

IDENTIFIKACE (DIS)KONEKTIVIT VODNÍCH TOKŮ ZA VYUŽITÍ MAKROGRANULOMETRICKÉ ANALÝZY KORYTOVÝCH SEDIMENTŮ (MORAVSKOSLEZSKÉ BESKYDY)

Identification of stream (dis)connectivity with the use of macrogranulometric analysis of channel bed sediments (the Moravskoslezské Beskydy Mts.)

Václav Škarpich, Tomáš Galia, Jan Hradecký, Jan Peč

Katedra fyzické geografie a geoekologie, PříF Ostravská univerzita, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava; e-mail: skarpich@centrum.cz

(25–23 Rožnov p. R., 25–22 Frýdek-Místek, 25–24 Turzovka)

Key words: Silesian Unit, Moravskoslezské Beskydy Mts., (dis)connectivity, particle-size analysis, gravel bed

Abstract

This paper brings evidence on sediment distribution trends in longitudinal profiles of Beskydian high gradient streams. High gradient streams play an important role in the context of fluvial (dis)continuum as they represent a source of sediment for downstream parts of catchments. The main instrument in the identification of river basin (dis)connectivity was grain-size analysis and fluvial-geomorphological mapping. In addition, bedload material transport force was computed for sections in the vicinity of gauging station. The research comprised the study areas of the Býčinec Basin, the Velký Lipový Basin and the Malá Ráztoka Basin.

Úvod

Sedimenty v korytě vodního toku hrají nezastupitelnou roli ve fluvialním systému. Zvyšují drsnost koryta a působí tím na další složky geosystému. V Moravskoslezských Beskydech se setkáváme u vysokogradientových toků se silnou rozkolísaností v distribuci dnových splavenin v podélném profilu. Tato rozkolísanost je ovlivněna jak přirozenými, tak antropogenními procesy. Významnou roli hrají tzv. bariéry a nárazníkové zóny (Fryirs et al. 2007), které působí na prostorové rozmístění sedimentů v korytě. Bariéry definujeme jako diskonektivity ovlivňující pohyb sedimentů v korytě a nárazníkové zóny jako formy zabráňující vstupu sedimentů do koryta (Fryirs et al. 2007). Změny v distribuci korytových sedimentů v horních částech povodí mají výrazný vliv na koryto-nivní systém v dolních úsecích toku. Tyto změny jsou v současné době způsobeny vybudováním údolních nádrží, dále pak úpravami koryt vodních toků, především výstavbou přehrázek a opevňováním břehů. Zmiňované případy transformují přirozený posun sedimentů a akcelerují tak erozní a akumulaciční procesy. Makrogranulometrická analýza korytových sedimentů představuje vhodný nástroj k pochopení erozních, akumulacičních a transportních procesů vysokogradientových toků. V předkládaném příspěvku jsou hodnoceny granulometrické parametry a transportní charakteristiky umožňující identifikaci (dis)konektivit ve fluvialním systému beskydských vysokogradientových toků, a to Býčince, Velkého Lipového potoka a Malé Ráztoky.

Metodika

Z hlediska makrogranulometrické analýzy je významná především povrchová vrstva sedimentů, což je vrstva o mocnosti průměru jedné částice, vystavené v kterémkoliv bodě povrchu říčního dna (Bunte – Abt 2001).

Metoda je založena na měření os jednotlivých klastů této povrchové vrstvy.

Informace o sedimentech povrchu dna lze získat pomocí tří základních postupů. První z nich je měření v linii (pebble counts), kdy se sbírají a měří klasty v pravidelných rozstupech napříč korytem. Nevýhodou této metody jsou chyby, které mohou vzniknout především kvůli tendenci sbírat větší klasty. Pro zaručení náhodnosti bylo navrženo několik způsobů sběru klastů. Bunte – Abt (2001) doporučují odběr od břehu ke břehu (bank-to-bank) podél měřicího pásma. Wolman (1954) navrhl odběr sedimentů napříč korytem naslepo stylem pata-palec. Bevenger – King (1995) uvádějí ještě sběr částic cik-cakovitě (zig-zag) proti proudu, ale tato metoda není příliš využívána geomorfology především z hlediska zajištění vhodnosti kvalitativních dat pro konstrukci distribučních křivek. Druhou variantou je měření v mřížce (grid counts), kdy vybíráme částice z rovnoměrně rozdělených uzlových bodů mřížky. Třetí metodou je plošné měření (areal samples), kdy dochází k měření všech klastů vyskytujících se na dané ploše, aniž by byly zahrnuty podpovrchové částice. Moderní alternativou měření povrchové vrstvy sedimentů je digitálně-fotografický sběr dat za využití softwarového řešení Digital Gravelometer (Graham et al. 2005). Pro dané vodní toky bylo při sběru dat využito měření v linii metodou Wolman (1954) na reprezentativních úsecích vždy v celé délce toku. Pro každý měrný profil bylo vybráno právě sto náhodných klastů. Ke zjištění (dis)konektivit v podélném profilu bylo využito tří v zrnitostní analýze důležitých indexů, a to index velikosti klastu (nominal diameter), který by se měl po proudu toku zmenšovat vlivem fluvialního opracování jednotlivých klastů, a který vychází ze vztahu: $D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3}$, kde a , b , c jsou jednotlivé osy klastů (Bunte – Abt 2001). Dále index tvaru klastu, který je vyjádřen vztahem: $i = (b \cdot c / a^2)^{1/3}$. Směrem po proudu

by se měla hodnota tohoto indexu následkem fluvialního opracování blížit právě jedné (Bunte – Abt, 2001). Dalším využívaným ukazatelem je index vytrídění charakterizující rozpětí velikostního rozložení. V rámci výzkumu byl pro výpočet této charakteristiky použit Inmanův (1952) vztah: $S_i = (\psi_{84} - \psi_{16})/2$, kde ψ_{84} a ψ_{16} jsou percentily ze souboru sedimentů převedených do stupnice ψ (psi), běžně užívané pro měření velikosti klastů nad 2 mm. Z měření provedeného v metrické stupnici lze ψ jednoduše vypočítat na základě rovnice: $\psi = \log(D_i)/\log 2$, kde D_i je délka osy b v milimetrech (Bunte – Abt 2001).

Problematika fluvialního transportu dnových sedimentů na toku Malá Ráztoka byla řešena pomocí Karman-Prandtl-Keulegenovy rovnice, která pro vysokogradientové toky a heterogenní dnové sedimenty za předpokladu, že všechny klasty jsou za vysokých N-letých průtoků ponořeny, nabývá tvaru: $\tau_b = u^2 \cdot \rho \cdot k^2 \cdot (\ln 14,4)^2$, kde τ_b (tau) je dnové tečné napětí, u průměrná rychlost proudění, ρ hustota vody a k von Karmanova konstanta $\sim 0,4$. Rychlost byla odvozena ze známých N-letých průtoků pomocí exponenciální závislosti průtoků na průměrné rychlosti proudění ve vysokogradientových tocích, která se dle Lee – Fergusona (2002) pohybuje mezi hodnotami 0,51–0,84. Zpětný výpočet této rovnice přes kritické tečné proudění

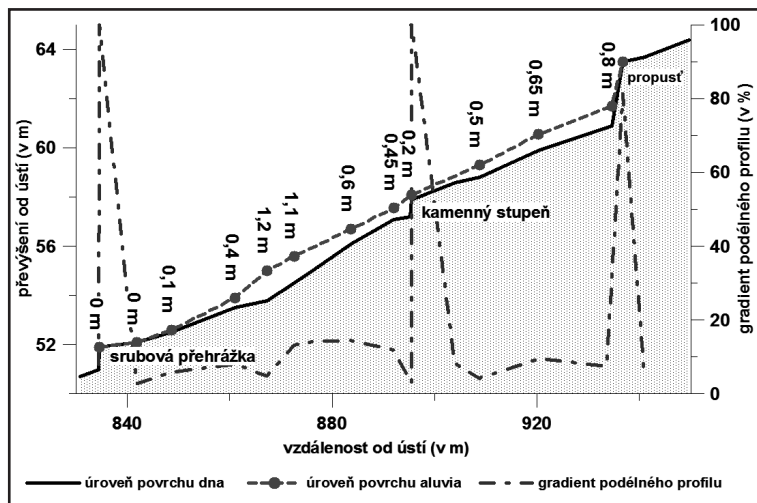
(Shieldsův parametr θ) pak zní: $\tau_b = \theta \cdot g \cdot (\rho' - \rho) \cdot D_{84}$, kde g je gravitační zrychlení $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ a ρ' je měrná hmotnost ponořeného klastu (v našem případě godulský pískovec ca $2\,500 \text{ kg.m}^{-3}$). Pro parametr θ používáme hodnotu 0,045 pro volně uspořádané heterogenní sedimenty. Ze známého dnového tečného napětí lze následně vyjádřit délku osy b klastu, který může být za uvedeného dnového tečného napětí uveden do pohybu (Zimmermann – Church 2002).

Výsledky

Ze získaných hodnot zrnitostního složení v povodí Býčince je patrné, že v podélném profilu není zachycen trend postupného zjemňování sedimentů s narůstající délkou toku (tab. 1). Index velikosti klastů vykazuje silnou rozkolísanost. Tyto výkyvy jsou v korelaci s jednotlivými (dis)konektivitami identifikovanými v rámci fluvialně-geomorfologického mapování. V podélném profilu je patrný výrazně zvyšující se trend ve střední části toku (tab. 1), daný svahovou deformací v přímém kontaktu s korytem. Koryto zde vytváří hluboce zařízlý úsek stržového charakteru a je přímo zásobováno sedimenty z boční a hloubkové eroze. Index tvaru vykazuje slabě rozkolísaný průběh, způsobený střídáním méně odolných jílovců a odolnějších pískovců ve flyšové stavbě Moravsko-slezských Beskyd, které jsou dodávány do vodního toku hloubkovou a boční erozí. Na lokální úrovni je patrná silná hloubková eroze v oblasti ř. km 0,83–0,94 (obr. 1), zapříčiněná křížením místní komunikace s vodním tokem a stavbou propustě. Nad propustí (ve směru proti proudu) dochází k výraznému rozšíření nivy se šterkovými lavicemi porostlými vegetací. Pod propustí dochází tzv. efektem hladové vody (sensu Kondolf 1997) vlivem hloubkové eroze k zahloubení koryta. Niže po proudu je eroze zastavena srubovou přehrázkou, zahloubení toku je utlumeno a pod přehrázkou je opět nastartována akcelerovaná hloubková eroze. Zahloubení toku pod propustí se pohybuje kolem hodnoty 0,8 m (obr. 1). Index velikosti klastů pod propustí činí 6,83 (tab. 1). Tato hodnota ukazuje na nárůst velikosti klastů a je způsobená hloubkovou erozí. Niže po proudu za srubovou přehrázkou (ve směru proti proudu) má index

říční kilometr	zrnitostní charakteristiky		
	délka osy b (v cm)	index velikosti Dn*	index tvaru i*
0,05	6,26	5,61	0,6
0,25	6,8	6,07	0,61
0,48	6,43	6,03	0,64
0,56	7,67	6,81	0,61
0,65	7,96	7,40	0,62
0,84	4,52	4,16	0,61
0,92	7,58	6,83	0,63
1,11	4,95	4,36	0,59
1,3	6,77	6,27	0,61

Tab. 1: Přehled zrnitostních charakteristik sedimentů v podélném profilu vodního toku Býčince, *dle metodiky Bunte – Abt (2001).
Tab. 1: Grain-size parameters of sediments in longitudinal profile of the Býčinec Brook, *after the methodology Bunte – Abt (2001).



Obr. 1: Podélný profil části koryta s projevy hloubkové eroze dna.
Fig. 1: Longitudinal profile of the channel reach with level of deep erosion.

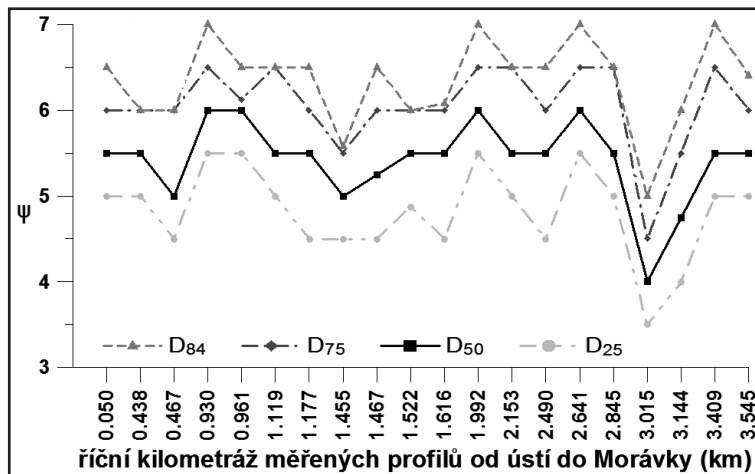
velikosti hodnotu 4,16 (tab. 1), což je dáno větším vytríděním z důvodu lokálního snížení gradientu a našedcí kapacity toku, čímž dochází k zastavení transportu a akumulaci sedimentů nad přehrázkou.

V korytě vodního toku Velkého Lipového potoka metodou Wolman (1954) z odebraných vzorků klastů vyplývá, že bariéry a nárazníkové zóny představují výrazné ovlivnění trendu zrnitostní frakce v podélném profilu. Vypočítané hodnoty percentilů D_{25} , D_{50} , D_{75} a D_{84} ukazují na hloubkovou erozi a výskyt hrubších frakcí před bariérami (ve směru proti proudu), který je patrně způsoben tzv. efektem hladové vody (Kondolf 1997) a odnosem jemnější frakce pod bariérou. Existence nárazníkových zón může být identifikovatelná výskytem hrubších frakcí z důvodu absence dodávky sedimentů

Říční km	Horninové složení	Klasifikace koryta*	D ₂₅	D ₅₀	D ₇₅	D ₈₄	D _n	i
0,1	jílovec, pískovec	planární	4	5,5	8	15	7,4	0,55
0,5	pískovec	stupeň-tůň + kaskádové	4	6,5	10,5	14	7,9	0,62
0,9	pískovec	kaskádové + skalní	4	5,5	8,5	10	6,7	0,64
1,4	pískovec	kaskádové + skalní	3,5	4,5	6,5	8	7,4	0,62
1,8	pískovec	kaskádové	3,5	6	8,5	15,5	8	0,61
2	pískovec	kaskádové	4	5,5	8	12,5	8,5	0,59
2,2	pískovec	kaskádové + skalní	4	6,5	10	17	9,7	0,6

Tab. 2: Parametry dnových sedimentů vodního toku Malá Ráztoka, *dle Montgomery – Buffington (1997).

Tab. 2: Parameters of channel-bed sediments of the Malá Ráztoka water stream, *after Montgomery – Buffington (1997).



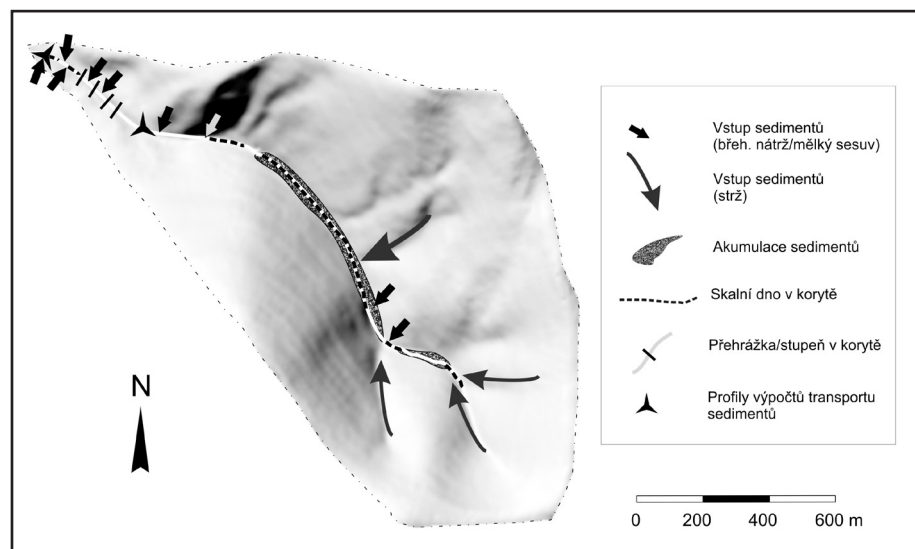
Obr. 2: Vývoj změny velikostí klastů v měřených profilech Velkého Lipového potoka.

Fig. 2: Trends of grain size along longitudinal profile of the Velký Lipový potok Brook.

do koryta. Především výrazná odchylka v trendu zrnitosti frakce (obr. 2) na ř. km 3,015 (měřeno od ústí do vodního toku Morávka) představuje vliv bariéry na charakter zrnitostního složení dnových sedimentů. Bariéru v tomto případě způsobuje velké množství zbytků dřeva v korytě, čímž dochází ke specifickému snížení percentilů zrnitostní frakce a ovlivnění vytříděnosti klastů. Antropogenní ovlivnění lze v podélném profilu sledovat ve výrazné míře na úseku říčního kilometru 1,080–2,982 (obr. 2), na kterém dochází k akcelerované hloubkové erozi zapříčiněné efektem „hladové vody“ v důsledku výskytu vysokých přehrázek a stupňů.

Makrogranulometrický rozbor toku Malé Ráztoky ukázal silnou rozkolísanost stejně jako v případě dvou výše hodnocených toků. Měření bylo provedeno na sedmi místech (ř. km 0,1, 0,5, 0,9, 1,4, 1,8, 2,0 a 2,2) transektovou metodou. Na všech místech měření převažovaly klasty godulského pískovce, na ř. km 0,1 se v korytě navíc ve velkém množství vyskytují jílovce pestrých vrstev godulských, které se do toku dostávají

erozí skalního podloží (obr. 3) na ř. km 0,23–0,25. Mírně klesající trend indexu velikosti klastů a zároveň mírně stoupající index tvaru klastů je patrný v horní části toku po říční km 0,9. Svědčí to o relativně nízké donáске sedimentů do koryta vzhledem k transportu, což dokazuje i častý výskyt koryta ve skalním podloží (lavice godulských pískovců) v korytě. Na ř. km 0,5–0,75 lze na pravém břehu sledovat rozsáhlé mělké svahové deformace (obr. 3), jež dodávají materiál do koryta. Tento fakt potvrzují výsledky měření na ř. km 0,5, jež vykazují skokové zvýšení indexu velikosti a mírné zvýšení indexu tvaru klastů (tab. 2). Podél levého břehu vede lesní cesta, jejíž funkce bariéry je oproti donáске ze sevsných deformací zanedbatelná. Výsledky měření na ř. km 0,1 (zvláště skokové snížení indexu tvaru klastů) jsou silně ovlivněny donáskou klastů lupenitých jílovců pestrých vrstev godulských z hloubkové eroze podloží. Ta je iniciována působením zpětné eroze vodního toku Lomné, geomorfologicky méně odolným horninovým prostředím a intenzitu hloubkové eroze může zesílit i efekt hladové vody iniciovaný přehrázkami vybudovanými na ř. km 0,3 a 0,5 (obr. 3). Vzhledem k nízkému sklonu svahu v okolí dolní části toku (plocha náplavového kužele Malé Ráztoky a Lomné) přestává být aktuální donáška godulských pískovců ve formě svahových zvětralin (obr. 3). V případě



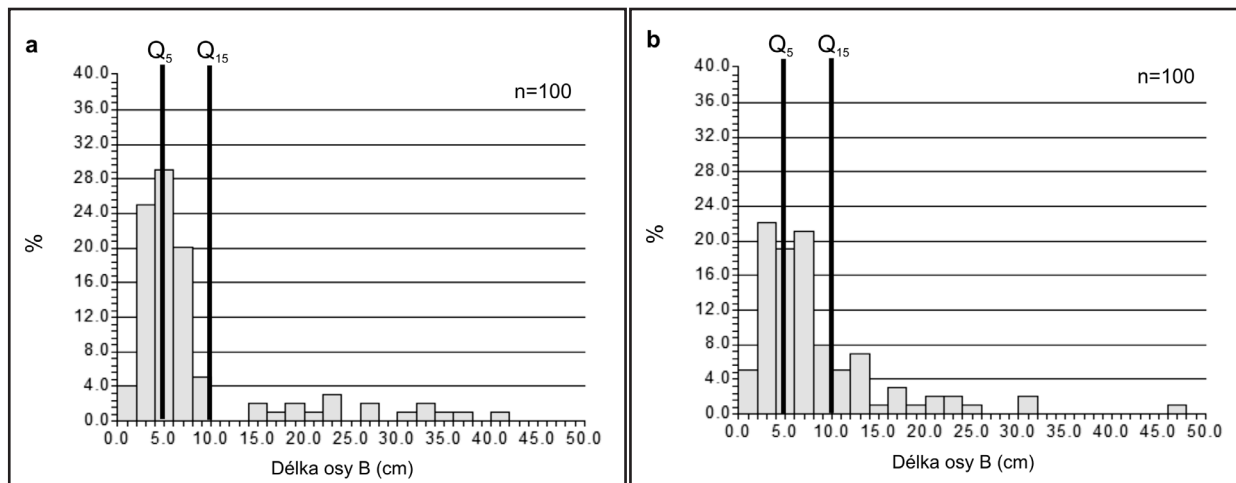
Obr. 3: Rozložení a vstupy sedimentů v povodí Malé Ráztoky.

Fig. 3: Sediment storage and inputs in the Malá Ráztoka basin.

hodnocení fluviálního transportu Malé Ráztoky výše uvedenými rovinicemi bylo zjištěno, že pětiletý průtok je teoreticky schopen transportovat klasty o přibližné délce osy b do 5 cm a patnáctiletý průtok o délce do 10 cm v profilech na ř. km 0,1 a 0,5 (obr. 4). Při aplikaci na konkrétní makrogranulometrické složení dnových sedimentů v uvedených profilech bylo zjištěno, že patnáctiletý průtok dokáže uvést do pohybu více než polovinu z celkového množství dnových sedimentů v korytě (obr. 4).

proti proudu než za překážkou vlivem lokálního snížení gradientu (Hradecký – Děd 2008).

V povodí Býčince lze ze zjištěných výsledků za bariéry považovat prvky, které snižují unášecí kapacitu toku vlivem lokálního snížení sklonu nebo blokováním transportu sedimentů. Jsou dvojiho typu, buďto antropogenně indukované (mostní konstrukce, dřevěné přehrážky) nebo přirozené (skalní stupně, zbytky dřeva v korytě). Nárazníkové zóny zahrnují především opevňování břehů z důvodu



Obr. 4: Znáznornění možné transportní síly Q_5 a Q_{15} v kontextu makrogranulometrických parametrů pro vodní tok Malá Ráztoka na říčním km a) 0,1 a b) 0,5.

Fig. 4: Demonstration of possible effect of Q_5 and Q_{15} during bedload transport in context of grain-size analysis of the torrent Malá Ráztoka in the river reach a) 0,1 km and b) 0,5 km.

Závěr

Makrogranulometrická analýza v kombinaci s fluviálně-geomorfologickým mapováním, analýzou podélných profilů a dalšími fluviálně-geomorfologickými metodami výzkumu přináší důležité informace o distribuci sedimentů koryto-nivního systému beskydských bystrinných toků. Index velikosti, vytrídění a percentily zrnitostní frakce sedimentů mohou být dobrým identifikátorem (dis)konektivity v povodí toků Moravskoslezských Beskyd (např. výrazná změna v trendu zrnitostního složení Velkého Lipového potoka na ř. km 3,015, obr. 2). Index tvaru se jeví jako méně vhodný pro studium resp. identifikaci (dis)konektivit v podélném profilu vodního toku. Důvodem je nízká rozkolísanost indexu. Směrodatná odchylka indexu tvaru pro podélný profil toku Býčinec dosahuje hodnoty 0,02, což ukazuje na velkou podobnost daného souboru hodnot. Rozkolísanost je dána především charakterem horninového prostředí Moravskoslezských Beskyd a typickým střídáním méně odolných jílovců a odolnějších pískovců. Diskontinuity beskydských bystrin způsobují v podélném profilu změny trendu zrnitostního složení. Např. vlivem překážek dochází ke snižování indexu vytrídění a velikosti za překážkou (ve směru proti proudu) a naopak před překážkou (ve směru proti proudu) dochází ke zvýšení indexu vytrídění a velikosti vlivem hladové vody (obr. 1, tab. 1). Tato zjištění potvrzuje i studie v povodí Sihelského potoka, kde byly akumulární formy podrobeny granulometrickému vzorkování. U koeficientu vytrídění (Folk – Ward 1957) lavice vykazují vyšší hodnotu před překážkou ve směru

komunikací vedoucích v blízkosti toku a samotná údolní niva v dolní části povodí, která vytváří zónu zpomalení pohybu sedimentů z okolních svahů.

Povodí Malé Ráztoky je z hlediska (dis)kontinuit možno charakterizovat ve dvou velikostních dimenzích. V menším měřítku je to plocha náplavového kužele v závěrové části povodí, která, vzhledem ke snížení sklonu reliéfu, tvoří zónu zpomalení pohybu sedimentů z přilehlých severovýchodních svahů Noříčí hory. Ve větším měřítku lze v povodí Malé Ráztoky za nárazníkové zóny považovat:

- a) zpevněné i nezpevněné komunikace pro potřebu lesního hospodářství situované po celé ploše povodí, zvláště ty, jež vedou kolmo ke spádnicím,
- b) lesní nezpevněnou komunikaci vedoucí po levém břehu toku v ř. km 0,4–1,1. Tato komunikace zabraňuje přímé dodávce sutí pohybujících se po zvětralínovém plášti. Místy je od toku oddělena opěrnou zdí za účelem zabránění boční eroze toku, zeď se v dnešní době nachází v havarijním stavu.

Za bariéry mohou být považovány:

- a) propustky v místech, kde komunikace lesního hospodářství překračují strže, jež mohou být překážkou pro přímý transport sedimentů uvnitř těchto strží,
- b) přehrážky v korytě na ř. km 0,3 a 0,5, jež brzdí pohyb sedimentů uvnitř toku. Nad nimi jsou patrné rozsáhlejší akumulace klastů a mohou efektem hladové vody urychlovat hloubkovou erozi skalního podloží, která se projevuje na ř. km 0,23–0,25.

Výpočet transportních charakteristik bylo možné uskutečnit pouze pro koryto Malé Ráztoky. Hlavním důvodem je dostupnost přesných dat o průtocích pouze pro tento vodní tok. Průtoky odvozené, které poskytuje Český hydrometeorologický ústav, jsou pro výpočty transportních charakteristik zcela nevhodné z hlediska velké nepřesnosti, resp. nadhodnocení. Pro příklad uvádíme 10letý průtok získaný z naměřených dat VÚHLM pro vodní tok Malé Ráztoky (plocha povodí 2,076 km²), který činí $Q_{10} = 1,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a průtok odvozený (poskytovaný ČHMÚ) pro vodní tok Malého Lipového potoka (plocha povodí 2,16 km²) $Q_{10} = 7,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, kdy dané toky mají velmi podobné fyzickogeografické parametry. Pro dané výpočty je nezbytně nutné použití dat získaných přímým měřením v korytě vodních toků. Hodnocení transportních charakteristik bylo analyzováno za pomoci dat získaných z fluvialně-geomorfologického výzkumu Malé Ráztoky. Ze získaných výsledků je patrné, že hydrologicko-klimatické charakteristiky beskydských toků jsou významným činitelem ve vztahu k rychlosti a dynamice vývoje korytinivního systému, což potvrzuje již výše uvedená skutečnost, že patnáctiletý průtok dokáže uvést do pohybu více než polovinu z celkového množství dnových sedimentů (obr. 4).

Na základě výsledků fluvialně-geomorfologického výzkumu je v korytech beskydských bystřin možné vertikálně rozlišovat dvojí typ transportu: (i) transport čistě fluvialní a (ii) transport koluviální ve spojení s gravitačními procesy. Koluviální typ převažuje v nejstrmějších částech vysokogradientových toků, především v koluviálních a většinou i kaskádových úsecích toku dle klasifikace Montgomery – Buffington (1997) a probíhá ve formě epizodických blokovobahenních proudů, jež jsou schopné transportovat i největší klasty v korytě. Například v povodí Malé Ráztoky akumulace z blokovobahenních proudů ovlivňují údolní dno bystřiny na vzdálenost 1,5 km od pramenné oblasti. Dá se říci, že v tomto úseku probíhá kombinovaný fluvialní a koluviální transport a proti směru toku významnost koluviálního transportu s klesajícím dlouhodobým průtokem stoupá. Předpokládá se, že blokovobahenní proudy mají malou frekvenci výskytu a zároveň dokážou transportovat velké objemy materiálu, zatímco fluvialní transport dnových sedimentů lze charakterizovat jako relativně častěji probíhající proces, avšak s daleko nižšími jednotkovými transportovanými objemy.

Závěrem můžeme konstatovat, že charakter distribuce sedimentů z hlediska transportu sedimentů v podélném profilu beskydských bystřin může být ovlivněn několika hlavními faktory:

1. existencí lokálních diskonektivit v podobě bariér a nárazníkových zón blokujících pohyb sedimentů,
2. charakterem stavby podloží, kdy odolnost horniny má přímý vliv na dodávku sedimentů do koryta vodního toku,
3. hydrologicko-klimatickými podmínkami, především pak výskytem srážkových extrémů v přímé návaznosti na průtoky v korytě.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektu SGS Ostravské univerzity (reg. číslo SGS5/PrF/2010) a grantového projektu Grantové agentury České republiky „Geomorfologická reakce vodních toků na antropogenní disturbance v oblasti Západních Beskyd“ (reg. č. 205/06/P131).

Literatura

- Bevenger, G. S. – King, R. M. (1995): A pebble count procedure for assessing watershed cumulative effects. – USDA Forest Service Research Paper RM-RP319 Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- 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.
- Folk, R. L. – Ward, W. C. (1957): Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 1, 3–26.
- Fryirs, K. A. – Brierley, G. J. – Preston, N. J. – Spencer, J. (2007): Catchment-scale (dis)connectivity in sediment flux in the upper Hunter catchment. – *Geomorphology*, 84, 297–316.
- Graham, D. J. – Reid, I. – Rice, S. P. (2005): Automated sizing of coarse grained sediments: Image-processing procedures. – *Mathematical Geology*, 37, 1, 1–28.
- Hradecký, J. – Děd, M. (2008): Současné trendy v zrnitostním složení sedimentů štěrkových lavic toků Moravskoslezských Beskyd – příkladová studie Sihelský potok. – *Geol. výzk. Mor. Slez.* v r. 2007, 15, 19–23. Brno.
- Inman, D. L. (1952): Measures for describing the size distribution of sediments. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 22, 125–145.
- Kondolf, G.M. (1997): Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. – *Environmental Management*, 21, 533–551.
- Lee, A. – Ferguson, R. I. (2002): Velocity and flow resistance in step-pool streams. – *Geomorphology*, 46, 59–71.
- Montgomery, D. R. – Buffington, J. M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. – *GSA Bulletin*, 5, 596–611.
- Wolman, M. G. (1954): A method of sampling coarse bed material. – *American Geophysical Union*, 36, 951–956.
- Zimmermann, A. – Church, M. (2001): Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel of mountain streams. – *Geomorphology*, 40, 311–327.