

PODMÍNKY TRANSPORTU A AKUMULACE SEDIMENTŮ V ČLOVĚKEM OVLIVNĚNÝCH KORYTECH BESKYDSKÝCH TOKŮ: PŘÍKLADOVÁ STUDIE SOUTOKU ŘEKY MORÁVKY A MOHELNICE

Conditions of sediment transport and accumulation in man-affected Beskydian rivers: case study of the Morávka and Mohelnice rivers confluence

Václav Škarpich, Tomáš Galia, Jan Hradecký

Katedra fyzické geografie a geokologie, PříF Ostravské univerzity v Ostravě, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava;
e-mail: skarpich@centrum.cz

(25-22 Frýdek-Místek)

Key words: Subsilesian Unit, Moravskoslezské Beskydy Mts, grain size analysis, sediment transport, Morávka River

Abstract

This paper summarizes results of grain-size distribution of gravel bars and transport conditions in the context of sediment sources in the confluence area of the Morávka and Mohelnice rivers (Moravskoslezské Beskydy Mts). We deal with a hypothesis that general changes of grain-size distribution of gravel bars are controlled by disconnection in sediment flux in the Morávka River and, by contrast, that higher sediment delivery is related to the Mohelnice river basin. The second focus is the evaluation of fluvial transport parameters of a channel influenced by control works and sediment mining. Bed load transport research was conducted with the application of BAGS (Bedload Assessment for Gravel-bed Streams) spreadsheet-based program. Sediment analysis of the channel confluence showed limited sediment supply character indicated by coarser sediment delivery from the Morávka River. This fact is related to the effect of hungry water caused mainly by the Morávka Reservoir. On the other hand, the Mohelnice River displayed trends of relatively higher sediment delivery without potential disconnectivities in sediment flux. Results of this analysis brought an insight into a potential scheme of the future development of the studied reaches. We suppose preservation of recent trends in case of the occurrence of significant changes in land use or watershed management.

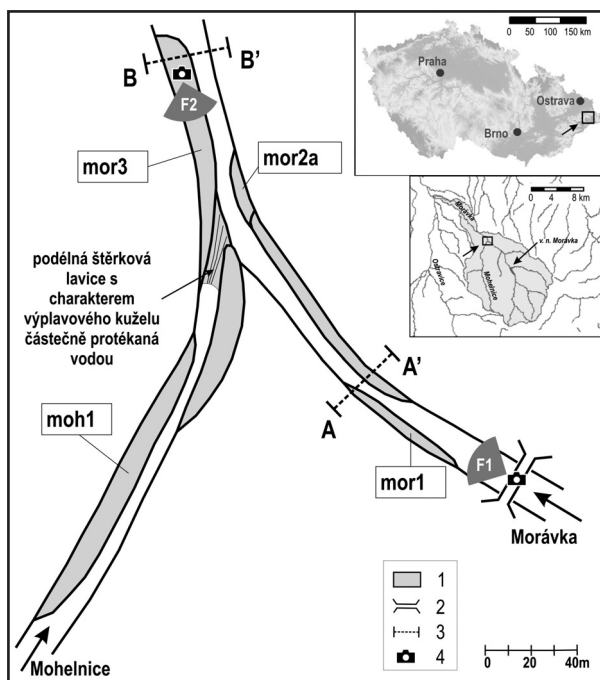
Úvod

Soutoky řek odrážejí komplikované podmínky konvergence vody a sedimentů. V literatuře je tato oblast někdy také nazývána jako problematika soutokové hydrodynamické zóny (z angl. confluence hydrodynamic zone, CHZ). Specifickými hydrologickými poměry na soutoku, ovlivňujícími morfologickou stavbu a sedimentologii se zabývají převážně zahraniční studie (Ashmore – Gardner 2008, Best 1988, Biron et al. 1993, Mosley 1976, Rhoads et al. 2009, Xiekang et al. 2007). V České republice obdobné výzkumy spojené s komplexními fyzikogeografickými dopady chybí. Některé práce byly realizovány pouze v kontextu regulačních prací v korytech vodních toků (Tureček 2001).

Zájmovou oblastí výzkumu je soutok řeky Morávky a Mohelnice (bližší lokalizace je uvedena na obr. 1) v předpolí Moravskoslezských Beskyd ve východní části České republiky. Koryto Mohelnice ústí do koryta Morávky pod úhlem $\sim 80^\circ$. Tento původně větvičí se šterkonosný úsek je v současnosti transformován v jednoduché koryto s převládajícími erozními procesy, způsobenými deficitem splavnin v podélném průběhu vodního toku, ve smyslu teorie říčního (dis)kontinua, hlavně vlivem tělesa hráze údolní

nádrže Morávka lokalizovaném v oblasti nad soutokem s řekou Mohelnicí. V jisté míře si šterkonosný charakter bez viditelného větvení zachovává koryto Mohelnice. Geologicky sledovaný úsek patří k podslezské jednotce s výrazným zastoupením neogenních a kvarterních pokryvů (Menčík – Tyráček 1985, Menčík et al. 1983).

V předkládaném příspěvku jsou hodnoceny makrogranulometrické charakteristiky bočních šterkových lavic



Obr. 1: Zájmový úsek s identifikací základních lokalit: 1 – šterková lavice, 2 – most, 3 – studovaný profil transportních poměrů (transekt), 4 – lokalizace fotografované oblasti.

Fig. 1: Study area with the main sites: 1 – gravel bar, 2 – bridge, 3 – studied cross section of transport characteristics, 4 – location of the photographed area.

Vodní tok	Měrný profil	Plocha povodí (km ²)	Staničení měrného profilu (od ústí v km)	n-letý průtok – Q _n (m ³ ·s ⁻¹)			
				1	2	5	10
Mohelnice	Raškovice – tok	35,29	1,7	9,6	16,7	29,9	43,2
Morávka	Morávka pod přehradou	64,23	18,4	21,8	39,4	67,0	90,7
Morávka	Raškovice – jez Vyšší Lhoty	131,33	11,2	35,4	57,7	96,5	133,0

Tab. 1: Základní hydrologické údaje studovaného úseku.

Tab. 1: Basic hydrological data of the study area.

a transportní parametry v souvislosti s předpokladem hypotézy vysoké dodávky sedimentů šterkové frakce právě z oblasti povodí Mohelnice, která je v současnosti jednou z mála fungujících zdrojnic pro dolní část povodí, bez významného vlivu bariér (Birklen 2005, Hradecký 2007, Hradecký – Děd 2008). V souvislosti s transportními charakteristikami je zde hodnocen také předpokládaný budoucí vývoj koryta v kontextu tzv. dominantního průtoku (z angl. dominant discharge; Benson – Thomas 1966), kterým je myšlen průtok, jemuž koryto přizpůsobuje svůj výsledný tvar a rozměry. Světové výzkumy prokázaly, že dominantní průtok pro většinu toků odpovídá přibližně hodnotě průtoku s 1 až 2,5letým opakováním (pro studovaný úsek viz tab. 1). Hlavní cíle výzkumu je možné shrnout do třech následujících okruhů:

- a) posouzení relativního rozdílu zrnitostního složení akumulovaného šterkového materiálu ve spojení s identifikací zdrojových oblastí sedimentů pro dolní část povodí,
- b) zhodnocení současného stavu a charakteru sledovaného úseku v závislosti na procesech ovlivňujících dosažení stavu tzv. dynamické rovnováhy (Schumm 1979),
- c) stanovení hlavních trendů budoucího vývoje studovaného úseku koryta řeky Morávky.

Metodická východiska

Z důvodu identifikace relativního charakteru transportu v závislosti na zrnitostním složení povrchu lavic byla v úseku soutoku Morávky s Mohelnicí provedena makrogranulometrická analýza šterkových lavic za pomoci digitálního snímání. Tato, v současnosti již hojně využívaná metoda usnadňuje tzv. plošné měření a vyhodnocení dat zrnitostního složení povrchové vrstvy akumulací forem. Programovým prostředím pro vyhodnocení byl v rámci tohoto výzkumu Sedimetrics Digital Gravelometer 1.0 (dále jen Sedimetrics) vyvinutý na Loughborough University, Department of Geography ve Velké Británii. Tento software automaticky měří velikost a distribuci šterkové frakce se statistickým zhodnocením. Výhodou je absence subjektivního výběru měřených klastů operátorem. Naopak nevýhodou bývá omezení velikosti měřitelné částice v závislosti na rozlišení digitálního fotoaparátu. Při vyhodnocení bylo využito metody grid-by-number, která více zohledňuje větší zrna ve zkoumaném vzorku, čímž se více přibližuje principům ručního sčítání metodou dle Wolman (1954). Lokalita všech snímávaných ploch byla volena vždy ve stejném relativním převýšení k aktuálnímu stavu hladiny. V rámci této studie byly při analýze materiálu tvořícího šterkové akumulací formy aplikovány percentily rozdělení četností a grafické distribuční parametry dle Folk – Ward (1957) upravené do logaritmické škály ψ (psi) (Parker – Andrews 1985, Bunte – Apt 2001), a to

(a) průměr zrnitosti (z angl. mean) charakterizující matematický střed souboru dat a daný vztahem:

$$M_a = (\psi_{84} + \psi_{50} + \psi_{16})/3,$$

kde ψ_n jsou percentily ze souboru sedimentů převedených do stupnice ψ (psi), běžně užívané pro měření velikosti klastů nad 2 mm a

(b) koeficient vytřídění (z angl. sorting) charakterizující rozpětí velikostního rozložení daného vztahem:

$$Si = [(\psi_{84} - \psi_{16})/4] + [\psi_{95} - \psi_5/6,6].$$

Makrogranulometrické analýzy korytových sedimentů se, v geomorfologicky orientované literatuře týkající se šterkonosných toků (např. Bunte – Apt 2001, Wohl – Wilcox 2005), provádějí v naprosté většině případů klasickou metodou Wolman (1954). U tohoto způsobu odběru dochází k měření náhodných klastů v povrchové vrstvě sedimentů. Přitom je zřejmé, že musí být stanoveny určité minimální rozměry hodnocených zrn a písčítá (a další jemnější frakce) se neuvažují – nejčastěji v návaznosti na φ (fi) škály jde o spodní limity délek prostřední osy (b) klastů 2, 4 nebo 8 mm. Přitom se dbá na náhodnost vybraných vzorků – nejčastěji 100 nebo 400 měřených klastů v jednom souboru – a měření probíhá v transektech korytem (např. měření klastu v každé 1/10 šířky koryta nebo metoda pata-palec) či v předdefinovaném gridu, jehož rozměry závisí na maximální velikosti pozorovaných klastů. Námi prezentované snímání užívá právě metody grid-by-number, jež měří délky os b klastů nacházejících se v předdefinovaných uzlech gridu a proto prezentujeme tuto metodu jako nejbližší k ručnímu sčítání. Tato metoda rozhodně není analogie tzv. bulk metody, kdy se ve vzorku uvažují všechny velikostní frakce. Rovněž je třeba říct, že jsme uvažovali pouze svrchní, krycí vrstvu sedimentů, která je u šterkových toků charakterizována hrubším materiálem než vrstva podpovrchová. Důležitým faktem u námi definované metodiky a navazujícího statistického zpracování je zkreslenost výsledků, např. koeficientu vytřídění. V tomto příspěvku však není pracováno s absolutními hodnotami, ale pouze s relativním porovnáním těchto vyhodnocených parametrů v návaznosti na identifikaci rozdílů analyzovaných akumulací forem koryta, např. rozdílů v hodnotách koeficientu vytřídění atp.

V oblasti soutoku Morávky a Mohelnice byla v roce 2011 provedena prohrábka dna a odtěžení veškerých šterkových lavic u již dříve regulovaného koryta. V úseku nad soutokem byla odtěžena šterková lavice, jejíž relativní výška oproti vodnímu stavu hladiny při dlouhodobém průměrném průtoku ($Q_n = 1,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) činila rozdíl 1 až 1,5 m a při povodňové situaci byla jen částečně pod hladinou a šterková lavice (v rámci makrogranulometrického rozboru označena jako mor1) s relativním rozdílem

samotné výšky k úrovni hladiny při vodním stavu dlouhodobého průměrného průtoku do cca 0,4 m (základní hydrologické údaje studovaného úseku přehledně uvedeny v tab. 1). V úseku pod soutokem byly odtěženy lavice (v rámci makrogranulometrického rozboru označeny jako mor2a a mor3) s relativním rozdílem k výšce hladiny při vodním stavu dlouhodobého průměrného průtoku ($Q = 3,74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) do cca 0,4 m. V září předchozího roku 2010 byly ve dvou transektech nad a pod soutokem odebrány vzorky sedimentů štěrkové frakce povrchové vrstvy dna metodou bank-to-bank dle Bunte – Abt (2001) a zaměřeny parametry koryta (sklon, příčný profil). Na stejných transektech bylo v červnu 2011 měření opakováno. Na základě zjištěných parametrů vybraných úseků byl v programovém prostředí extenze Bedload Assessment for Gravel-bed Streams (dále jen BAGS) modelován tzv. transportní stav (z angl. transport stage). Transportní stav je možné charakterizovat jako poměr mezi aktuálním dnovým tečným napětím a kritickým tečným napětím, kdy začíná pohyb dnových splavenin. Z výše uvedeného vyplývá, že transport hrubých splavenin nastává v okamžiku, kdy transportní stav překročí kritickou hodnotu 1.

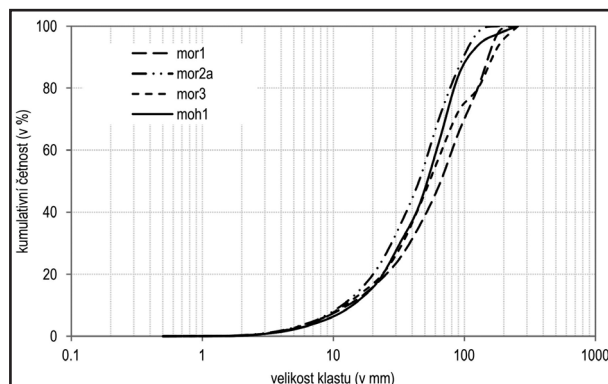
Extenze BAGS poskytuje několik vztahů pro výpočet transportního stavu. Pro modelování v rámci této studie bylo využito vztahu dle Parker (1990), který neuvažuje podpovrchovou vrstvu sedimentů a zohledňuje pouze štěrkové částice o velikosti $> 2 \text{ mm}$. Extenze při modelování poskytuje zpřesnění modelovaných hodnot zadáním drsnostních Manningových koeficientů n pro aktivní koryto. V našem případě byly tyto parametry vypočteny dle vztahu Limerinos (1970), vyvinutého pro štěrkonosné toky Pacifické oblasti v Severní Americe:

$$n = [0,0926 * R * 1/6] / [1,16 + 2 \log (R/D_{84})],$$

kde ψ_{84} je percentil 84 z celého souboru sedimentů (v m) a R je hydraulický rádius (m).

Výsledky

Zrnitostní složení povrchové vrstvy štěrkových lavic v oblasti soutoku vykazuje rozdílné hodnoty závislé na množství transportovaného štěrkového materiálu. Percentily ψ_{50} a ψ_{75} (přehledně uvedeny v tab. 2) mají v úseku koryta řeky Morávky nad soutokem (mor1) výrazně vyšší hodnoty oproti úseku koryta řeky Mohelnice (moh1). Pod soutokem (mor3) a především na soutoku (mor2a) se dodávka jemnějších štěrkových frakcí z povodí Mohelnice do koryta řeky Morávky projevuje u těchto percentilů nižšími hodnotami oproti úseku nad soutokem (mor1). Trend v podílech jemnějších štěrkových frakcí lavice v korytě



Obr. 2: Křivky kumulativních četností zrnitostního složení povrchové vrstvy štěrkových lavic v oblasti soutoku Morávky a Mohelnice (bližší lokalizace jednotlivých lokalit a štěrkových lavic jsou uvedeny na obr. 1).

Fig. 2: Cumulative frequency plots of grain-size distribution of gravel bar surfaces in the confluence area of the Morávka and Mohelnice Rivers (location of sites, together with gravel bars is shown in Fig. 1).

Mohelnice a na soutoku v korytě Morávky zachycuje také vzájemné srovnání křivek kumulativních četností na obr. 2.

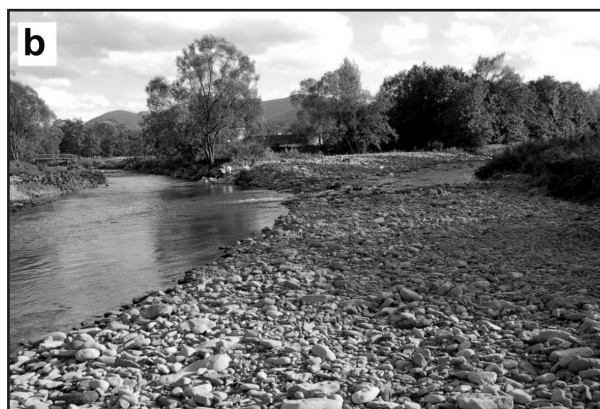
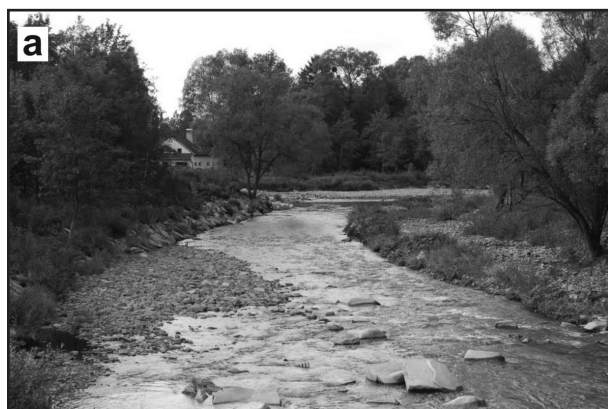
Tento fakt potvrzuje také koeficient vytřídění, kdy v úseku koryta Morávky nad soutokem má tento index hodnotu 1,36, pod soutokem 1,38, na soutoku 1,18 a nad soutokem v korytě Mohelnice 1,14 (na stupnici ψ „psi“, hodnoty zrnitostních charakteristik přehledně uvedeny v tab. 2).

Výše zmíněné zrnitostní charakteristiky indikují vliv tzv. hladové vody (Kondolf 1997), způsobené bariérou tělesa hráze údolní nádrže Morávky. Podobnou situaci změn zrnitostních charakteristik štěrkových frakcí v Moravskoslezských Beskydech popisují studie Škarpich et al. (2010) nebo Hradecký – Děd (2008). V úseku nad soutokem s Mohelnicí je viditelný projev erozních procesů (srovnej na obr. 3a) a odplavení jemnější frakce a významné zastoupení hrubé štěrkové frakce. Na druhou stranu koryto Mohelnice indikuje výrazný chod splavenin se sníženým vlivem erozních procesů, kdy se projevuje lepší vytřídění a vyšší zastoupení jemnějších štěrkových frakcí. Pod soutokem je však, i přes vysoký dotační charakter, vliv toku Mohelnice potlačen. Dochází zde k deficitu transportovatelného štěrkového materiálu stejně jako v úseku nad soutokem a odplavování a následně absenci jemnějších štěrkových frakcí. U sledované lokality mor3 je patrný nedostatek frakce přibližně 90–130 mm. Tato situace může být způsobena překrytím klastů větších velikostí vrstvou jemnějších frakcí štěrkového materiálu během snižování

Lokalita	Percentil (v mm)								Průměr (ve stupnici ψ – psi)	Vytřídění (ve stupnici ψ – psi)
	5	16	25	50	75	84	95	100		
moh1	8,27	20,24	28,03	51,70	76,93	89,44	131,95	203,23	5,50	1,14
mor1	7,48	20,11	31,85	65,16	111,26	132,51	169,42	186,17	5,80	1,36
mor2a	7,24	16,79	24,06	44,93	71,84	84,11	111,77	152,23	5,32	1,18
mor3	7,38	19,21	29,64	54,84	93,09	134,45	162,45	193,54	5,70	1,38

Tab. 2: Percentily zrnitostního rozdělení a přehled zrnitostních koeficientů štěrkové frakce dle Folk – Ward (1957) pro jednotlivé štěrkové lavice (bližší lokalizace odběrných míst a štěrkových lavic jsou uvedeny na obr. 1).

Tab. 2: Grain-size percentiles and grain-size parameters of gravels after Folk – Ward (1957) for individual gravel bars (location of sites, along with gravel bars is shown in Fig. 1).



Obr. 3: Koryto řeky Morávky před prohrábkou v roce 2010 v úseku: a – nad soutokem s řekou Mohelnicí; b – pod soutokem s řekou Mohelnicí; lokalizace fotografovaných oblastí je znázorněna na obr. 1.

Fig. 3: Morávka River channel before gravel mining in the year 2010 in the area: a – above the confluence with the Mohelnice River; b – below the confluence with the Mohelnice River; for location of photographs see Fig. 1.

vodního stavu po kulminaci povodňové události. Ve sledovaném úseku byla po povodních v roce 2010 pozorována výrazná podélná štěrková lavice s charakterem výplavového kuželu. Tato lavice byla v některých místech protékána vodou ústící z koryta Mohelnice do koryta Morávky s patrnými znaky eroze a odplavování materiálu všech sledovaných zrnitostních frakcí. Situace byla zhodnocena na základě vizuálního posouzení korytových forem. Tento stav byl patrně způsoben vyšší erozní silou a také díky deficitu štěrkového materiálu v podélném průběhu toku Morávky zapříčiněnému tělesem hráze (srovnej na obr. 3a a 3b, pro zahluobené koryto řeky Morávky a výrazně široké koryto řeky Mohelnice s výrazněji vyšší úrovní říčního dna vyrovnávající přechod mezi těmito úrovněmi štěrkovými akumulacemi).

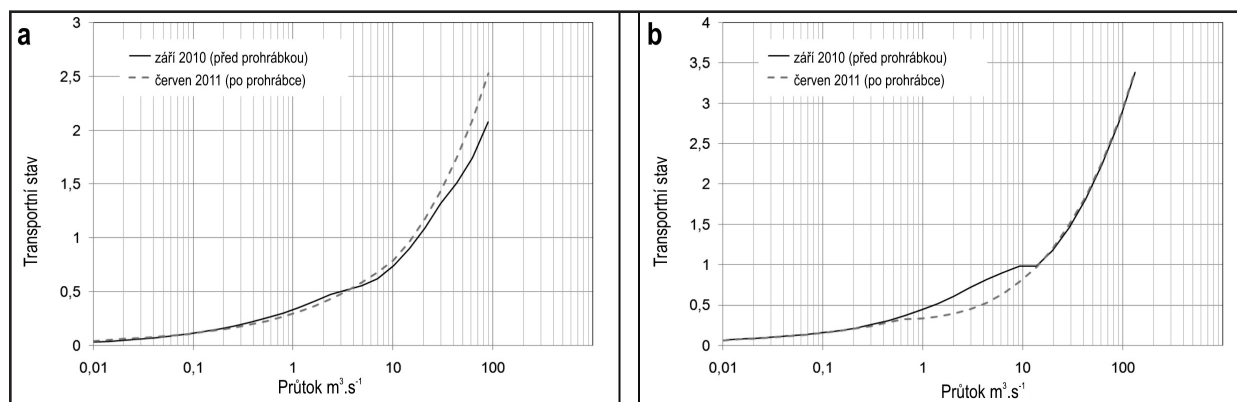
Modelování pomocí extenze BAGS poukazuje na rozdílné transportní charakteristiky koryta ve studovaném úseku. U transportního stavu před prohrábkou vykazuje modelování nižší hodnoty (pro příklad září 2010 $Q_{10} = 2,09$ nad soutokem s Mohelnicí a $Q_{10} = 3,38$ pod soutokem s Mohelnicí) oproti stavu po prohrábce (pro příklad červen 2011 $Q_{10} = 2,54$ nad soutokem a $Q_{10} = 3,41$ pod soutokem). Hodnoty transportního stavu jsou pro jednotlivé n-leté průtoky přehledně uvedeny v tab. 3 a graficky znázorněny na obr. 4a a b.

Transekt/období	Transportní stav pro n-letý průtok			
	1	2	5	10
A-A'/září 2010	1,12	1,46	1,81	2,09
A-A'/červen 2011	1,21	1,66	2,18	2,54
B-B'/září 2010	1,64	2,15	2,85	3,38
B-B'/červen 2011	1,66	2,18	2,88	3,41

Tab. 3: Transportní stavy modelované v extenzi BAGS při daných n-letých opakovaných průtocích; lokalizace transektů je uvedena na obr. 1.

Tab. 3: BAGS modelling of the transport stage for n-years discharge; location of transverse cross sections is shown in Fig. 1.

Koryto nad soutokem vykazuje minimální rozdíl v transportním stavu při nižších průtocích. Od průtoků vyšších než $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ však dochází u transportního stavu po prohrábce k mírnému nárůstu trendu, který indikuje vyšší dynamiku fluvialních procesů. U koryta pod soutokem je evidentní projev vyšší dynamiky procesů do průtoků cca $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a s dále narůstajícím průtokem tyto rozdíly v dynamice mezi stavem před a po prohrábce prakticky mizí. U průtoků Q_{10} tak vykazuje hodnota transportního stavu minimální rozdíl před a po prohrábce (cca o 0,03 vyšší hodnota po prohrábce). Důvodem je rozdíl v relativním dimenzování koryta na vyšší n-letý průtok oproti úseku nad soutokem, který se při odtěžení patrně



Obr. 4: Transportní stav pro studovaný úsek toku Morávky v oblasti soutoku s Mohelnicí; a – nad soutokem, transekt A–A' na obr. 1; b – pod soutokem, transekt B–B' na obr. 1.

Fig. 4: Transport stage for the study area of the Morávka River in the confluence with the Mohelnice River: a – above the confluence, transverse cross section A–A' in Fig. 1; b – above the confluence, transverse cross section B–B' in Fig. 1.

menšího množství materiálu štěrkových lavic v příčném profilu projevil předpokládaně také nižší hodnotou vlivu na transportní poměry v příčném profilu koryta. Také zde dochází k vlivu řeky Mohelnice, která přispívá významným objemem splavenin do řeky Morávky.

Diskuze a závěry

Soutok Morávky s Mohelnicí je ukázkou člověkem výrazně transformovaného říčního systému. Zrnitostní charakteristiky potvrdily vyšší zastoupení jemnější štěrkové frakce v bočních lavicích koryta Mohelnice, na rozdíl od koryta Morávky, kde jsou jemnější štěrkové frakce odplavovány částečně v důsledku obecně vyššího průtoku v korytě řeky Morávky, ale také (sensu Galia et al. 2012, Hradecký – Děd 2008, Škarpich et al. 2010) v důsledku deficitu splavenin a vlivu tzv. hladové vody. Tento závěr potvrzují také výsledky studie Galia et al. (2012) zahrnující povodí Morávky a Mohelnice, kde modelování transportu sedimentů potvrdilo převažující erozní procesy bezprostředně pod přehradní nádrží Morávka.

Úsek koryta Morávky nad soutokem je, z důvodu deficitu splavenin způsobeného výstavbou údolní nádrže Morávka, výrazně náchylný k propagaci hloubkové eroze spojené se zahlubováním. Trend hodnot transportního stavu za vyššího průtoku než $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (viz obr. 4a) poukazuje po provedené prohrábce na zvyšující se dynamiku říčních procesů. U tohoto úseku s deficitem splavenin vyvolaným údolní nádrží Morávka, kdy minimální hodnota tzv. dominantního průtoku (Benson – Thomas 1966) Q_1 dosahuje $21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, lze předpokládat urychlení erozních procesů navíc dále akcelerované následným deficitem splavenin v podobě odtěženého klastického materiálu.

V úseku pod soutokem vykazuje koryto evidentní odlišnost v transportním stavu před a po prohrábce za nižších vodních stavů (do průtoku cca $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; viz obr. 4b), kdy dochází ke snížení transportního stavu a tím snížení erozní schopnosti toku. Hodnoty transportního stavu při tzv. dominantním průtoku (Benson – Thomas 1966) však nevykazují výrazné rozdíly. Teoreticky by zde bylo možné předpokládat zachování původních procesů. Problematická je však otázka dotací sedimentů. Daný úsek je ovlivněn výrazným přísunem sedimentů z horních částí povodí Mohelnice, ovšem je nutné neopomenout deficit klastického materiálu způsobený těžbou. Lze s jistotou tvrdit, že při zachování neustálého odstraňování sedimentů, které jsou do Morávky dotovány řekou Mohelnicí, dojde k postupu hloubkové eroze a degradaci koryta.

Závěrem lze konstatovat, že pravidelné prohrábky štěrku ve sledované lokalitě iniciují deficit ve splaveninovém režimu a tzv. efekt hladové vody (Kondolf 1997), což následně výrazně ovlivňuje dolní úseky povodí Morávky. Otázkou také zůstává problematika průtočných poměrů regulovaného koryta, kdy při modelování v programovém prostředí BAGS vykazuje prohrábka provedená v roce 2011 zkapacitnění koryta a snížení hladiny např. při průtoku Q_{10} v úseku nad soutokem o cca 30 cm a v úseku pod soutokem o cca 15 cm.

Poděkování

Výzkum probíhal v rámci podpory projektu Studentské grantové soutěže specifického vysokoškolského výzkumu Ostravské univerzity v Ostravě č. proj. SGS6/PRF/2011 – Hluboké svahové deformace, recentní sesuvy a vývoj údolních den.

Literatura

- Ashmore, P. – Gardner, J. T. (2008): Unconfined confluences in braided rivers. – In: Rice, S.P. – Roy, A.G., – Rhoads, B. L. (eds): *River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network*, 119–147, John Wiley and Sons. Chichester.
- Benson, M. A. – Thomas, D. M. (1966): A definition of dominant discharge. – U. S. Geological Survey, 76–80. Washington.
- Best, J. L. (1988): Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. – *Sedimentology*, 35, 481–498.
- Birklen, P. (2005): Vyjádření k uložení přebytků štěrků – Morávka Vyšní Lhoty ř. km 10,700. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Ostrava.
- Biron, P. – Roy, A. G. – Best, J. L. – Boyer, J. C. (1993): Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. – *Geomorphology*, 8, 115–129.
- Bunte, K. – Abt, S. R. (2001): Sampling surface and subsurface particle size distributions wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics and streambed monitoring. – 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, 3–26.
- Galia, T. – Škarpich, V. – Hradecký, J. (2012): Dnový transport sedimentů v souvislosti s transformací geomorfologického režimu štěrkonosných toků Moravskoslezských Beskyd. – *Geografie*, 117, 95–109.
- 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 ve Slezsku v r. 2007*, 15, 19–23.
- Hradecký, J. (2007): Štěrkonosný tok Morávka – vývojové trendy korytové morfologie a revitalizační opatření. – In: Hradecký, J. – Pánek, T. (eds.): *Geomorfologický sborník 6*, 65–67, Ostravská univerzita v Ostravě. Ostrava.
- Kondolf, G. M. (1997): Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. – *Environmental Management*, 21, 533–551.
- Limerinos, J. T. (1970): Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels. – U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 1898-B.
- Menčík, E. et al. (1983): *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. – ÚÚV v nakl. ČSAV Praha.
- Menčík, E. – Tyráček, J. (1985): *Přehledná geologická mapa Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*, 1 : 100 000. – Ústř. Úst. geol. Praha.
- Mosley, M. P. (1976): An experimental study of channel confluences. – *Journal of Geology*, 107, 1 713–1 733.
- Parker, G. – Andrews, E. D. (1985): Sorting of bed load sediment by flow in meander bends. – *Water Resources Research*, 21, 9, 1 361–1 373.
- Parker, G. (1990): Surface-based bedload transport relation for gravel rivers. – *Journal of Hydraulic Research*, 28, 417–436.
- Rhoads, B. L. – Riley, J. D. – Mayer, D. R. (2009): Response of bed morphology and bed material texture to hydrological conditions at asymmetrical stream confluence. – *Geomorphology*, 109, 161–173.
- Schumm, S. A. (1979): Geomorphic thresholds: the concept and its applications. – *Transaction of the Institute of the British Geographers (NS)*, 485–515.
- 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 ve Slezsku v r. 2010*, 17, 199–204.
- Tureček, B. (2001): *Zpráva o povodí Morávky*. – Podnikový zpravodaj KAPKA, Povodí Odry a. s., 9–11. Ostrava.
- Wohl, E. – Wilcox, A. (2005): Channel geometry of mountain rivers in New Zealand. – *Journal of Hydrology*, 300, 252–266.
- Wolman, M. G. (1954): A method of sampling coarse river-bed material. – *Transactions American Geophysical Union* 35, 6, 951–956.
- Xiekang, W. – Xianye, W. – Weizhen, L. – Tonghuan, L. (2007): Experimental study on flow behavior at open channel confluences. – *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 1, 211–216.