

SOUČASNÉ TRENDY V ZRNITOSTNÍM SLOŽENÍ SEDIMENTŮ ŠTĚRKOVÝCH LAVIC TOKŮ MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYD – PŘÍKLADOVÁ STUDIE SIHELSKÝ POTOK

Present-day trends in sediment size composition of gravel bars of stream channels of the Moravskoslezské Beskydy Mts. – case study Sihelský potok Brook

Jan Hradecký, Martin Děd

Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF Ostravské univerzity v Ostravě, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava; e-mail: jan.hradecky@osu.cz

(25-22 Frýdek-Místek)

Key word: Silesian Unit, Moravskoslezské Beskydy Mts., Sihelský potok Brook, automated particle-size analyses, gravel bars

Abstract

Changes in sediment delivery to mountain stream channels are a typical feature of present-day geomorphological evolution of channel morphology. There is a high level of transport of coarse-grained sediments typical for Carpathian region built by flysch rocks. Evaluation of the effect of man-induced changes in the study area is focused on the quantification of this phenomenon through the use of automated sizing of coarse-grained sediments. Tendency in the composition of gravel bars is studied along the longitudinal profile and with regard to adjacent landforms.

Úvod

Dlouhodobé působení člověka v krajině vede k přímému i nepřímému ovlivňování fluvialních procesů, a to jak hydrologické, tak splaveninové bilance. V oblasti Moravskoslezských Beskyd a jejich předpolí se setkáváme se značnými změnami v donáše sedimentů do vodních toků. Tento fenomén vede dlouhodobě ke vzniku deficitu v bilanci splavenin, a to především v souvislosti s budováním příčných staveb na vodních tocích a změnou dotačních zdrojů sedimentů. Transformace splaveninového režimu (především pak dlouhodobý deficit ve složce hrubších klastů $\Psi = 1,0$ až $8,0$, $\Psi = \log_2 D_i$, kde D_i je průměr zrna v mm, ve smyslu Bunte – Abt 2001) vede ke zvýšení erozivní schopnosti proudící vody a ke vzniku výrazně zahloubených koryt.

Analýza sedimentů štěrkonosných koryt představuje základní nástroj k pochopení transformace korytových forem. Velikostní složení korytových akumulací ovlivňuje velikost účinného průtoku, který uvádí dnové sedimenty do pohybu a způsobuje přestavbu erozních a akumulčních forem korytové morfologie.

Montgomery – Buffington (1998) vytvořili model reakce korytového systému na změny v horských oblastech:

$$Q_{\infty} = \frac{WDQ_b D_s d_{50} n}{S_s S}, \text{ kde:}$$

Q je průtok v korytě [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], W je šířka koryta [m], D hloubka koryta [m], Q_b průtok dnových splavenin [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$], D_s je průměrný zásah hloubkové eroze [m], d_{50} je medián velikosti částic dna [m], n je Manningův koeficient drsnosti, S je sklon koryta, S_s je množství sedimentovaného materiálu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$].

V předkládaném příspěvku jsou hodnoceny granulometrické parametry akumulčních forem koryta Sihelského potoka, který je významnou zdrojnicí splavenin řeky Mohelnice. Analýzy byly prováděny ve dvoukilometrovém úseku, a to od ústí Sihelského potoka do Mohelnice až po zaústění Kumorovského potoka. Granulometrická analýza je interpretována v souvislosti s celkovou morfologií koryta a přilehlých forem reliéfu a v kontextu zdrojů transportovatelných sedimentů v podélném profilu toku.

Metody

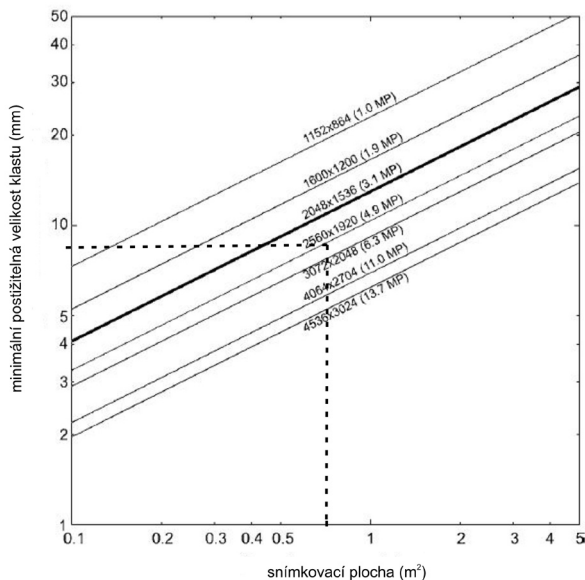
Práce využívá jako hlavní zdroj informací o vlastnostech sedimentů granulometrii. U sedimentů s výraznou převahou hrubších klastů je zpravidla využíváno volumetrického vzorkování (sítování) nebo prostorové vzorkování klastů. V obou případech se zohledňují základní pravidla, jako je minimální velikost vzorku, vzorkovací plocha, vzorkování povrchové nebo podpovrchových vrstev, vzorkování v rámci geomorfologické jednotky, sedimentární facie, apod. (více např. Bunte – Abt 2001, Kondolf – Piégay 2003).

Moderní alternativou časově a technologicky náročného vzorkování sedimentární výplně štěrkonosných koryt je digitálně-fotografický sběr dat za využití softwarového řešení Digital Gravelometer (Graham et al. 2005).

Při vlastním sběru dat bylo využito snímkovací plochy o rozměru 100×75 cm, kdy vlíčovací body byly označovány běžně používanými značkami pro pozemní fotogrammetrii. Snímkovací plochu je nutné fotografovat za použití blesku. Při vzorkování mohou lokální podmínky značně zkreslit výsledek (vyšší průtok, sněhová pokrývka, sluneční záření, déšť, zakrytí sedimentů vegetací, apod.). Fotografie štěrkových lavic byly pořizovány fotoaparátem

Canon PowerShot A95 (5 MPx) s výklopným displayem pro optimální zaměření snímkovací plochy. Důležitým faktorem při výsledné analýze je rozlišení fotoaparátu a velikost vzorkovací plochy, což se projevuje ve výsledném rozlišení minimální velikosti zrna. Na obr. 1 je znázorněna vazba mezi rozlišením fotoaparátu a postižitelnou velikostí sedimentu digitálním fotoaparátem.

Pro analýzu zrnitostního složení byly zvoleny úseky koryta Sihelského potoka, které byly vymezeny během fluviaálně-geomorfologického mapování. Při této fázi výzkumu byly zachyceny pozice korytových forem a potenciálních zdrojů sedimentů (např. akumulacních břehů s projevy boční eroze, náplavových kuželů v zóně aktivní eroze toku, mělkých sesuvů na kontaktu s korytem, apod.). Při vzorkování lavic proběhla základní petrografická analýza sedimentů, tato analýza proběhla i u kontaktního zdroje sedimentů. Z dané formy bylo náhodně vybráno sto klastů a bylo určeno zastoupení dvou nejdůležitějších skupin hornin – pískovce, jílovce.



Obr. 1: Vztah mezi plochou snímkované oblasti a minimální velikostí zrna při různém rozlišení fotoaparátu (MP = megapixely) (Graham et al. 2005). Čárkované jsou vyznačeny parametry vlastního sčtu dat.

Fig. 1: The relation between minimum resolvable grain size and ground area coverage for various camera resolutions (MP = megapixels) (Graham et al. 2005). The dash line represents parameters used in this study.

Výsledky

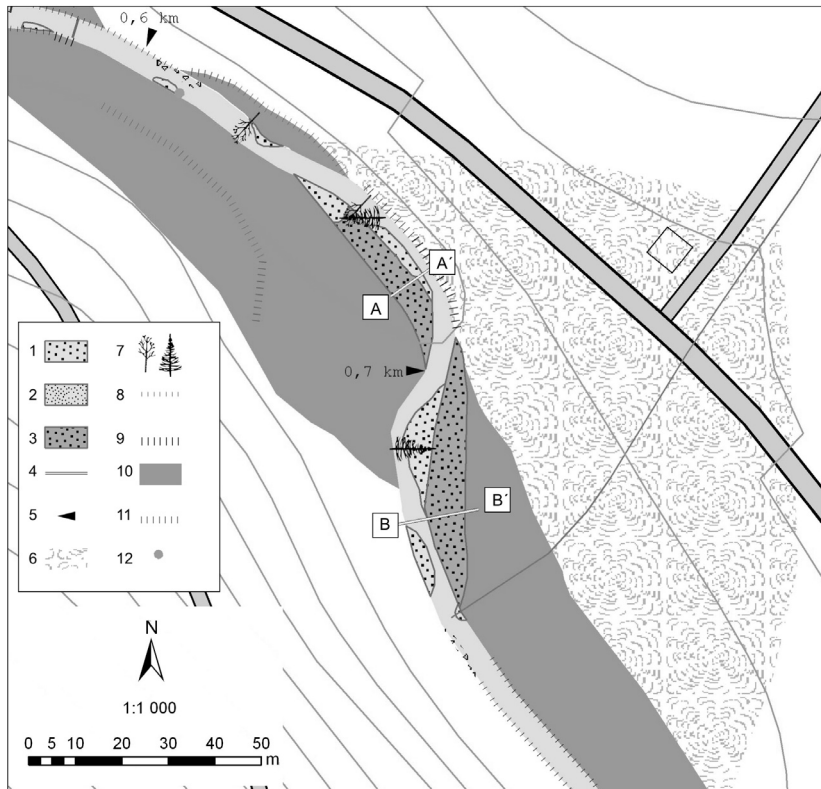
Povodí Sihelského potoka náleží k malým zdrojovým povodím Moravskoslezských Beskyd (plocha povodí – 3,6 km², délka toku – 3,3 km) s dominantním zastoupením hrubě až středně rytmičkého flyše. Zastoupení jednotlivých hornin se ve vzorkovaných plochách pohybovalo v intervalu 73–95 % pro pískovce a 5–27 % pro jílovce. Vyšší podíl silně rozpadavých jílovců se vyskytoval na lavicích, které byly v blízkosti donáškového zdroje. S rostoucí vzdáleností od zdroje se podíl jílovců snižuje. Sihelský potok je šterkonosnou

zdrojnicí, kde se v korytě vytváří akumulacní i erozní formy. Akumulacní formy se zde vyskytují především v podobě šterkových lavic různých velikostí a typů (boční, středové, apod.). Příčina vzniku šterkových lavic je různá, ale hlavním faktorem je snížení unášecí schopnosti toku dané lokálním snížením sklonu koryta nebo přetížením unášecí schopnosti toku nadměrným množstvím transportovaných sedimentů.

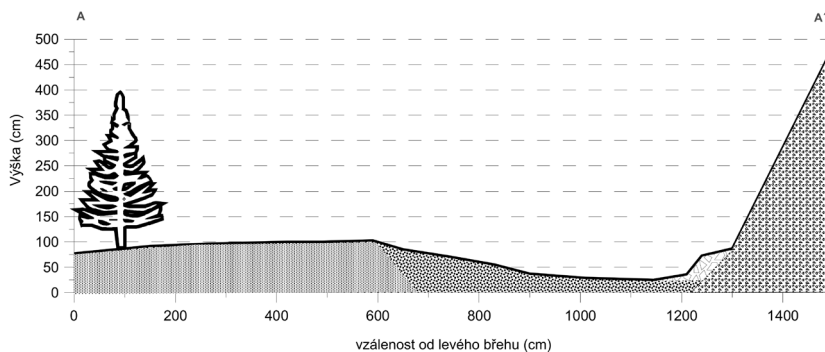
Základní obraz o výskytu erozních a akumulacních forem v údolních částech povodí Sihelského potoka přineslo podrobné fluviaálně-geomorfologické mapování. Ukázkou mapy v úseku říčních kilometrů 0,6 až 0,8 přináší obr. 2. Mapování bylo doplněno o příčné profily údolního dna (obr. 3 a 4). V podélném profilu toku byly podrobeny granulometrickému vzorkování akumulacní formy v korytě toku. Výsledky analýzy přináší obr. 5 a tab. 1. Jak je patrné z grafického vyjádření změn zrnitostního složení (percentil 75) bočních lavic, tak v podélném profilu není zachycen trend postupného zjemňování sedimentů s narůstající délkou toku. U všech sledovaných bočních lavic se percentil 75 pohyboval nad 50 mm ($\Psi \geq 5,64$). V několika úsecích se jeho hodnota výrazně zvyšuje, a to až na ~75 mm ($\Psi \geq 6,23$). Pokud proložíme zjištěnými hodnotami trendovou křivku, pak je kolísání zrnitostního složení ještě zřetelnější. Právě na šterkových lavicích pod velkým zdrojem sedimentů, kterým je náplavový kužel (obr. 3, profil A-A' na obr. 2), lze velmi dobře dokumentovat náhlý nárůst velikosti klastů (lavice č. 2 na obr. 5). Tento efekt se objevuje i v dalších úsecích toku, kde se jako významné zdroje sedimentů uplatňují nejen náplavové kužely, ale také mělké sesuvy a erodované terasy toku.

Jednotlivé typy korytových forem byly studovány i v kontextu jejich geneze. V podélném profilu byly vzorkovány všechny boční lavice, akumulace v avulzních korytech, středové lavice v zahluženém korytě. Tab. 1 přináší granulometrická data pro uvedené akumulacní formy. Celá řada forem vzniká v důsledku snížení gradientu toku. Dobře patrný je tento jev u šterkových lavic, které před překážkou vykazují větší průměr klastů než za překážkou. Je to patrné i u koeficientu vytrídění (Bunte – Abt 2001), kdy lavice v blízkosti zdroje vykazují slabé vytrídění, naopak lavice za překážkou, nebo lavice vázané na avulzní koryta se vyznačují nižšími hodnotami vytrídění (tab. 1). Míra vytrídění narůstá se vzdáleností akumulacní formy od zdroje dodávaných sedimentů. U většiny akumulacních forem je patrná pozitivní šikmost rozdělení, tedy zvýšený podíl hrubší frakce. Výjimku představují lavice za překážkou, kde je materiál homogennější a rozdělení téměř symetrické.

V některých úsecích toku se projevuje dlouhodobý deficit transportovatelného materiálu, což se projevuje zvýšenou přítomností erozních korytových forem. Extrémním případem je vývoj skalních korytových úseků (obr. 6 d). V těchto úsecích se zahlužení koryta pod úroveň nivy pohybuje v řádech desítek centimetrů až více než metru (obr. 6 c, d). Úseky koryta pod nově fungujícími zdroji sedimentů vykazují akcelerovanou akumulaci materiálu, která je výsledkem přetížení transportní kapacity toku (srovnej obr. 6 a, b). K dominantním dotlačným zdrojům sedimentů náleží v současné době kontakty koryta s náplavovými kužely (obr. 2 a 3, obr. 6 c), destabilizované svahoviny v důsledku poškození vegetačního krytu (obr. 6 a), břehové nátrže a nivy (obr. 6 d).

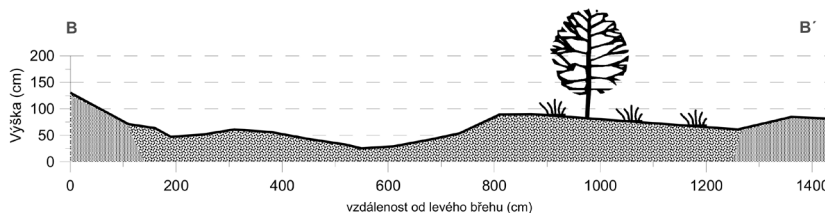


Obr. 2: Ukázka fluviálně-geomorfologické mapy Sihelského potoka (0,6–0,8 km). Legenda: 1 – šterková lavice s přítomností balvanů, 2 – šterková lavice, 3 – lavice výrazně porostlá vegetací, 4 – příčný profil, 5 – kilometráž, 6 – náplavový kužel, 7 – mrtvé dřevo, 8 – vysoký břeh, 9 – výrazný erozní břeh, 10 – niva, 11 – terénní stupeň, 12 – balvan.
 Fig. 2: Fluvial-geomorphological map of Sihelský potok Brook (0,6–0,8 km). Legend: 1 – gravel bar with presence of larger grains, 2 – gravel bar, 3 – vegetated gravel bar, 4 – location of cross-profile, 5 – river log, 6 – alluvial fan, 7 – large woody debris, 8 – higher bank, 9 – erosional bank, 10 – floodplain, 11 – terrain step, 12 – boulder.



Obr. 3: Příčný profil A-A' dna údolí Sihelského potoka (lokalizace viz obr. 2) – na pravobřežní část nivy nasedá rozsáhlý náplavový kužel s evidentními projevy eroze a dodávky sedimentů do toku – při pravém břehu je patrná akumulace materiálu, který je transportován při vyšších průtocích.

Fig. 3: Cross-profile A-A' of valley bottom of Sihelský potok Brook (for location see Fig. 2) – contact of alluvial fan with the channel. Alluvial fan is located on the right floodplain and its frontal side is eroded during higher discharge.



Obr. 4: Příčný profil B-B' dna údolí Sihelského potoka (lokalizace viz obr. 2) – zašterkovávaná část údolního dna s výše položenými povodňovými formami (levá část obrázku).
 Fig. 4: Cross-profile B-B' of valley bottom of Sihelský potok Brook (for location see Fig. 2) – gravel-bed with avulsion channel in the higher part of valley bottom (on the left side).

Ukládání transportovaných sedimentů v podélném profilu toku má pak různou příčinu. Lokální snížení unášecí schopnosti toku může mít přirozený charakter (obr. 6 f) (např. výskyt přirozeného skalního stupně nebo pád stromu do toku), ale může být také vyvolán přímými i nepřímými změnami v korytě (obr. 6 e) a jeho okolí (budování stupňů, změna lesního hospodaření).

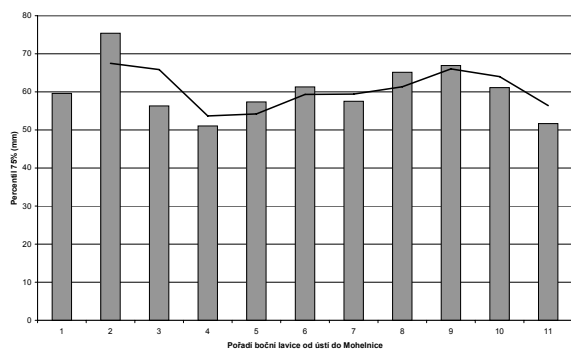
Závěr

Koryto Sihelského potoka je ukázkou transformujícího se koryta vlivem dlouhodobého využívání území člověkem (lesní hospodaření, úpravy komunikací, přímé úpravy koryta a okolí apod.). Projevuje se to na řadě míst podélného profilu hloubkovou erozí, jinde naopak akcelerovanou akumulací. Člověk často přímo zasáhl do podélného profilu koryta, a to především budováním příčných srubových přehrážek, které transformují podmínky pro transport hrubší frakce korytem. Tímto způsobem byla část povodí zbavena funkce zdroje sedimentů. Přítomnost obnažených proluviálních nebo koluviálních akumulací na kontaktu s tokem tak představuje hlavní způsob, jak se

TYP ÚTVARU	Charakteristiky zrnitostní analýzy (Folk – Ward 1957)				Percentily (mm)		
	Průměr (mm)	Vytrídění (σ)	šikmost	špicatost	P75 %	P84 %	P95 %
boční lavice (14;43)	32,55	1,23	0,16	0,98	60,44	74,56	110,46
lavice před pře- kážkou (4;5)	54,75	1,21	0,21	1,06	110,95	135,30	204,50
lavice za pře- kážkou (4;5)	23,15	1,15	0,05	0,97	40,53	52,81	92,10
avulzní koryto (2;2)	49,52	1,18	0,30	0,93	95,73	106,94	133,12
úpatí břehu (2;2)	64,23	1,28	0,17	1,11	113,89	160,43	210,57
lavice v zahlou- beném korytě (2;5)	43,69	1,48	0,17	0,93	91,70	121,93	164,12

Tab. 1: Přehled distribučních charakteristik pro různé typy šterkových lavic. U každého typu útvary je v závorce uveden počet měřených útvarů a celkový počet snímků.

Tab. 1: Distribution parameters for the different types of gravel bars (in the brackets is the number of sampled bars and the total number of digital images).



Obr. 5: Změny zrnitostního složení bočních lavic v podélném profilu Sihelského potoka s vyznačením spojnice klouzavých průměrů (perioda 2).

Fig. 5: Changes in the partial-size composition of gravel bars along the longitudinal profile of the Sihelský potok Brook with marked gliding average (for the interval of 2).

sedimenty dostávají do toku (srovnej i s Owczarek 2007).

Zjištěný trend ve velikosti klastů v podélném profilu potvrzují i studie v zahraničí (Brummer – Montgomery 2003). Tento jev byl pozorován u vodních toků s plochou povodí do 10 km² (především však kolem 1 km²). V případě Sihelského potoka ke zjemňování částic také nedochází, naopak je u šterkových lavic pozorována mírně opačná tendence. Lze předpokládat, že daný charakter velikostního složení klastů šterkových lavic může být způsoben:

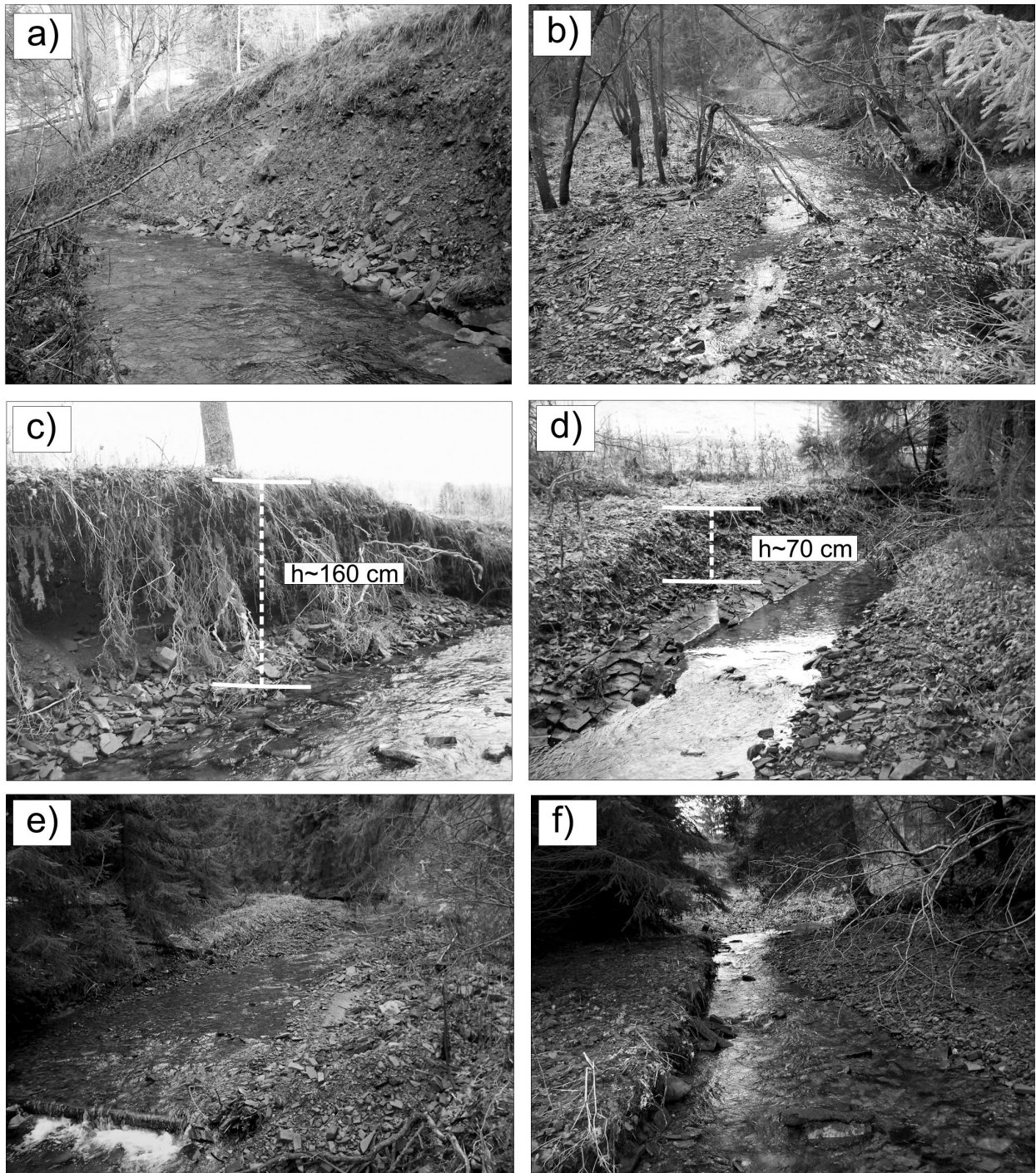
1. lokalizací povodí ve vysoce dynamickém reliéfu, kde lze předpokládat relativně vysokou donášku sedimentů do koryta (blokovo-bahenní proudy, náplavové kužely, mělké sesuvy, apod.),
2. nerovnoměrným rozložením vstupních zón hrubší frakce do koryta (viz kolísavý trend ve velikosti klastů šterkových lavic v podélném profilu, obr. 5),
3. zaústění vysokogradientových přítoků s potenciálně zvýšenou dodávkou splavenin až ve střední a dolní části toku,
4. aktivitou člověka, která má spíše lokální, nespojitý charakter.

Poděkování

Príspevek vznikl za podpory grantového projektu Grantové agentury České republiky „Geomorfologická reakce vodních toků na antropogenní disturbance v oblasti Západních Beskyd“ (reg. č. 205/06/P131).

Literatura

- Brummer, C. J. – Montgomery, D. R. (2003): Downstream coarsening in headwater channels. – *Water Resour. Res.*, 39, 10, 1294–1307.
- 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.
- Graham, D. J. – Reid, I. – Rice, S. P. (2005): Automated sizing of coarse grained sediments: Image-processing procedures. – *Mathematical Geology*, 37, 1, 1–28.
- Kondolf, G. M. – Piégay, H. (2003): Tools in fluvial geomorphology. – 1–696, Wiley, Chichester.
- Montgomery, D. R. – Buffington, J. M. (1998): Channel processes, classification, and response. – In: Naiman, R., Bilby, R. (Eds.): *River Ecology and Management*, 13–42, Springer-Verlag, New York.
- Owczarek, P. (2008): Hillslope deposits in gravel-bed rivers and their effects on the evolution of alluvial channel forms: A case study from the Sudetes and Carpathian Mountains. – *Geomorphology*, 98, 1–2, 111–125.



Obr. 6: Ukázky akumulčních a erozních forem v korytě a bezprostředním okolí koryta Sihelského potoka: (a) břehová nátrž v koluviálním zdroji sedimentů – akcelerace donášky především při vyšších vodních stavech; (b) štěrkové akumulace v korytě pod koluviálním zdrojem (viz a); (c) proluviální zdroj hrubozrnných klastů a zároveň evidentní projev hloubkové eroze toku, (d) projevy akcelerované hloubkové eroze toku, kdy obnažené aluviální břehy poskytují zdroj sedimentů, potenciál dotace ze dna koryta mizí v okamžiku dosažení skalního podloží (na snímku patrné v levé části koryta); (e) štěrková akumulace v místě lokálního snížení spádu nad srubovým stupněm; (f) přirozená boční lavice.

Fig. 6: Examples of the accumulation and erosion landforms of the Sihelský potok Brook channel and its vicinity: (a) shallow debris slide in the colluvial zone – accelerated transport zone of the coarse sediments, esp. during flood events; (b) gravel bars near to the colluvial delivery zone (see photo a); (c) an alluvial fan as a source of coarse sediments and the evidences of deep incision of the channel; (d) evidences of the deep erosion of the channel, eroded banks as the source of sediments and initial state of bedrock channel development (on the left side of the channel); (e) gravel bar in the zone of the local decrease of the channel slope – an effect of artificial woody step; (f) natural gravel bar.