

Morfologická odezva bystrinných koryt na dlouhodobé zásahy člověka v horských povodích na příkladu Moravskoslezských Beskyd (Česko)

TOMÁŠ GALIA, VÁCLAV ŠKARPICH

Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Ostrava, Česko (University of Ostrava, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geology, Ostrava, Czechia); e-mail: tomas.galia@osu.cz, vaclav.skarpich@osu.cz

ABSTRACT Morphological response of channels to long-term human interventions in mountain basins on the example of the Moravskoslezské Beskydy Mts (Czechia) – The paper summarizes the history of human interactions with mountain streams on the example of the flysch Western Carpathians, Czechia. These are represented by indirect impacts since the 16th century, mainly corresponding to extensive changes in land use and species composition of forests, and by direct human interventions as timber floating with the removal of instream wood (since the end of the 18th and beginning of the 19th century) and check-dam constructions (since 1906). Mountain streams are very sensitive to changes in sediment supply, hydrological regime or direct interventions and produce a fast morphological response. Thus, hydromorphological assessments and management of mountain streams should take into consideration the contemporary land use at the basin scale in historical perspective, sediment connectivity and the occurrence of instream wood as important elements of stream habitat.

KEY WORDS mountain stream – human impact – land use changes – hydromorphological assessment – Moravskoslezské Beskydy Mts.

GALIA, T., ŠKARPICH, V. (2017): Morfologická odezva bystrinných koryt na dlouhodobé zásahy člověka v horských povodích na příkladu Moravskoslezských Beskyd (Česko). *Geografie*, 122, 2, 213–235.

Do redakce došlo v červnu 2016, přijato do tisku v prosinci 2016.

1. Úvod

Bystřinné toky jsou v českém vodohospodářském názvosloví definovány jako horské vodní toky se sklony koryt nad 0,03 m/m a s plochami povodí menšími než 100 km² (Zuna 2008). Často u nich pozorujeme přímé propojení s přilehlými svahy ve smyslu donášky sedimentů a většinou omezené prostory pro vývoj nivních segmentů (Montgomery, Buffington 1997). Bystřiny citlivě reagují na změnu podmínek, kdy jejich výsledná morfologie a geomorfologický vzor odráží charakter donášky sedimentů (objem, frekvence, zrnitost), transportní kapacitu (hydrologický režim a sklon údolnice), přítomnost příbřežní vegetace a říčního dřeva (Montgomery, Buffington 1998). Změny jednotlivých proměnných, například pokles nebo vzestup objemu donášky sedimentů do vodního toku, narušují trendy v erozních a akumulačních procesech v rámci koryta a dochází k pozvolné transformaci korytové morfologie. Tato narušení mohou být vyvolána klimatickými změnami nebo jinými přirozenými pochody (např. lesním požárem či sesuvem), ale také přímými či nepřímými zásahy člověka (Wohl 2006). Nepřímými zásahy rozumíme taková opatření, která se neprovádějí v samotných říčních korytech, a jejich prvotním účelem není vodní tok nějakým způsobem morfologicky pozměnit. Tyto zásahy mají vliv především na srážkoodtokový proces a produkci sedimentů v rámci plochy povodí (Langhammer, Matoušková, Kliment 2013; Kubínský a kol. 2015), což však následně může vést k přizpůsobení geometrie a morfologie koryt. Naopak přímé antropogenní zásahy jsou účelová opatření prováděná v samotných korytech, kde mění geometrii příčného profilu a nivelety včetně případné stabilizace břehů a dna.

Česko implementovalo evropskou Rámcovou směrnici o vodách (2000/60/ES), mezi jejíž požadavky patří i monitoring hydromorfologického stavu vodních toků a dosažení dobrého stavu tohoto ukazatele u povrchových vodních útvarů. Komplexní hodnocení hydromorfologického stavu často vychází z vyjádření rozdílu sledovaných parametrů koryta a nivy mezi referenčním a aktuálním stavem (Matoušková 2008, Langhammer 2014). Koncept referenčního stavu toku je původně chápán jako nejlepší možný stav, který lze dosáhnout vodohospodářským managementem nebo provedenou revitalizací říčního systému (Karr 1981) a může být na něj nahlíženo z několika hledisek. Některé, zejména ekologicky zaměřené metodiky tento stav chápou jako vodní tok bez jakéhokoliv zásahu člověka (např. Kern 1992; Jungwirth, Muhar, Schmutz 2002) nebo užívají známý historický stav toku (nejčastěji 19. století) před komplexními vodohospodářskými úpravami (např. Pedersen a kol. 2004). Vzhledem k faktu, že většina evropských vodních toků byla a stále je soustavně ovlivňována člověkem, je vhodnější uvažovat takové referenční podmínky, které jsou dosažitelné v kontextu dnešní kulturní krajiny a kdy zároveň nedochází k zásadnímu ovlivnění geomorfologických a ekologických procesů v korytě a nivě (např. Matoušková 2008; Bertoldi a kol. 2009; Dufour,

Piégay 2009; Wyžga a kol. 2012). Existuje i jistá prodleva mezi (ne)přímými zásahy do koryt a geomorfologickou reakcí vodního toku. Není tedy vhodné při stanovení referenčního stavu vodní tok vnímat jako statický systém bez vazby na probíhající fluviaálně-geomorfologické procesy (Wyžga a kol. 2012, Rinaldi a kol. 2013).

U bystrěnných toků je situace komplikovanější v tom, že dynamicky reagují na jednotlivou povodňovou událost nebo zásah člověka. Je proto nutné na ně ještě více než u nížinných toků nahlížet v kontextu celého povodí vzhledem k fluviaálnímu kontinuu a jejich přímé vazbě na donášku sedimentů z přilehlých svahů (Montgomery, Buffington 1997, 1998; Brierley, Fryirs 2005). I bez účelových zásahů člověka může proběhnout významná morfologická proměna, kdy je například z bystrěnných toků Alp nebo Nového Zélandu popisována rychlá reakce ve formě agradace a rozšiřování aktivních koryt jako důsledek odlesnění rozsáhlých ploch v povodí (Kondolf, Piégay, Landon 2002; Liébault a kol. 2005; Comiti 2012). Hodnocení hydromorfologického stavu bystrěnných toků by proto mělo výrazněji zohlednit historický vývoj zkoumaného povodí a nastavení jeho současných podmínek vzhledem k vývojové trajektorii toku, konektivitě sedimentů a využití území na ploše povodí (Brierley, Fryirs 2005; Dufour, Piégay 2009; Rinaldi a kol. 2013; Belletti a kol. 2015). Koncept konektivity původně pochází z ekologie a ve fluviaální geomorfologii jím rozumíme především poproudový pohyb sedimentů v říční síti (tzv. podélná konektivita) a vazbu mezi svahy a korytem nebo nivou a korytem včetně dodávky sedimentů ze zdrojnic, např. sesuvů nebo břehových nádrží (tzv. boční konektivita; Fryirs 2013).

Cílem příspěvku je v prvé řadě komplexně shrnout dosavadní studie i dosud nepublikované poznatky o přírodních podmínkách a zásazích člověka v bystrěnných tocích Moravskoslezských Beskyd. Interakce člověka s vodními toky studovaného území jsou porovnány s jinými horskými oblastmi Evropy. V závěru práce uvádíme možná východiska pro hodnocení hydromorfologického stavu bystrin v návaznosti na potenciální revitalizace říčních systémů.

2. Fyzickogeografické poměry Moravskoslezských Beskyd a kontext historického vývoje horských povodí do poloviny 19. století

Pohoří Moravskoslezských Beskyd (geomorfologická jednotka Západní Beskydy dle Demek, Mackovčín ed. a kol. 2006) patřící do soustavy Vnějších Západních Karpat, je včetně jejich severního podhůří tvořeno flyšovou stavbou druhohorních a třetihorních usazených hornin, především pískovců a jílovců (Menčík a kol. 1983). Toto litologické složení předurčuje k poměrně vysokým, avšak časově i prostorově rozkolísaným dodávkám sedimentů do říční sítě a aktivizaci sesuvů jako důležitých geomorfologických forem dodávajících sedimentárních materiálů do koryt (Pánek a kol. 2011, 2013; Galia, Hradecký, Škarpich 2015). Z pohledu



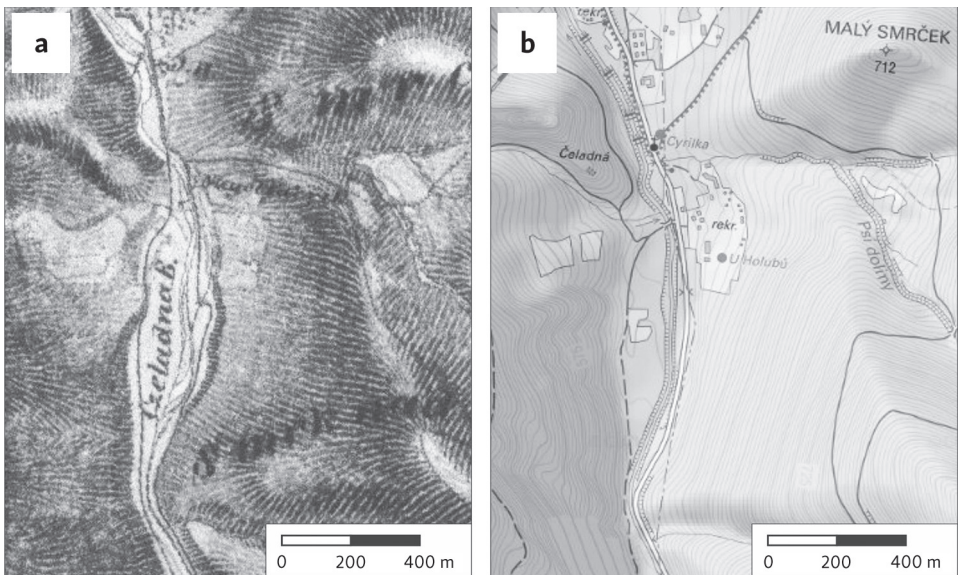
Obr. 1 – Porovnání morfologie bystřin s podobnou plochou povodí a sklonem koryta v různých litologických podmínkách: a – krystalinikum Českého masívu (Hrubý Jeseník, Bílá Opava), b – flyš Vnějších západních Karpat (Moravskoslezské Beskydy, Veřmiřovský potok). Foto: T. Galia.

zrnitosti dodávaných sedimentů se často jedná o donášku relativně jemnějšího materiálu s nižším podílem balvanité frakce, než je tomu v horských soustavách Českého masívu (obr. 1). Od toho se odvíjí skutečnost, že transport dnových splavenin začíná v typické beskydské bystřině obvykle za nižší kritické podmínky (např. jednotkového výkonu toku) v porovnání s tokem s podobnými plochami povodí a sklony koryt, ale v jiných geologických predispozicích (Galia, Hradecký 2012). V případě snížení donášky jsou zdejší koryta náchylná na rychlé zahlubování (Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Galia, Hradecký, Škarpich 2015) v důsledku efektu hladové vody (Kondolf 1997). Na rozdíl od Českého masívu se zde, vzhledem k výrazně členitému reliéfu, prakticky nesetkáváme se specifickým typem meandrujících toků vyšších nadmořských výšek, který lze nalézt například v Krušných horách, na Šumavě a v Novohradských horách. Naopak typickým karpatským zástupcem jsou toky s nízkou sinusoidou a údolním dnem omezeným strmými svahy (Kujanová, Matoušková, Kliment 2016).

Zejména severní a západní horské partie patří k srážkově nejexponovanějším oblastem v kontextu Česka. Z Lysé hory je za období 1961–2000 uváděn roční průměr úhrnu srážek 1 407 mm (Tolasz a kol. 2007). Povodně ve zdejších bystřinných tocích, které s sebou přinášejí řadu morfologických změn, jsou obvykle vázány na letní přivalové nebo déletrvající cyklonální srážky a pouze výjimečně na rychlé tání sněhové pokrývky (Bíba a kol. 2006; Galia, Hradecký, Škarpich 2015; Šilhán 2014, 2015). Nejstrmější údolní partie jsou i v současnosti ovlivňovány stékáním drobných blokovabahenních proudů, které se podílejí na formování malých kuželů na soutocích pramenných toků (Šilhán, Pánek 2010; Šilhán 2014).

Oblast Moravskoslezských Beskyd a jejich podhůří byla dlouhou dobu téměř nedotčena lidskou činností. Od posledního glaciálu došlo k postupnému kompletnímu zalesnění. První větší sídla se v Podbeskydí objevují až v průběhu 13. století, byť přímé doklady o osídlení jsou známy již z předcházejících období. Jádrové

horské oblasti, vzhledem k velmi nepříznivým klimatogeografickým podmínkám, zůstávaly ještě dlouho bez stálé přítomnosti člověka (Štika 1973). Zlom v osídlení nastává až s první fází Valašské kolonizace (16. a 17. stol.), kdy dochází k zakládání vesnic v údolích a k výraznému odlesnění i vrcholových partií za účelem pastevectví. Další příčinou odlesnění byla potřeba dříví pro hamry na zpracování železné rudy, která se těžila v beskydském podhůří (Štika 1973, Polášek 2006). S odlesněním a intenzivní pastvou je spojen vývoj stržové eroze, která do místních toků začala dodávat velké množství klastického materiálu (Polášek 2006; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013). Wistuba a Sady (2011) popisují akcelerovanou agradaci povodňových sedimentů a změnu ve složení fosilního rostlinného materiálu obsaženého v těchto sedimentech v nivě Škorňanského potoka (horní část povodí Ostravice), což dávají do souvislosti právě s odlesněním místních vrcholových partií a rozvojem pastevectví. Stacke, Pánek a Sedláček (2014) spojují vliv Valašské kolonizace s přísunem jemných splavenin a nápadnou agradací povodňových hlín v nivě řeky Bečvy. Předpokládané narušení břehové vegetace, ať už v důsledku pastevectví nebo zakládáním sídel v údolích, mohlo rovněž zintenzivnit břehovou erozi a dále navýšit produkci splavenin do říční sítě. Je zajímavé, že se na lokální sesuvné aktivitě, na rozdíl od Alp a některých dalších horských oblastí, příliš neprojevil klimatický vliv malé doby ledové nebo alespoň o tom z této oblasti prozatím nemáme doklady (Pánek a kol. 2013).



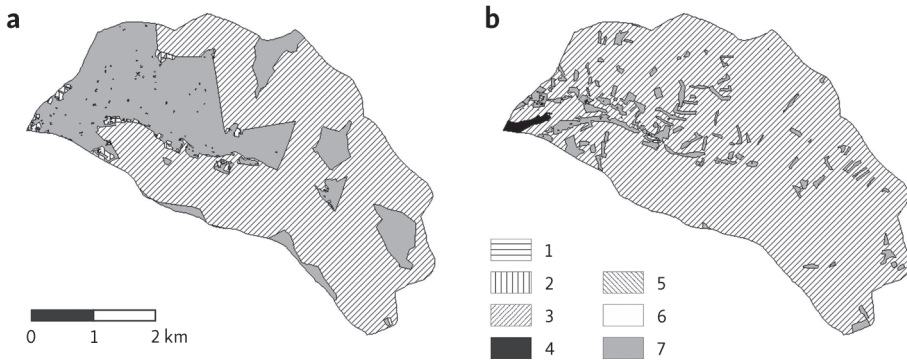
Obr. 2 – Srovnání stavu koryta Čeladenky: a – historická mapa II. vojenského mapování z let 1836–1852 (zdroj: 2nd Military Survey, Section No. 0-7-X, Austrian State Archive/Military Archive, Vienna); b – současná topografická mapa Česka (zdroj dat: Český úřad zeměměřický a katastrální)

Z hlediska antropogenního ovlivnění fluvialních procesů lze tedy usuzovat, že v Moravskoslezských Beskydech až do 19. století hrály důležitou roli pouze nepřímé zásahy člověka. Z mapových podkladů II. vojenského mapování (1836–1852) máme poměrně přesné informace o geomorfologickém vzoru vodních toků s dostatečně širokým řečištěm vzhledem k rozlišení těchto map. Podhorské řeky se vyznačovaly až několik set metrů širokými řečišti s četným větvením ve vlastních šterkových náplavech (Galia, Škarpich, Hradecký 2012; Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Škarpich a kol. 2016). Zdejší bystřiny tak musely tyto řeky dotovat značnými objemy klastického materiálu. U některých bystřin, i přes relativně malou šířku údolního dna, a tudíž omezený prostor pro migraci koryta a ukládání dnových splavenin, je rovněž pozorován větvcí se vzor, kdy jako příklad můžeme uvést hluboce zaříznuté údolí (700 m převýšení v příčném profilu údolí) Čeladenky mezi Smrkem a Kněhyní (obr. 2). V tomto období ještě nedocházelo k soustavným přímým zásahům člověka do bystřinných koryt, snad s výjimkou úseků spojených s počátky plavení dřeva pro potřeby vzrůstající průmyslové výroby v severním beskydském předpolí (viz kap. 3.3).

3. Vliv člověka na bystřinná koryta od 19. století

3.1. Nepřímé zásahy

Především ve druhé polovině 19. století dochází k pozvolnému útlumu pastevec-tví. Probíhá postupné zalesňování, čímž se snižuje potenciál vývoje strží a brzdí se pohyb sedimentů na svazích. Jako příklad lze uvést povodí bystřiny Slavíče (plocha povodí 18,4 km²), pravostranného přítoku Morávky (obr. 3). Zde dochází k nárůstu ploch lesa zejména na úkor trvalých travních společenstev z původních 63,6 % v letech 1836–1852 na 91,9 % v roce 2006 (Voznicová 2008). Původní, především karpatské jedlobukové lesy, jsou nahrazovány z hlediska produkce dřeva výhodnější smrkovou nebo bukovou monokulturou. Samotná proměna původní druhové skladby a zejména intenzivní lesní hospodaření mění i potenciál dodávky dřeva do koryt toků. Částečné odlesnění hřebenových partií je možno pozorovat od 70. let 20. století v důsledku zvýšených emisí z ostravské aglomerace (Buzek a kol. 1986, Šilhán 2015), což mohlo vést ke zvýšení četnosti drobných blokovo-bahenních proudů v nejstrmějších údolních partiích (Tichavský, Šilhán, Tolasz 2014; Šilhán 2014, 2015). Naopak zvýšená produkce zejména jemných plavenin v povodích je vázána na nevhodný způsob lesního hospodaření v důsledku použití těžké mechanizace, která je rovněž spojena s akcelerovanou erozí nepevných lesních cest. Tyto faktory zvyšují koncentraci plavenin v horských tocích oproti normálnímu stavu až o 56 % (Buzek 1981, 2004, 2007). Buzek (2004) uvádí, že hustota lesních komunikací v některých oblastech Moravskoslezských Beskyd

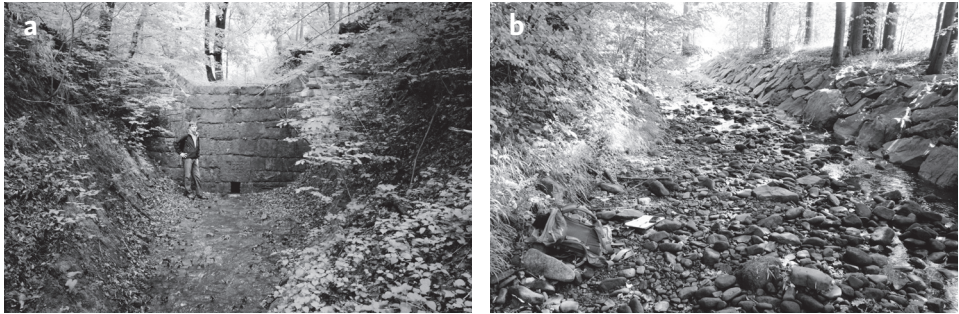


Obr. 3 – Změny využití území v povodí bystriny Slavičice (pravostranný přítok Morávky): A – stav využití území v letech 1836–1852 (období II. vojenského mapování); B – stav využití území v roce 2006. V legendě: 1 – zastavěné plochy; 2 – orná půda; 3 – lesní plochy; 4 – vodní plochy; 5 – trvalé kultury; 6 – ostatní; 7 – trvalá travní společenstva. Zdroj dat: Voznicová 2008.

dosahuje až 3 km/km^2 a při intenzivních srážkách nebo tání sněhové pokrývky dochází k rychlé erozi povrchu těchto komunikací až do hloubek 0,5–0,8 m. Vícha a kol. (2010) zdokumentoval mírné, avšak statisticky neprůkazné zvýšení odtoku z dílčí části experimentálního povodí Červíku (horní povodí Ostravice) v letech 1965–1982 jako možný důsledek rozvoje sítě lesních cest.

3.2. Hrazení bystrin

Velké objemy transportovaného materiálu spojené s vysokou dynamikou erozích a akumulačních procesů, jež jsou typické pro flyšová pohoří, daly příčinu intenzivnímu hrazení bystrin jako protipovodňových a protierozních opatření. Zvýšená morfodynamika se odrazila i v soustavných úpravách navazujících podhorských řek, kdy během druhé poloviny 20. století byly téměř všechny říční úseky upraveny z větvičího se vzoru s aktivním přeplavováním šterkových lavic do zkapacitněného jednoduchého koryta (Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Galia a kol. 2016; Škarpich a kol. 2016). První snahy o místní hrazení bystrin, prováděné dle zkušeností z alpských oblastí, pocházejí již z roku 1906 jako reakce na ničivé povodně konce 19. století (Jařabáč, Bělský 2008). Během následujících sto let byly na zdejších bystrinách aplikovány různé typy spádových objektů včetně technických nebo přírodě blízkých stabilizací břehů, které zahrnují také jejich zpevnění účelovou výsadbou dřevin (obr. 4a). Jařabáč a Bělský (2008) uvádějí, že v Moravskoslezských Beskydech došlo k zásahům pouze na 10 % celkové délky bystrin, což i tak představuje 150 kilometrů antropogenně upravených toků. Klasické hrazení bystrin s aplikací sekvence retenčních přehrážek a spádových stupňů



Obr. 4 – Příklady vodohospodářských úprav na beskydských tocích mimo souvislou zástavbu: a – zcela zachovalý spádový stupeň v pramenné oblasti Malého Lipového potoka vybudován v roce 1928, b – opevnění břehu Bystrého potoka kamenným záhozem a rovnáninou. Foto: T. Galia.

má značný vliv na transport sedimentů a jejich konektivitu v podélném průběhu vodního toku. Škarpich a kol. (2010) dokumentuje efekt hrazení na poproudové velikosti korytových sedimentů a lokální zahloubení pod přehrázkami na příkladu pramenných toků Býčince a Velkého Lipového z povodí Morávky. Na Mohelnici (levostranný přítok Morávky), která je svými parametry na rozhraní bystřiny a podhorské šterkonosné řeky, se projevilo poproudové hrubnutí korytových sedimentů na 2,6 km dlouhém úseku hrazeném soustavou spádových stupňů (Galía a kol. 2016). Podobný výsledek přinesl výzkum v podhorském bystřinném toku Bystrého potoka na severním úbočí masívu Lysé hory, kdy se na 2,7 km dlouhém úseku s pozvolna se snižujícím sklonem dna vůbec neprojevuje poproudové zjemňování korytových sedimentů, jak by se dalo v důsledku snižující se transportní kapacity toku a nepřítomnosti zdrojnic hrubých sedimentů očekávat. Zdejší hustá soustava spádových stupňů vede ke snižování podélné konektivity sedimentů a projevu efektu hladové vody, kdy jsou ze dna vymílány jemnější částice (Galía, Škarpich 2017).

Výstavbou soustavy přehrážek a spádových stupňů rovněž dochází k celkové transformaci korytové morfologie, kdy z původního heterogenního dna s přírodními stupni tvořenými balvany či říčním dřevem vzniká relativně stejnorodé planární koryto o nižším sklonu, jehož jednotlivé segmenty jsou odděleny umělými stupni. Stabilizace břehů kamenným záhozem nebo kamennou rovnáninou snižují míru konektivity mezi segmenty nivy nebo přilehlými svahy a korytem. Zejména v blízkosti komunikací a zástavby tak dochází k celkovému odpojení potenciálních zdrojnic sedimentů od koryta a dále se tak prohlubuje deficit splavenin (obr. 4b). Z ekologického hlediska má hrazení prokazatelný vliv také na migraci vodních organismů (Lusk, Lojkásek 2009).

Mezi objekty hrazení bystřin zařazujeme i propustky účelových komunikací, které křížují zdejší toky. Tyto propustky jsou navrhovány na bezpečný převod

určitého povodňového průtoku, obvykle však nepočítají s lokálním intenzivním transportem splavenin nebo říčního dřeva. Během povodní tak často pozorujeme jejich ucpaní a následné vyběžení toku (Poloha 2010; Galia, Hradecký, Škarpich 2015). V úseku pod propustkem se projevuje intenzivní hloubková eroze v důsledku vymílání dna vodním paprskem padajícím z propustku a efektem hladové vody, který je způsoben zastavením sedimentů během povodňových průtoků nad propustkem. Erodivní materiál z úseku pod propustkem se následně akumuluje v níže položeném korytovém úseku s lokálně sníženým sklonem dna a dostatečným prostorem pro ukládání sedimentů.

3.3. Plavení dřeva

Bystřiny s dostatečnou vodností v povodích Ostravice a Morávky v minulosti představovaly důležité dopravní tepny pro přepravu dřeva do hamrů a pil, protože ve zdejší horské krajině dlouho chyběla dostatečně kvalitní silniční a železniční síť. První zmínka o plavení dřeva v Moravskoslezských Beskydech pochází již z roku 1754 a uvádí se, že v roce 1820 bylo z hor po Ostravici splaveno do hamrů (Frýdlant nad Ostravicí a Baška) 30 000 metrů polenového dříví (Jeřábek 1961 in Polášek 2006). Ve druhé polovině 19. století se plavba dále zintenzivnila a ročně se splavilo až 70 000 metrů dříví (Remeš 1895 in Polášek 2006). Plavení probíhalo pouze za dostatečného množství vody během jarního tání sněhu a průtoky byly významně navyšovány vypouštěním vody z malých účelových nádrží, tzv. klauzů. Poslední plavení dřeva proběhlo v roce 1941 v bystrinách horní části povodí Ostravice (Polášek 2006). Některé klauzy byly v posledních letech obnoveny a jsou důležitými retenčními prvky krajiny s kulturní hodnotou (obr. 5a).

Z geomorfologického hlediska hrálo plavení dříví dvě důležité role: (1) každoroční umělé povodňování navyšováním průtoků z klauzů způsobovalo navýšení transportní kapacity toku a akceleraci břehové i hloubkové eroze. Tyto procesy spojené s plavením dřeva a antropogenním navyšováním průtoků v pramenných tocích byly dobře popsány na malých povodích Morvanského pohoří ve střední Francii (Poux, Gob, Jacob-Rousseau 2011). K aktivitě erozních procesů také přispívaly (2) lokální úpravy koryt pro bezproblémovou plávku dříví, kdy bylo z bystrin odstraňováno říční dřevo nebo balvany a břehy byly upravovány tak, aby zde nedocházelo k zachytávání plaveného dříví a tvorbě nápěchů (obr. 5b). Rovněž musela být zajištěna dobrá přístupnost ke břehům a pravděpodobně byla mýcena břehová vegetace, protože pokud se plavené dříví v korytě zachytilo na nějaké překážce, muselo být okamžitě lesními dělníky opět uvedeno do pohybu (Polášek 2006). Lze si tedy představit, že úseky s pravidelnou plávkou postrádaly drsnostní prvky (říční dřevo, balvany) a přirozenou heterogenitu břehů a pravděpodobně zde docházelo k urychlenému odnosu štěrkového materiálu, pomalému



Obr. 5 – Ovlivnění bystřin plavením dříví v Moravskoslezských Beskydech: a – obnovený klauz Kyčerov, povodí Ostravice (foto: T. Galia); b – příprava k plavení dříví, povšimněte si břehů zcela bez břehové vegetace (zdroj: Album Valašska 1898); c – zahloubený a relativně homogenní korytový úsek Velkého potoka jako pravděpodobný důsledek pravidelné historických plávek (foto: T. Galia).

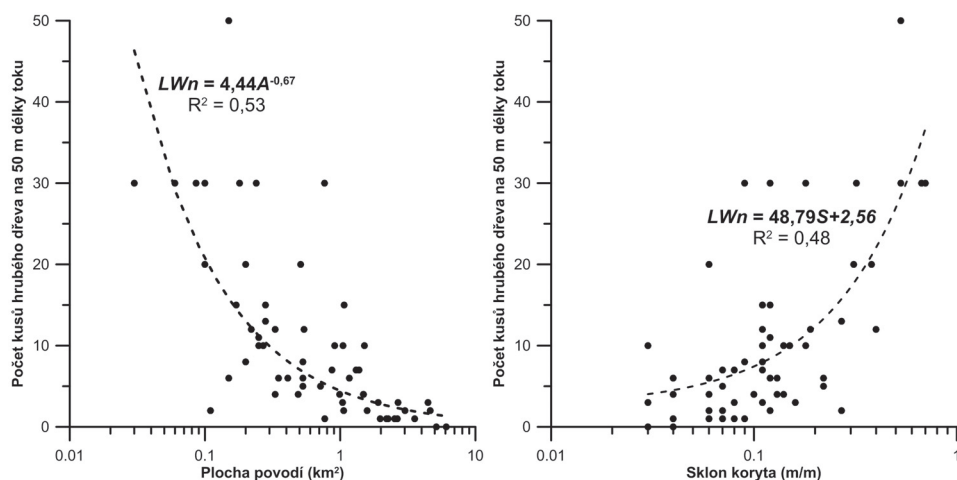
zhlubování a snižování boční konektivity mezi tokem a nivními segmenty. Tyto relativně homogenní mírně zahloubené úseky jsou v některých lokalitách dobře patrné do současnosti (obr. 5c). Zvýšená eroze a produkce splavenin v bystřinách jako důsledek každoročního plavení dřeva mohla přispívat k akumulaci štěrku v předpolí hor a udržitelnosti větvičího se vzoru podbeskydských štěrkonosných toků (Škarpich, Hradecký, Dušek 2013; Škarpich a kol. 2016), ačkoliv od druhé poloviny 19. století probíhá postupné zalesňování horských partií, a tedy zde existuje předpoklad snížení objemů dodávky sedimentů ze svahů v rámci celých povodí.

3.4. Odstraňování říčního dřeva z koryt

Říční dřevo je přirozenou součástí přírodě blízkých vodních toků. S Valašskou kolonizací pravděpodobně nastupuje i lokální odstraňování dřevní hmoty z bystřinných koryt za účelem zisku palivového dříví, které zřejmě postihovalo pouze krátké korytové úseky v bezprostřední blízkosti sídel. Systematičtější odstraňování říčního dřeva se později předpokládá na těch tocích, kde se každoročně provádělo plavení dříví. V současnosti odstraňování dřevní hmoty, především tedy hrubého dřeva (parametr minimální délky 0,5–1 m, minimální průměr 0,1 m), dominuje na všech dobře přístupných tocích v hospodářských lesích a samozřejmě pak v blízkosti zástavby nebo silničních komunikací. Tuto skutečnost názorně vystihuje obrázek 6, který představuje úzkou závislost množství hrubého dřeva LWn (zde parametr minimální délky 0,5 m) na sklonu koryta S a ploše povodí A ,

Tab. 1 – Přehled parametrů toků s hodnocením množství hrubého říčního dřeva

Tok	Počet úseků	A (km ²)	S (m/m)	Šířka koryta (m)	LWn
Dížená	8	0,27–3,01	0,06–0,15	1,5–5,3	1–10
Kněhyňka	8	0,22–2,68	0,08–0,40	2,3–4,9	1–12
Lubina	5	0,15–0,35	0,06–0,13	1,7–3,2	6–15
Malá Ráztoka	8	0,20–2,20	0,06–0,38	3,3–5,1	1–30
Smradlava	6	0,09–4,45	0,03–0,18	1,8–4,3	3–30
Velký Škaredý potok	12	0,03–1,06	0,06–0,70	2,2–4,1	2–50
Veřmířovský potok	12	0,10–6,08	0,03–0,31	1,2–6,3	0–20



Obr. 6 – Závislosti počtu kusů hrubého říčního dřeva na ploše povodí a sklonu koryta ve vybraných korytových úsecích beskydských bystřin (viz tab. 1). Zdroj dat: autoři.



Obr. 7 – Nápěch říčního dřeva v bezejmenném přítoku Mazáku (PP Mazácký Grúník). Foto: T. Galia.

kteřá byla zjištěna na souboru 59 korytových úseků sedmi bystřinných toků Moravskoslezských Beskyd v průběhu terénního šetření v letech 2010–2011 (tab. 1). Hodnocené 50 m dlouhé úseky se nacházely ve vzdálenostech 0,1–3,2 km od pramenů toků (dle Základní mapy 1 : 10 000) a plochy povodí nad všemi úseky vykazovaly lesnatost blízkou 100 %. Z grafů je patrný vliv odstraňování hrubého dřeva člověkem v níže položených, méně strmých a tedy i dobře přístupných korytových úsecích. Poměrně nepřístupné závěrové části povodí mají v podstatě přirozené množství dřevní hmoty typické pro antropogenně neovlivněné vodní toky (viz Gurnell 2003). V územích s vyšším stupněm ochrany se můžeme vzácně setkat i s rozsáhlejšími nápěchy dřevní hmoty, které byly v minulosti zcela jistě běžným prvkem horských bystřin (obr. 7).

Máčka a kol. (2011) studoval množství dřevní hmoty v celém podélném průběhu řeky Morávky a jako jedno z maxim výskytu mimo větvičí se geomorfologický vzor v NPP Skalická Morávka uvádí horskou pramennou oblast s nejvyššími sklony koryta. V níže položených úsecích stále ještě bystřinného toku Máčka a kol. (2011) spojuje nápadný úbytek dřevní hmoty s jeho aktivním odstraňováním člověkem. Druhým uváděným důvodem jsou technické stabilizace břehů, které zabraňují boční erozi, podemílání kořenového systému stromů a jejich následnému pádu do vodního toku. Obecně se dá říci, že systematické odstraňování dřevní hmoty z beskydských bystřin i z lokalit, kde jeho přítomnost nepůsobí problémy během

povodní, vede ke ztrátě přirozené hydraulické drsnosti koryta, a tedy potenciálnímu urychlení erozních procesů a zvýšení objemů transportovaných splavenin během zvýšených průtoků. Rovněž dochází ke snížení diverzifikace stanovištních podmínek pro vodní živočichy.

4. Diskuze

4.1. Zásahy člověka v evropských bystrinných tocích a jejich porovnání se studovanou oblastí

Moravskoslezské Beskydy na rozdíl od některých dalších českých pohoří, například Hrubého Jeseníku (Klimek, Latocha 2007), nebyly zasaženy středověkou těžbou rud a brzkým osídlením, a proto si poměrně dlouho mohly uchovat přirozený charakter včetně vodních toků. I tak lze zde v současnosti stěží nalézt korytové úseky bystrin, které bychom mohli považovat za zcela přírodní. Shrnutí antropogenních zásahů do bystrinných koryt a krajinného pokryvu horských povodí vybraných evropských pohoří představuje tabulka 2. Geograficky i litologickou stavbou je naší studované oblasti nejbližší polské pohoří Gorce, které je součástí flyšových Západních Karpat. Bucała (2014) zde na dvou povodích A-10 km² uvádí mezi lety 1954–2004 významné zalesnění (nárůst ploch lesů o cca 20 %) na úkor zemědělsky obdělávané půdy a luk a také zde hodnotí vliv dnes již nepoužívaných nezpevněných lesních cest, které se vlivem eroze prakticky přeměnily v sít odvodňovacích kanálů. Zalesnění povodí společně s tamějším hrazením bystrin zahrnující opevnění břehů s přerušovanou konektivitou sedimentů vedlo k hloubkové erozi bystrinných koryt o průměrné intenzitě zahlubování 10 mm/rok. Rovněž i zde byl v minulosti u některých korytových úseků pozorován větvicí se vzor, který je v současnosti přetransformován v jednoduché koryto. Vliv na tyto morfologické změny má i nelegální těžba štěrků (Bucała, Radecki-Pawlik 2011).

Comiti a kol. (2009) a Comiti (2012) uvádí pro bystriny italských Alp značné ovlivnění zejména z pohledu intenzivního hrazení bystrin a také výstavby velkého množství malých vodních nádrží pro výrobu elektrické energie. Zde již koncem středověku proběhlo výrazné odlesnění z důvodu intenzivní potřeby dříví, na poklesu zalesněných ploch se podílelo i snižování horní hranice lesa v důsledku vrcholící malé doby ledové. Ačkoliv došlo k opětovnému zalesnění, tak v současnosti zdejší bystriny postrádají přirozené množství říčního dřeva, ať už jako důsledek jeho odstraňování z důvodu protipovodňové ochrany, tak i vzhledem k současnému lesnímu hospodaření a přítomnosti relativně mladých lesních porostů, které obvykle nejsou schopny vodní toky dotovat významnými objemy dřevní hmoty. Podobný proces historického odlesňování v důsledku zvýšené poptávky po dřevě a opětovného zalesnění lze pozorovat i v oblasti Hrubého

Tab. 2 – Přehled lidských zásahů do horských povodí vybraných evropských pohoří a jejich odezva v korytech bystrinných toků

Oblast	Hlavní zásahy	Reakce koryt	Zdroj
Alpy (francouzská část)	Poslední fáze antropogenního odlesnění (1790–1850)	Agradační trendy	Liébault a kol. (2005)
	Zalesnění jako protierozní opatření (1860–1910), opouštění horských zemědělských usedlostí po roce 1945	Zahlubování, zúžení aktivního řečiště, transformace říčního vzoru (větvicí se → jednoduché koryto)	
Alpy (italská část)	Nárůst plochy lesů, odstraňování říčního dřeva, hrazení bystrin (od 19. století), výstavba vodních elektráren (20. století)	Transformace korytové morfologie (stupňovitá → planární), snížení heterogenity břehů	Comiti a kol. (2009), Comiti (2012)
Apeniny (Itálie)	Hrazení bystrin (20. století), výstavba údolních nádrží (první polovina 20. století), zalesňování (od 60. let 20. století), těžba šterků (50.–70. léta 20. století)	Zahlubování, transformace říčního vzoru (větvicí se → jednoduché koryto)	Preciso, Salemi, Billi (2012)
Gorce (Polsko)	Zalesnění, opouštění zemědělských usedlostí (od 50. let 20. století), hrazení bystrin (od 70. let 20. století), nelegální těžba šterků (20. století)	Zahlubování, zúžení aktivního řečiště, transformace říčního vzoru (větvicí se → jednoduché koryto)	Bucała (2014); Bucala, Radecki-Pawlik (2011)
Howgill Fells (Velká Británie)	Kompletní odlesnění, pastevectví (od středověku)	Aktivní vývoj strží, agradace v korytech	Harvey (2001)
Hrubý Jeseník (Česko)	Těžba a zpracování rud, odlesnění, zemědělství (nárůst intenzity těchto činností od 17. století), průběžné nahrazení původních bukových lesů smrkovou monokulturou	Široká řečiště s aktivní boční migrací koryt	Klimek, Latocha (2007)
	Zalesnění, opouštění zemědělských usedlostí (především po roce 1945)	Zahlubování koryt	
Skandinávské pohoří (švédská část)	Intenzivní plavení dříví (19.–20. století), výstavba vodních elektráren (20. století)	Transformace korytové morfologie (nově planární úseky bez přirozené heterogenity dna a břehů)	Nilsson a kol. (2005)

Jeseníku (Klimek, Latocha 2007), italských Apeninách (Preciso, Salemi, Billi 2012) a francouzské části Alp (Liébault a kol. 2005), jenž se odrazil v současném trendu zahlubování toků. Avšak v severní Anglii (pohoří Howgill Fells) po historickém odlesnění k obnově lesních ploch nedošlo a dnešní významná stržová eroze vede spíše k agradaci tamějších bystrinných koryt (Harvey 2001). Skandinávské toky také prošly určitým vývojem v souvislosti s osídlením a využíváním krajiny. V tomto případě se jedná zejména o plavení dříví, které na švédských tocích bylo značně rozšířené v průběhu 19. a v první polovině 20. století a zdejší plávky probíhaly až do roku 1991 (Nilsson a kol. 2005). Zdejší toky musely být, podobně jako bystriny v Moravskoslezských Beskydech, uzpůsobeny bezproblémovému

transportu polenového dříví, a byly tak odstraňovány veškeré nežádoucí prvky jako vystupující skalní podloží, mělké peřejnaté úseky, říční dřevo nebo velké balvany. Sice zde v zimě existují dostatečné zásoby sněhu, ale vzhledem k výrazně severojižnímu trasování toků a tedy nestejně intenzitě tání sněhové pokrývky bylo nutno vystavět účelové nádrže ovlivňující hydrologický režim. Díky těmto zásahům řada švédských bystrin a štěrkonosných řek ztratila přirozenou heterogenitu dna a břehů, což následně negativně ovlivnilo rybí a vodní bezobratlá společenstva (Nilsson a kol. 2005).

Kromě vlivu člověka na morfologii vodních toků je důležité zmínit roli klimatických faktorů, zejména variabilitu srážkového režimu. Tyto faktory mohou urychlit nebo naopak utlumit vliv zejména nepřímých zásahů člověka (Liébault a kol. 2005). Jak bylo zmíněno, malá doba ledová s předpokladem chladnějšího a vlhčího klimatu na území Česka (Brázdil 1994; Bodri, Čermák 1999) se v Moravskoslezských Beskydech pravděpodobně neprojevila na zvýšení sesuvné aktivity (Pánek a kol. 2013). Mohla však urychlit vývoj strží a posun sedimentů v rámci povodí v důsledku odlesnění během Valašské kolonizace. Liébault a kol. (2005) ve francouzské části Alp dokládá agradaci v horských tocích do konce 19. století, která je spojena především s odlesněním člověkem. Uvádí však, že jistou roli hrály také zvýšené odtoky během závěru malé doby ledové, které byly schopny transportovat velké objemy sedimentů do předhůří hor, což podpořilo vývoj širokých řečišť divočících toků. Následky velkých povodní ve druhé polovině 19. století v alpských zemích (např. 1856 a 1860 ve Francii, 1876 ve Švýcarsku a 1882 a 1884 v Rakousko-Uhersku), které byly spojeny s intenzivním transportem hrubých splavenin a zvýšenou morfodynamikou horských koryt v důsledku odlesnění a zřejmě i vlhčího klimatu, podnítily vývoj oboru hrazení bystrin a vyvolaly umělé zalesňování poměrně rozsáhlých ploch (Zuna 2008, Comiti 2012, Piton a kol. 2017). Tyto postupy začaly být aplikovány přibližně od 80. let 19. století i v českých zemích (Zuna 2008). V porovnání s druhou polovinou 19. století u nás dochází k obecnému snížení produkce hrubých splavenin v horských povodích v reakci na rozsáhlé zalesnění a klimatické změny doprovázené mírným úbytkem srážek. Na druhou stranu narůstá tlak na provádění vodohospodářských úprav díky hustší infrastruktuře a případně nové zástavbě v horských údolích. Rovněž zde existuje jistá setrvačnost v užívání tradičních technických objektů, které obvykle nepodporují přirozenou míru konektivity sedimentů a biotické složky vodních toků (Galia a kol. 2016; Galia, Škarpich 2017). Přitom právě v alpských zemích, kde existuje vyšší povodňové riziko z hlediska erozních a transportních procesů v bystrinách, se aplikují v souladu s Rámcovou směrnicí o vodách (2000/60/ES) a Rámcovou směrnicí o povodních (2007/60/ES) moderní postupy zahrnující například filtrační či samovyprazdňovací přehrážky nebo speciální konstrukce pro zachycování transportovaného říčního dřeva (Sedalp 2015; Piton a kol. 2017).

4.2. Východiska pro hodnocení a zlepšení hydromorfologického stavu bystřin

Z hlediska hydromorfologického hodnocení mají bystřiny oproti nížinným tokům řadu specifíků, které by měly být v tomto hodnocení akcentovány. V rámci fluviálního kontinua horských toků nevykazují všechny korytové úseky stejnou přirozenou variabilitu dna (Montgomery, Buffington 1997). Typicky u planárního morfologického typu koryta se setkáváme pouze s nízkou variabilitou, když tyto korytové úseky zcela postrádají vertikální oscilaci dna na rozdíl od výše položených sekvencí stupňů a tůní nebo naopak obvykle níže se vyskytujících sekvencí tůní a peřejí. V Moravskoslezských Beskydech byla identifikována i závislost vývoje korytových morfologií ve vztahu k objemu donášky sedimentů do toku, kdy se v tocích bohatě dotovaných sedimenty na podobných sklonech koryt a plochách povodí vyskytují namísto pravidelných stupňů-tůní jen stupně-peřeje s přirozenou nižší heterogenitou dna (Galia, Hradecký 2014). Podobně půdorysná variabilita, reprezentovaná například množstvím zákrutů, může být u horských toků vzhledem k jejich těsnému přimknutí ke svahům značně omezena a i přirozené bystřiny tak mohou mít zcela přímá koryta (Kujanová, Matoušková, Kliment 2016). Také musíme uvážit, že u dynamicky vyvíjejících se bystřin není zahluobený úsek nutně důsledkem degradace toku a v těchto tocích se obvykle střídají úseky erozní s akumulačními. Na druhou stranu bystřiny citlivě reagují na změny podmínek v rámci celého povodí, kdy je tak nutné hodnocený úsek posuzovat z hlediska konektivity sedimentů a současného využití území v celé ploše povodí.

Setkáváme se zde z ekologického hlediska s nevyhovujícími stabilizačními opatřeními (např. spádové stupně, technické opevnění břehů), které narušují nebo i zcela zastavují podélnou a boční konektivitu sedimentů a mají negativní dopad na migraci bioty. Z pohledu protipovodňové ochrany je nutností tato opatření provádět v blízkosti komunikací nebo zastavěných ploch, ale i tak bychom se měli držet přírodě blízkých prvků a uplatňovat vhodné revitalizační postupy (Just 2010, Sedalp 2015).

Oproti původním lesním společenstvům je většina povodí bystřin pokryta hospodářským lesem, kdy se mění i predispozice pro dodávku říčního dřeva do koryt. Říční dřevo je však žádoucím a pozitivně hodnoceným prvkem zvyšujícím heterogenitu stanovišť a poskytuje útočiště a živiny pro vodní organismy, když v malých tocích nelze opomenout ani jeho vliv na zvýšení celkové korytové drsnosti a plní tedy určitou stabilizační funkci z hlediska hloubkové eroze (Gurnell 2003, Máchka a kol. 2011). Lze tedy jen doporučit ponechávání dřevní hmoty v korytech, pokud nedochází k potenciálnímu ohrožení mostních konstrukcí nebo tvorbě nežádoucích nápěchů dřeva v zastavěných údolích, kde by mohly způsobit vyběžení toku nebo erozi břehů během povodně.

5. Závěr

Bystřinné toky Moravskoslezských Beskyd, stejně jako naprostá většina nížinných řek ve středoevropském prostoru, jsou ovlivňovány zásahy člověka již po několik staletí. Je tak v současnosti problematické vůbec najít korytové úseky, které bychom mohli považovat za zcela nedotčené činnosti člověka. K nepřímým zásahům do beskydských bystřin, spojených se změnou využití území (tj. především pastevectvím), se od 19. století přidává plavení dříví a soustavné odstraňování dřevní hmoty z koryt. V průběhu celého 20. století je citelným zásahem prováděné hrazení bystřin. Podobné dlouhodobé lidské zásahy je možno pozorovat v bystřinách celé řady evropských pohoří. Antropogenní dopad na koryta toků lze charakterizovat změnami korytové morfologie a stanovištních podmínek pro vodní biotu, což může především v litologických predispozicích karpatského flyše vyústit v akceleraci erozních procesů. Ne zcela vyřešenou otázkou je urychlení nebo naopak utlumení dopadů lidských zásahů do beskydských bystřinných koryt ve vztahu ke klimatickým změnám.

Z pohledu hydromorfologického hodnocení bystřinných toků je vhodné přihlížet k jejich specifikům, jako je rychlá morfologická odezva koryt na změnu podmínek na celé ploše povodí, přirozený vývoj korytových morfologií ve vazbě na sklon koryta a donášku sedimentů, přímé propojení koryt s aktivními zdrojnicemi sedimentů a také běžně vyskytující se zahluobené korytové úseky, které nemusí nutně odrážet antropogenně vyvolané degradační tendence. Tyto faktory by měly zohledňovat i případné revitalizace, kdy je rovněž žádoucí kvalitativní a kvantitativní zhodnocení podélné a boční konektivity sedimentů zahrnující současné využití území na celé ploše povodí. Přínosná je aplikace říčního dřeva za účelem maximálního se přiblížení přírodě blízkému stavu.

Literatura

- ALBUM VALAŠSKA (1898): Odbor Klubu českých turistů, Štramberk.
- BELLETTI, B., RINALDI, M., BUIJSE, A. D., GURNELL, A. M., MOSSELMAN, E. (2015): A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2079–2100.
- BERTOLDI, W., GURNELL, A., SURIAN, N., TOCKNER, K., ZANONI, L., ZILIANI, L., ZOLEZZI, G. (2009) Understanding reference processes: Linkages between river flows, sediment dynamics and vegetated landforms along the Tagliamento River, Italy. *River Research and Applications*, 25, 501–516.
- BÍBA, M., OCEÁNSKÁ, Z., VÍCHA, Z., JAŘABÁČ, M. (2006): Lesnicko-hydrologický výzkum v beskydských experimentálních povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 54, 2, 113–122.

- BODRI, L., ČERMÁ, V. (1999): Climate change of the last millennium inferred from borehole temperatures: Regional patterns of climatic changes in the Czech Republic – Part III. *Global and Planetary Change*, 21, 225–235.
- BRÁZDIL, R. (1994): Climatic fluctuation in the Czech Lands during the last millennium. *Geojournal*, 32, 3, 199–205.
- BRIERLEY, G., FRYIRS, K. (2005): *Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing: Malden, MA.
- BUCAŁA, A. (2014): The impact of human activities on land use and land cover changes and environmental processes in the Gorce Mountains (Western Polish Carpathians) in the past 50 years. *Journal of Environmental Management*, 138, 4–14.
- BUCAŁA, A., RADECKI-PAWLIK, A. (2011): Wpływ regulacji technicznej na zmiany morfologii górskiego potoku: potok Jamne, Gorce. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 10, 1, 3–16.
- BUZEK, L. (1981): Eroze proudící vodou v centrální části Moravskoslezských Beskyd. *Spisy Pedagogické fakulty v Ostravě*, 45. SPN, Praha.
- BUZEK, L. (2004): Plaveninový režim jako ukazatel intenzity vodní eroze v horských zalesněných povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 52, 1, 24–40.
- BUZEK, L. (2007): Water erosion in the watershed of the upper Ostravice River from 1976 to 2000. *Moravian Geographical Reports*, 15, 2–12.
- BUZEK, L., HAVRLANT, M., KŘÍŽ, V., LITSCHMANN, T. (1986): *Beskydy – Příroda a vztahy k ostravské průmyslové oblasti*. Pedagogická fakulta v Ostravě, Ostrava.
- COMITI, F., MAO, L., LENZI, M. A., SILIGARDI, M. (2009): Artificial steps to stabilize mountain rivers: a post project ecological assessment. *River Research and Applications*, 25, 639–659.
- COMITI, F. (2012): How natural are mountain rivers of the Italian Alps? *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 693–707.
- DEMEK, J., MACCOVČIN, P., ed. (2006): *Hory a nížiny zeměpisný lexikon ČR*. AOPK, Brno.
- DUFOUR, S., PIÉGAY, H. (2009): From the Myth of a Lost Paradise to Targeted River Restoration: Forget Natural References and Focus on Human Benefits. *River Research and Applications*, 24, 1–14.
- FRYIRS, K. (2013): (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38, 30–46.
- GALIA T., HRADECKÝ, J. (2012): Critical conditions for beginning of coarse sediment transport in torrents of Moravskoslezské Beskydy Mts. (Western Carpathians). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7, 4, 5–14.
- GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2014): Channel-reach morphology controls of headwater streams based in flysch geologic structures: An example from the Outer Western Carpathians, Czech Republic. *Geomorphology*, 216, 1–12.
- GALIA, T., HRADECKÝ, J., ŠKARPICH, V. (2015): Sediment transport in headwater streams of the Carpathian Flysch belt: its nature and recent effects of human interventions. In: Heining, P., Cullmann, J. (eds.): *Sediment Matters*, Springer, 13–26.
- GALIA, T., ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J. (2012): Dnový transport sedimentů v souvislosti s transformací geomorfologického režimu štěrkonosných toků Moravskoslezských Beskyd. *Geografie*, 117, 1, 95–109.
- GALIA, T., ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J., PŘIBYLA, Z. (2016): Effect of grade-control structures at various stages of their destruction on bed sediments and local channel parameters. *Geomorphology*, 253, 305–317.

- GALIA, T., ŠKARPICH, V. (2017): Response of bed sediments on the grade-control structure management of a small piedmont stream. *River Research and Applications*, 33, 4, 483–494.
- GURNELL, A. M. (2003): Wood storage and mobility. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (eds.): *The ecology and management of wood in world rivers*. American Fisheries Society, Bethesda, 75–91.
- HARVEY, M. (2001): Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena*, 42, 225–250.
- JARABÁČ, M., BĚLSKÝ, J. (2008): The protection against floods becomes effective in the Beskydy Mts. using forest hydrology. *Beskydy*, 1, 37–42.
- JEŘÁBEK, R. (1961): Plavení polenového dříví v Moravskoslezských Beskydech. *Radostná země*, 11, 2, 44–49.
- JUNGWIRTH, M., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (2002): Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, 47, 4, 867–887.
- JUST, T. (2010): Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi. *Ochrana přírody*, 6, 15–17.
- KARR, J. R. (1981): Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6, 6, 21–27.
- KERN, K. (1992): Restoration of lowland rivers: the German experience. In: Carling, P. A., Petts, G. E. (eds.): *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester UK, 279–297.
- KLIMEK, K., LATOCHA, A. (2007): Response of small mid-mountain rivers to human impact with particular reference to the last 200 years; Eastern Sudetes, Central Europe. *Geomorphology*, 92, 147–165.
- KONDOLF, G. M. (1997): Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21, 533–551.
- KONDOLF, G. M., PIÉGAY, H., LANDON, N. (2002): Channel response to increased and decreased bedload supply from land use change: contrasts between two catchments. *Geomorphology*, 45, 35–51.
- KUBÍNSKÝ, D., WEIS, K., FUSKA, J., LEHOTSKÝ, M., PETROVIČ, F. (2015): Changes in retention characteristics of 9 historical artificial water reservoirs near Banská Štiavnica, Slovakia. *Open Geosciences*, 1, 880–887.
- KUJANOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z. (2016): Hydromorphological parameters of natural channel behavior in conditions of the Hercynian System and the flysch belt of the Western Carpathians on the territory of the Czech Republic. *Geomorphology*, 258, 69–81.
- LANGHAMMER, J. (2014): HEM 2014 – Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- LANGHAMMER, J., MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z. (2013): Assessment of spatial and temporal changes of ecological status of streams in Czechia: a geographical approach. *Geografie*, 118, 4, 309–333.
- LIÉBAULT, F., GOMÉZ, B., PAGE, M., MARDEN, M., PEACOCK, D., RICHARD, D., TROTTER, C. M. (2005): Land-use change, sediment production and channel response in upland regions. *River Research and Applications*, 21, 739–756.
- LUSK, S., LOJKÁSEK, B. (2009): Biologicko-ekologické aspekty a legislativní požadavky k migrační prostupnosti pramenných částí vodních toků. Závěrečná zpráva projektu Grantové služby LČR, s. p. Hradec Králové.
- MÁČKA, Z. a kol. (2011): Říční dřevo ve vodních tocích ČR. Masarykova univerzita, Brno.

- MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice EC2000/60. Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- MENČÍK, E. a kol. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- MONTGOMERY, D. M., BUFFINGTON, J. M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 596–611.
- MONTGOMERY, D. M., BUFFINGTON, J. M. (1998): Channel processes, classification and response. In: Naiman, R. J., Bilby, R. E. (eds.): *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer, New York, 13–42.
- NILSSON, C., LEPORI, F., MALMQUIST, B., TÖRNLUND, E., HJERDT, N., HELFIELD, J. M., PALM, D., ÖSTERGEN, J., JANSSON, R., BRÄNNÄS, E., LUNDQUIST, H. (2005): Forecasting environmental responses to restoration of rivers used as log floatways: an interdisciplinary challenge. *Ecosystems*, 8, 779–800.
- PÁNEK, T., TÁBOŘÍK, P., KLIMEŠ, J., KOMÁRKOVÁ, V., HRADECKÝ, J., ŠŤASTNÝ, M. (2011): Deep-seated gravitational slope deformations in the highest parts of the Czech Flysch Carpathians: Evolutionary model based on kinematic analysis, electrical imaging and trenching. *Geomorphology*, 129, 92–112.
- PÁNEK, T., SMOLKOVÁ, V., HRADECKÝ, J., BAROŇ, I., ŠILHÁN, K. (2013): Holocene reactivations of catastrophic complex flow-like landslides in the Flysch Carpathians (Czech Republic / Slovakia). *Quaternary Research*, 80, 33–46.
- PEDERSEN, M.L., OVESEN, N.B., FRIBERG, N., CLAUSEN, B., LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A. (2004): Hydromorphological assessment protocol for the Slovak Republic. Annex 1. In *Establishment of the Protocol on Monitoring and Assessment of the Hydromorphological Elements*. Twinning Project TLP 01–29.
- PITON, G., CARLADOUS, S., RECKING, A., TACNET, J.M., LIÉBAULT, F., KUSS, D., QUEFFÉLÉAN, Y., MARCO, O. (2017): Why do we build check dams in Alpine streams? An historical perspective from the French experience. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42, 91–108.
- POLÁŠEK, J. (2006): Tradice výroby a zpracování železa v Beskydech a Pobeskydí: Plavení dřeva a zaniklé výrobní objekty v oblasti Moravskoslezských a Slezských Beskyd. Muzeum Beskyd, Frýdek-Místek.
- POLOHA, M. (2010): Co s našimi potoky a řekami? Zpravodaj CHKO Beskydy 3, 2–2.
- POUX, A-S., GOB, F., JACOB-ROUSSEAU, N. (2011): Reconstitution des débits des crues artificielles destinées au flottage du bois dans le massif du Morvan (centre de la France, XVIe-XIXe siècles) d'après les documents d'archive et la géomorphologie de terrain. *Géomorphologie – Relief, Processus, Environment*, 17, 2, 143–156.
- PRECISO, E., SALEMI, E., BILLI, P. (2012): Land use changes, torrent control works and sediment mining: effects on channel morphology and sediment flux, case study of the Reno River (Northern Italy). *Hydrological Processes*, 26, 1134–1148.
- REMEŠ, B. (1895): Průvodce po Bezkydách a Moravském Valašsku. Klub českých turistů, Praha.
- RINALDI, M., SURIAN, N., COMITI, F., BUSSETTINI, M. (2013): A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the morphological quality index (MQI). *Geomorphology*, 180–181, 96–108.
- SEDALP (2015): Work Package 6 – Interactions with structures. Alpine Space European Project, Munich.
- STACKE, V., PÁNEK, T., SEDLÁČEK, J. (2014): Late Holocene evolution of the Bečva River floodplain (Outer Western Carpathians, Czech Republic) as a record of interaction between erosion-prone catchment and environmental change. *Geomorphology*, 206, 440–451.

- ŠILHÁN, K. (2014): Chronology of processes in high-gradient channels of medium-high mountains and their influence on the properties of alluvial fans. *Geomorphology*, 206, 288–298.
- ŠILHÁN, K. (2015): Frequency, predisposition and triggers of floods in Flysch Carpathians: regional study using dendrogeomorphic methods. *Geomorphology*, 234, 24–253.
- 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 ve Slezsku*, 17, 199–204.
- ŠKARPICH, V., HRADECKÝ, J., DUŠEK, R. (2013): Complex transformation of the geomorphic regime of channels in the forefield of the Moravskoslezské Beskydy Mts: case study of the Morávka River (Czech Republic). *Catena*, 111, 25–40.
- ŠKARPICH, V., KAŠPÁREK, Z., GALIA, T., HRADECKÝ, J. (2016): Antropogenní impakt a jeho odezva v morfologii koryt beskydských šterkonosných toků: příkladová studie řeky Ostravice, Česko. *Geografie*, 121, 1, 99–120.
- ŠTIKA, J. (1973): Etnografický region Moravské Valašsko, jeho vznik a vývoj. *Profil*, Ostrava.
- TICHAŤSKÝ, R., ŠILHÁN, K., TOLASZ, R. (2014): Origin, triggers and spatio-temporal variability of debris flows in high-gradient channels (A case study from the culmination part of the Moravskoslezské Beskydy Mts.; Czech Republic). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9, 3, 5–16.
- TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERIANOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2007): *Climate Atlas of Czechia*. Český hydrometeorologický ústav, Palackého univerzita, Praha, Olomouc.
- VÍCHA, Z., JAŘABÁČ, M., OCEÁNSKÁ, Z., BÍBA, M. (2010): Vliv horských cest na odtoky z horských lesnatých povodí. *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 54, 231–237.
- VOZNICOVÁ, T. (2008): Changes in the land use in the cadastral territory of Morávka. *Diplovská práce Ostravské univerzity, Přírodovědecká fakulta*, Ostrava.
- WISTUBA, M., SADY, A. (2011): Walachian colonisation on mountain ridge recorded in alluvia of the Škorňanský stream (The Moravskoslezské Beskydy Mts., Western Carpathians, Czech Republic). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 11, 18–27.
- WOHL, E. (2006): Human impacts in mountain streams. *Geomorphology*, 3–4, 217–248.
- WYŻGA, B., ZAWIEJSKA, J., RADECKI-PAWLIK, A., HAJDUKIEWICZ, H. (2012): Environmental change, hydromorphological reference conditions and the restoration of Polish Carpathian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 1213–1226.
- ZUNA, J. (2008): *Hrazení bystrin*. Skripta ČVÚT, Praha.

SUMMARY

Morphological response of channels to long-term human interventions in mountain basins on the example of the Moravskoslezské Beskydy Mts (Czechia)

Mountain streams are an integral and sensitive part of the fluvial network and are generally perceived as relatively natural components when compared to streams in urbanised areas. However, recent studies pointed out the long-term anthropogenic impacts on small streams draining the most of European mountains (e.g. Wohl 2006, Comiti 2012). Together with a very dynamic nature of mountain streams it is a challenging task to describe reference conditions

of small mountain channels for the purpose of hydromorphological assessment and design of stream restorations. The paper summarises interactions between human and mountain streams, using the example of the Moravskoslezské Beskydy Mts. (Western Carpathians, Czechia). The indirect impacts are represented by significant changes in land use in mountain basins. Deforestation since the beginning of Wallachian colonisation (16th century) probably accelerated the sediment supply from hillslopes into local channels. Exceeded transport capacity of small mountain streams could lead to the development of anabranching pattern even in some confined channel reaches (Fig. 2). In addition, significant overbank sedimentation in the Bečva River (the foothills of the Moravskoslezské Beskydy Mts) was observed as a consequence of Wallachian colonisation (Stacke, Pánek, Sedláček 2014). The role of Little Ice Age on the acceleration of sediment supply remains uncertain. However, the reforestation took place since the second half of the 19th century. These changes in land cover most likely decelerated the sediment supply of coarse material from hillslopes into channels (Fig. 3). By contrast, increased supply of suspended sediment was observed in managed forests as a result of erosion of unpaved roads (Buzek 1981, 2004, 2007). Debris-flow activity in the steepest headwater parts has been most likely accelerated since the 1970s owing to the deforestation of mountain ridges caused by emissions from the Ostrava agglomeration (Tichavský, Šilhán, Tolasz 2014; Šilhán 2014, 2015).

The beginning of direct human impacts on Beskydian streams was connected with timber floating between the end of the 18th and the beginning of the 19th century and the Second World War (Polášek 2006). The channels with regular transport of logs were cleaned of obstructions (i.e., large boulders, instream wood, riparian vegetation) and increased discharges during timber floating together with the loss of natural hydraulic roughness elements resulted in a slow channel narrowing and incision (Fig. 5). The strict removal of instream wood by local forest management has been preserved nowadays, when direct relationship between the decrease of large wood pieces and increasing watershed areas was obtained for an evaluated set of Beskydian headwater streams (Fig. 6). However, the most significant changes in stream morphology were observed in check-dam managed streams. The check-dams accompanied by bank stabilisations have been constructed from 1906 on and a 150 km length of managed streams occurs in the study area today (Jařabáč, Bělský 2008; Fig. 4). These constructions decrease the potential for biota migration and disturb both longitudinal and lateral sediment connectivity. Decreased bedload transport rates have turned into downstream bed sediment coarsening and sediment deficit in the downstream channel reaches (Galia et al. 2016; Galia, Škarpich 2017). Observed human interventions in studied streams did not notably differ from other European mountain ranges (e.g. Wohl 2006, Bucala 2014).

Geomorphic processes in mountain headwater channels significantly differ from lowland rivers. Thus, the hydromorphological assessment of small mountain streams ($A < 100 \text{ km}^2$; $S > 0.03 \text{ m/m}$) should take into consideration: (i) the sediment supply at the watershed scale reflecting the current land use, (ii) the lateral and longitudinal connectivity of sediments and biota in the longitudinal stream profile and (iii) the presence of instream wood as important natural elements of channels. Large wood jams had been certainly common in Beskydian mountain streams before the first human interventions (Fig. 7).

- Fig. 1 A comparison of mountain stream morphology under different lithologic conditions with similar drainage areas and channel gradients: a - crystalline rocks of the Bohemian Massif (Hrubý Jeseník Mts, the Bílá Opava Stream), b - flysch rocks of the Outer Western Carpathians (Moravskoslezské Beskydy Mts, the Veřmiřovský Stream). Photos by T. Galia.
- Fig. 2 A comparison of the pattern of the Čeladenka Stream: (a) historic map of the Second Military Survey in 1836-1852 (data source: 2nd Military Survey, Section No. O-7-X, Austrian State Archive/Military Archive, Vienna); (b) present topographic map of Czechia. Data source: State Administration of Land and Cadastre).
- Fig. 3 Land use changes in the Slavíč basin (right-side tributary of the Morávka River): A - land use in 1836-1852 (2nd Military Survey); B - land use in 2006; legend: 1 - built-up area; 2 - arable land; 3 - forest; 4 - water bodies; 5 - permanent crops; 6 - other land use; 7 - grassland. Data source: Voznicová 2008.
- Fig. 4 Examples of the channelization works in the Moravskoslezské Beskydy Mts outside the intensive built-up area: a - preserved grade-control structure in the headwater area of the Malý Lipový Stream, constructed in 1928, b - riprap and paved bank stabilisations in the Bystrý Stream. Photos by T. Galia.
- Fig. 5 The impact of timber floating on mountain channels in the Moravskoslezské Beskydy Mts. a - the reconstructed Kyčerov artificial dam, the Ostravice basin (photo: T. Galia); b - preparation for timber floating; note the banks without riparian vegetation (source: Album Valašska 1898); c - incised and relatively homogeneous channel reach of the Velký Stream as a probable consequence of the historic regular timber floating (photo: T. Galia).
- Fig. 6 Relationship between the occurrence of instream large wood and basin area (left) and instream large wood and channel gradient (left) in selected channel reaches of Beskydian mountain streams (data source: authors).
- Fig. 7 Wood jam in an unnamed tributary of the Mazák Stream (Natural monument Mazácký Grúník). Photo: T. Galia.