

KORYTOVÉ SEDIMENTY A GEOMORFOLOGICKÉ PROCESY VYSOKOGRADIENTOVÝCH TOKŮ VE FLYŠI MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYD

Bed sediments and geomorphological processes in high-gradient streams based in flysch of the Moravskoslezské Beskydy Mts.

Tomáš Galia, Václav Škarpich

Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF OU, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava-Slezská Ostrava; e-mail: tomas.galia@osu.cz

(25–23 Rožnov pod Radhoštěm, 25–24 Turzovka)

Key words: Silesian Unit, Moravskoslezské Beskydy Mts., high-gradient stream, bed sediments

Abstract

Lithology of bed sediments in high-gradient streams may affect grain-size parameters and, thus, bed morphology and sediment transport dynamics. Flysch character of bedrock with alternation of resistant sandstones and less-resistant claystones influenced geomorphic processes and bed sediments in Beskydian headwater channels. Generally, claystone members supplied streams by higher amounts of relatively finer clastic material. On the contrary, channels located in sandstone members (e.g. Godula Member) were prone to occurrence of exposed bedrock due to significantly lower sediment supply, except channel-reaches with evidence of debris-flow activity. Obtained trends of evaluated grain-size parameters (D_{90} and nominal index) in the stream longitudinal profiles pointed up on influence of claystone ratio in bed sediments and a character of sediment inputs. Significant presence of claystones in bed sediments of selected streams led to decrease in D_{90} percentile and nominal index D_n of bed surface material. On the other hand, sandstone sediment supply in high-gradient streams underlain by the middle part of the Godula Member did not show downstream coarsening or fining of bed sediments within stream longitudinal profiles and higher values of grain-size parameters were observed.

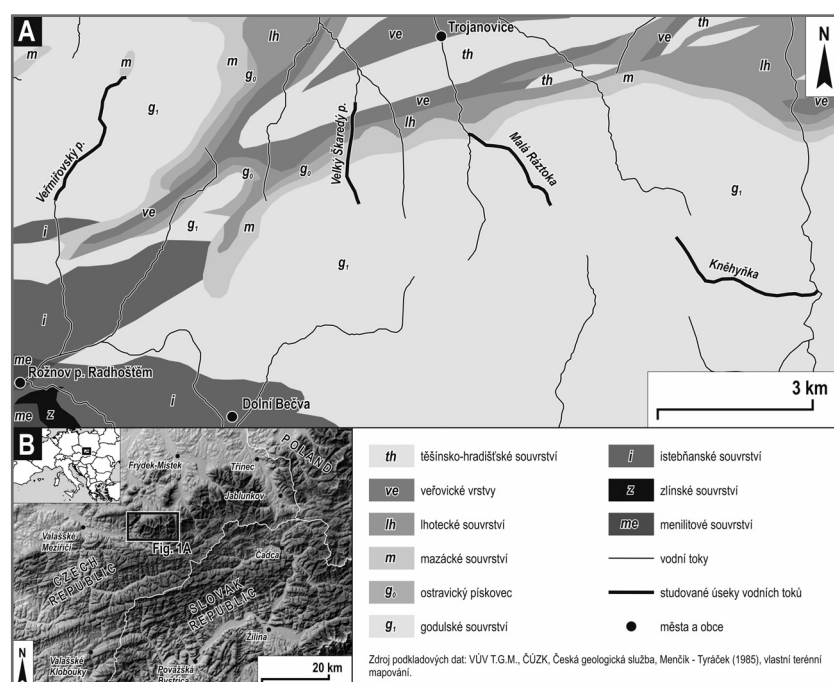
Úvod

Geologické predispozice ve smyslu zlomové tektoniky a mikrotektoniky, litologie a vrstvenatosti podložních hornin a v neposlední řadě i celkové výzdvihové či poklesové aktivity území výrazně ovlivňují korytotvorné procesy ve vodních tocích. Příkladem mohou být výrazné zálogy v podélných profilech toků, které jsou vázány

na oblasti s odolnou litologickou strukturou a naopak měkké horniny mohou výrazně urychlovat erozní činnost v údolních dnech. Dle Thompsona et al. (2006) může být podíl odolných hornin také jednou z predispozic výskytu určité korytové morfologie ve vysokogradientových tocích.

Pramenný vysokogradientový tok lze definovat jako tok I. či II. řádu Strahlerovy klasifikace s průměrným sklonem dna vyšším než 0,01 m/m (Thompson et al. 2006). Pro tyto segmenty říční sítě jsou charakteristické hrubé korytové sedimenty s různým podílem šterkové a balvanité frakce, časté výchozy skalního podloží v korytě, přímá dodávka sedimentů z přilehlých údolních svahů, interakce systému s dřevní hmotou a v neposlední řadě výrazně rozkolísaný režim průtoků (Montgomery – Buffington 1997).

Oblast Moravskoslezských Beskyd je tvořena flyšovými horninami, které lze obecně charakterizovat jako střídání vrstev jílovců a pískovců o různých mocnostech s akcesorickou příměsí dalších sedimentárních hornin. Tato stavba je vzhledem k závislosti na lokální energii reliéfu a úklonu vrstev náchylná ke vzniku hlubokých svahových deformací spojených s rozvolňováním hřbetních partií a poklesem jednotlivých bloků hornin, stejně jako k aktivaci mělkých



Obr. 1: Přehledová geologická mapa zájmové oblasti se znázorněnými zkoumanými toky (A) a pozice oblasti v rámci České republiky (B).

Fig. 1: Schematic geologic map of study area including evaluated streams (A) and position of the study area in the scope of Czech republic (B).

sesuvů (Pánek et al. 2010). V oblasti byla rovněž dokumentována recentní činnost blokovobahenních proudů v horních partiích údolí, ačkoliv vyšší četnost a objemy takto transportovaného materiálu jsou předpokládány spíše v období pleistocénu (Šilhán – Pánek 2010, Šilhán 2011).

Cílem této studie je na čtyřech příkladech popsat vývoj zrnitostních parametrů a celkové fungování vysokogradientových toků v souvislosti s jejich vazbami na geologické predispozice. V rámci této studie je kladen důraz na litologii korytových sedimentů, nicméně do komplexní analýzy vstupuje i orientace podložních vrstev a výše zmíněné geomorfologické procesy vázané na flyšový charakter zájmového území.

Metodická východiska

Na celkově 36 korytových úsecích vybraných vysokogradientových toků Radhošské hornatiny (obr. 1) Kněhyňce (8 úseků), Malé Ráztoce (8 úseků), Velkém Škaredém potoce (12 úseků) a Veřmiřovském potoce (8 úseků) byla provedena analýza dnových sedimentů náhodným odběrem sta klastů metodou dle Wolman (1954). U jednotlivých klastů byla určena také jejich litologie. Sledovaly se velikostní parametry v podobě 90. percentilu zrnitostního rozložení D_{90} v cm a průměrná hodnota indexu velikosti klastu D_n dle Bunte – Abt (2001):

$$D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3},$$

kde a , b a c jsou délky os klastu v milimetrech. Percentil D_{90} byl zvolen vzhledem k významu hrubé frakce na proudění v bystřinných korytech a na tvorbě stupňovité morfologie, jež je pro tento typ toku typická (Zimmermann 2010, Chiari – Rickenmann 2011). Průměrná hodnota indexu velikosti klastu D_n zastupuje frakci vymezenou percentilem D_{50} a zohledňuje všechny tři osy klastu, zatímco klasické percentily D_{50} či D_{90} vycházejí pouze z délek prostředních os. Dále byl zhodnocen relativní podíl měkkých a tvrdých hornin u dnových sedimentů jejich početním zastoupením v analyzovaném souboru, kdy se za měkké horniny považovaly rozpadavé jílovce, do kterých bylo možno rýpnout nehtem. Tvrdé horniny byly pískovce o různé zrnitosti.

Za korytový úsek byla považována část toku s relativně homogenní korytovou morfologií a charakterem dnových sedimentů o délce 10–20násobku šířky toku (Montgomery – Buffington 1997). Zpravidla se v našem případě jednalo o úseky dlouhé okolo 50 m, jejichž prostorové rozmístění bylo vybíráno právě s ohledem na výraznější změnu v korytové morfologii v rámci průběhu toku a vzdálenost mezi jednotlivými hodnocenými úseky se tak pohybovala v rozmezí 100–400 m. Většina hodnocených korytových úseků se nachází v prostředí nejodolnějšího, převážně pískovcového godulského souvrství Slezské jednotky, budujícího hlavní hřbetní partie Moravskoslezských Beskyd. V případech, kdy v korytě lokálně vystupovalo skalní podloží, byly zdokumentovány sklony a orientace vrstev a jejich mocnosti. V jednotlivých

Tab. 1: Rozsah parametrů zkoumaných toků v rámci n hodnocených korytových úseků.
Tab. 1: Variability of observed parameters of n evaluated channel-reaches.

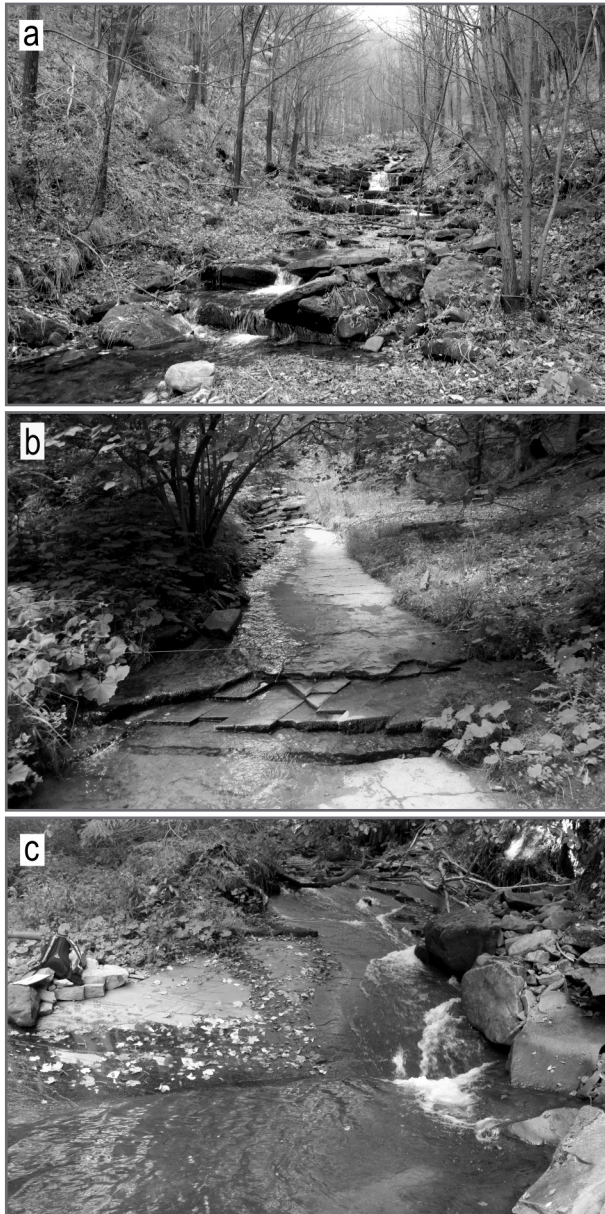
| | Úseky (n) | L (km) | A (km ²) | S (m/m) | D ₅₀ (mm) | D ₉₀ (mm) | D _n | D _j (%) | Orientace |
|---------------------|-----------|--------|----------------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------|--------------------|--------------|
| Kněhyňka | 8 | 2,5 | 0,22–2,68 | 0,08–0,40 | 43–65 | 166–261 | 69–84 | 0–1 | Subsekventní |
| Malá Ráztočka | 8 | 2,2 | 0,20–2,20 | 0,06–0,38 | 43–50 | 144–207 | 57–69 | 0–20 | Obsekventní |
| Velký Škaredý potok | 12 | 2,0 | 0,03–1,06 | 0,06–0,70 | 40–53 | 111–190 | 49–71 | 3–18 | Obsekventní |
| Veřmiřovský potok | 8 | 2,7 | 0,10–6,08 | 0,03–0,31 | 35–50 | 80–203 | 44–60 | 0–26 | Konsekventní |

zkoumaných korytových úsecích byly rovněž posouzeny vlivy geomorfologických procesů, například výskyt recentních blokovobahenních proudů, aktivita sesuvné činnosti a byla zhodnocena celková intenzita transportu materiálu v korytovém systému. Toky a hodnocené úseky byly vybírány rovněž s ohledem na minimální zásahy člověka do říčního systému, nicméně přehrážky se vyskytovaly na dolní části zkoumaného profilu Malé Ráztočky a Veřmiřovského potoka. Shrnutí zkoumaných parametrů přináší tabulka 1, která mimo zrnitostních parametrů (D_{50} , D_{90} , D_n) a orientace toků vůči sklonu vrstev v podloží podává informace také o celkové délce studovaného podélného profilu toků (L), plochách povodí nad sledovanými úseky (A) a rozsahu průměrného sklonu dna (S) v hodnocených korytových úsecích.

Výsledky

Povodí Kněhyňky je jako jediné založeno pouze ve vlastních godulských vrstvách, a to převážně v jejich středním členu s převahou silně lavičovitých pískovců a podružnými vložkami jílovců. U některých úseků koryta Malé Ráztočky a Veřmiřovského potoka se v podloží vyskytuje také mazácké souvrství, které je litologicky tvořeno výlučně červenohnědými a zelenohnědými málo odolnými jílovcy. Specifické geologické podloží má povodí Velkého Škaredého potoka, jehož pramenná oblast se nachází ve středním členu godulských vrstev a koryto toku následně protíná vrstvy s dominantním postavením jílovců: (i) mazácké souvrství, (ii) lhotecké souvrství, (iii) veřovické vrstvy a (iv) nejsvrchnější část těšínsko-hradištského souvrství (Menčík et al. 1983, Čtyřoký – Stráník 1995). Většina délky sledovaného podélného profilu Malé Ráztočky a Velkého Škaredého potoka je založena na čelech godulského souvrství (obsekventní směr), přičemž, zvláště v korytě Malé Ráztočky, tvoří lavice odolného godulského pískovce morfologicky výrazné stupně. Ty jsou důležitými drsnostními prvky podílejícími se na rozptylu energie proudění. Směr hlavního toku Veřmiřovského potoka je naopak predisponován na vrstevních plochách (konsekventní směr), kdy v případě lokálního výskytu skalního koryta (sensu Montgomery – Buffington 1997) podobné výrazné stupňovité struktury postrádáme. Podélný profil toku Kněhyňky se z velké části nachází v podmínkách ve směru kolmém na směr úklonu vrstevních ploch (subsekventní směr) a morfologie skalního dna je v případě jeho výskytu blíže podobná situaci na Veřmiřovském potoce (obr. 2).

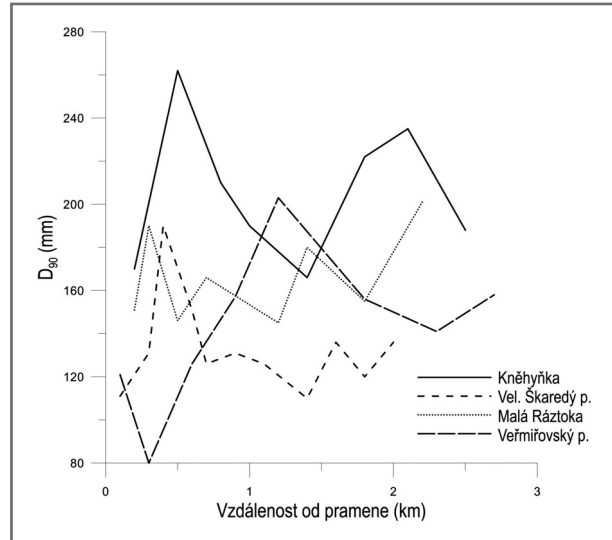
Sledovaná povodí toků Kněhyňky, Velkého Škaredého potoka a v menší míře i Malé Ráztočky byla v minulosti ovlivněna činností blokovobahenních proudů, kdy v prve jmenovaném se na ř. km 0,8–1,1 nachází rozsáhlé aku-



Obr. 2: Morfologie vystupujícího skalního dna (pískovce godulských vrstev) v korytě: a – Malé Ráztoky; b – Veřmiřovského potoka; c – Kněhyňky.

Fig. 2: Bedrock-channel morphology (Godula sandstone) at: a – Malé Ráztoka; b – Veřmiřovský potok; c – Kněhyňka.

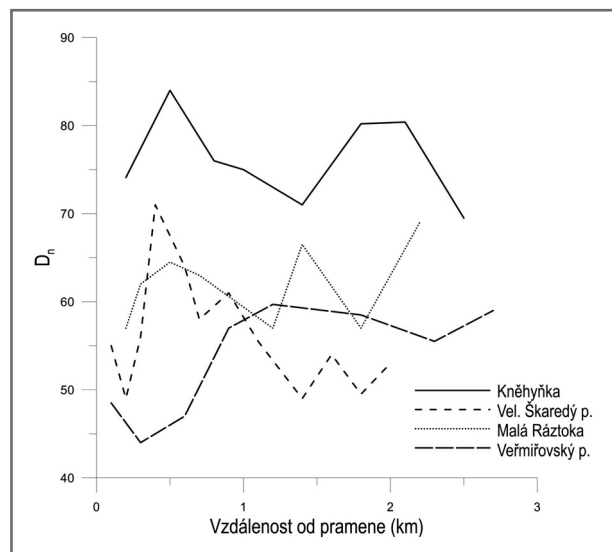
mulace těchto proudů a za běžných průtoků údolní dno dokonce postrádá povrchový tok. Pro korytový segment Velkého Škaredého potoka je od ř. km 0,6 typická vysoká dotace sedimentů z břehových nátrží díky stržovému charakteru údolního dna a převažujícímu nestabilnímu jílovcovému podloží. Naopak u toku Malé Ráztoky se projevuje dlouhodobý deficit přísunu klastického materiálu do toku a téměř na polovině délky sledovaného podélného profilu se objevuje vystupující skalní podloží. Progresivní současné zahlubování je pozorované i u Veřmiřovského potoka, kde se místy rovněž objevují úseky se skalním dnem. Tento trend mohou v současné době urychlovat i přítomné přehrážky zachytávající splaveniny a následný efekt tzv. hladové vody (sensu Kondolf 1997).



Obr. 3: Poproudové trendy indexu D_{90} korytových sedimentů sledovaných toků.

Fig. 3: Downstream trends of bed sediments D_{90} indices of evaluated streams.

Vývoj trendů průměrné hodnoty indexu velikosti klastů D_n a hrubé frakce sedimentů D_{90} v podélných profilech bystřin dokumentují obrázky 3 a 4. Tok Kněhyňky disponuje nejhrubším korytovým sedimentem dle obou sledovaných parametrů. Tato skutečnost vyplývá z polohy bystřinného koryta ve středním členu godulských vrstev s dominancí hrubě lavicovitých pískovců téměř bez jílovcových proložek a jejich trvalou dodávkou do celého podélného průběhu toku z akumulací blokovobahenních proudů a menších nátrží. U nižších pozorovaných hodnot sledovaných parametrů Malé Ráztoky se projevuje vliv často vystupujícího skalního podloží spodního a středního členu godulských vrstev zejména mezi ř. km 0,5 a 1,5 a nedostatek aktivních zdrojnic sedimentů v těchto úsecích.



Obr. 4: Poproudové trendy průměrné hodnoty indexu velikosti korytových sedimentů D_n sledovaných toků.

Fig. 4: Downstream trends of bed sediments mean values of nominal index D_n of bed sediments of evaluated streams.

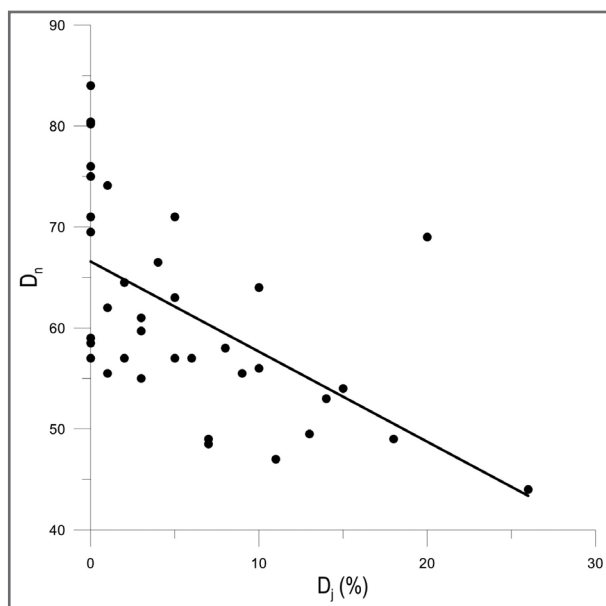
Samotné skalní podloží ve formě vystupujících pískovcových lavic zapadajících proti směru proudění je poměrně odolné vůči fluvialní erozi a nemůže být chápáno jako aktivní zdrojnice materiálu. Pramenná oblast Veřmiřovského potoka se vyznačuje převahou relativně drobnějších frakcí pocházejících z tenčích lavic pískovců godulských vrstev a místy také z jílovců mazáckého souvrství. Níže po toku se (viz obr. 3 a obr. 4) projevuje hrubnutí sedimentů vzhledem k zahluovacímu trendu bystřiny a také zřejmě k dotaci materiálu z hruběji lavicovitých godulských vrstev. Dobře interpretovatelná situace je u Velkého Škaredého potoka, kdy se nápadným poklesem percentilu D_{90} i průměrnou hodnotou indexu velikosti klastů D_n jasně projevují bohaté dotace drobněji rozpadavých jílovců od cca ř. km 0,5 až po dolní závěrečný profil. Nejvyšší hodnoty zrnitostních parametrů proto pozorujeme v pramenné oblasti tohoto toku v ř. km 0,0–0,5, kde se v podloží nacházejí vlastní godulské vrstvy v hrubě lavicovitém pískovcovém vývoji.

Množství jílovců v dnových sedimentech ovlivňují průměrné velikostní parametry korytových sedimentů, kdy jílovcové klasty rychleji podléhají mechanickému rozpadu na menší částice. Tato závislost však není nijak významná ($R^2=0,32$), pokud ji vyjádříme lineárním trendem na základě relativního podílu jílovců v korytovém sedimentu D_j a průměrné hodnotě indexu velikosti klastu D_n z měření ve všech hodnocených korytových úsecích (obr. 5):

$$D_n = -0,088D_j + 6,65.$$

Ještě o něco nižší je záporná korelace mezi obsahem jílovců v korytových sedimentech a D_{90} zrnitostním percentilem ($R^2=0,29$):

$$D_{90} = -0,32D_j + 17,74.$$



Obr. 5: Vyjádření lineární závislosti průměrné hodnoty indexu velikosti klastu D_n na relativním podílu jílovců D_j v korytových sedimentech.

Fig. 5: Linear correlation between mean values of nominal index D_n and relative claystone proportion D_j in bed sediments.

Diskuze a závěry

Z pozorování na sledovaných tocích a zjištěných závislostí vyplývá, že samotný obsah jílovců v korytových sedimentech má přímý vliv na velikostní parametry sedimentů. Nepřímé vlivy lze charakterizovat větší náchylností jílovcových vrstev k tvorbě břehových nátrží a mělkých svahových deformací, z čehož vyplývají bohatší dotace sedimentů pro korytový segment. Tato skutečnost se projevila v průběhu Velkého Škaredého potoka, kdy jsou pozorovány výrazně nižší hodnoty percentilu D_{90} a indexu velikosti klastů D_n v úsecích s jílovcovým podložím a naopak tok Kněhyňky v podstatě bez zjištěných měkkých jílovců v korytových sedimentech vykázal absolutně nejvyšší hodnoty zrnitostních parametrů.

Samotné godulské vrstvy, zvláště jejich střední člen, jsou složeny téměř výhradně z hrubě lavicovitých relativně odolnějších pískovců a větší dotace sedimentů jsou vázány pouze na občasný výskyt blokovobahenních proudů v úsecích koryt s nejvyššími hodnotami sklonu, případně na ústí strží. Hluboké svahové deformace ovlivňují spíše směr toku a jeho podélný profil a na donáše sedimentů se tedy podílejí nepřímo. V tocích založených v těchto odolnějších polohách se tak často setkáváme s vystupujícím skalním dnem, pokud se objemy dotací sedimentů do korytového segmentu nepřiblíží potenciální transportní kapacitě toku (Montgomery – Buffington 1997). Přitom je tato situace nezávislá na orientaci toku vzhledem ke sklonu vrstev. S vystupujícím skalním podložím se běžně setkáváme na všech tocích s nižšími dotacemi sedimentů. Nelze také opomenout obecný vztah mezi aktivním zahlučováním toků a hrubnutím sedimentů, jenž je popisován i z beskydské oblasti (Hradecký – Děd 2008, Škarpich et al. 2010).

V případě kontinuální dodávky sedimentů do toku a relativně homogenního geologického podloží na příkladu Kněhyňky není možné hovořit u vysokogradientových toků o jednotném trendu zjemňování či hrubnutí korytových sedimentů po proudu toku. Stejnou situaci mimo Moravskoslezských Beskyd (Hradecký – Příbyla 2007, Škarpich et al. 2010) pozorujeme např. i v alpské oblasti (Vianello – D'Agostino 2007).

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory interního grantu Ostravské univerzity SGS4/PřF/2012. Autoři srdečně děkují oběma recenzentům, jmenovitě Danielu Nývtovi a Pavlu Roštínskému, za cenné připomínky, jež výrazně přispěly ke zkvalitnění tohoto příspěvku.

Literatura

- Bunte, K. – Abt, S. R. (2001): Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. – 1–428, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Čtyroký, P. – Stráník, Z. (1995): Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení západních Karpat – Věstník Českého geologického ústavu, 70, 3, 67–72.
- Hradecký, J. – Příbyla, Z. (2007): Zdroje a parametry dnových sedimentů bystřinných toků Moravskoslezských Beskyd (na příkladu toku Tyra). – In: Geomorfologický sborník 6, 18–19, Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava.
- Hradecký, J. – Děd, M. (2008): Současné trendy v zrnitostním složení sedimentů štěrkových lavic toků Moravskoslezských Beskyd – příkladová studie Sihelský potok. – Geologické výzkumy na Moravě a Slezsku v roce 2007, 15, 19–23. Brno.
- Chiari, M. – Rickenmann, D. (2011): Back-calculation of bedload transport in steep channels with a numerical model. – Earth Surface Processes and Landforms, 36, 805–815.
- Kondolf, G. M. (1997): Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. – Environmental Management, 21, 533–551.
- Menčík, E. – Adamová, M. – Dvořák, J. – Dudek, A. – Jetel, J. – Jurková, A. – Hanzlíková, E. – Houša, V. – Peslová, H. – Rybářová, L. – Šmíd, B. – Šebesta, J. – Tyráček, J. – Vašíček, Z. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské Pahorkatiny. – Ústřední ústav geologický, Praha, 307 s.
- Menčík, E. – Tyráček, J. (1985): Přehledná geologická mapa Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny, 1 : 100 000. – Ústřední Ústav Geologický, Praha.
- Montgomery, D. R. – Buffington, J. M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. – GSA Bulletin, 5, 596–611.
- Pánek, T. – Hradecký, J. – Míňár, J. – Šilhán, K. (2010): Recurrent landslides predisposed by fault-induced weathering of flysch in the Western Carpathians. – In: Calcaterra, D. – Parise, M. (eds): Weathering as a Predisposing Factor to Slope Movements. ISBN: 978-1-86239-297-7.
- Šilhán, K. (2011): Dendrogeomorfologická analýza časové dotace sedimentů do vysokogradientového toku (příkladová studie Satina; Moravskoslezské Beskydy). – Geologické výzkumy na Moravě a Slezsku v roce 2011, 64–67.
- Šilhán, K. – Pánek, T. (2010): Fossil and recent debris flows in medium-high mountains (Moravskoslezské Beskydy Mts., Czech Republic). – Geomorphology, 124, 238–249.
- Škarpich, V. – Galia, T. – Hradecký, J. – Peč, J. (2010): Identifikace (dis)konektivit vodních toků za využití makrogranulometrické analýzy korytových sedimentů (Moravskoslezské Beskydy). – Geologické výzkumy na Moravě a Slezsku v roce 2010, 199–204.
- Thompson, C. J. – Croke, J. – Ogden, R. – Wallbrink, P. (2006): A morpho-statistical classification of mountain stream reachtypes in southeastern Australia. – Geomorphology, 81, 43–65.
- Vianello, A. – D'Agostino, V. (2007): Bankfull width and morphological units in an Alpine stream of the Dolomites (Northern Italy). – Geomorphology, 83, 266–281.
- Wolman, M. G. (1954): A method of sampling coarse bed material. – American Geophysical Union, 36, 951–956.
- Zimmermann, A. (2010): Flow resistance in steep streams: An experimental study. – Water Resources Research 46, W09536, doi:10.1029/2009WR007913.