

Efekt listového opadu při formování korytové morfologie step-pool vysokogradientových toků v Moravskoslezských Beskydech

LIBOR BORÁK

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: Libor.Borak@osu.cz

ABSTRACT **The role of foliar litter-fall in forming channel morphology step-pool of high-gradient streams in Moravskoslezské Beskydy Mts.** – Channel morphology step-pool represents a morphodynamic complex influenced by large woody debris and litter-fall. The aim of this paper is to determine the impact of litter-fall on the channel morphology step-pool. General conclusions regarding the influence of litter-fall on channel morphology step-pool were based on results of geomorphological analyses. The study showed differences between river segments with or without foliated steps. The pools following foliated steps have a finer grain size composition of sediment. They are also larger, shallower and have a higher retention capacity. Foliated steps help to decrease potential energy of water more effectively. If the litter-fall is permanently preserved at the step, it makes it more resistant to extreme water flows. As a result, it enables the development of a fully functional channel morphology step-pool.

KEY WORDS litter-fall – channel morphology step-pool – grain size analyses – foliated channel morphology step-pool – Moravskoslezské Beskydy Mts.

BORÁK, L. (2017): Efekt listového opadu při formování korytové morfologie step-pool vysokogradientových toků v Moravskoslezských Beskydech. *Geografie*, 122, 1, 83-99.

Do redakce došlo v červenci 2015, přijato do tisku v květnu 2016.

1. Úvod do problematiky korytové morfologie *step-pool* a její parametrizace

Detritus neboli listový opad vstupující do fluviálních geosystémů je důležitá proměnná s potenciálem ovlivňovat morfologii koryta i přilehlé nivy. Listovým opadem rozumíme veškeré zbytky olistění v různých fázích rozkladu, nacházející se v zájmovém segmentu toku. V prostředí vysokogradientových koryt může listový opad ovlivňovat parametry průtočnosti stupňů, čímž dojde ke změně kinetické energie a transportního potenciálu vody (Gippel 1995). Listový opad se v tomto případě může chovat jako tmel či armovací činitel, čímž může aktivně ovlivňovat průtok vody stupněm. Výsledkem nuancí klíčových parametrů stupňů může být zvýšená sedimentace jemnější zrnitostní frakce materiálu a vyšší objem vody, který je tok s to v korytě pojmout (Příbyla 2009). Cílem práce bylo identifikovat a popsat roli listového opadu ve fluviálních geosystémech. Zda se díky jeho přítomnosti mění zrnitostní složení tůní, retenční kapacita koryta či případně zda dochází k morfometrickým změnám v korytě.

Míra ovlivnění listovým opadem je především závislá na prosté přítomnosti zdrojů tohoto opadu. V rámci Moravskoslezských Beskyd hovoříme o místech s přírodě blízkou dřevinnou skladbou, ve které dominuje bukový porost (*Fagus sylvatica* L.) a intenzitě dotace listů do vodního toku, ale i na lokálních morfometrických parametrech koryta. Listový opad má potenciál aktivně ovlivňovat vodní tok pouze v případě přítomnosti mikroforem v příčné poloze vůči proudnici toku. Konkrétně hovoříme o aluviálních stupních, které jsou typické pro kaskádovou korytovou morfologii a korytovou morfologii *step-pool*. Zatímco akumulace listů je v kaskádové korytové morfologii vlivem značné kinetické energie toku zanedbatelná, tak u korytové morfologie *step-pool* je akumulace listů běžná, protože se vlivem nižšího gradientu vytvářejí podmínky umožňující akumulaci a dočasnou stabilizaci tohoto listů po převážnou část roku.

Korytová morfologie *step-pool* je první čistě aluviální typ vysokogradientového koryta s proměnlivou morfologií (obr. 1). Zpravidla navazuje na kaskádovou korytovou morfologii v místech poklesu potenciační energie toku pod kritickou hodnotu rezistence stupně. Tento typ koryta charakterizuje pravidelné střídání stupňů, tvořených převážně hrubými klasty a tůní, kde převažují klasty jemnější (Montgomery, Buffington 1997; resp. Montgomery, Buffington 1998). Od kaskádové korytové morfologie se liší především délkou tůní, které jsou vždy 1–4krát delší, než je jejich šířka. Druhým diferenciacním faktorem je jemnější zrnitostní složení, které je dané přítomností klidnějších segmentů toku (tůně), kde za normálních korytových průtoků dochází k sedimentaci i jemnozrnějšího materiálu.

Korytová morfologie *step-pool* je transportní typ korytové formy s dynamickou rovnováhou mezi erozí a akumulací (Gomi a kol. 2003), která se váže na určitý rozsah sklonu. Významné odchylky přesahující prahy rezistence v rovnováze těchto fluviálních geosystémů mají za následek transformaci této formy ve formu



Obr. 1 – Korytová morfologie *step-pool* na toku Satina (2015)

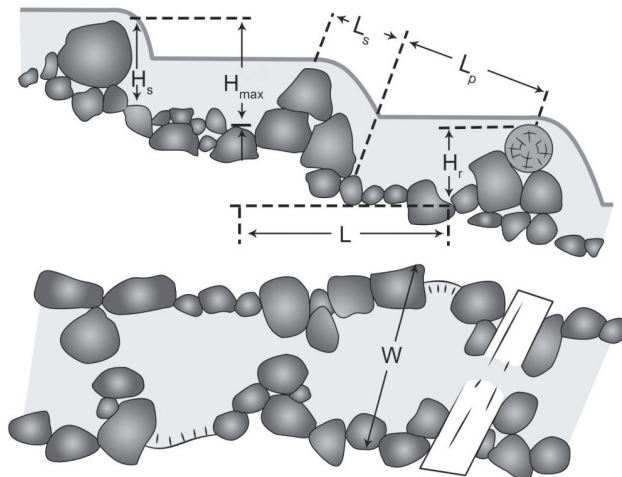
jinou. Hlavní podmínkou vzniku a fungování korytové morfologie *step-pool* je příznivý sklon. Wilcox a Wohl (2007) uvádějí rozpětí sklonu od 2 do 10 %, resp. $0,02-0,2 \text{ m.m}^{-1}$, přičemž optimální sklon je 5–7 %. Dalším faktorem je přítomnost tzv. klíčových klastů či fragmentů říčního dřeva, které umožňují akumulaci menších, v korytě méně stabilních klastů (Zimmermann, Church 2001).

Nejdůležitější funkcí stupňů je snižování energie toku, což je možné díky jejich příčné orientaci vůči proudnici a vyšší hydraulické drsnosti. Tyto stupně jsou tvořeny již zmíněnými klíčovými klasty. Klíčové klasty dosahují velikosti 30–50 cm, přičemž ve stupni jich nacházíme zpravidla několik (Chin 2003). Čím větší tyto klasty jsou, tím více bývá stupeň rezistentní vůči vyšším průtokům koryta. Kromě sklonu a velikosti klíčových klastů patří mezi základní morfometrické charakteristiky této korytové morfologie také výška stupně H , délka tůň, respektive délka formace L a šířka koryta W , viz obrázek 2 (Zimmermann, Church 2001).

Proměnlivá morfologie koryta umožňuje vznik přechodných korytových forem, jako je korytová morfologie *step-step* či dílčích subtypů, jako je vynucená korytová morfologie *forced step-pool* a olistěná korytová morfologie *foliated step-pool*.

Vynucená korytová morfologie *forced step-pool* vzniká transformací z kaskádové korytové morfologie tím, že se na příhodných místech akumuluje a stabilizuje

Obr. 2 – Princip měření morfometrických charakteristik korytové morfologie *step-pool* (Zimmermann, Church 2001). L – délka tůň-tůň, H – celkový pokles, H_{max} – maximální pokles mezi stupněm a tůň, H_r – zbytková hloubka tůň, H_s – výška stupně, L_s – délka stupně, L_p – délka tůň.



dřevní hmota a suť, která způsobí lokální pokles gradientu koryta a zvýší sedimentaci před přehrázkou (Abbe, Montgomery 2003). Příhodné morfometrické parametry koryta a jejich relativní stabilita pak mohou umožnit vznik a další vývoj těchto forem. Problematika vynucené korytové morfologie *forced step-pool* je pro tuto práci marginální, mnohem důležitější je problematika olistěné korytové morfologie *foliated step-pool*.

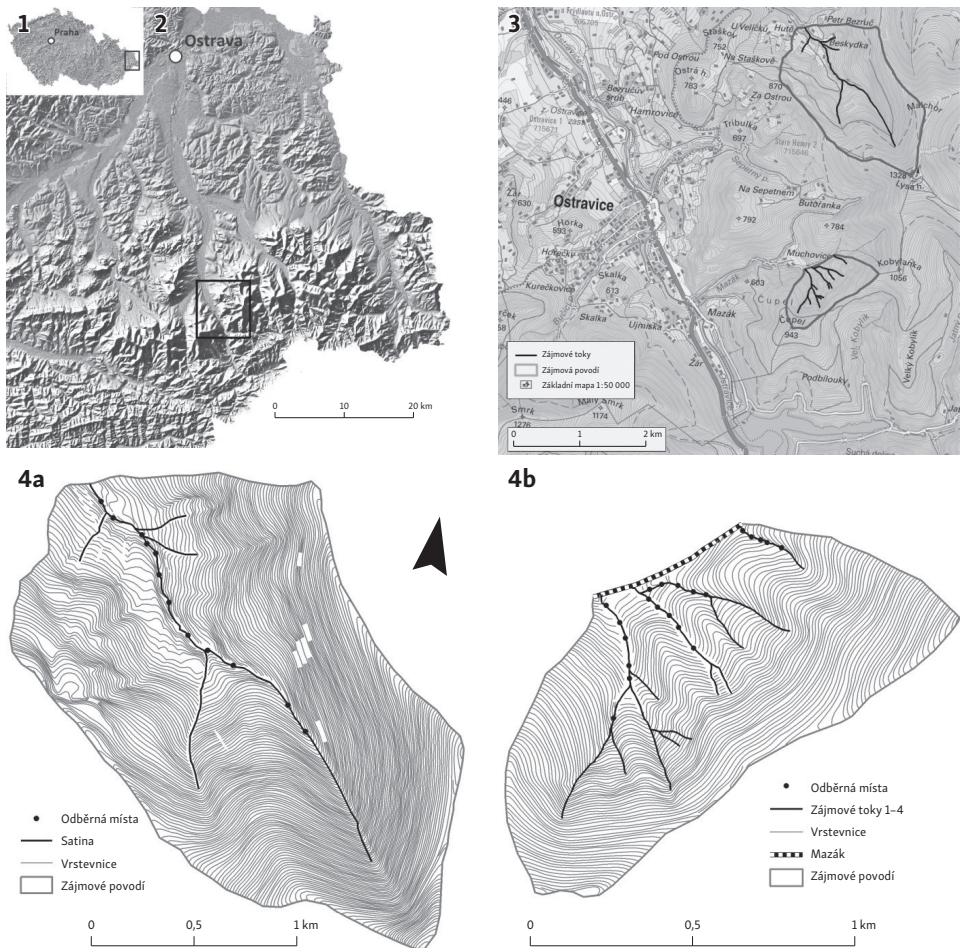
Olistěná korytová morfologie *foliated step-pool* se vyznačuje akumulovanou vrstvou listů a drobného spláví, zejména na koruně, ale i vně stupně, což může měnit morfologické a hydrodynamické vlastnosti jednotlivých tůň (Příbyla 2009). Plně funkční olistěný stupeň by měl mít vliv na zrnitostní složení frakcí v tůni, kde by se měl akumulovat jemnější materiál než v tůni neolistěného stupně a rovněž by měl upravovat morfometrické charakteristiky koryt (Borák 2012).

Listí se do koryt dostává opadem, plošným splachem či činností větru. Nejčastěji se jedná o listí buku lesního (*Fagus sylvatica* L.), vzácněji je možno identifikovat listový opad z javoru kleny (*Acer pseudoplatanus* L.) a jilmu horského (*Ulmus glabra* L.). V příhodných místech je dotace listů dostatečná na to, aby byla olistěná korytová morfologie *foliated step-pool* obratem po jarním tání a případné destrukci doplněna o listí nacházející se dosud na svazích strže, čímž je cyklus akumulace–stability–destrukce urychlen.

K perforaci stupně, z toho vyplývající destrukci tůň a vyplavení jemného sedimentu, dochází v intervalu průtoků N_1 – N_5 . Z časového hlediska jsou stupně vlivem vyšší energie nutné k jejich destrukci stabilnější korytovou formou než tůň (Lenzi 2001). Lenzi uvádí, že k destrukci stupňů a k celkové reorganizaci koryta dochází při průtocích N_{30} – N_{50} .

2. Studované území

Výzkum probíhal v Moravskoslezských Beskydech. Toto pohoří má v rámci ostatních pohoří Česka specifické postavení, protože se jedná o pohoří flyšové. Termín flyš pochází z němčiny (*fließten – téct*) a reprezentuje komplex vrstev sedimentárních hornin, pro které je příznačné rytmické střídání různě mocných vrstev psamitických a pelitických hornin (Mahel' 1986). Flyš je svým charakterem náchylnější k morfológickým změnám, které se projevují zvýšenou dynamikou území. Můžeme tak identifikovat široké spektrum erozně-akumulačních forem reliéfu, které se na zvýšenou morfológickou dynamiku území vážou. Ve vyšší míře se uplatňuje fluvialní modelace terénu, což je dáno strukturální predispozicí flyše



Obr. 3 – Lokalizace zájmových území Satina a Mazák

hůře odolávat energii vodního toku. Děje se tak zejména v územích s vysokým sklonem svahů a rostoucí plochou dílčích subpovodí. Pro vodní toky na flyšovém podloží je charakteristická tendence k výraznému zahlubování v erozních a transportních partiích toku a k tvorbě rozsáhlých náplavových kuželů na úpatí svahů. Toky na flyši mají dobře odlišitelnou erozní, akumulaci a sedimentační zónu.

Výše uvedené platí i pro výzkumné lokality Satina a Mazák (obr. 3), na nichž probíhal výzkum. Z geologického hlediska spadají do godulského souvrství (Roth 1980). To je v zájmových územích reprezentováno středně rytmickým flyšem, ve kterém se střídají tenké vrstvy jílovců a prachovců s hrubšími vrstvami jemnozrnných pískovců.

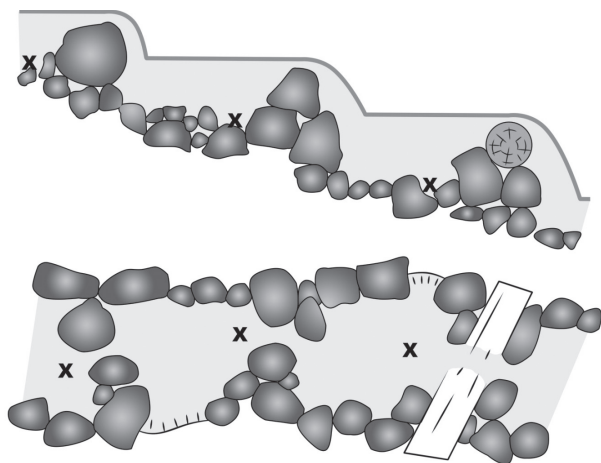
Zájmové území Satina (49°33'26.3" N 18°26'08.1" E) se nachází v Moravskoslezských Beskydech na severozápadním svahu Lysé hory v katastrálním území obce Malenovice. Délka studovaného segmentu toku činí 2,23 km. Plocha zájmového území činí 146 ha, nadmořská výška se pohybuje od 570 do 1323 m n. m. Celé zájmové území spadá do přírodní rezervace Malenovický kotel. Satina je pravostranným přítokem řeky Ostravice.

Zájmové území Mazák (49°31'49.4" N 18°25'43.0" E) se nachází asi 3 km na jihovýchod od Satiny a to na severozápadním svahu hory Čupel v katastrálním území obce Muchovice. Území spadá do přírodní rezervace Mazácký Grúník, hranice přírodní rezervace a zájmového území jsou totožné. Délka studovaných segmentů toku činí 2,12 km. Plocha zájmového území činí 90 ha, nadmořská výška se pohybuje od 550 do 900 m n. m. Zájmové území je výhradně odvodňována tokem Mazák, která tvoří část jeho hranice. Tok Mázák je rovněž pravostranným přítokem řeky Ostravice. Objektem výzkumu nebyl samotný tok Mazák, ale jeho čtyři bezejmenné přítoky (označované ZT1-4), které odvodňují výše zmíněnou rezervaci a jednotlivě do toku Mazák zaústují. Tok ZT3 protéká v délce 220 metrů smrčkovou monokulturou a posloužil tedy jako tok referenční. Byla na něm zjišťována rozdílnost mezi tokem bohatě dotovaným listovým opadem a naopak tokem, kde je množství listového opadu zanedbatelné.

3. Metody

Hlavní tezí byl předpoklad, že listový opad aktivně ovlivňuje morfologii a zrnitostní složení tůní. To je možné pouze v případě, kdy listí účinně snižuje potenciaální energii toku, což se projeví usazováním a stabilizací jemnějšího klastu v tůni. Pokud by toto pravidlo neplatilo, neměly by odebrané vzorky z olistěných a neolistěných stupňů vykazovat odchylky a měly by vykazovat obdobné frakční zastoupení.

Sběr dat pro granulometrickou analýzu probíhal na lokalitě Satina na podzim 2014, lokalita Mazák byla zpracovávána o tři roky dříve. Vzorky byly odebrány



Obr. 4 – Metoda odběru vzorků sedimentů

kovovým sítím s velikostí oka 500 μm , takže ztráty jemné frakce byly při odběru a okapávání síta zanedbatelné. Po okapání byly vzorky baleny do uzavíratelných sáčků a označeny štítkem. Bylo odebráno 12 vzorků na Satině, z toho 7 z tůní olistěných stupňů, 5 z tůní stupňů neolistěných. Dalších 21 vzorků bylo odebráno v lokalitě Mazák, z toho bylo 13 vzorků z tůní olistěných stupňů a 8 z tůní stupňů neolistěných. Celkem bylo provedeno 33 odběrů. Při výběru míst pro odběr vzorků byl kladen důraz na co nejvyšší diferenciaci tůní s olistěnými a neolistěnými stupni. Prioritně vybírány stupně s co nejvyšší nebo naopak co nejnižší pokryvností listím, aby se v co nejvyšší míře projeví rozdíly mezi oběma typy tůní.

Váha odebíraných vzorků byla 300–500 g. Odběr byl proveden u paty stupně, a to v místě kontaktu stupně a proudnice (obr. 4). První podmínkou bylo minimalizovat možné ovlivnění výsledků odběru svahovými sedimenty. Druhou podmínkou je aby byl odběr prováděn mimo dosah působení vodního válce, který vzniká pod předcházejícím stupněm.

Vzorky nám poskytují informaci o zrnitostním složení dolních a středních segmentů zájmových toků, tedy míst, kde se převážně vyskytovala korytová morfolgie *step-pool*. V laboratoři byl každý vzorek prosušen v troubě za stálé teploty 90 $^{\circ}\text{C}$, zvážena a posléze zpracována na soustavě *Fritsch - system3apro*. Nejprve mokrou cestou po dobu 7 minut a rozkmitu 2 mm, po nezbytném prosušení byla použita suchá cesta po dobu 1 minuty při rozkmitu 1 mm. Následně byl obsah jednotlivých sítí o velikosti oka 20; 63; 200; 630; 2 000; 5 000; 10 000 μm zvážena a zaznamenána v programu *Autosieb*. Pro další zpracování bylo použito metodiky amerického ministerstva zemědělství: *General Technical Report RMRS-GTR-74* (Bunte, Abt 2001). Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu *Gradistat*, výstupem je zastoupení zrnitostních frakcí v jednotlivých vzorcích: (A) hlinité částice, bahno (< 0,063 mm); (B) písek (0,063–2 mm); (C) štěrk (> 2 mm). V programu *Gradistat*

| Průměr | | Vytříděnost | | Špičatost | |
|---|-----------|---|-----------|--|--|
| $M = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$ | | $\sigma_1 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$ | | $K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$ | |
| Vytříděnost | | | Špičatost | | |
| velmi dobrá | < 0,35 | velmi platykurtická (plochá) | < 0,67 | | |
| dobrá | 0,35–0,50 | platykurtická | 0,67–0,90 | | |
| středně dobrá | 0,50–0,70 | mesokurtická | 0,90–1,11 | | |
| slabá | 0,70–1,00 | leptokurtická | 1,11–1,50 | | |
| špatná | 1,00–2,00 | velmi leptokurtická | 1,50–3,00 | | |
| velmi špatná | 2,00–4,00 | extrémně leptokurtická (špičatá) | > 3,00 | | |
| extrémně špatná | > 4,00 | | | | |

Obr. 5 – Princip výpočtu analýz vytříděnosti a špičatosti (Folk, Ward 1958)

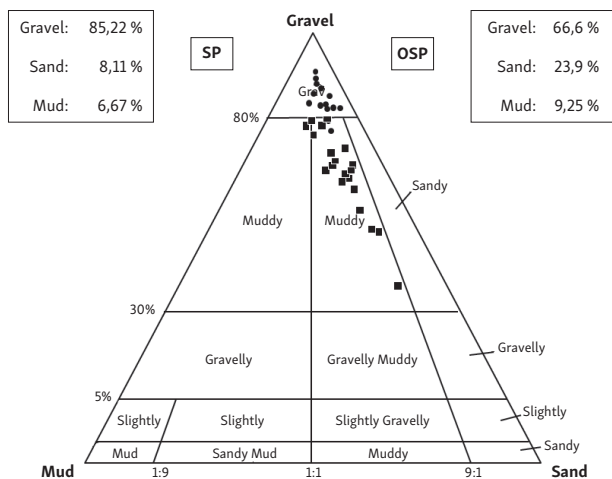
byly vypočteny i charakteristiky vytříděnosti a analýza špičatosti souboru vzorků olistěných a neolistěných formací. Princip výpočtů (Folk, Ward 1958) jakožto i rozdělení do jednotlivých tříd ilustruje obrázek 5.

Charakteristiky stupňů a tůní byly získány dle metodiky od Zimmermann a Church (2001). Pomocí metru s otočnými klouby byly zaměřeny tyto parametry: L ($L_s + L_p$) – délka stupeň-tůně: měřeno od paty stupně po horní okraj tůně; W – šířka koryta: měřeno v nejširším bodě tůně u plného koryta; D_1 (H_{r1}) – hloubka s listím: měřeno v nejhlubším bodě tůně před odstraněním listí ze stupně; D_2 (H_{r2}) – hloubka po odstranění listí: měřeno v nejhlubším bodě tůně po odstranění listí ze stupně; Dif – rozdíl $D_1 - D_2$; F – vizuální posouzení pokryvnosti listí na stupni; H_s – výška stupně: měřeno od paty stupně po jeho korunu; H/L – poměr výška/délka; L/W – poměr délka/šířka, princip získávání morfometrických dat znázorňuje obrázek 2 (upraveno dle Zimmermann, Church 2001). Dle metodiky Chin (2003) byla v lokalitě Mazák získána velikost klastu D_{50} ve stupni, jenž udává střední velikost klíčových klastů tvořících stupeň.

Z důvodů absence hydrologické hlásného profilu v zájmových lokalitách bylo nutno vycházet z údajů naměřených na profilu Ostravice – vodní dílo Šance, který se nachází 2,3 km (Mazák), potažmo 4,9 km (Satina) od zájmových území. Odběr sedimentů probíhal za normální hydrologické situace při průtocích odpovídajících Q_{190} .

4. Výsledky

Výsledky zrnitostní analýzy vykazují rozdílnost frakcí u tůní s olistěným a neolistěným stupněm (tab. 1). Zatímco tůně z neolistěných stupňů mají podíl šterku zpravidla přes 80 %, olistěné stupně mají podíl šterku řádově o několik procent nižší, přičemž je tento rozdíl výraznější ve vzorcích z lokality Mazák. Naopak



Obř. 6 – Folkův diagram (Folk, Ward 1958) znázorňující podíl rozložení zrnitostních frakcí odběrů. Kruhy – tůně s neolistěnými stupni; čtverce – tůně s olistěnými stupni.

vzorky ze Satiny vykazují vyšší homogenitu. Štěrk bývá v tůních olistěných stupňů nahrazován písčitou frakcí. Podíl nejjemnější, bahnito-písčité frakce je vesměs konstantní napříč vzorky. Její přítomnost je způsobena nižšími průměrnými průtoky při odběru vzorků. Při nadprůměrných průtocích bývá bahno a jemný písek vyplavován do nižších partií po proudě toku.

Na obrázku 6 je znázorněno rozložení hodnot tůni z neolistěných a neolistěných stupňů. Zobrazené rozdíly mezi jednotlivými vzorky neolistěných stupňů jsou minimální, avšak vykazují rozdíl oproti tůním olistěných stupňů, u nichž je vyšší podíl písku na úkor štěrku. Zatímco účinnost snižování energie je u neolistěných stupňů víceméně konstantní, rozdíly mezi jednotlivými olistěnými stupni jsou výraznější, což je dáno rozdílnou účinností listového opadu snižovat potenciaální energii v jednotlivých segmentech toku.

Z výsledků analýzy vytrříděnosti vyplývá, že vzorky jsou převážně špatně vytrříděné, což je dáno charakterem a délkou transportu. Vzorky z tůni neolistěných stupňů vykazují vyšší stupeň vytrříděnosti než vzorky z olistěných stupňů, což je stejně jako u předchozí analýzy způsobeno účinným snižováním potenciaální energie toku listovým opadem, což umožňuje selektivní sedimentaci materiálu.

Analýza špičatosti ukazuje, že existuje rozdíl mezi vzorky z tůni olistěných a neolistěných stupňů. Vzorky z tůni neolistěných stupňů vykazují větší rozsah hodnot spadajících do širší škály intervalů od zploštělého (platykurtického) rozdělení, až po velmi špičaté, tedy silně leptokurtické rozdělení. Vzorky z olistěných stupňů jsou homogennější a nabývají hodnot od platykurtického rozdělení po rozdělení leptokurtické. Rozdíl mezi souborem vzorků z olistěných a neolistěných morfologií je pravděpodobně způsoben vyššími fluktuacemi hydraulických parametrů vně tůně u neolistěných stupňů. Konkrétní zastoupení frakcí,

Tab. 1 – Zastoupení frakcí sedimentární výplně tůní z neolistěných a olistěných stupňů (%) a hodnota D_{50} (μm) v zájmových oblastech

| ID vzorku | štěrky (%) | písek (%) | bahno (%) | D_{50} (μm) | vytříděnost | špičatost |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|----------------------------|-------------|-----------|
| MAZÁK – neolistěné stupně | | | | | | |
| 1.1 | 81,2 | 11,7 | 7,1 | 5 989 | 1,34 | 1,65 |
| 1.6 | 84,3 | 11,4 | 4,3 | 4 921 | 1,12 | 0,86 |
| 2.2 | 91,2 | 3,6 | 5,2 | 7 652 | 0,72 | 1,97 |
| 3.1 | 85,1 | 9,1 | 5,8 | 5 949 | 1,01 | 1,42 |
| 3.2 | 84,2 | 13,2 | 2,7 | 4 512 | 1,00 | 0,80 |
| 3.3 | 87,1 | 9,0 | 3,9 | 6 242 | 0,62 | 0,69 |
| 4.1 | 92,9 | 2,6 | 4,5 | 8 199 | 0,42 | 1,52 |
| 4.2 | 84,8 | 7,9 | 7,3 | 5 966 | 1,23 | 1,74 |
| MAZÁK – olistěné stupně | | | | | | |
| 1.2 | 66,1 | 24,6 | 9,3 | 4 173 | 2,03 | 0,86 |
| 1.3 | 53,1 | 37,3 | 9,7 | 2 226 | 2,45 | 1,01 |
| 1.4 | 37,8 | 52,5 | 9,8 | 1 304 | 2,48 | 1,38 |
| 1.5 | 52,3 | 39,1 | 8,5 | 2 145 | 2,37 | 1,25 |
| 2.1 | 74,1 | 19,6 | 6,3 | 4 113 | 1,66 | 1,19 |
| 2.3 | 63,3 | 27,4 | 9,3 | 3 045 | 2,31 | 1,09 |
| 2.4 | 68,3 | 17,7 | 13,9 | 3 932 | 2,37 | 0,93 |
| 2.5 | 72,6 | 16,7 | 10,7 | 3 761 | 2,03 | 1,23 |
| 3.4 | 57,8 | 31,7 | 10,4 | 2 605 | 2,20 | 1,05 |
| 3.5 | 70,0 | 18,9 | 11,1 | 4 097 | 1,89 | 0,98 |
| 4.3 | 69,9 | 23,4 | 6,7 | 3 795 | 2,01 | 1,15 |
| 4.4 | 65,1 | 23,6 | 11,3 | 3 143 | 2,30 | 1,38 |
| 4.5 | 67,2 | 23,1 | 9,7 | 3 958 | 2,15 | 1,23 |
| SATINA – neolistěné stupně | | | | | | |
| 5.1 | 80,1 | 10,5 | 9,4 | 6 342 | 1,01 | 1,60 |
| 5.2 | 80,3 | 6,5 | 13,2 | 3 995 | 0,89 | 1,28 |
| 5.8 | 88,9 | 6,1 | 5,0 | 6 368 | 0,63 | 0,77 |
| 5.10 | 77,8 | 9,6 | 12,6 | 6 749 | 1,12 | 1,43 |
| 5.11 | 90,0 | 4,3 | 5,7 | 9 775 | 0,56 | 1,43 |
| SATINA – olistěné stupně | | | | | | |
| 5.3 | 75,4 | 14,8 | 9,8 | 6 126 | 1,88 | 1,13 |
| 5.4 | 74,0 | 20,0 | 6,0 | 4 582 | 1,61 | 1,30 |
| 5.5 | 77,6 | 14,8 | 7,6 | 6 656 | 1,52 | 1,15 |
| 5.6 | 71,1 | 17,6 | 11,2 | 6 267 | 2,00 | 0,89 |
| 5.7 | 69,7 | 18,6 | 11,7 | 3 550 | 2,13 | 1,07 |
| 5.9 | 78,6 | 13,7 | 7,7 | 4 579 | 1,56 | 1,42 |
| 5.12 | 68,3 | 23,9 | 7,8 | 2 759 | 2,26 | 0,97 |

Zdroj dat: vlastní měření

jakožto i charakteristiku hodnoty D_{50} , vytříděnost a špičatost vzorků znázorňuje tabulka 1.

Důležité je porovnání referenčního segmentu toku ZT3, ze kterého byly odebírány 3 vzorky a jejich poloha v diagramu. Vzorek 3.4, který byl odebírán

Tab. 2 – Parametry korytové morfologie *step-pool* v zájmových územích Mazák a Satina

| SATINA | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|--------|--------|---------------------|---------------------|----------|-------|---------------------|------|------|----------------------|
| | n | L (cm) | W (cm) | D ₁ (cm) | D ₂ (cm) | Dif (cm) | F (%) | H _s (cm) | H/L | L/W | |
| olistěný | 30 | 231,8 | 120,8 | 14,33 | 10,60 | 3,73 | 79,3 | 31,9 | 0,24 | 1,29 | |
| neolistěný | 51 | 211,5 | 112,0 | 15,03 | 13,79 | 1,24 | 10,4 | 27,7 | 0,25 | 1,15 | |
| celkem | 81 | 230,7 | 117,6 | 14,8 | 12,14 | 2,66 | 57,3 | 30,6 | 0,24 | 1,25 | |
| MAZÁK | | | | | | | | | | | |
| | n | L (cm) | W (cm) | D ₁ (cm) | D ₂ (cm) | Dif (cm) | F (%) | H _s (cm) | H/L | L/W | D ₅₀ step |
| olistěný | 34 | 131,2 | 108,1 | 14,98 | 10,86 | 4,12 | 82,3 | 33,1 | 0,25 | 1,21 | 37,2 |
| neolistěný | 103 | 109,6 | 96,5 | 15,19 | 13,43 | 1,76 | 18,0 | 29,9 | 0,27 | 1,14 | 40,4 |
| celkem | 137 | 122,9 | 103,4 | 15,07 | 12,37 | 2,70 | 61,4 | 31,6 | 0,26 | 1,19 | 38,1 |

Zdroj dat: vlastní měření

Vysvětlivky: n – počet identifikovaných stupňů s tůň, L – délka stupeň–tůň, W – max. šířka koryta, D₁ – hloubka tůně s listím na stupni, D₂ – hloubka tůně po odstranění listí ze stupně, Dif – rozdíl D₁–D₂; F – pokryvnost listí na stupni; H_s – výška stupně v nejvyšším bodě; H/L – poměr výška/délka; L/W – poměr délka/šířka, D₅₀ step – velikost 5 největších klastů ve stupni.

na horním okraji smrkové monokultury, polohopisně již spadá do smrkového lesa, avšak vykazuje podobné proporce, jako ostatní vzorky z lesa bukového. To je způsobeno opožděnou reakcí korytové morfologie *step-pool* na pokles dotace listovým opadem v korytě. Vzorek byl dotován splachem a navátím listí z horních částí toku, což umožnilo vznik sekvence olistěných stupňů v jinak homogenním smrkovém porostu. Oproti tomu vzorek 3.1 byl odebírán již v bukovém segmentu. Stupeň zde vykazuje velmi podobné vlastnosti jako vzorky odebrané z referenční smrkové oblasti. To je způsobeno zanedbatelným splachem a obecně slabou dotací listí do koryta. Zároveň to ovšem dokazuje, že vodní tok opouští smrkovou monokulturu se zvýšenou kinetickou energií, protože jehličnatý opad je oproti listovému méně účinný při snižování této energie. Z těchto skutečností lze vyvodit závěr, že listový opad podporuje tvorbu a trvalou existenci korytové morfologie *step-pool* v korytech s vyšším spádem, než je tomu u koryt se stejným gradientem protékajícími oblastmi s nízkou či nulovou dotací listového opadu. V takovýchto segmentech se na úkor korytové morfologie *step-pool* častěji uplatňuje kaskádová korytová morfologie či morfologie planární.

Při terénním výzkumu bylo identifikováno celkem 137 stupňů s tůň v lokalitě Mazák a 81 stupňů s tůň na Satině. Nejdélší sekvence korytové morfologie *step-pool* měla bez přerušení devět tůň a stupňů. Vlivem proměnlivosti morfogenetických parametrů se korytová morfologie *step-pool* vyskytovala v malých formacích, skládajících se nejčastěji ze 3 stupňů a tůň. Rozdíly mezi tůňemi olistěných a neolistěných stupňů jsou patrné z tabulky 2. Olistěné stupně mají tůně sice mělké, ale také rozměrnější a objemnější. Po odstranění listí ze stupně však často ztrácí svoje typické vlastnosti vyplavováním jemného materiálu z tůň. Odstranění listí rovněž snižuje rezistenci stupně vůči kinetické energii toku, kdy dochází k erozivnímu působení vody jejím protékáním skrze stupeň. Může tak dojít k destrukci

stupně a vzniku planární korytové morfologie. Hodnota D_{50} byla měřena pouze v lokalitě Mazák, v lokalitě Satina byly jednotlivé stupně ponechány za účelem dlouhodobého monitoringu korytové morfologie *step-pool* v tomto území.

5. Diskuze

Výsledky provedené komplexní analýzy toků v obou zájmových oblastech verifikují základní hypotézu práce, že listový opad má potenciál aktivně ovlivňovat morfologii dna toku na flyšovém horninovém podloží. Zjištěné parametry olistěných stupňů jsou v obecné shodě s výsledky Příbyly a Hradeckého (2009) a Příbyly (2009), lze však nalézt i některé rozdíly zejména v metrických výstupech. To může být způsobeno odlišností parametrů posuzovaných koryt, rozdílnými hydrologickými podmínkami při sběru dat, či metodikou práce. Tůně na olistěných stupních vykazují oproti Příbylovi (2009) jemnější zrnitostní složení s vyšším podílem částic jemného písku. To může být způsobeno nižšími průměrnými průtoky, které předcházely odběru vzorků, kdy tok s nízkou energií umožnil v tůních sedimentaci jemných částic, které by byly při vyšším průtoku vyplaveny a také díky sítu s malým okem (500 μm), které umožnilo objektivnější odběr, protože nedocházelo k tak výraznému vyplavování jemného materiálu.

Odlišné jsou i zjištěné rozměry tůní. Tůně v této práci jsou v průměru o několik cm užší a v případě Mazáku i kratší než u jiných autorů (Wilcox, Wohl 2004, 2007), resp. (Chin 2002). Tuto skutečnost přisuzují vyššímu sklonu koryta, protože se převážná část sledovaných segmentů koryt nachází na svazích se sklonem přesahujícím 10° , kde již převažuje kaskádová korytová morfologie. Základní parametry stupňů a tůní jsou srovnatelné naměřeným hodnotám při podobných gradientech koryta (Wohl, Wilcox 2004). Postupným kvantitativním hodnocením výsledků jednotlivých prvků a procesů korytového systému byly zjištěny projevy chování, vývoje a funkce zájmových toků.

Výsledky zrnitostní analýzy prokázaly, že je rozdíl mezi tůní olistěného a neolistěného stupně. Tůně olistěných stupňů jsou širší, delší ale mělké než tůně neolistěných stupňů. Dále jsou schopny zadržet větší objem vody, ale pouze pokud je zachováno olistění stupně. Ačkoliv tůně olistěných stupňů vykazovaly dobrou rezistenci vůči zvýšeným korytovým průtokům je nutné konstatovat, že pro vyvozování korektních závěrů je v tomto směru třeba delší monitoring zájmové lokality.

U stupňů je situace prokazatelnější než u tůní. Především olistěný stupeň je v čase stabilnější formou koryta než stupeň neolistěný. Listí pomáhá lépe stabilizovat stupeň zejména tím, že snižuje jeho průtočnost. Snižování průtočnosti stupně je umožněno díky efektu imbrikace listového opadu na stupni. Tato skutečnost umožňuje stabilizaci i menšímu klastu, který stupeň utěsní. Voda je pak ve vyšší

míře nucena stupeň překonávat přetečením, což snižuje její energetický potenciál. Je však nutno zdůraznit, že pokud dojde k odstranění listů ze stupně, dochází často odplavení materiálu ze stupně a ztrátě charakteristických vlastností tůň.

Stabilita v čase byla hodnocena i na základě experimentu, kdy bylo odstraněno listů ze stupňů na několika zájmových segmentech. Listů bylo odstraněno z 21 stupňů. U 6 stupňů došlo k transformaci korytové morfologie ve formu (pseudo)planární s nevýrazným stupněm. Tato transformace je zpravidla rychlá, většinou v řádu několika minut. Výsledky experimentu jsou použitelné pro normální korytové průtoky (Q_{190}). Pokud by byl průtok vyšší, tak lze očekávat vyšší a rychlejší intenzitu transformace stupně a naopak. Většina transformovaných stupňů se nacházela v místech se sklonem přesahujícím 10°, což lze považovat další důkaz tvrzení, že listový opad umožňuje existenci korytové morfologie *step-pool* v partiích toku, které by bez této dotace byly tvořené výlučně kaskádovou korytovou morfologií. Listů má v tomto fluviální geosystému stabilizační funkci. Ztráta olistění z celé sekvence olistěných stupňů může vést k překročení rezistence korytové morfologie *step-pool* vůči energii vody, čímž dojde k reorganizaci koryta.

Absolutní podíl pískových částic je úměrný účinnosti listového stupně snižovat potenciaální energii toku. Olistěný stupeň je účinnější překážkou pro tok, kdy výrazněji než stupeň neolistěný snižuje energii toku. Důkazem tohoto tvrzení je sedimentace jemnější zrnitostní frakce v tůňích a skutečnost, že v místech s převládajícími olistěnými stupni se méně často vyskytují přechodné formy koryt a vyvíjí se zde pravidelná korytová morfologie *step-pool*. Poměr jemnozrnného písku a jílu je konstantní bez ohledu na to, zda se jedná o tůň olistěného či neolistěného stupně. Jeho prostá přítomnost odráží hydrologické podmínky, které panovaly před a během odběru vzorků, kdy byly průtoky v jednotlivých zájmových tocích nižší, což umožnilo dočasnou sedimentaci jemnozrnného materiálu v tůňi. Některé z výsledků lze plně verifikovat až po delším časovém horizontu sledování. Analýza závislosti zrnitostních charakteristik s morfometrickými parametry korytové morfologie *step-pool* tudíž stále probíhá.

Ovlivňování koryta listovým opadem není konstantní, ale podléhá roční periodicitě, v níž se bude projevovat jeho relativní přebytek nebo naopak jeho nedostatek. Toto ovlivňování bude vyšší v době defoliace na podzim, a to až do jara, protože intenzita dekompozice bude minimální. Na jaře dojde k fyzickému odplavení listů díky jarnímu tání a zároveň dojde vlivem zvýšení teplot k zintenzivnění aktivity dekompozitorů organické hmoty.

Při porovnání získaných dat z olistěných a neolistěných segmentů toků lze vyvozovat tvrzení, že listový opad je v přímé interakci s korytem. Zatímco v olistěných segmentech toku se běžně vyskytovala korytová morfologie *step-pool* i při sklonech přesahujících 10°, v neolistěných segmentech byla tato morfologie zcela potlačena na úkor kaskádové korytové morfologie. Jehličnatý opad neposkytuje stupňům dostatečnou podporu a při vyšších průtocích bývají stupně často

přebudovány. Koryto i při relativně příznivém sklonu nemůže dosáhnout stavu dynamické rovnováhy, protože neustále čelí disturbancím při nejvyšších ročních průtocích. Jelikož kaskádová korytová morfologie lépe odolává vyšší energii toku, nahrazuje často právě ona korytová morfologie *step-pool* v segmentech bez listového opadu.

Pro přítomnost korytové morfologie *step-pool* v určitém úseku není rozhodující fyzická přítomnost listnatých dřevin striktně v daném místě toku, ale dotace koryta listovým opadem z vyšších segmentů toku. V praxi se to projevuje způsobem, že ačkoliv zájmový tok opouští smrkovou monokulturu a protéká pak dále bukovým porostem, stále si zachovává vlastnosti, které měl v segmentu smrkové monokultury. Je to dáno tím, že korytem není splavováno listí z výše položených míst a tok je odkázán pouze na listový opad v konkrétním místě. Dále pak skutečností, že vodní tok překonávající segment bez listového opadu vykazuje vyšší kinetickou energii, než kdyby tok přitékal ze segmentu bohatého na listový opad. Následná transformace toku při skokové změně druhové skladby lesa (smrk × buk) je povolná díky přítomnosti tzv. nárazníkové zóny. K opětovnému vyvinutí korytové morfologie *step-pool* tak dochází až po několika desítkách metrů.

Olistěná korytová morfologie *foliated step-pool* účinněji zadržuje vodu v krajině a po určitou dobu snižuje extremitu průtoků. Je to dáno tím, že k jejich naplnění dochází pro jejich vyšší retenční kapacitu později a povodňová vlna má méně výrazný nástup. Třebaže přesné kvantitativní vyčíslení objemu vody zadržovaného v těchto systémech bývá zatíženo velkou nepřesností, je nezvratným faktem, že tok s přirozenou dřevinnou skladbou má vyšší protipovodňový potenciál než toky s nepůvodní smrkovou monokulturou. Přítomnost listového opadu v korytě může být jedním z mechanismů, díky nimž je tento autoregulační proces v přirozených geosystémech umožněn.

Hloubka vody u olistěných formací je víceméně konstantní a při změnách průtoků (menší než N_i) nedochází k významnému kolísání hladiny. To má význam zejména při průtocích pod dlouhodobým průměrem, kdy olistěný systém udržuje v toku vyšší množství vody než systém bez listí, což je důležité pro vodní biotu (obojživelníci, bezobratlí).

6. Závěry

Listový opad mění některé morfogenetické parametry korytové morfologie *step-pool*, které mohou modifikovat její charakter. Z výsledků výzkumu lze vyvozovat následující závěry:

- Zvýšení retenční schopnosti systému: tůň s olistěnými stupni jsou mělké, ale plošně větší a objemnější než tůň bez listí, odstraněním listí může docházet ke ztrátě charakteristických morfologických vlastností tůň.

- Snižování průtočnosti stupně: listí působí jako ochranný faktor znesnadňující průtok vody skrze stupně, voda musí stupeň ve vyšší míře přetékat, což snižuje potenciál toku erodovat stupeň.
- Lokální změny drsnosti koryta: listí snižuje drsnost stupně a má vliv na erozi v korytě. Voda, díky vlivu imbrikace listí, překonává stupeň ve vyšší míře přetečením, čímž si za stupněm ponechává vyšší kinetickou energii, než kdyby tekla skrze něj. To se projeví hlubším zahloubením tůň nacházející se pod těmito olistěnými stupni.
- Složení zrnitostní frakce: tůně olistěných stupňů mají jemnější zrnitostní složení než tůně neolistěných stupňů, kdy se zvyšuje podíl písčité frakce na úkor štěrku. Při vyšších průtocích (N_{1-2}) však jsou olistěné formace náchylnější ke změně svých zrnitostních charakteristik. Je to způsobeno odstraněním ochranného faktoru imbrikovaných listů.

Listový opad je nepostradatelnou součástí vodních geosystémů a jedním z faktorů ovlivňující charakter karpatské bioty vázající se na vodní toky a jejich bezprostřední okolí. Absence listového opadu ve prospěch smrkové monokultury může být jednou z příčin lokální akcelerované eroze, která je způsobena vyšší kinetickou energií toku a nízkou rezistencí flyšového podloží odolávat jejímu působení. To se projevuje transformací méně odolných korytových morfologií ve formy odolnější vůči vyšší energii toku. Přírodě blízká dřevinná skladba lesa může působit jako stabilizační prvek snižující extremitu projevů působení vysokogradientových toků, což je žádoucí z hlediska podporování funkčnosti ekosystémových služeb nejen v Moravskoslezských Beskydech.

Literatura

- ABBE, MONTGOMERY, D. R. (2003): Geomorphological effects of wood in rivers. American fisheries society, 27.
- BORÁK, L. (2012): Role listového opadu při formování step-pool systémů horských toků Moravskoslezských Beskyd na příkladu vybraných korytových úseků. Diplomová práce. Ostrava.
- 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. (1958): Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3-26.
- GIPPEL, C. J. (1995): Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 121, 388-395.
- GOMI, T., SIDLE, R. C., WOODSMITH, R. D., BRYANT, M. D. (2003): Characteristics of channel steps and channel morphology in headwater streams, southeast Alaska. *Geomorphology* 51, 225-242.
- CHIN, A. (2002): The periodic nature of step-pool mountain streams. *Journal of Science* 302, 144-167.

- CHIN, A. (2003): The geomorphic significance of step-pools in mountain streams. *Geomorphology* 55, 125–137.
- LENZI, M. (2001): Step pool evolution in the Rio Cordon, Nordeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 991–1008.
- MAHEL, M. (1986): Geologická stavba československých Karpát: Palealpinské jednotky 1. Veda, Bratislava.
- MONTGOMERY, D. R., BUFFINGTON, J. M. (1997): Channel channel morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 596–611.
- MONTGOMERY, D. R., BUFFINGTON, J. M. (1998): Channel processes, classification, and response. Naiman, R., Bilby, R. (eds.): *River Ecology and Management: Lessons From the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag, New York, 13–42.
- PŘIBYLA, Z. (2009): Komplexní geomorfologická analýza vysokogradientového toku Stoligy v Moravskoslezských Beskydech. Diplomová práce. Ostravská univerzita.
- PŘIBYLA, Z., HRADECKÝ, J. (2009): Geomorfologická analýza koryta horského toku Stoligy. In: *Geomorfologický sborník 8, Česká asociace geomorfologů, Kašperské hory*.
- ROTH, Z. (1980): Západní Karpaty, terciérní struktura střední Evropy. Praha. Acedemia.
- WILCOX, A. C., WOHL, E. E. (2004): Channel geometry of mountain streams in New Zealand. *Journal of Hydrology* 300, 252–266.
- WILCOX, A. C., WOHL, E. E. (2007): Field measurement of threedimensional hydraulics in step-pool channel. *Geomorphology* 83, 215–231.
- ZIMMERMANN, A., CHURCH, M. (2001): Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel. *Geomorphology* 40, 311–327.

SUMMARY

The role of foliar litter-fall in forming channel morphology step-pool of high-gradient streams in Moravskoslezské Beskydy Mts.

Channel morphology step-pool is an alluvial type of high-gradient stream bed with variable morphology. Channel morphology step-pool is following after a cascade stream segment in the places where potential energy decreases under a critical value of step resistance. Alternation of steps containing coarse sediment and pools filled with finer sediment is typical of this type of channel (Montgomery, Buffington 1997, 1998). Cascade and channel morphology step-pool are different particularly in regards to pool shapes. Channel morphology step-pool has pools with up to 1:4 wide to length ratios. On the contrary, cascade pools are always wider than longer.

Channel morphology step-pool represents a complicated morphodynamic unit with properties possibly influenced by litter-fall. We can study this impact using geomorphological methods and combining them with geoecology and hydrobiology.

The aim of this paper is to determine the extent of litter-fall impact in stream segments with and without a litter-fall supply. General conclusions concerning the reaction of channel morphology step-pool to the presence of litter-fall were based on results of analyses. The study showed significant differences between river segments with or without foliated steps. Pools following foliated steps have a finer grain size composition of sediment. They are also larger, shallower and have a higher retention capacity. Foliated steps effectively lower the potential

energy of water. They are also more resistant to extreme flows and possible development of fully functional channel morphology step-pool.

Based on the results of the analyses, it was concluded that litter-fall changes some of the pool parameters, which has a morphogenetic potential. Among the main impacts are the following:

- Increased retention ability of the system: Pools following foliated steps are shallower, but larger. They have a higher retention capacity than the pools following unfoliated steps. When the litter-fall is removed from the steps, the pools can lose their key parameters.
- Decrease in flow through the step: Foliage is a protective factor which makes it more difficult for water to flow through the step. Water has to overflow the foliated step. It usually decreases the potential erosion power of water on the step.
- Local decrease in roughness of the stream bed: Litter-fall causes decrease in roughness and influences stream bed erosion. On most parts water overflows the steps due to leaves imbrication. As a result, its kinetic energy below the step is bigger than if it flowed through the step. It explains how much deeper pools are under the foliated steps.
- Composition of grain size: Pools following foliated steps contain finer sediment (proportion of sand is increased, whereas the content of gravel is decreased) than pools following unfoliated steps. However, during an increased flow ($N1-N2$), when leaf cover is removed, these steps rapidly change their granulometric characteristics and could be destroyed.
- Seasonal variability of litter-fall impact: the influence of litter-fall is not constant. It is influenced by seasonal climate variability. The highest is in the autumn and spring; the lowest in late summer. This effect depends on the sources of litter-fall (deciduous trees) and decomposition rate.

Fig. 1 Channel morphology step-pool on Satina stream.

Fig. 2 Based on morphometric attributes measurement. L - lentic pool-pool, H - summary descent, H_{max} - summary descent between step and pool, H_r - remaining pool depth, H_s - step height, L_s - step length, L_p - pool length.

Fig. 3 Location of study areas Satina and Mazák. In legend: b - observed water flows, observed river-basin; b, c - sampling places, observed water flows, contour lines, observed river-basin.

Fig. 4 Sediment sampling methods.

Fig. 5 Computation method of sorting and kurtosis analyses. From left: mean, sorting, kurtosis.

Fig. 6 Folk's diagram represents proportion of grain size fraction of samples. Dots - pools with unfoliated step; square - pools with foliated step.