brázdy (např. Maštera, Veselá 1997). Jejich přítomnost ukazuje na redepozici části materiálu. Podobně značné rozdíly v pestrosti spektra klastů, rozdíly v opracování a tvarech zrn ukazují na složitější sedimentární historii části studovaných sedimentů.

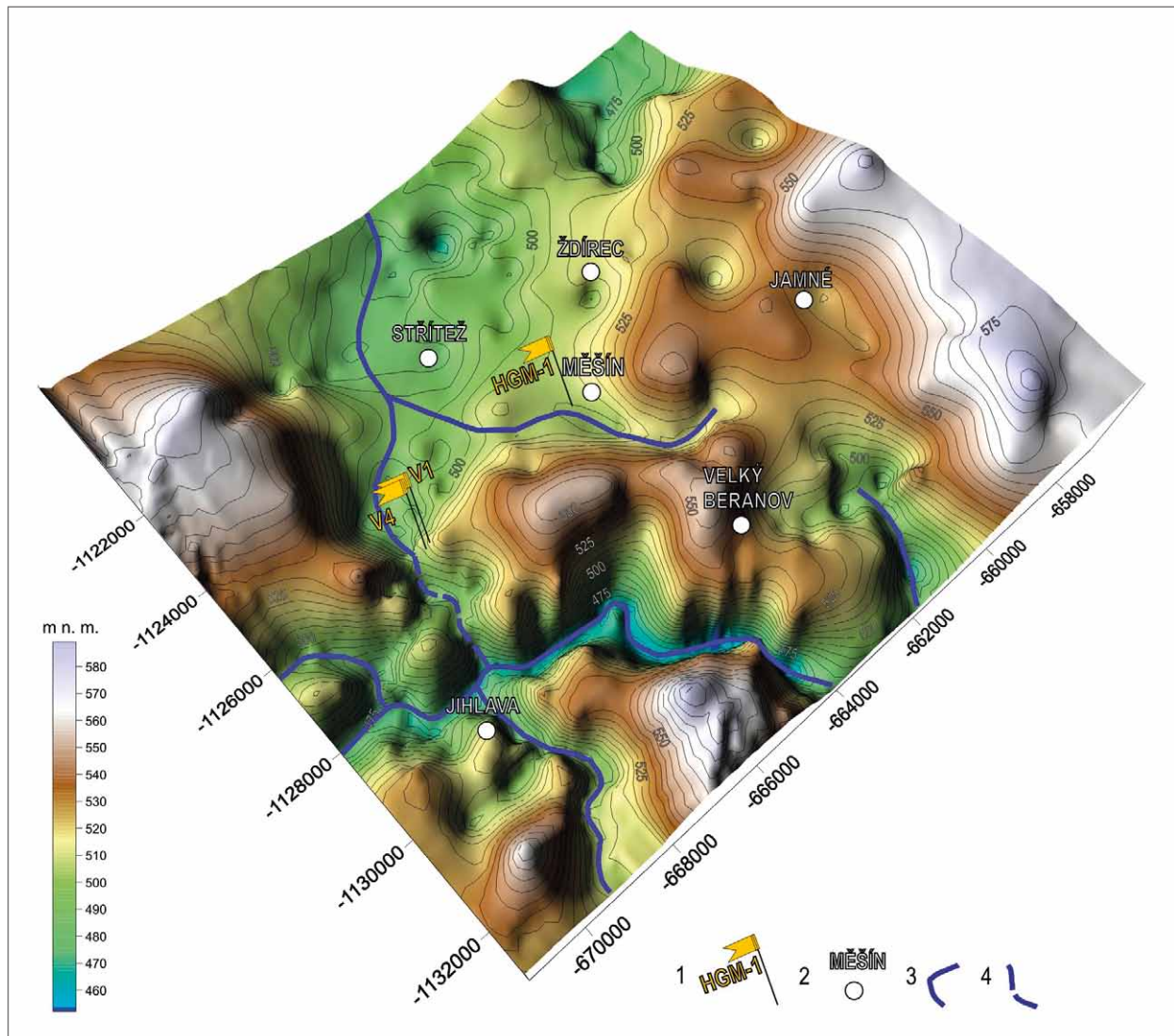
3. Gamaspktrometrie

Koncentrace draslíku se ve studovaných sedimentech pohybují v rozmezí 1,4–2,4 %, průměrná hodnota je 1,9 % (směrodatná odchylka 0,34). Zastoupení uranu se pohybuje v rozmezí 2,9–6,9 ppm s průměrnou hodnotou 4,1 ppm (směrodatná odchylka 1,10). Koncentrace thoria se pohybují v rozmezí 11,3–19,3 ppm s průměrnou hodnotou 14,0 ppm (směrodatná odchylka 2,76). Dle hodnocení Hesselbo (1996) se koncentrace draslíku pohybují od středních po vysoké, koncentrace uranu od nízkých po vysoké a koncentrace Th lze pak považovat za vysoké. Podíváme-li se detailněji na distribuci jednotlivých prvků, tak vzorky se středními koncentracemi K převažují nad vzorky s jeho vysokými hodnotami. V případě uranu naprosto dominují vzorky se středními koncentracemi. Vzorky s nízkými a vysokými koncentracemi U jsou ojedinělé. Celková radioaktivita SGR se pohybuje od 103,5 po 154,5 API. Průměrná hodnota SGR je 118,3 API a směrodatná odchylka 15,29. Hodnoty SGR lze považovat za vysoké (dle Hesselbo 1996).

Hodnoty poměru Th/K se pohybují v rozmezí 5,1–13,8 s průměrnou hodnotou 9,9 (směrodatná odchylka 2,71), jsou tedy relativně vysoké (dle Hesselbo 1996). Hodnoty poměru Th/U nabývají hodnot 2,7–5,1 s průměrem 3,6 (směrodatná odchylka 0,77), což ukazuje, že tyto poměry jsou nízké. Celkové koncentrace K vs. U a Th vs. K vykazují středně silnou negativní korelaci ($r = -0,548$ a $r = -0,418$). Koncentrace U vs. Th vykazují středně silnou pozitivní korelaci ($r = 0,574$). Hodnota celkové radioaktivity SGR vykazuje slabě negativní korelaci se zastoupením draslíku ($r = -0,252$), a relativně silnou pozitivní korelaci se zastoupením uranu ($r = 0,790$) a především thoria ($r = 0,892$).

Interpretace:

Korelace mezi hodnotou celkové radioaktivity SGR a koncentracemi Th a U ukazují, že hlavním nositelem přirozené radioaktivity jsou právě tyto prvky. Pozitivní korelace Th a U signalizuje společný zdroj signálu, kdežto negativní korelace těchto dvou prvků s K naznačuje, že původ signálu K je odlišný. Srovnání absolutních hodnot zastoupení přírodních radionuklidů sledovaných sedimentů a hodnot pro eluvium (vrt HGM-1) naznačuje, že sedimenty vykazují výrazně zvýšené hodnoty Th, nižší hodnoty K a prakticky identické hodnoty U. Zastoupení draslíku je také v sedimentech relativně nejméně variabilní. Snížené hodnoty K lze vysvětlit redukcí zastoupení slíd a živců v sedimentech a také nejspíše rozdílnou zrnitostí. Výrazně vyšší koncentrace Th s vyšší variabilitou, negativní korelace mezi Th a K ukazuje, že jednoduché vysvětlení spočívající ve vyšší koncentraci jílových



Obr. 6: Izoliniový model povrchu krystalinika. Legenda: 1 – studované vrty; 2 – město/obec; 3 – paleokoryto; 4 – deprese (možné paleokoryto).

Fig. 6: Isolines model of crystalline surface. Legend: 1 – studied drill holes; 2 – city/village; 3 – palaeochannel; 4 – depression (possible palaeochannel).

minerálů v sedimentech nelze využít. Lze uvažovat o rozdílné provenienci materiálu s částečně rozdílnými zvětrávacími i transportními procesy. Nízké hodnoty koncentrace U ve vzorku s výrazným zastoupením zuhelnatělé rostlinné hmoty indikují vazbu radioaktivních prvků pouze na minerální komponentu.

Průměrná hodnota celkové radioaktivity SGR je téměř shodná pro studované sedimenty a hodnocené eluvium. Poměr Th/U je považován za indikátor geochemických facií/oxidačně-redukčních podmínek (Myers, Wignall 1987; Doveton 1991) nebo dokonce depozičního prostředí (Adams, Weaver 1958). Zjištěné vyšší hodnoty tohoto poměru ukazují na převažující sedimentaci v oxidačních podmínkách.

Poměr Th/K bývá využíván jako indikátor minerálního složení klastů. Vysoká hodnota tohoto poměru (sensu Rider 1996) ukazuje na relativně vysokou koncentraci Th v hodnocených sedimentech, což lze spojit se zdrojovými horninami, případně depozičními procesy (např. Mange-Rajetzky 1995; Morton, Berge 1995; Morton,

Hurst 1995). Hodnoty poměru Th/U i Th/K jsou výrazně vyšší v hodnocených sedimentech než v eluviu. To poukazuje na odlišné geochemické podmínky, za nichž probíhalo zvětrávání a sedimentace a nejspíše potvrzuje přínos materiálu z několika zdrojů.

4. Model podloží

Z popisu vrtných profilů byl sestaven model povrchu krystalinika pro okolí Jihlavy (obr. 6). Cílem modelu bylo prokázat nebo vyvrátit jednotnost terciérních sedimentů z různých míst v okolí Jihlavy a zároveň potvrdit nesouvislost těchto sedimentů s badenskou sedimentací související s mořskou transgresí do oblasti karpatské předhlubně dále k V.

Z modelu povrchu krystalinika jsou patrné 2 deprese. První z nich se nachází v j. části modelu a představuje říční systém řeky Jihlavy.

Druhá deprese je situovaná v sz. části modelu, v blízkosti Havlíčkova Brodu a kopíruje linii jihlavské brázdy. V současné době odpovídá toku Zlatého potoka a říčce

Šlapance. Z modelu vyplývá, že existovalo pravděpodobně spojení korytovité deprese v linii jihlavské brázdy přes úzkou úžlabinu s říčním korytem řeky Jihlavy.

Interpretace:

Kenozoické sedimenty popisované v okolí Jihlavy jsou vázány na terénní deprese, ať už na prostor jihlavské brázdy nebo na různá koryta potoků. Jedním z těchto výskytů jsou štěrky a písky u Velkého Beranova kopírující částečně koryto Měšínského potoka. Z modelu vyplývá, že tyto sedimenty lze prostorově spojit se studovanými sedimenty ve vrtu HGM-1. Nachází se v bočním údolí, které ústí do korytovité deprese v linii jihlavské brázdy.

Studované sedimenty ve vrtech V1 a V4 v Bedřichově jsou situovány v prostoru osy jihlavské brázdy, která v těchto místech kopíruje koryto Zlatého potoka. Terciérní sedimenty v této lokalitě jsou tvořeny jíly a prachy a v menší míře i písky a štěrky.

Z modelu podloží je zřejmé, že obě lokality spolu prostorově nesouvisí. Každá se nachází v jiné korytovité depresi, které se poté spojují do jedné. Prostorová odlišnost hraje především důležitou roli v provenienci materiálu, která odráží geologické prostředí. Z modelu jsou patrná rozdílná depoziční prostředí jednotlivých depresí. Zatímco sedimenty v okolí Velkého Beranova a Měšína se nachází v širokém a mělkém korytu, tak sedimenty v prostoru jihlavské brázdy se usazovaly v úzké, místy až velmi hluboké depresi.

Diskuze

Hlavní výskyt terciérních sedimentů jsou v zájmovém prostoru nápadně protaženy ve směru SSV–JJZ, tedy ve shodě s tektonickými liniemi a představují reliktní výplň jihlavské brázdy na Vysočině. Tyto sedimenty se řadí k několika známým výskytům terciérních uloženin na Vysočině. Mocnost terciérních sedimentů v prostoru jihlavské brázdy se pohybuje od několika prvních metrů až po téměř tři desítky metrů. Největší mocnost terciérních sedimentů, necelých 25 m, byla zastížena vrtem M 147, který se nacházel přibližně 750 m sv. od studovaných vrtů V1 a V4. Hluboký vrt TB-1, který je situován 630 m z. od vrtů V1 a V4, prošel také přes více než 20 m mocné terciérní sedimenty. Dle archivních popisů v obou vrtech dominuje písčítá a jílovitá frakce nad štěrkovitou. Štěrkovitá frakce se především nachází přímo na povrchu podložního krystalinika. Jedná se většinou o vrstvu kolem 2 až 5 m, která pravděpodobně představuje reziduální štěrkovitou výplň říčního koryta či koryt (Maizels 1993). Tato štěrková vrstva byla dokumentována ve vrtech v Pávově (HV-2, HV-3, J-2, J-11 a N-48) a Bedřichově (S-2). Štěrkové vrstvy byly také zastíženy ve vrtech poblíž Velkého Beranova. Vrtem R-16, který se nachází asi 1 200 m jv. od vrtu HGM-1, byla zjištěna 10 m mocná vrstva štěrku s občasnými tenkými polohami písku a jílu. Dalšími vrty s mocnou štěrkovitou polohou v oblasti Velkého Beranova jsou např. vrty R-11, R-12 nebo VR-4. Naopak vrt VR-14 zastihl v nadloží krystalinika nejprve písčitou a jílovitou polohu a teprve potom polohu štěrku, to ukazuje, že mohlo docházet k migraci říčního koryta (Miall 1996). Písčité a jílovité sedimenty představují mimokorytové sedimenty

s širší detailní genezí, příp. až existenci těles se stojatou vodou, tj. jezer. V některých vrtech byly v sedimentárním profilu zaznamenány polohy organického materiálu. V oblasti Pávova Konzalová (1969) popisuje polohy organické hmoty ve vrtech M 148 a M 159. Poloha organické hmoty byla také zdokumentována vrtem VS-26 a vrtem VR-8 v oblasti Velkého Beranova. Přítomnost větších těles organické hmoty ukazuje na prostředí s klidnou sedimentací jemnozrnného materiálu ze suspenze a celkovou redukcí přínosu klastického materiálu. V prostoru výplavové plošiny mohou během vyššího stavu vody vzniknout tělesa stojaté vody, která mohou existovat i po delší dobu. V těchto jezerech se také může usazovat organický materiál. Konzalová (1969) spatřuje podobnost zjištěných sporopylových asociací z poloh organického materiálu s pliocenními sporopylovými asociacemi ledenického souvrství, které odpovídá podmínkám lakustrinního depozičního prostředí (Slánská 1974).

Z modelu podloží krystalinika vyplývá, že pravděpodobně existovaly minimálně dva prostorově oddělené říční systémy. Dochované pozůstatky prvního říčního koryta jsou patrné v prostoru Jihlavy a její okrajových částí Bedřichova a Pávova. Směr tohoto říčního systému byl s velkou pravděpodobností ve směru hlavních zlomových linií, tj. SSV–JJZ. Druhý říční systém byl situován v oblasti Velkého Beranova a Měšína. Průběh tohoto koryta byl pravděpodobně ve směru SZ–JV. Tyto říční systémy se spojily do jednoho koryta přibližně v prostoru, kde se dnes nachází obec Dobronín a jeho směr kopíroval linii jihlavské brázdy směrem k S. Také je z modelu podložního krystalinika patrné, že pravděpodobně existovalo spojení řeky Jihlavy s říčním systémem jihlavské brázdy přes úzkou úžlabinu, která se nacházela v místech dnešního rozvodí Jihlavy a Sázavy u Bedřichova. Není vyloučeno, že vznik úžlabiny může být spojen až s geologickými procesy v období kvartéru a v terciéru, kdy mohly existovat zcela oddělené říční systémy.

Je známo, že badenská transgrese pronikla daleko na Český masiv a badenské sedimenty jsou dokumentovány jednak v okolí Kralic nad Oslavou (Zágoršek et al. 2009), Moravských Budějovic (Nehyba, Hladilová 2004) nebo Lomnice u Tišnova (Holcová et al. 2015), avšak spojitost studovaných sedimentů Jihlavska s těmito sedimenty je nepravděpodobná. Lze připustit, že korytem řeky Jihlavy mohly částečně pronikat marinní vody do Českého masivu, ale ne v takové míře, aby ve studované oblasti mohl vzniknout záliv marinní pánve. Vlivem transgrese došlo pravděpodobně ke zvýšení hladin řek, prostorové změně říčních toků a s tím související změně provenienci materiálu.

Materiál se do terénních depresí (včetně jihlavské brázdy) dostával splachy nebo krátkými říčními toky z okolních elevací. Přínos lokálního materiálu s nízkým stupněm opracování do sedimentačního prostoru jihlavské brázdy byl potvrzen petrografickým studiem. Naopak gamaspektrometrie ukazuje na rozdílný původ materiálu studovaných sedimentů a eluvia, což může ukazovat na redepozici starších sedimentů.

Závěr

Nové nálezy terciérních sedimentů byly objeveny během průzkumných prací ve vrtech HGM-1, V1 a V4. Jedná se o sedimenty rozvětveného říčního systému, který se nacházel v prostoru jihlavské brázdy. Depoziční prostředí těchto sedimentů je představováno říčními koryty, výplavovou plošinou, průvalovými sedimenty, mrtvými rameny a jezery. V prostoru říčních koryt se usazovaly šterky a hrubozrnné písky. Naopak mimo říční koryta sedimentoval jemnozrnný materiál. Materiál sedimentů pochází z lokálních zdrojů, především z moldanubika a jihlavského masivu, avšak část materiálu vykazuje znaky redepozice.

Poděkování

Autoři děkují za laskavé posouzení příspěvku Mgr. Janu Vítovi, Ph.D., a RNDr. Stanislavu Houzarovi, Ph.D. Velký dík patří také redakci časopisu.

Literatura

- Adams, J. A. S., Weaver, E. (1958). Thorium to uranium ratios as indicators of sedimentary process: example of concept of geochemical facies. – AAPG Bulletin, 42, 387–430.
- Bábek, O., Hilscherová, K., Nehyba, S., Zeman, J., Faměra, M., Franců, J., Holoubek, I., Machát, J., Klánová, J. (2008). Contamination history of suspended river sediments accumulated in oxbow lakes over the last 25 years. – Journal of Soils and Sediments, 8, 3, 165–176.
- Bílek, P., Rybařík, V. (1972). Rytířsko. Surovina: zeminy. – MS, Závěrečná zpráva, Geofond Praha.
- Burns, C. E., Mountney, N. P., Hodgson, D. M., Colomera, L. (2017). Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, U.S.A. – Sedimentary Geology, 351, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.02.003>
- Česká geologická služba (2019). Vrtná prozkoumanost. – Dostupné na: https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/, 7. 7. 2019
- Demek, J. (ed.) (1987). Zeměpisný lexikon ČSR – Hory a nížiny. – Academia. Praha. 584 s.
- Doveton, J. H. (1991). Lithofacies and geochemical facies profiles from nuclear wireline logs: new subsurface templates for sedimentary modelling. – In: Franseen, E. K., Watney, W. L., Kendall, C. J., Ross, W. (eds): Sedimentary modelling-computer simulations and methods for improved parameter definition. 101–110, Kansas Geological Society Bulletin, 233.
- Folk, R. L., Ward, W. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. – Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Freising, H. (1938). Miozäne Strandsande bei Iglau. – Firgenwald, 11, 154–155.

- Gulliford, A. R., Flint, S. S., Hodgson, D. M. (2017). Crevasse splay processes and deposits in an ancient distributive fluvial system: The Loir Beaufort Group, South Africa. – *Sedimentary Geology*, 358, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.06.005>
- Hesselbo, S. P. (1996). Stratigraphy, Cenozoic of the Atlantic margin, offshore New Jersey. – In: Mountain, G. S., Miller, K. G., Blum, P., Poag, C. W., Twichell, D. C. (eds): *Proceedings of the Ocean Drilling Program*. 411–422, Scientific Results, 150.
- Hinterlechner, K. (1913). Erläuterungen zur Geologischen Karte der Österreichisch-ungarischen Monarchie, NW-Gruppe 64, Iglau. – Geologischen Reichsanstalt.
- Hjellbakk, A. (1997). Facies and fluvial architecture of a high-energy braided river: the Upper Proterozoic Segladden Member, Varanger Peninsula, northern Norway. – *Sedimentary Geology*, 114, 131–161. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(97\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(97)00075-4)
- Holcová, K., Brzobohatý, R., Kopecká, J., Nehyba, S. (2015). Reconstruction of the unusual Middle Miocene (Badenian) palaeo-environment of the Carpathian Foredeep (Lomnice/Tišnov denudational relict, Czech Republic). – *Geological Quarterly*, 59, 4, 654–678. <https://doi.org/10.7306/gq.1249>
- Hrádek, M. (1969). Geomorfologie a pokryvné útvary na Jihlavsku. – *Zprávy o geologických výzkumech v r. 1967*, 276–278.
- Cháb, J. red. (2007). *Geologická mapa České republiky 1 : 500 000*. – Česká geologická služba. Praha.
- Konzalová, M. (1969). Paleontologicko-stratigrafický výzkum sedimentů na Jihlavsku. – *Zprávy o geologických výzkumech v r. 1968*, 176–178.
- Koutek, J. (1971). Relikty třetihorních usazenin v širším okolí Třebíče. – *Sborník přírodovědeckého klubu západomoravského muzea v Třebíči*, 8, 37–46.
- Kukulak, J., Paulo, A., Kalicki, T. (2016). Lithology of lacustrine deposits in the Colca Valley. – *Journal of South American Earth Science*, 69, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.03.008>
- Maizels, J. K. (1993). Lithofacies variations within sandur deposits: the role of runoff regime, flow dynamics and sediment supply characteristics. *Sedimentary Geology*, 85, 299–325. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(93\)90090-R](https://doi.org/10.1016/0037-0738(93)90090-R)
- Mange-Rajetzky, M. A. (1995). Subdivision and correlation of monotonous sandstone sequences using high-resolution heavy-mineral analysis, a case study: the Triassic of the Central Graben. – In: Dunay, R. E., Hailwood, E. A. (eds): *Non-biostratigraphical Methods of Dating and Correlation*. 23–31, Geological Society, London, Special Publications, 89.
- Maštera, L., Veselá, M. (1997). Petrografická charakteristika kulmských (?) drob z jihlavské brázdy. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1996*, 69–70.
- Miall, A. D. (1989). Architectural elements and bounding surfaces in channelized clastics deposits: notes on comparisons between fluvial and turbidite systems. – In: Taira, A., Masuda, F. (eds): *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*. 3–15, Terra Sci. Publ. Company.
- Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits*. – Springer Verlag. Berlin. 582 s.
- Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983). *Geologie ČSSR I. Český masív*. – SPN. Praha. 336 s.
- Morton, A. C., Berge, C. (1995). Heavy mineral suites in the Statfjord and Nansen Formations of the Brent Field, North Sea: a new tool for reservoir subdivision and correlation. – *Petroleum Geoscience*. 1, 355–364. <https://doi.org/10.1144/petgeo.1.4.355>
- Morton, A. C., Hurst, A. (1995). Correlation of sandstones using heavy minerals: an example from the Statfjord Formation of the Snorre Field, northern North Sea. – In: Dunay, R. E., Hailwood, E. A. (eds), *Non-biostratigraphical Methods of Dating and Correlation*. 3–23, Geological Society, London, Special Publications, 89.
- Myers, K. J., Wignall, P. B. (1987). Understanding Jurassic organic-rich mudrocks—new concepts using gamma-ray spectrometry and palaeoecology: examples from the Kimmeridge Clay of Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. – In: Legget, J. K., Zuffa, G. G. (eds): *Marine clastic sedimentology*. 172–189, Graham and Trotman, London.
- Nehyba, S., Hladilová, Š. (2004). Relics of the most distal part of the Neogene foreland basin in SW Moravia. – *Bulletin of Geosciences*, 79, 2, 113–120.
- Nemec, W. (2005). *Principles of lithostratigraphic logging and facies analyses*. – Institut for geovitenskap, Univ. Bergen. Bergen. 28 s.
- Nemec, W. (2009). What is a hyperconcentrated flow? – In: 27 IAS Meeting of Sedimentology, Alghero Italy, 20–23. September 2009. Abstract book. 267 s.
- Novák, V. (1943). Tvářnost Českomoravské vysočiny. – *Rozpravy České akademie věd a umění*, 52, 20, 101 s.
- Powers, M. C. (1982). Comparison chart for estimating roundness and sphericity. – *AGI Data Sheet* 18.
- Reading, H. G. (1996). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. – Blackwell Science. Oxford. 689 s.
- Rider, M. (1996). *The Geological Interpretation of Wireline Logs*. Whittles Publishing. Caithness. 280 s.
- Roberts, E. M. (2007). Facies architecture and depositional environments of the Upper Cretaceous Kaiuárowits Formation, southern Utah. – *Sedimentary Geology*, 197, 207–233. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.10.001>
- Slánská, J. (1974). Continental Cretaceous and Tertiary Sedimentation in the South Bohemian Basin. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 146, 3, 385–406.
- Sohn, Y. K., Rhee, C. W., Kim, B. C. (1999). Debris flow and hyperconcentrated flood-flow deposits in an alluvial fan, northwestern part of the Cretaceous Yongdong Basin, central Korea. – *Journal of Geology*, 107, 111–132. <https://doi.org/10.1086/314334>
- Stárková, M., Mrázová, Š., Sidorinová, T. (2015). Sedimenty permokarbonu v Kraskově (vrt KS-1) a jejich zdrojový materiál. – *Zprávy geologických výzkumech v r. 2014*, 25–29.
- Sýkora, L. (1949). Pokryvné útvary na Českomoravské vrchovině a jejich problémy. – *Sborník státního geologického ústavu*, 16, 189–212.
- Veselá, M. (1970). *Vysvětlivky k listu základní geologické mapy 1: 25 000 M-33-92-Ca, Smrčná*. – MS, vysvětlivky k mapě. Geofond. Praha.
- Veselá, M. (1976). Jihlavská brázda ve vývoji geologické stavby v okolí Jihlavy. – *Sborník geologických věd, Geologie*, 28, 189–202.
- Zágoršek, K., Holcová, K., Nehyba, S., Kroh, A., Hladilová, Š. (2009). The invertebrate fauna of the Middle Miocene (Lower Badenian) sediments of Kralice nad Oslavou (Central Paratethys, Moravian part of the Carpathian Foredeep). – *Bulletin of Geosciences*, 84, 3, 465–496. <https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1078>
- Zapletal, K. (1928). Vývoj povrchových tvarů západní Moravy. – *Příroda*, 20, 20–22.