

# Neogenní a kvartérní sedimenty v oblasti Nového Hrádku (západní část NP Podyjí)

Neogene and Quaternary deposits in the closest surroundings of the Nový Hrádek (the Podyjí National Park)

Slavomír Nehyba<sup>1</sup>✉, Karel Kirchner<sup>2</sup>, František Kuda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

<sup>2</sup> Ústav geoniky AVČR, v.v.i., pobočka Brno, Drobného 28, 602 00 Brno

## Key words:

Lower Miocene; Quaternary; provenance analysis; depositional environment

✉ slavek@sci.muni.cz

## Editor:

Pavla Tomanová Petrová

## Abstract

Neogene deposits of the Carpathian Foredeep were newly recognized in the sedimentary succession within the outcrop close to Nový Hrádek site in the area of the Podyjí National Park covered by extensive Quaternary deposits. These deposits are preserved as erosional relics within a bowl shaped depression on the top of the crystalline basement. Facies analysis shows that the recognised Neogene beds represent fluvial deposits. Two facies associations were identified within the Quaternary deposits. Although both of them are interpreted as colluvial deposits, they were formed by a series of gravity flows with highly varied water content. The provenance analysis (pebble petrography, association of heavy minerals, zircon study) confirmed, that the source area of both Neogene and Quaternary deposits was located in the adjacent geological units with strong dominance of Moravian Unit. Relatively high mineral maturity of the studied deposits points to extended blanket of intensely weathered crystalline basement, which underwent erosion and redeposition. Higher content of quartz clasts within the Neogene deposits reveals different mode of transport and possible redeposition from older sediments. Studied Neogene deposits are preliminary related to quartzose gravel and sands known from the close surrounding of the nearby Lukov village. Comparison of Neogene and Quaternary deposits in the surroundings of Nový Hrádek and occurrences of similar sediments within the National Park in Austria (e.g. surroundings of Merkersdorf) might provide a further data about the poorly known history of the area during Neogene.

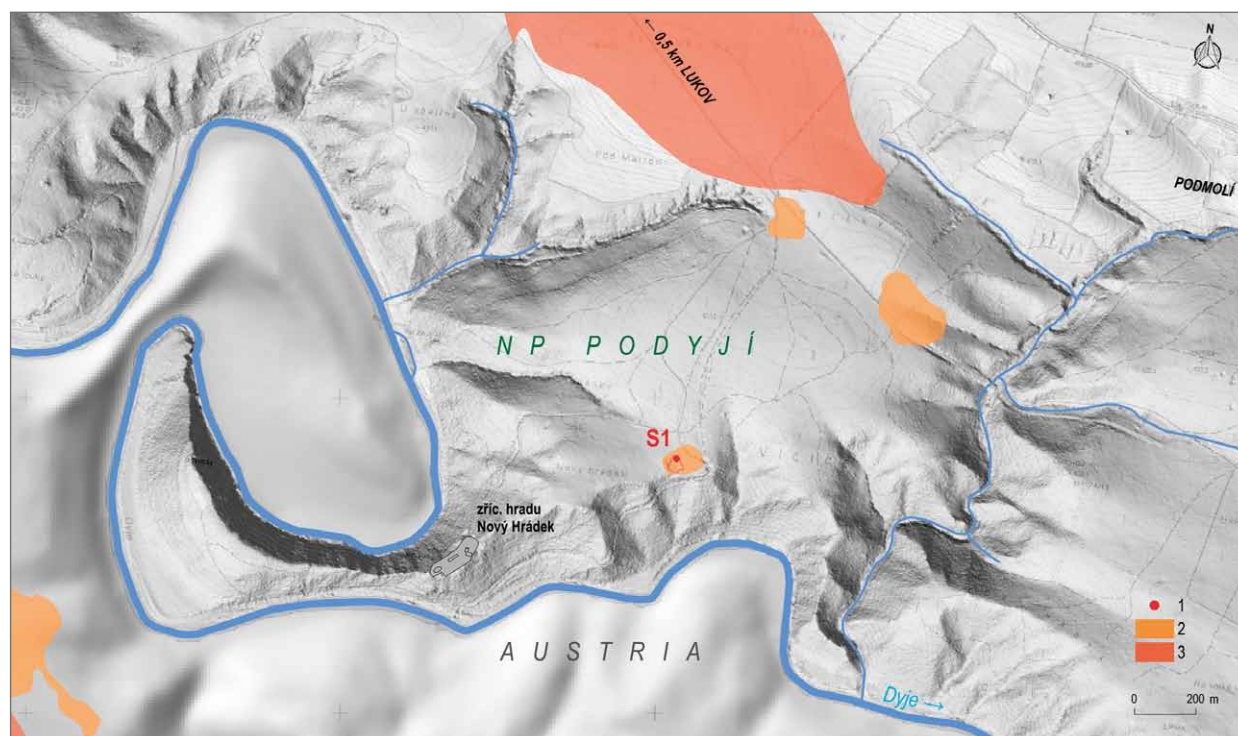
## Úvod

Geologické výzkumy v oblasti Národního parku (NP) Podyjí byly zaměřeny převážně na mapovací práce a studium krystalinických hornin vycházejíc z předpokladu, že na strmých svazích údolí Dyje a dolních úseků jejich přítoků mladší pokryvy a mocnější zvětraliny nevznikly nebo byly již odneseny (Jenček et al. 1984). Přesto existuje řada geologických i geomorfologických prací popisujících převážně kvartérní sedimenty nejrůznější geneze z území parku (Brzák 1998; Havlíček 1990, 2003; Kirchner et al. 1996, 1997, 2000; Šušolová 2005 atd.). V blízkém v. okolí národního parku se kvartérními štěrkovitými akumulacemi zabýval Karásek (1985), vazbu k dané oblasti má i práce Roštínského et al. (2016). Studium reliktní fluvialních a svahových sedimentů nabízí možnost poznání vývoje kaňonovitého údolí Dyje v kenozoiku a jeho zařazení do kontextu vývoje jv. okraje Českého masivu. Zachované sedimenty jsou spojovány s depresiemi v poměrně hluboce zvětralém reliéfu, který byl rozbrzděn řadou úzkých koryt.

## Doporučená citace článku:

Nehyba, S., Kirchner, K., Kuda, F. (2019). Neogenní a kvartérní sedimenty v oblasti Nového Hrádku (západní část NP Podyjí) – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 26, 1–2, 49–57.

DOI: <https://doi.org/10.5817/GVMS2019-1-2-49>



Obr. 1: Lokalizace zájmového území v digitální mapě reliéfu s rozsahem neogenních sedimentů dle Roetzela et al. (2005). 1 – sonda S1; 2 – křemenné štěrky, jemnozrnné písky; 3 – kaolinizované písky a pískovce, štěrky.

Fig. 1: Location of the studied area in digital elevation model. The areal extent of the Neogene deposits according to Roetzel et al. (2005). 1 – dug hole S1; 2 – quartzose gravels, fine-grained sands; 3 – kaolinised sands and sandstones, gravels.

Z neogenních sedimentů jsou zmiňovány především výskyty křemenných štěrků přecházejících do jemnozrnných, většinou kaolinických křemenných písků (Čtyroky et al. 1990) vystupující především v okolí Lukova. Dle Máty (1995) byly na plošinách v. a jv. od Podmolí zjištěny vrtným průzkumem erozní deprese, vyplněné neogenními (ottnang–eggenburg) sedimenty. Detailněji byly hodnoceny pouze štěrky na lokalitě Kraví hora u Konic (Batík et al. 1982; Kirchner et al. 1999; Nehyba 2003). Tyto křemenné štěrky v nejvýchodnější části parku jsou Roetzlem et al. (2005) stratigraficky řazeny k ottnangu.

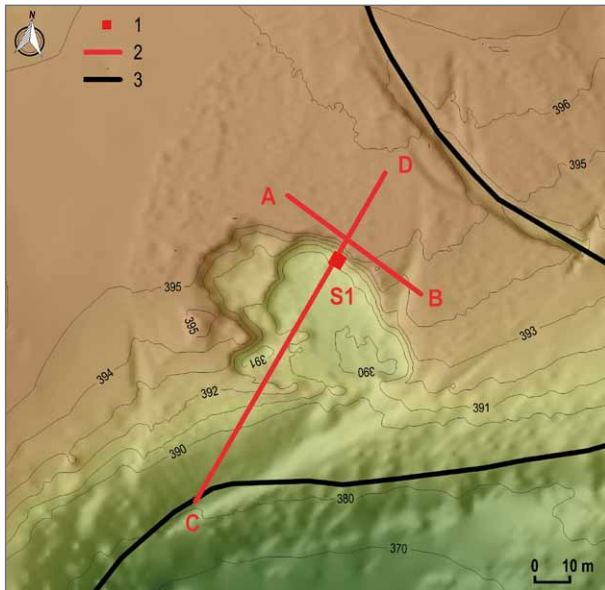
V rámci národního parku se přibližně 110–135 m nad údolím Dyje ostrůvkovitě nachází lokality písčitých štěrků stratigraficky řazených do pliocénu a jsou spojovány s tokem Dyje (Roetzel et al. 2005). Jednou z těchto lokalit je i stará opuštěná těžebna asi 800 m vsv. od zříceniny Nového Hrádku. Nachází se v ploché sníženině, mírně se sklánějící k JV k údolí Dyje. Štěrkovna je protažena ve směru SZ–JV cca v délce 70 m. Její dno je stupňovité s náletovou stromovou a keřovou vegetací. Nepodařilo se zjistit, kdy skončila těžba, ani její účel. Je však pravděpodobné, že štěrky a písky sloužily k zpevnování účelových komunikací v hraničním pásmu. Těžebna je dnes prakticky zasucena a sedimenty jsou díky tomu špatně přístupné. Zasucená stěna štěrkovny (výška 4,5–5,0 m) je exponována k JZ a její horní hrana leží v nadmořské výšce 394 m. Stáří štěrkovito–písčitých sedimentů je udáváno jako ottnang–eggenburg (Batík red. 1990) nebo ottnang (Batík 1992). Ale již na rakouské geologické mapě 1 : 50 000, list č. 9 Retz, jsou tyto sedimenty řazeny do svrchního pliocénu (Roetzel et al. 1999). Geologická

mapa (Roetzel et al. 2004) přináší výrazně plošně revidovaný tvar sedimentárního pokryvu a řadí ho do pliocénu.

Na základě souhlasu Správy NP Podyjí jsme se pokusili získat další informace o charakteru sedimentů odkrytých ve stěně štěrkovny s využitím kombinací dat získaných z ručně provedeného výkopu a elektrické odporové tomografie (ERT). Výsledky tohoto průzkumu a hodnocení odebraných vzorků jsou prezentovány v následujícím textu. Lokalizace terénních prací jsou znázorněny na obrázku 1.

#### Metodika

Odkrytá část stěny byla litologicky popsána a byla provedena faciální analýza dle Tuckera (1988); Walkera a Jamese (1992) a Nemece (2005). Odebrané vzorky sedimentů byly vyhodnoceny metodami granulometrické analýzy, petrografické analýzy zrnitostní frakce nad 4 mm a byl posouzen tvar a zaoblení klastů zrnitostní frakce nad 4 mm (dle Powerse 1982; Krumbein, Sloss 1951). V zrnitostní frakci 0,063–0,125 mm byla provedena analýza průsvitných těžkých minerálů a hodnocení vnitřní i vnější morfologie zirkonů. Zrnitostní analýza byla uskutečněna kombinací metody síťování za mokra na normovaných sítích (Retsch AS – 200) a laserové difrakce (CILAS 1064). K určení zrnitostních charakteristik (Mz,  $\sigma$ I) byly využity vzorce dle Folka a Warda (1957). Hodnocení charakteristik tvaru a zaoblení proběhlo pod binokulárním mikroskopem, hodnocení těžkých minerálů a zirkonu pod polarizačním mikroskopem. Terminologie tvaru a zaoblení vychází z klasifikací Powerse (1953) a Zingga (1935).



Obr. 2: Litologický profil provedeným odkryvem. 1 – sonda S1; 2 – profil ERT; 3 – cesta.

Fig. 2: Sedimentological log of the artificial outcrop. 1 – dug hole; 2 – profile ERT; 3 – road.

Naměřené ERT profily (pozice je znázorněna na obrázku 2) byly standardně zpracovány programem Res2DInv a graficky vizualizovány v programu Surfer do jednotné barevné stupnice. Výběr výsledné varianty modelu (iterace) byl proveden na základě statistické a vizuální shody naměřených hodnot zdánlivého měrného odporu ( $R_z$ ) a vypočítaných modelových odporů ( $R_m$ ).

## Výsledky

### 1. Faciální analýza a elektrická odporová tomografie (ERT)

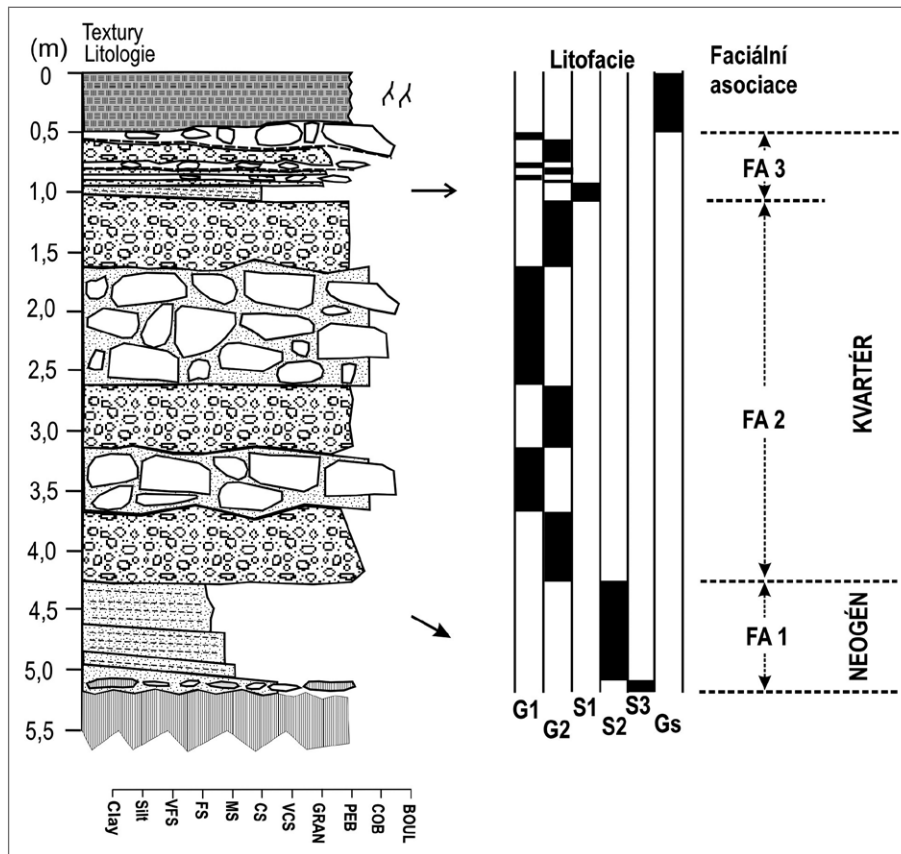
Faciální analýza více než 5 m mocného profilu odkrytého výkopem umožnila vyčlenění 6 litofacií. Základní litologické charakteristiky vyčleněných litofacií jsou uvedeny v tabulce č. 1 a litologický profil na obrázku 3. Prostorové rozšíření litofacií i jejich geneze vedla k vyčlenění tří faciálních asociací, které mimo jiné odráží odlišná depoziční prostředí.

V nejnižší části profilu se nachází faciální asociace 1 (FA1), která je tvořena dvěma litofaciemi, tj. S3 a S2 a již velmi pravděpodobně pokrývá silně zvětralé krystalinické podloží. Kontakt s podložím nebyl zaštižěn. Valounová analýza v rámci litofacie S3 ukázala výraznou dominanci křemene (62,2 %). Jako další byly zjištěny klasty křemen-živcového agregátu s proměnlivou kaolinizací živců (19,6 %), kvarcitu (13,4 %), svoru (3,7 %) a grafitického kvarcitu (1,2 %). Klasty křemene jsou převážně poloostrohranné (50 %). Relativně hojné jsou i polozaoblené (28,3 %) a zaoblené (27,1 %) křemeny. Naopak ostrohranné křemenné klasty jsou vcelku ojedinělé (2,1 %). Klasty křemene jsou většinou sférického tvaru (76,3 %). Výrazně méně hojné jsou křemeny čepelovitého (11,8 %), diskovitého (9,8 %) nebo sloupcovitého (2,0 %) tvaru. Podobně i zrna křemen-živcového agregátu jsou převážně poloostrohranná (54,6 %), méně polozaoblená (36,4 %) nebo ostrohranná (9 %). Zrna agregátu mají především sférický tvar (66,7 %), případně tvar diskovitý (25 %) nebo čepelovitý (8,9 %). Klasty kvarcitu jsou vyrovnaně polozaoblené (50 %) i poloostrohranné (50 %) a mají převážně diskovitý tvar (61,5 %). Méně četné jsou pak čepelovité (32,8 %) nebo sférické (7,7 %) kvarcity. Největší klast dosahoval velikosti téměř 10 cm (osa A), většinou však velikost valounů byla do 3 cm. Nadložní litofacie S2 je tvořena proměnlivě zrnitými převážně jemnozrnnými písiky, které jsou relativně dobře vytríděné a vykazují mírně ukloněnou planární laminaci. Mocnost setů 10–20 cm. Ukloněná tělesa přibližně deskovitého tvaru jsou sledovatelná na vzdálenost 50 cm. Spodní hranice těles litofacie S3 je ostrá a víceméně planární. Svrchní vrstevní plocha těles litofacie S2 je erozní a nerovná. Střední velikost zrna  $M_z$  byla 3,7  $\Phi$  a hodnota vytrídění  $\sigma_I$  pak 1,15. Asociace průsvitných těžkých minerálů byla zirkon (25,6 %) – staurolit (23,8 %) – disthen (12,8 %) a rutil (11,1 %). Z ostatních těžkých minerálů byl výrazněji obsažen také turmalín (7,0 %). Zastoupení ostatních minerálů (monazit, apatit, granát, andalusit, zoisit-epidot, korund a silimanit) bylo v prvních procentech. Hodnota ZTR indexu (Hubert 1962), který odráží zastoupení velmi stabilních těžkých minerálů, byla 43,7 %.

Tab. 1: Stručný popis vyčleněných facií.

Tab. 1: Descriptive summary of lithofacies of the studied deposits.

Označení	Popis
Gs	Rezavě hnědý velmi hrubozrnný písek s valouny až drobnozrnný štěrk, klasty do 2 cm v ose A, masivní, stopy po kořenech
G1	Hrubozrnný štěrk, ostrohranné i poloostrohranné klasty do velikosti 50 cm (osa A). Nepravidelná orientace klastů, část protáhlých klastů leží rovnoběžně s vrstevnatostí (osa A). Podpurná struktura valounů až místy kostrovitá stavba, matrix tvořena špatně vytríděným hrubozrnným pískem rezavě hnědým. Ostrá, velmi nepravidelná báze i svrchní vrstevní plocha. Velmi variabilní mocnost těles, někdy jen izolované klasty.
G2	Hnědavý či rezavě hnědý štěrk, podpurná struktura písčité matrix místy až podpurná struktura valounů, masivní. Valouny do velikosti 10 cm (osa A), většinou do 2 cm, polozaoblené, poloostrohranné. Opakovaně amalgamované polohy. Plochy amalgamace a báze zvýrazněné nabohacením hrubšími klasty, které leží částečně rovnoběžně s vrstevnatostí. Masivní stavba. Nepravidelná báze i svrchní vrstevní plocha. $M_z = -1,1$ až $-2,6 \phi$ ; $\sigma_I = 3,9-4,3\phi$
S1	Rezavě hnědý až rezavý hrubozrnný písek, špatně vytríděný. Ostrá báze i top, svrchní hranice tělesa erozní. Poloha čočkovitého tvaru, erozní relikt, ukloněná planární laminace.
S2	Světle zelenošedý, světle šedý, rezavě hnědý, místy rezavě, žlutavě či bělavě smouhovaný jemnozrnný, jemnozrnný až středozrnný, středozrnný písek, relativně dobře vytríděný, slabě zřetelná mírně ukloněná planární laminace, ostrá báze i top, ukloněná tělesa. $M_z = 3,7 \phi$ ; $\sigma_I = 1,15 \phi$
S3	Rezavě hnědý, rezavý středozrnný až hrubozrnný písek, špatně vytríděný díky přítomnosti klastů až 10 cm především podél báze polohy. Nerovná ostrá báze i top. Klasty krystalinika silně zvětralé, poloostrohranné i polozaoblené, orientované většinou osou A rovnoběžně s bází tělesa. Klasty křemene zaoblené, osa A max. do 3 cm. Slabě zřetelná laminace



Obr. 3: Sedimentární profil výkopu.  
Fig. 3. Sedimentary profile of dug hole.

V nadloží FA1 je nad ostrou erozní bází uloženo přes 4 m mocné těleso FA2. FA2 je tvořena rytmicky se střídajícími polohami litofacií G1 a G2 a tvoří nejrozsáhlejší část odkryvu. Mocnost jednotlivých poloh litofacií G1 a G2 se pohybuje od 50 cm do přibližně 1 m. Charakteristické jsou ostré, velmi nerovné hranice poloh jednotlivých litofacií, velmi špatné vytřídění a hojná přítomnost relativně velkých klastů krystalinika (až 50 cm v ose A). Valounová analýza klastů z facie G2 ukázala dominanci klastů křemene (74,4 %), následuje proměnlivě kaolinizovaný křemen-živcový agregát (17,8 %), kvarcit (4,5 %), svor (1,9 %), fylit (1,1 %) a rula (0,4 %). Klasty křemene mají převážně čepelovitý (39,4 %) nebo sférický tvar (36,4 %). Diskovitý (15,2 %) a sloupcovitý tvar (9,1 %) jsou méně hojné. Klasty křemene jsou převážně zaoblené (53,2 %), polozaoblené (25 %), poloostrohranné (15,6 %) a jen podružně ostrohranné (6,3 %). Tvary klastů křemen-živcového agregátu tvarově relativně vyrovnané, když sférických bylo 30 %, diskovitých 25,0 % a sloupcovitých i čepelovitých shodně 22,5 %. Klasty křemen-živcového agregátu jsou převážně polozaoblené (52,5 %) nebo poloostrohranné (40 %). Méně hojné jsou klasty ostrohranné (5 %) nebo zaoblené (2,5 %). Klasty kvarcitu vykazují především čepelovitý tvar (60 %), méně hojný je tvar diskovitý či sloupcovitý (vždy shodně 20 %). Kvarcité klasty jsou spíše polozaoblené (60 %) nebo ostrohranné (40 %). Valounová analýza klastů z facie G1 naznačuje dominanci klastů křemene (74,8 %) ve šterkové frakci. Dále byl zjištěn proměnlivě kaolinizovaný křemen-živcový agregát (18,2 %), rula (4,1 %)

a kvarcit (2,9 %). Klasty křemene byly převážně polozaoblené (41,1 %), méně časté byly klasty poloostrohranné (32,6 %), zaoblené (22,1 %) nebo ostrohranné (4,2 %). Klasty křemene mají především sférický tvar (59,2 %). Ostatní tvary křemene, tj. čepelovitý (16,5 %), sloupcovitý (12,6 %) a diskovitý (11,7 %) mají prakticky shodné zastoupení. Klasty křemen-živcového agregátu jsou převážně poloostrohranné (56,5 %), i když polozaoblené tvary jsou také velmi hojné (43,5 %). Klasty tohoto agregátu mají převážně sférický tvar (44 %). Ostatní tvary, tj. diskovitý (24 %), sloupcovitý (16 %) a čepelovitý (16 %) jsou méně hojné. Největší klasty tvořily kvarcitu a ruly, jejichž velikost dosahovala až kolem 50 cm. Klasty křemene jsou výrazně menší a dosahují maximálně 4 cm. Klasty kvarcitu byly pouze angulární a diskovité.

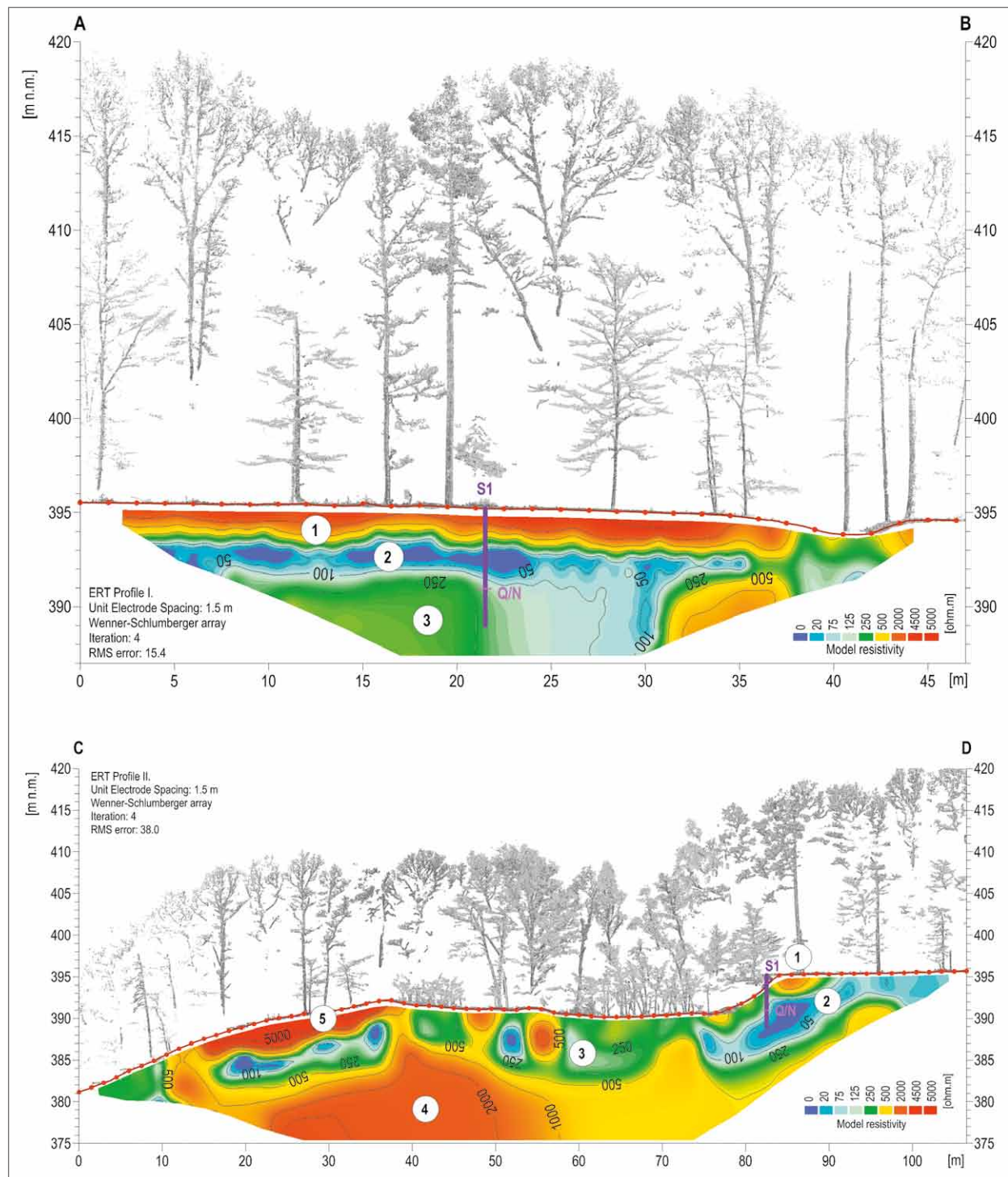
Střední velikost zrna  $Mz$  byla velmi proměnlivá od  $-1,1$  do  $-2,6 \Phi$  a hodnoty vytřídění  $\sigma I$  byly velmi nízké tj. 3,9 až 4,3. Asociace průsvitných těžkých minerálů: zirkon (17,2 %), disthen (17,2 %), staurolit (13,9 %) a turmalín (13,3 %). Z dalších minerálů byl relativně častější apatit (8,6 %), granát (6,6 %) a monazit (5,3 %). Ostatní minerály (amfibol, spinel, rutil, epidot-zoisit, silimanit a titanit) byly zastoupeny pouze prvními procenty. Zajímavá byla přítomnost nezlomených dlouze prismatických turmalínů a zčásti i protáhlých zrn disthenu. Hodnota ZTR indexu byla 34,5 %.

V nadloží FA2 je nad ostrou erozní bází uloženo přibližně 0,5 m mocné těleso FA3, které představuje nejvíce variabilní část odkrytého sedimentárního profilu. Pro FA3 je typické střídání max. 20 cm, ale většinou do 10 cm, mocných těles facíí S1, G1 a G2. Ve spodní části FA3 je uloženo čokkovité neprůběžné těleso litofacie S1. V jeho nadloží lze sledovat rytmické střídání relativně mocnějších těles sedimentů litofacie G2 a méně mocných těles litofacie G1, která mají místy až diskontinuální průběh. Sedimenty S1 ukazují na transport celkově k V.

Naměřené ERT profily (obr. 4A a B) byly orientovány jednak podél okraje stěny těžebny (profil A-B, orientace ZSZ-VJV), a jednak kolmo ke stěně těžebny směrem k údolí řeky (profil C-D, orientace JJZ-SSV).

#### Interpretace

V rámci profilů (obr. 3 a 4) lze sledovat velmi nepravidelné podloží krystalinika, které omezuje

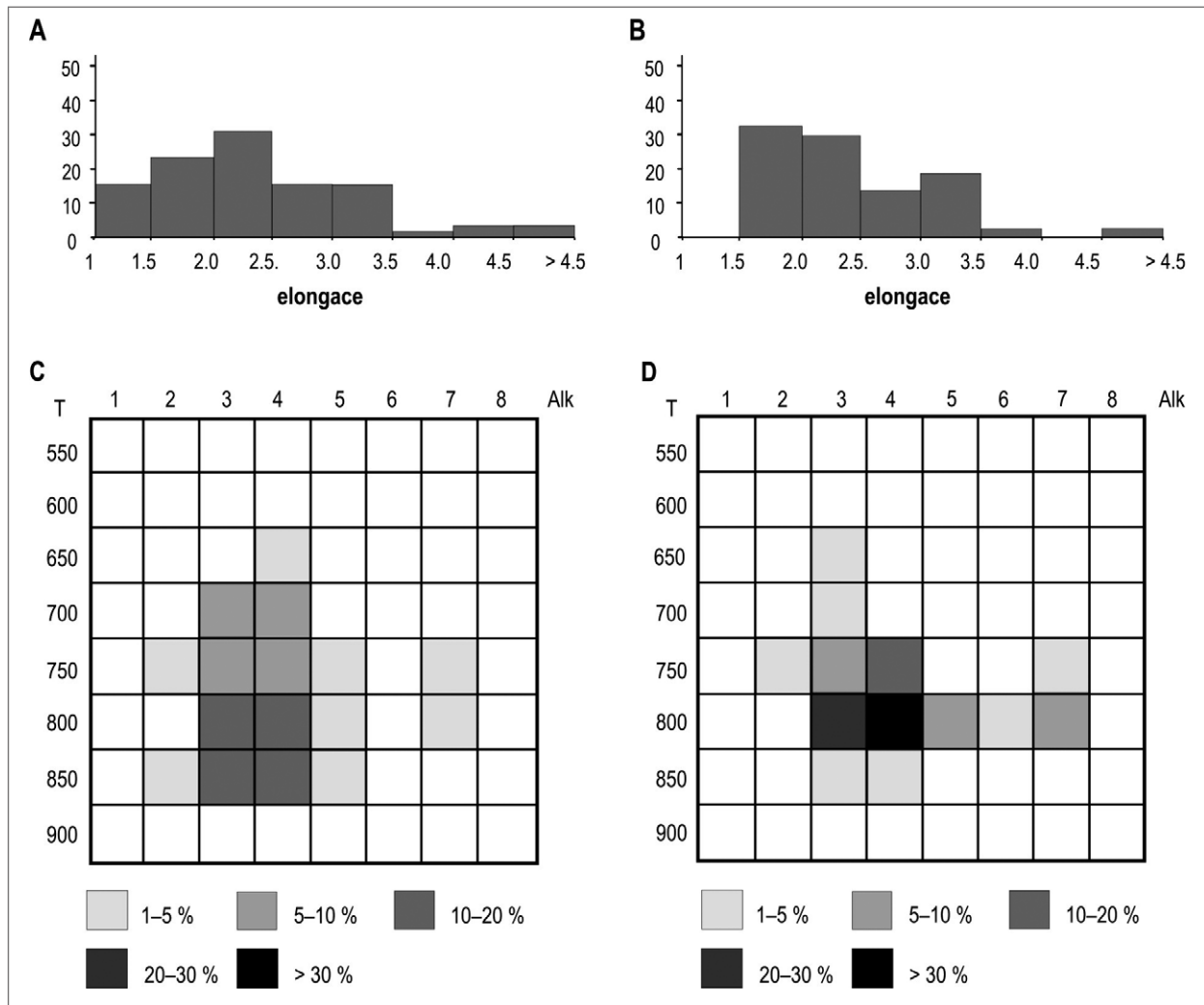


Obr. 4: ERT profily na zájmové lokalitě.  
Fig. 4: ERT profiles on the locality.

a predisponuje výskyt sedimentů i samotnou těžebnu. Zachování neogenních písků je nejspíše reliktní a ostrůvkovitě. Dále lze odlišit silně vrstevnaté sedimenty FA1 a tenče vrstevnaté sedimenty FA2 a zejména FA3. V rámci profilu C–D lze sledovat ovlivnění sedimentárních těles také výrazným sklonem k řece Dyji. Nejvyšší partie profilu zde může tvořit i hrubozrnný odval těžebny, následně resedimentovaný k JJZ.

Špatné vytrídění, přítomnost silně zvětralých klastů krystalinických hornin, proměnlivé zaoblení klastů

krystalinických hornin i křemene s výraznějším výskytem zaoblených valounů křemene, malá tvarová rozrůzněnost a hrubě planární až mírně ukloněné zvrstvení ukazují na trakční sedimentaci z vodního proudu se značnou energií proudění pro FA1. Facie S3 je interpretována jako sedimenty bazální části fluvialního valu, případně říčního koryta (Bridge 1993; Miall 1996). Jednoznačná interpretace je znemožněna neznalostí tvaru tělesa facie S3. Lze spekulovat o sedimentaci v rámci říčního koryta, ale i o sedimentaci z přívalového/štitového proudu.



Obr. 5: Diagramy pro hodnocené zirkony. A – Histogram elongace zirkonů pro FA1, B) Histogram elongace zirkonů pro FA2, C) Typologie zirkonů pro FA1 v Pupinově diagramu (Pupin 1980), D) Typologie zirkonů pro FA2 v Pupinově diagramu (Pupin 1980).  
 Fig. 5: Diagrams for studied zircons. A) Histogram of zircon elongation of FA1, B) Histogram of zircon elongation of FA2, C) Typology of zircons of FA1 in the Pupin diagram (Pupin 1980), D) Typology of zircons of FA2 in the Pupin diagram (Pupin 1980).

Zdrojem materiálu byly především intenzivně zvětralé krystalinické horniny moravika, které vystupují v nejbližším okolí lokality, a určitá část materiálu pochází ze starších sedimentů, které se mohly nacházet i v poněkud větší vzdálenosti než v nejbližším okolí. Křemen-živcový agregát však může pocházet také z hornin dyjského masivu. Relativně dobré vytřídění, ukloněné šikmé zvrstvení a malá mocnost sedimentárních těles litofacie S2 ukazují na trakční sedimentaci z vodního proudu s celkovým směrem transportu k JV. Sedimenty litofacie S2 jsou interpretovány jako sedimenty svrchních částí fluvialního valu. Faciální asociace odráží zdroj z intenzivně zvětralých metamorfovaných hornin a vcelku odpovídá asociaci těžkých minerálů popsaných pro spodnomiocenní sedimenty (eggenburg–otttang) z okraje karpatské předhlubně na Znojemsku (Batík et al. 1982; Čtyroký et al. 1990). Poměrně vysoká hodnota indexu ZTR ukazuje nejspíše na určitou roli redepozici ze starších sedimentů. Sedimenty litofacie FA1 jsou jako celek interpretovány jako neogenní sedimenty usazené z vodního proudu do ploché deprese protažené ve směru k JV.

V případě FA2 mocnost těles litofacií, masivní stavba, střídání podpurné struktury matrix a podpurné struktury valounů, výskyt kostrovité stavby, špatné vytřídění, relativně hojně ploše ležící protažené či ploché klasty a ploché ostré neerozní báze těles celkově vypovídají o sedimentaci z gravitačních proudů, které se lišily mechanismem transportu/podpurného mechanismu částic. Facii G2 lze spojit se sedimentací z nekohezivních úlomkotoků („debris flow“). V rámci facie G1 lze předpokládat menší roli nekohezivní matrix během transportu a vyšší roli přímého působení gravitace, tj. víceméně samostatný pohyb jednotlivých klastů („debris fall“) a případnou roli vody. Tyto rozdíly nejspíše odráží rozdílné klimatické podmínky panující během vzniku jednotlivých litofacií spojených s dostupností vody a jemnozrnného materiálu (matrix). Relativně velké mocnosti těles mohou poukazovat na relativní stabilitu podmínek či proximální či „hlavní“ části proudů. Přítomnost dlouze prizmatických „nezlomených“ krystalů v rámci asociace těžkých minerálů potvrzuje transport na relativně malou vzdálenost. Zdrojem materiálu byly především okolní krystalinické

horniny moravika, ale také starší neogenní sedimenty (nejspíše neogenní šterky). Křemen-živcový agregát však může pocházet také z hornin dyjského masivu. Lze předpokládat výraznější roli redepozice ze starších neogenních sedimentů pro litofaci G2. Sedimenty FA2 lze celkově považovat za koluviální sedimenty.

Sedimenty FA3 odráží podmínky transportu a redepozice z vodního proudu (S1), úlomkotoků (G2) a více méně samostatného pohybu částic řízeného gravitací (G1). Výrazná přítomnost sedimentace z vodního proudu je důležitým klimatickým signálem. Sedimenty FA3 jsou tedy kombinací sedimentace z gravitačních a vodních proudů. Malá mocnost těles (především facie G1) ve srovnání s FA2 může odrážet marginální či distální části gravitačních proudů či výrazně menší stabilitu podmínek. Zdrojová oblast se obecně neliší od FA2, pravděpodobná je vyšší role místního materiálu.

Nadložní litofacie Gs není dále hodnocena, protože byla velmi pravděpodobně značně ovlivněna antropogenní činností (těžba, doprava...).

## 2. Studium zirkonů

Vzhledem k dominanci zirkonu v asociaci průsvitných těžkých minerálů byla tomuto minerálu věnována detailnější pozornost, neboť zirkon, jako jeden z nejstabilnějších těžkých minerálů, může poskytnout údaje o zdrojové hornině, charakteru transportu i redepozici. Kombinace metod posuzujících vnější i vnitřní charakteristiky zrn přináší informace o původu minerálu. Idiomorfní tvar zirkonů je považován za indikaci primárního zdroje a dokládá původ z magmatických či vulkanických hornin (Poldervaart 1950; Lihou, Mange-Rajetzky 1996). Zaoblená a polozaoblená zrna zirkonu mohou ukazovat na původ ze starších sedimentů – recyklace, z metamorfovaných hornin – primární zdroj nebo i magmatických hornin – sedimentární protolit či odraz kontaminace magmatu (Mader 1980; Winter 1981).

Ze sedimentů FA1 bylo celkem vyhodnoceno 110 zrn zirkonů. Zastoupení idiomorfních zirkonů představovalo 25,0 %, zatímco hypidiomorfní zirkony tvořily 35,3 % a zirkony nepravidelně kulaté 36,2 %. Ze sedimentů FA2 bylo vyhodnoceno 94 zrn zirkonů. Zastoupení idiomorfních zirkonů představovalo 24,7 %, zatímco hypidiomorfní zirkony tvořily 28,9 %, zirkony nepravidelně kulaté 44,3 % a kulaté zirkony 2,1 %.

Ve studovaném vzorku z FA1 nepatrně převažují čirá zrna (48,6 %) nad zrny zbarvenými (46,7 %). Hnědé zirkony tvoří 2,8 % a opakní 1,9 %. V hodnoceném vzorku z FA2 jsou výsledky hodnocení barvy zirkonů jen částečně odlišné. Převažují číré zirkony (57,7 %), následovány zirkony zbarvenými (34,0 %). Hnědé zirkony představují 7,2 % a zirkony opakní 1,0 %.

Zastoupení zonálních zirkonů bylo v sedimentech FA3 9,1 % a v sedimentech FA2 12,8 %. Zirkony se staršími jádry tvoří 2,7 % populace zirkonů ze sedimentů FA1 a 1,1 % ze sedimentů FA2. Zirkony s inkluzemi představovaly 95,5 % studovaných zrn v sedimentech FA1 a 90,4 % v sedimentech FA2.

Elongace zirkonů (poměr nejdelší osy/délky a nejkratší osy/šířky krystalů) může být využita k bližšímu určení zdroje zirkonů (Poldervaart 1950; Zimmerle 1979; Winter 1981) a poskytuje informace také o krystalizační teplotě (Pupin 1980). Průměrná hodnota elongace zirkonů z neogenních sedimentů FA1 byla 2,5. Zirkony s elongací vyšší než hodnota 2,0 převažují, když tvoří 60,7 %. Zirkony s elongací nad 3 reprezentují 19,7 % a zirkony s elongací nad 4 7,2 %. Takové zirkony jsou spojovány s magmatickým/vulkanickým původem (Zimmerle 1979) a jen omezeným transportem. Maximální hodnota elongace byla 7,8. Hodnoty elongace pro zirkony z kvarterních sedimentů FA2 byly částečně odlišné. Průměrná hodnota elongace byla 2,5 a maximální 5,5. Zirkony s elongací nad 2 představovaly 77,4 %, zirkony s elongací nad 3 23,2 % a s elongací nad 4 pouze 2,3 % populace zrn. Rozložení elongace je ukázáno na obrázku 5A a B.

Zirkony dále vykazují srůsty a jsou často rozpukané. Hodnocení rozpukání zirkonu z FA1 ukazuje, že nerozpukané zirkony mírně převažují (54 %) nad zirkony puklými. Dále 41,6 % zrn vykazuje pukliny přibližně kolmé k nejdelší ose A, kdežto jen omezeně (4,4 %) kolmé k nejkratší ose C. Velmi podobná je situace u zirkonů z FA2, kde 53,2 % zirkonů je nerozpukáných, 41,5 % je puklých kolmo k ose A a pouze 5,3 % kolmo k ose C. Drobné trhliny a praskliny vykazuje 86,4 % zirkonů z FA1 a 95,7 % zirkonů z FA 2.

Také typologie zirkonu může poskytovat údaje o bližších podmínkách krystalizace, tedy o mateřském magmatu. Rozdílná typologie zirkonů rozdílných magmatických rezervoárů byla ověřena a data využita k provenienčním studiím (Pupin 1980, 1985; Finger, Haunschmid 1988, etc.). V rámci zirkonů z FA1 byly nejvíce zastoupeny typologické subtypy S18 (12,6 %), S22 (12,6 %), S17 (11,0 %), S23 (10,1 %), S12 (9,5 %) a S13 (9,5 %). Další subtypy S3, S7, S8, S11, S14, S19, S21, S24, P3 a P4 byly zastoupeny méně. Pro zirkony z FA2 byla zjištěna dominance subtypu S18 (30,8 %), S17 (24,8 %), S13 (12,8 %) a S12 (8,8 %). Ostatní subtypy S2, S7, S11, S19, S20, S22, S23, P3 a P4 mají menší zastoupení. Rozložení typů zirkonů je znázorněno na obrázku 4C a D.

### Interpretace

Srovnání typologie ukazuje celkově na společný zdroj pro sedimenty FA1 a FA2. Spektrum zirkonů je poměrně široké (lze částečně uvažovat o primárním zdroji především z aluminických granitoidů) a především pro neogenní sedimenty je provenience relativně široká. Relativně vyšší zastoupení protáhlých zirkonů ukazuje na roli vulkanických hornin ve zdrojové oblasti. Pro sedimenty FA2 je zdroj zirkonů více uniformní. Lze doložit určitou podobnost v zastoupení hlavních subtypů zirkonů s hodnotami zjištěnými v rámci žerotického souvrství (Nehyba et al. 2019) a předpokládat dominantní původ zirkonů z hornin moravika.

### Diskuze a závěr

Geofyzikální studium potvrdilo velmi nepravidelný povrch krystalinika a akumulace sedimentů vázané na mísovité deprese krystalinického podloží.

Valounová analýza spolu s analýzou těžkých minerálů ukázaly na zdroj z intenzivněji zvětralého krystalinika v případě sedimentů FA1 (neogén), i v případě nadložních kvartérních (pliocenních?) sedimentů (FA2 a FA3). Výraznější zastoupení křemene a jeho vyšší zaoblení zjištěné pro neogenní sedimenty ukazuje na redepozici části materiálu ze starších sedimentů, jiný způsob transportu a depozičního prostředí ve srovnání s nadložními sedimenty kvartérními. Neogenní sedimenty lze spojit s existencí vodního toku, kdežto kvartérní sedimenty mají charakter depozice z gravitačních proudů v rámci koluvia. Minerální zralost sedimentů spolu s vysokým zastoupením stabilních těžkých minerálů poukazují na existenci rozsáhlého pokryvu zvětralin vzniklých v rámci intenzivních zvětrávacích pochodů. Malé zachování těchto zvětralin lze spojit s jejich erozí a redepozicí. Podobně můžeme oprávněně předpokládat rozsáhlé pokryvy neogenních sedimentů především křemenných

štěrků (viz vysoké zastoupení zaoblených valounů křemene v kvartérních sedimentech) v zájmové oblasti, které již nejsou zachovány. Lze spekulovat o spojení zjištěných neogenních sedimentů s výskyty křemenných štěrků a písků na SZ a JV od Lukova.

Polymiktní charakter zastižených štěrků je zřetelně odlišuje od neogenních štěrků známých z okolí Kraví hory v nejvýchodnější části NP Podyjí (Nehyba 2003). Popsané sedimenty vypovídají o relativně dynamickém reliéfu v zájmové oblasti. Jako zajímavé se jeví srovnání těchto sedimentů s lokalitami v rámci NP Thayatal v Rakousku (např. v okolí Merkersdorfu).

#### Poděkování

*Za posouzení příspěvku a připomínky jsme povinováni díkem recenzentům Janu Vítovi a Martinu Hanáčkovi. Terénní práce proběhly s laskavým souhlasem Správy NP Podyjí ve Znojmě.*

#### Literatura

- Batík, P., Čtyroký, P., Klečák, J., Gabriel, M., Štych, J., Střída, M., Šalanský, K., Zeman, A., Holásek, O. (1982). Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 34-131, Šatov. 72 s., Ústřední ústav geologický. Praha.
- Batík, P. red. (1990). Geologická mapa ČR. List 33-24 Hnanice. Měřítko 1 : 50 000. – Ústřední ústav geologický. Praha.
- Batík, P. (1992). Geologická mapa Národního parku Podyjí. Český geologický ústav, Praha.
- Batík, P., Barnet, I., Čtyroký, P., Čurda, J., Havlíček, P., Hazdrová, M., Líbalová, J., Šalanský, K. (1995). Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR 1 : 25 000, list 33-242, Hnanice. 27 s. Ústřední ústav geologický. Praha.
- Brzák, M. (1998). Příspěvek k vývoji údolí Dyje mezi Vranovem a Znojmem na základě morfometrické analýzy a výzkumu fluviálních sedimentů. – Geografie, Sborník ČGS, 103, 1, 31–45, Praha.



- Bridge, J. S. (1993). Description and interpretation of fluvial deposits: a critical perspective. – *Sedimentology*, 40, 801–810, Oxford. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1993.tb01361.x>
- Finger, F., Hauns Schmid, B. (1988). Die mikroskopische Untersuchungen der akzessorischen Zirkone als Methode zur Klärung der Intrusionsfolge in Granitgebieten – eine Studie im nordöstlichen oberösterreichischen Moldanubikum. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 131/2, 255–266, Wien.
- 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. Tulsa. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Čtyroký, P., Batík, P., Gabriel, M., Šalanský, K., Holásek, O., Klečák, J., Mátl, V., Líbalová, J., Střída, M., Matějovská, O., Štych, J., Zeman, A. (1990). Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 34-113, Znojmo. – 79 s. Ústřední ústav geologický. Praha.
- Jenček, V., Havlíček, P., Dornič, J., Šalanský, K., Hazdrová, M., Střída, M., Líbalová, J., Dudek, A. (1984). Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000, list 33-223, Vranov. – 60 s. Ústřední ústav geologický. Praha.
- Havlíček, P. (1990). Kvartérně geologický výzkum území na listu 33-224 Kravsko. – *Zprávy o geologických výzkumech v r. 1989*, 67.
- Havlíček, P. (2003). NP Podyjí: revizní kvartérně-geologický výzkum a mapování v letech 2001 a 2002. – *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002*, 71–73.
- Hubert, J. F. (1962). A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 32, 440–450.
- Karásek, J. (1985). Geomorfologická charakteristika reliéfu jižní části Znojemska. – *Sborník Československé geografické společnosti* 90, 3, 177–189. Academia Praha.
- Kirchner, K., Ivan, A., Andrejkovič, T. (1997). Geomorfologický výzkum Národního parku Podyjí a jeho severního okolí. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1996*, 10–12.
- Kirchner, K., Ivan, A., Brzák, M. (1996). K rozšíření kvartérních fluvialních sedimentů v údolí Dyje v NP Podyjí. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1995*, 21–23.
- Kirchner K., Ivan, A., Hofirková, S., Petrová, A., Andrejkovič, T. (2000). Antropogenní transformace reliéfu východní části Národního parku Podyjí. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1999*, 31–33.
- Kirchner, K., Ivan, A., Hubatka, F., Nehyba, S. (1999). Reliéf východního okraje Národního parku Podyjí. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1998*, 21–23.
- Krumbein, W. C., Sloss L. L. (1955). *Stratigraphy and sedimentation*. – W. H. Freeman and co., 660 pp.
- Lihou, J. C., Mange-Rajetzky, M. A. (1996). Provenance of the Sardona Flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. – *Sedimentary Geology*, 105, 141–157. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00147-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00147-6)
- Mader, D. (1980). Weitergewachsene Zirkone im Buntsandstein der Westeifel. – *Der Aufschluss*, 31, 163–170.
- Miall, A.D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits*. – Springer Verlag, 582 pp., Berlin.
- Nehyba, S. (2003). Štěrky na lokalitě Kraví hora u Konic. – *Thayensia*, 3, 3–12.
- Nehyba, S., Otava, J., Tomanová Petrová, P., Gazdová, A. (2019). The foreland state at the onset of the flexurally induced transgression – data from provenance analysis at the peripheral Carpathian Foredeep (Czech Republic). – *Geologica Carpathica*, 2, 241–260. <https://doi.org/10.2478/geoca-2019-0014>
- Nemec, W. (2005). Principles of lithostratigraphic logging and facies analyses. – *Institut for geovitenskap, Universitetet i Bergen*, 1–28.
- Poldervaart, A. (1950). Statistical studies of zircon as a criterion in granitization. – *Nature*, 165, 574–575. <https://doi.org/10.1038/165574b0>
- Powers, M. C. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 23, 1, 118. Tulsa. <https://doi.org/10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Powers, M. C. (1982). Comparison chart for estimating roundness and sphericity. – *AGI Data Sheet* 18.
- Pupin, J. P. (1980). Zircon and Granite Petrology. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73, 207–220.
- Pupin, J. P. (1985). Magmatic zoning of hercynian granitoids in France based on zircon typology. – *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 65, 29–56. <https://doi.org/10.1007/BF00381441>
- Roetzel, R., Fuchs, G., Batík, P., Čtyroký, P. (1999). Geologische Karte der Republik Österreich. 1 : 50 000. 9 Retz. – *Geologische Bundesanstalt*. Wien.
- Roetzel, R., Fuchs, G., Batík, P., Čtyroký, P. (2004). Geologische Karte der Nationalparks Thayatal and Podyjí. 1 : 25 000. – *Geologische Bundesanstalt*. Wien.
- Roetzel, R., Fuchs, G., Havlíček, P., Übl, Ch., Wrška, T. (2005). Geologie im Fluss. Erläuterungen zur Geologischen Karte der Nationalparks Thayatal und Podyjí. – *Geologische Bundesanstalt*. Wien. 1–92.
- Roštinský, P., Šmerda, J., Nováková, E. (2016). Geomorfologické a petrografické aspekty fluvialních sedimentů v oblasti dolní Rokytné. – *Thayensia (Znojmo)* 2016, 13, 15–58.
- Šušolová, J. (2005). Správe na území Národního parku Podyjí. – *Acta musei moraviae, scientiae geologicae*, 155–169.
- Tucker, M. ed. (1988). *Techniques in Sedimentology*. – Blackwell Science, 1,394.
- Walker, R. G., James, N. P. (1992). Facies Models. Response to sea level changes. – *Geological Association of Canada*, 1–380, Toronto.
- Winter, J. (1981). Exakte tephro-stratigraphische Korrelation mit morphologisch differenzierten Zironpopulationen (Grenzbereich Unter/Mitteldevon, Eifel-Ardennen). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 162, 97–136.
- Zimmerle, W. (1979). Accessory zircon from rhyolite, Yellowstone National Park (Wyoming, U.S.A.). – *Zeitschrift der deutschen Geologischen Gesellschaft*, 130, 361–369.
- Zingg, T. (1935). Beiträge zur Schotteranalyse. – *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 15, 39–140.