

PROSTOROVÁ DISTRIBUCE A VLASTNOSTI DŘEVNÍCH AKUMULACÍ JAKO INDIKÁTORY TRANSPORTU A DEPOZICE HRUBÉHO ŘÍČNÍHO DŘEVA – PŘÍPADOVÁ STUDIE Z ŘEKY DYJE NA ČESKO-RAKOUSKÉM POMEZÍ

SPATIAL DISTRIBUTION AND PROPERTIES OF WOOD JAMS AS INDICATORS OF LARGE WOODY DEBRIS TRANSPORT AND DEPOSITION – AN EXAMPLE FROM THE RIVER DYJE AT THE CZECH-AUSTRIAN BORDER

Zdeněk M á č k a ¹, Lukáš K r e j č í ¹, Blanka L o u č k o v á ²

¹ *Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2,
611 37 Brno, Česká republika; macka@sci.muni.cz*

² *Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, 17. listopadu 12,
771 46 Olomouc, Česká republika*

Abstract: Abundance, spatial distribution and characteristics of wood jams were examined in 62 segments of the river corridor along a 42km section of the River Dyje. The initial assumption that the spatial distribution and abundance of wood jams would be affected by the meandering valley geomorphology was not confirmed. A statistically significant but weak relationship was found only between the volume of wood jams and width of the riparian zone. Relationships to position within meander bend, channel width and slope, meander radius and downstream distance were not found. Spatial distribution and abundance of wood jams appear rather to reflect the distribution of forest and meadows in the valley bottom. Most of the jams were formed during floods in 2002 and 2006; 65% of the wood jams are allochthonous, while 29% of them are combined. Large woody debris transport and wood jam formation were facilitated by the fact that the river manager cut vast quantities of fallen trees into short logs after the flood in 2002. Large woody debris transport during flood events was also highly influenced by their dimensions (length and diameter) and their decay status. Obstructions within the corridor, including in particular the standing and fallen trees and boulders, encouraged the formation of wood jams.

Key words: wood jams, LWD transport, LWD deposition, valley bottom geomorphology, the Dyje River

ÚVOD

Hrubé říční dřevo (*Large woody debris*, LWD) je důležitou součástí zalesněných říčních ekosystémů ovlivňující hydrauliku koryta (GIPPEL 1995, MANGA, KIRCHNER

2000, CURRAN, WOHL 2003, MANNERS et al. 2007), transport sedimentů a organického materiálu (BILBY 1981, BILBY, WARD 1989, ASSANI, PETIT 1995, DIEZ et al. 2000, COMITI et al. 2008), morfologii a stabilitu koryta (NAKAMURA, SWANSON 1993, PIÉGAY, GURNELL 1997, FAUSTINI, JONES 2003, MUTZ 2003), tvorbu akvatických biotopů (MASER, SEDELL 1995, BEECHIE, SIBLEY 1997, POLLOCK et al. 2003, FRANCIS et al. 2008), a populace bezobratlých (makrozoobentos, hmyz) a ryb (BRYANT 1983, LEMLY, HILDERBRAND 2000, WRIGHT, FLECKER 2004). Dřevo se vyskytuje v korytech a nivách potoků a řek (říčních koridorech) v podobě individuálních kusů nebo dřevních akumulací. Dřevní akumulace mají zpravidla větší dopad na fluvialní systémy, protože představují větší a obvykle i stabilnější (dlouhodobější) struktury (BILBY 1984, HYATT, NAIMAN 2001, MONTGOMERY 2003, BENDA et al. 2004). Akumulace ovlivňují parametry koryta, jeho šířku a hloubku, laterální migraci a podélný profil (BRUMMER et al. 2006). Tvorba akumulací je závislá na charakteru ripariální vegetace, morfologii koryta a příbřežní zóny a hydrologickém režimu (NAIMAN et al. 2002).

Prací věnovaných výhradně dřevním akumulacím je mnohem méně než studií individuálních kusů říčního dřeva. Autoři se buď věnují akumulacím společně s individuálními kusy, nebo si nevěšují skutečnost, že některé kusy jsou sdružené v akumulacích. Nejpropracovanější klasifikaci akumulací založenou na pozici v rámci říční sítě, procesech donášky dřeva a souvislostech s tvary koryta navrhli ABBE, MONTGOMERY (2003). Klasifikaci zohledňující především vliv akumulací na proudění v korytě vypracovali WALLERSTEIN, THORNE (2004). THÉVENET et al. 1998 vytvořili regresní model pomocí kterého lze stanovit objem dřevní hmoty v akumulaci na základě měření jejích rozměrů. Vztahy mezi tvarem akumulací a jejich hydraulickými vlastnostmi řešili MANNERS et al. (2007). Tvorbou a vývojem akumulací v divočinách říčních systémech se zabývali například PIÉGAY, GURNELL (1997), GURNELL, SWEET (1998), PIÉGAY et al. (1999), GURNELL et al. (2000). Další autoři pak řešili problematiku akumulací zejména ve spojitosti s jejich prostorovou distribucí a účinky ve fluvialním systému (GREGORY et al. 1985, WALLERSTEIN et al. 1997, WOOSTER, HILTON 2004, BOCCHIOLA et al. 2008, LASSETTRE et al. 2008, SEAR et al. 2010) nebo vztahy mezi prostorovou distribucí akumulací a geomorfologií říčního údolí (OPPERMAN, MERENLENDER 2007, CURRAN 2010, FREMIER et al. 2010, IL SEO et al. 2010).

Pro nahromadění většího počtu kusů říčního dřeva na jednom místě se v anglicky psané literatuře používají různé názvy – *wood accumulations*, *wood jams*, *large wood jams*, *debris jams*, viz například práce (GREGORY et al. 1985, GREGORY et al. 1993, WALLERSTEIN et al. 1997, THEVENET et al. 1998, DEWAAL 2002, ABBE, MONTGOMERY 2003, WALLERSTEIN, THORNE 2004, WOOSTER, HILTON 2004, MANNERS et al. 2007). U nás můžeme tyto termíny volně překládat většinou jako dřevní akumulace, akumulace hrubého říčního dřeva nebo kládové akumulace. Definice dřevních akumulací se podle různých autorů liší; především se jedná o to, jaký je minimální počet kusů, které musí akumulace obsahovat. Podle WALLERSTEIN, THORNE (2004) jsou akumulace tvořeny již dvěma kusy, na druhou stranu SCHUETT-HAMES et al. (1999) je vymezují až od minimálního počtu deseti kusů. Odlišný terminologický přístup používá O'CONNOR (2000), který jako *accumulation* označuje nakupení dvou až deseti kusů a jako *jam* více než deseti kusů. Akumulace lze rozdělit podle původu na autochtonní (tvořené pouze vyvrácenými stromy in situ), kombinované (tvořené místní-

mi a připravenými kusy) a alochtonní (tvořené výhradně připravenými kusy) (ABBE, MONTGOMERY 2003).

V technické a revitalizační praxi se můžeme setkat s termínem *engineered log jam* (ELJ), což jsou uměle vytvořené korytové struktury z kusů dřeva. Tyto útvary jsou do koryt umísťovány z důvodu ochrany nárazových břehů, stabilizace podélného profilu, zachytávání sedimentů či diverzifikace proudění (SHIELDS et al. 2001, BROOKS et al. 2004, MANNERS, DOYLE 2008), zlepšení stanovištních podmínek pro ryby (ABBE et al. 1997, NAGAYAMA, NAKAMURA 2010) či bezobratlé živočichy (COE et al. 2009). Většinou se ukazuje, že struktury vytvořené pro jeden konkrétní účel, vyvolávají v korytě komplexní odezvu, například struktury vytvořené za účelem stabilizace koryta zároveň přispěly k zvýšení biodiverzity (McHENRY et al. 2007). Existují již také technické návody, jak při konstrukci ELJ postupovat a jakých efektů lze pomocí nich dosáhnout (ANONYMUS 2006). Mnohé ELJ jsou konstruovány podle reálně pozorovaných případů v přirozených fluvialních systémech, protože se ukazuje, že mohou vydržet stabilní stovky let (BROOKS et al. 2004).

Na rozdíl od západní Evropy není význam říčního dřeva pro fluvialní ekosystémy v postkomunistických zemích stále doceněn, a to jak mezi správci toků, tak dokonce ani mezi přírodovědci zabývajícími se vodními ekosystémy. To se odráží i v minimálním počtu odborných publikací věnovaných tomuto tématu. Výjimky tvoří práce z Polska (KACZKA 2003, MALIK 2005, 2006, WYZGA, ZAWIEJSKA 2005), a částečně též z České republiky (DEWAAL 2002, KOŽENÝ, SIMON 2006, KOŽENÝ et al. 2006, KOŽENÝ 2007, MÁČKA, BRAUN 2009, MÁČKA, KREJČÍ 2010a, 2010b) a Slovenska (GREŠKOVÁ 2005). Obvyklá praxe správců vodních toků stále obnáší rutinní odstraňování říčního dřeva, probírky břehových porostů a zdůrazňování rizika spojeného se zhoršováním účinků povodní a poškozováním vodních staveb jako jsou mostní pilíře, jezy či hráze vodních nádrží. Negativní postoje správců vodních toků a široké veřejnosti k říčnímu dřevu jsou dále utvrzovány výjimečnými událostmi, jako bylo naplavení velkého množství dřevního materiálu do přehradní nádrže Znojmo a blokace jejího přelivu při povodních v letech 2002 a 2006 (obr. 1). K aktivnímu managementu říčního dřeva se dnes stále častěji přistupuje v Severní Americe a v některých evropských zemích. Kromě vyloučení odstraňování stávajícího dřeva v úsecích, kde nepředstavuje dřevo závažnější riziko, je to také vkládání jednotlivých kusů do koryta případně vytváření korytových struktur z více kmenů (BOOTH et al. 1997, SHIELDS et al. 2001).

V této situaci se velmi nedostává relevantních informací o přísunu, prostorové distribuci, hydrogeomorfologických účincích a mobilitě dřeva na řekách protékajících hustě obydlenými a intenzivně využívanými krajinami střední a východní Evropy. Vědecky podložené informace jsou přitom nezbytné pro optimalizaci managementu říčního dřeva tak, aby mohly být plně využity jeho pozitivní ekosystémové funkce a zároveň, aby byly respektovány podmínky protipovodňové ochrany a bezpečnosti vodních staveb. Vodohospodáři vnímají jako rizikový aspekt zejména transport dřeva za povodní. Z tohoto pohledu je pak důležité zkoumat procesy časové dynamiky říčního dřeva – přísunu, transportu a následné redepozice. Přímý monitoring transportu (mobility) říčního dřeva ovšem naráží na některé metodologické problémy, na což poukazují např. ELOSEGI et al. (1999), HAGA et al. (2002); KOŽENÝ et al. (2006), PIÉGAY et al. (2009). Nepřímou metodou studia transportu a depozice říčního



Obr. 1. Dřevní materiál naplavený do přehradní nádrže Znojmo na řece Dyji během povodně v březnu 2006. Foto Pavel Kožený (VÚV TGM).

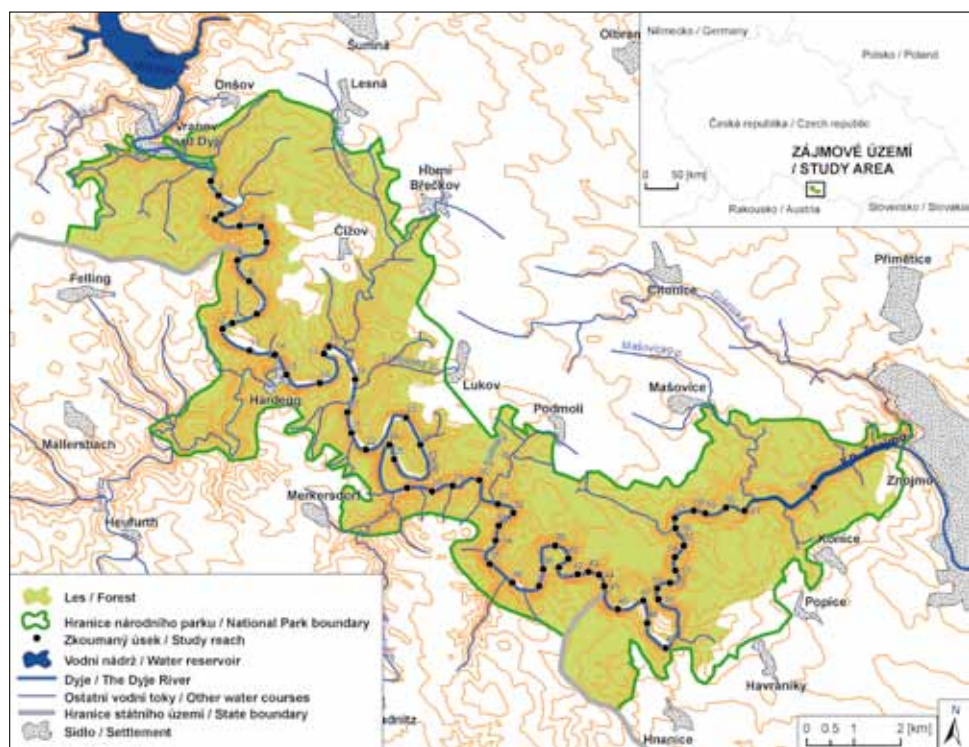
Fig. 1. Wood deposited in the Znojmo Reservoir on the River Dyje during a flood in March 2006. Photo by Pavel Kožený (VÚV TGM).

dřeva ve fluvialním systému může být zkoumání abundance, prostorové distribuce a vlastností kombinovaných a alochtonních dřevních akumulací. Studium akumulací umožňuje zjistit vlastnosti snadno transportovatelných kusů a odhalit místa preferenční depozice plavených kusů dřeva.

Naším hlavním cílem bylo přispět k lepšímu porozumění procesům transportu říčního dřeva, jeho ukládání a tvorbě dřevních akumulací. K dosažení toho cíle jsme provedli mapování a měření dřevních akumulací podél řeky Dyje na území národních parků Podyjí a Thayatal (obr. 2). Získaná data jsme použili k zodpovězení čtyř hlavních otázek: (1) jaké je množství a prostorové rozšíření dřevních akumulací v říčním koridoru, (2) podmiňují tvorbu akumulací proměnné morfologie údolního dna (např. šířka koryta a nivy, rádius meandrů, sklon), (3) jaké jsou vlastnosti (např. pozice, typ, velikost) dřevních akumulací, (4) jaké jsou vlastnosti kusů tvořící akumulace (např. rozměry, stupeň rozkladu).

ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Průzkum dřevních akumulací byl proveden v 42 km dlouhém úseku údolí řeky Dyje na území národních parků Podyjí a Thayatal; v části úseku tvoří Dyje hranici mezi Českou republikou a Rakouskem (obr. 2). Zkoumaný úsek je na horním a dolním konci omezen hrázemi vodních děl Vranov (v provozu od roku 1934) a Znojmo (v provozu od roku 1966). Údolí Dyje je zahlobeno do metamorfovaných a vyvřelých hornin proterozoického stáří, zejména se jedná o ruly, svory a granity. Údolí je hluboce zařezané do okolního zarovnaného povrchu a jeho hloubka kolísá mezi 150 a 235 m. Význačným rysem údolí jsou strukturně predisponované zakleslé meandry, křivolakost údolí je velmi vysoká a dosahuje hodnoty 2,4. Říční koridor sestává z širokého mělkého koryta o průměrné šířce 38,3 m, které je lemované úzkou, nesouvislou údolní nivou. Niva se šířkou maximálně do 120 m je vyvinuta zejména na konvexní straně meandrů. Místy koryto zabírá téměř celé údolní dno a je lemováno pouze úzkou, kamenitou příbřežní zónou do šířky 10 m, údolní svahy nezdávka spadají



Obr. 2. Poloha zájmového území v rámci České republiky a rozmístění mapovacích úseků podél říčního koridoru Dyje.

Fig. 2. Location of the study area within the Czech Republic and position of the surveyed reaches along the corridor of the River Dyje.

přímo do koryta. Lokálně se vyskytuje nivní stupeň, za povodní již nezaplavovaný, který je většinou situovaný na konvexní straně meandrů, v některých případech i v přímých úsecích. Dno koryta je tvořeno většinou kamenitými či hrubě šterkovitými sedimenty, v proudových stínech se zachytávají i jemnozrnější splaveniny. Průměrný sklon koryta má hodnotu 3,3 ‰.

Celé údolí Dyje bylo až do roku 1945 hospodářsky využíváno, svahy a údolní dno byly více odlesněny a energie řeky byla využita k pohonu vodních mlýnů. Po politických změnách v bývalém Československu se celé území dostalo po II. světové válce do nepřístupného pohraničního pásma s Rakouskem, obyvatelstvo bylo vysídleno, mlýny zrušeny a na většině území došlo ke spontánní obnově lesních porostů. Rozšiřování ploch s dřevinnou vegetací vedlo k postupnému zvyšování přísunu dřeva do říčního koridoru. Obhospodařování lesních porostů, včetně břehových a doprovodných porostů Dyje, již nemělo povahu systematické hospodářské činnosti tak jako v období před II. světovou válkou. Zásahy do vegetačního krytu sice místně pokračovaly, jejich intenzita však byla relativně malá ve srovnání s předchozím obdobím.

Studovaný úsek Dyje představuje z hlediska přísunu a transportu říčního dřeva víceméně uzavřený systém. Přínosu dřeva z horního toku Dyje zčásti brání hráz nádrže Vranov, která tvoří horní hranici úseku. Přínos dřeva z přítoků, které ústí do Dyje v rámci zkoumaného úseku (Junácký potok, Klaperův potok, Fugnitz a Kajabach), je rovněž omezen. Jedná se spíše o malé toky s úzkým korytem a nízkými průtoky, které nejsou schopny transportovat velké kusy dřeva. Pouze Fugnitz má omezený potenciál pro přínos říčního dřeva do koryta Dyje. Export dřeva ze zkoumaného úseku je rovněž omezen, protože jeho splavování dále po proudu brání hráz nádrže Znojmo, která tvoří dolní hranici úseku (obr. 1 a 2). Zdrojem dřeva tak jsou převážně lesní porosty rostoucí na údolním dně. Část stromů se dostává do říčního koridoru také vyvracením z přilehlých údolních svahů.

Plocha povodí na horní hranici zkoumaného úseku je 2 228 km², na dolní hranici pak 2 499 km². Hydrologický režim je silně ovlivněn přítomností přehradních nádrží. Vzduť nádrže Znojmo se projevuje proti proudu až do vzdálenosti 5,4 km od hráze. Významnějším faktorem je však provoz hydroelektrárny na nádrži Vranov, který způsobuje výrazné denní kolísání vodních stavů. Denní rozkyv průtoků z důvodu špičkování hydroelektrárny může dosáhnout hodnot od 1,5 až do 40 m³.s⁻¹. Vystoupaní vodního stavu na denní maximum probíhá během pouhých několika de-

Tab. I. Hodnoty N-letých průtoků a průměrného průtoku na stanicích Podhradí, Vranov-Hamry a Znojmo (zdroj: ČHMÚ)

Tab. I. The value of N-year flows at the water-gauge stations at Podhradí (upstream of the Vranov Reservoir), Vranov-Hamry (downstream of the Vranov Reservoir) and Znojmo (downstream of the Znojmo Reservoir) in the study area (source: Czech Hydrometeorological Institute)

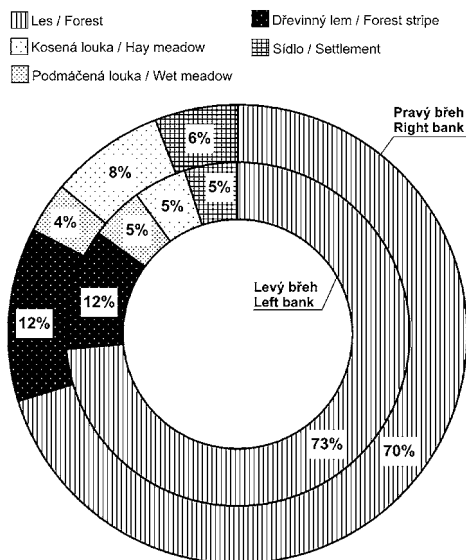
Stanice/ Hydrological station	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q _a
Podhradí	98	157	196	320	390	8,5
Vranov-Hamry	69	131	159	229	260	9,7
Znojmo	75	131	156	217	244	10,3

sítek minut. Obě nádrže mají také vliv na transformaci povodňových vln. Hodnoty N-letých průtoků na stanicích Podhradí (výše proti proudu od vodní nádrže Vranov), Vranov-Hamry (blízko pod vodní nádrží Vranov) a Znojmo (po proudu od vodní nádrže Znojmo) jsou uvedeny v tabulce I. Údaje v tabulce ukazují, že nádrže způsobují v případě stoleté vody snížení kulminačního průtoku průměrně o 37,4 %.

V období instrumentálních hydrologických měření byly na řece Dyji zaznamenány velké povodně v letech 1900, 1909, 1925, 2002 a 2006. Většina dřevních akumulací se vytvořila v důsledku intenzivního transportu dřeva právě při extrémních povodních v letech 2002 a 2006. Příčinou povodně v srpnu roku 2002 byl extrémní srážkový úhrn ve dnech 6.–15. 8. 2002. Na nádrži Vranov nastaly dva kulminační vrcholy. První kulminace z 8. 8. dosáhla hodnoty 5ti až 10tiletého průtoku, tuto povodňovou vlnu převedla nádrž na běžný průtok. Při druhé kulminaci 14. 8. byla překročena retenční schopnost nádrže a na měrném profilu Vranov-Hamry pod nádrží bylo dosaženo průtoku $364 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pro průběh následující extrémní povodně na konci března roku 2006 bylo rozhodující rychlé tání sněhové pokrývky ve dnech 25.–30. 3. 2006. Nad nádrží Vranov došlo na všech měrných profilech k překročení stoletého průtoku, kulminační přítok do nádrže Vranov dosáhl $482 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; přítok do nádrže byl klasifikován jako více než 500letá povodeň. Část povodňové vlny (36 % průtoku) byla zachycena nádrží Vranov, přesto průtok pod nádrží přesáhl hodnotu stoletého průtoku (OGINK 2006). Kulminace povodně nastala v profilu Vranov-Hamry 31. 3. a dosáhla hodnoty $306 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koryto Dyje je pod nádrží Vranov v intravilánu obce Vranov dimenzováno na průtok $130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dále po proudu na území národního parku se kapacita přirozeného koryta snižuje na hodnotu cca $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při obou povodních tak bylo zaplaveno údolní dno v celé šířce a docházelo k rozsáhlé redistribuci říčního dřeva v rámci říčního koridoru a vyvracení živých stromů.

V záplavové zóně Dyje lze nalézt následující kategorie krajinné pokrývky: sídla, kosené aluviální louky, podmáčené ostrícové porosty, dřevinné (stromové a keřové) lemy podél břehů (jednořadové i širší, souvislé i nesouvislé) a zapojené lesní porosty. Poměrné zastoupení jednotlivých kategorií krajinné pokrývky přiléhajících ke korytu ukazuje obr. 3. V druhové skladbě dřevin porůstajících říční břehy se uplatňují zejména olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a vrby (*Salix* spp.). Druhová skladba porostů v příbřežní zóně je však mnohem pestřejší. Dále zde lze najít dub letní (*Quercus robur*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), javor mléč (*Acer platanoides*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), jilm vaz (*Ulmus laevis*), lípu malolistou (*Tilia cordata*), lípu velkolistou (*Tilia platyphyllos*), topol bílý (*Populus alba*), topol osiku (*Populus tremula*) či trnovník akát (*Robinia pseudoacacia*).

Motivací pro výzkum dřevních akumulací byla situace, která nastala po přiřazení velkého množství dřevního materiálu do nádrže Znojmo při jarních povodních v letech 2002 a 2006. Přiřazené dřevo pokrylo hladinu nádrže a hrozilo zablokování přelivu přehrady s možností přelití sypané hráze a jejím následným poškozením (obr. 1). Po první povodni provedl správce toku odklizení části naplaveného dřeva v celém úseku mezi hrázemi nádrží Vranov a Znojmo; odstraněno bylo cca 1 200 m^3 dřevního materiálu (včetně jemného dřeva) (POŘÍZKA, VANČURA 2003). Delší a objemnější kusy však byly pouze pořežány na kratší polena a ponechány na místě k zetlení. Na rakouské straně řeky byl naopak uplatněn striktně bezzásahový přístup. Podobná situace nastala v roce 2006. Analýza obrazu provedená na fotografiích



Obr. 3. Poměrné zastoupení kategorií využití ploch podél břehů řeky Dyje v zájmovém území.
 Fig. 3. Proportion of the various categories of land cover along the banks of the River Dyje in the study area.

dřevního materiálu, který pokryl hladinu nádrže při druhé povodni, ukázala, že do nádrže bylo připraveno cca 1 250 ks hrubého dřeva s objemem cca 80 m³ (KOŽENÝ, SIMON 2006). Na české straně toku tak došlo ke konfliktu zájmů mezi ochranou přírody a zájmy správce toku, který usiloval o odstraňování dřeva z říčního koridoru, případně alespoň o rozřezání větších stromů na krátká polena, která představují menší riziko pro hráz přehrady.

METODY

Pro mapování dřevních akumulací bylo vybráno 60 úseků o délce 200 m. Výběr úseků byl proveden stratifikovaným náhodným výběrem. Pro stratifikaci byl použit půdorysný vzor údolí; třetina úseků byla situována na vrcholech meandrů, třetina v inflexních bodech a třetina ve vstupní, respektive výstupní větvi meandrů. Během terénních prací byly přidány ještě dva úseky navíc, celkem bylo tedy zmapováno 62 úseků (obr. 2) o celkové délce 12,4 km. Terénní práce proběhly v červnu a červenci roku 2009. Akumulace byly mapovány v korytě a také v nivě a na úpatí svahů (v úsecích bez vyvinuté nivě) do úrovně povodně v roce 2006. Rozsah inundace bylo možné v terénu určit podle erodovaného půdního povrchu, obnažených kořenů stromů, písčitých naplavenin a naneseného jemného organického materiálu. Pokud se akumulace nacházela na břehu nebo v nivě, tak bylo zaznamenáno, zda se jedná o pravý nebo levý břeh. V každém úseku byly registrovány akumulace, které obsa-

hovaly minimálně tři vzájemně se dotýkající kusy dřeva s minimální tloušťkou 10 cm a minimální délkou 1 m. Pro každou registrovanou dřevní akumulaci byly zaznamenány pomocí ručního GPS přístroje (Garmin 60CSx) její geografické souřadnice, aby mohly být následně její parametry vyjádřeny prostorově v GIS. Polohová přesnost se při měření v úzkém údolí Dyje pohybovala v rozmezí od 6 do 20 m.

Pro každou akumulaci byl zjišťován soubor parametrů, které popisují její prostorovou pozici, genetický typ, počet obsažených kusů dřeva, rozměry a přítomnost či nepřítomnost blokačních prvků (jako například stojící stromy nebo balvany), které podporovaly depozici unášeného dřeva. Řada akumulací měla kompaktní jádro, ze kterého trčel do strany jeden či více dlouhých kusů dřeva. V takovém případě byly měřeny jednak rozměry kompaktní části (jádra) akumulace a dále celkové rozměry se zahrnutím kusů trčících do stran. V rámci kompaktních rozměrů se nachází převážná část dřevní biomasy akumulace, celkové rozměry jsou zase podstatné z hlediska funkcí akumulace ve fluvialním systému, zejména jejího hydraulického efektu a zachytávání další organické hmoty. Pro všechny kusy dřeva tvořící akumulace bylo zjišťováno, zda jsou autochtonní nebo připlavené. Autochtonními se rozumí kusy, které nebyly transportovány vodou, a u kterých bylo možné poznat jejich původní polohu. Alochtonní pak jsou kusy transportované vodou alespoň na vzdálenost rovnou jejich délce. Pro každý kus byly dále zjišťovány jejich rozměry, zachovalost a zda byly uříznuté motorovou pilou (antropogenní přísun). Přehled zjišťovaných parametrů a způsob jejich měření je uveden v tabulkách II a III.

Pro každý úsek byly zjištěny následující geomorfologické charakteristiky údolního dna: šířka koryta, šířka nivy (zvláště v pravobřeží a levobřeží), sklon koryta a rádius meandru. Šířka koryta a šířka nivy byly měřeny laserovým dálkoměrem s přesností na 0,5 m. Měření probíhala s krokem 50 m, takže pro každý úsek bylo získáno pět měření. Z těchto hodnot pak byly vypočítány pro každý úsek průměrné hodnoty. Protože je koryto mělké a vyplňuje ve většině případů větší část údolního dna, nebyl sklon měřen přímo v terénu, ale byl odvozen z DMÚ vytvořeného pro údolí Dyje. Z DMÚ byl zjištěn rovněž rádius meandrů. DMÚ byl vygenerován z digitální vektorové vrstevnicové mapy měřítka 1:10 000 (ZABAGED), kterou poskytuje pro naše území Český úřad zeměměřický a katastrální (ČUZK). Pro každý úsek byl dále zaznamenán charakter ripariální vegetace v následujících kategoriích: les, dřevinný lem – víceřad, dřevinný lem – jednořad, křoviny, travní porost, intravilán obce.

Z terénních měření byly vypočítány objemy individuálních kusů obsažených v dřevních akumulacích. Výpočet objemu závisel na zachovalosti kusu dřeva. Pokud se jednalo o holý kmen byl výpočet proveden pomocí Huberova vzorce na základě střední tloušťky a délky. Pokud měl kus zachované větve, byl objem jeho kmene stanoven z krychlících tabulek (ANONYMUS 1952) na základě jeho výčetní tloušťky.

Za účelem identifikace vzájemných vztahů mezi měřeními parametry dřevních akumulací a geomorfologií údolního dna byla provedena parametrická metoda výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu pro hladinu významnosti $p \leq 0,05$ (Statistica v8.0). Závislými proměnnými byl počet akumulací, objem akumulací (m^3) a počet alochtonních kusů v akumulacích, použito bylo pět nezávislých proměnných – vzdálenost od hráze přehradní nádrže Vranov (km), sklon koryta (‰), šířka koryta (m), šířka údolní nivy (m) a rádius meandrů (m). Korelační matice byla zhotovena nejprve pro všechny úseky dohromady, v dalším kroku byly do analýzy zahrnuty zvláště

Tab. II. Parametry zjišťované pro dřevní akumulace
 Tab. II. Parameters of wood jams

parametr	postup	poznámka
poloha	vizuálně	kategorie: příbřežní zóna, břeh, koryto
vzdálenost od břehu	laserový dálkoměr, pásmo	kolmá vzdálenost středu akumulace od břehové hrany; s přesností na 0,5 m
orientace	rozvírací úhломěr	orientace akumulace vůči ose koryta
genetický typ	vizuálně	kategorie: alochtonní (všechny kusy připravené), kombinovaná (připravené kusy zachycené na lokálním velkém kusu), autochtonní (všechny kusy místní, nepřipravené)
počet kusů dřeva	vizuálně	zvlášť se zaznamenal počet připravených a místních kusů
celkové rozměry	pásmo, svinovací metr	šířka, délka a výška; rozměry včetně dlouhých kusů trčících do stran mimo akumulaci
kompaktní rozměry	pásmo, svinovací metr	šířka, délka a výška; rozměry kompaktního jádra akumulace
způsob zachycení (stabilita)	vizuálně	kategorie: ležící volně, zachycena na živých stromech, zachycena na balvanu, zachycena na vyvráceném stromu, jiný způsob zachycení
parameter	method	note
position	visually	category: riparian zone, bank, channel
distance from bank edge	electronic distance meter, tape	distance to the channel bank; 0.5 m accuracy
orientation	angle gauge	orientation to the channel axis
genetic type	visually	category: allochthonous (all pieces floated), combined (floated pieces trapped on local big piece), autochthonous (all pieces local, non-floated)
number of LWD pieces	visually	number of floated and local pieces (non-floated) was recorded separately
total dimensions	tape	width, length, height; dimensions including long pieces protruding far out of the wood jam
compact dimensions	tape	width, length, height; dimensions of the compact core of the wood jam
trapping (stability)	visually	category: lying freely, trapped on live trees, trapped on a boulder, trapped on up-rooted trees, other

Tab. III. Parametry zjišťované pro jednotlivé kusy obsažené v dřevních akumulacích
 Tab. III. Parameters of individual pieces included in wood jams

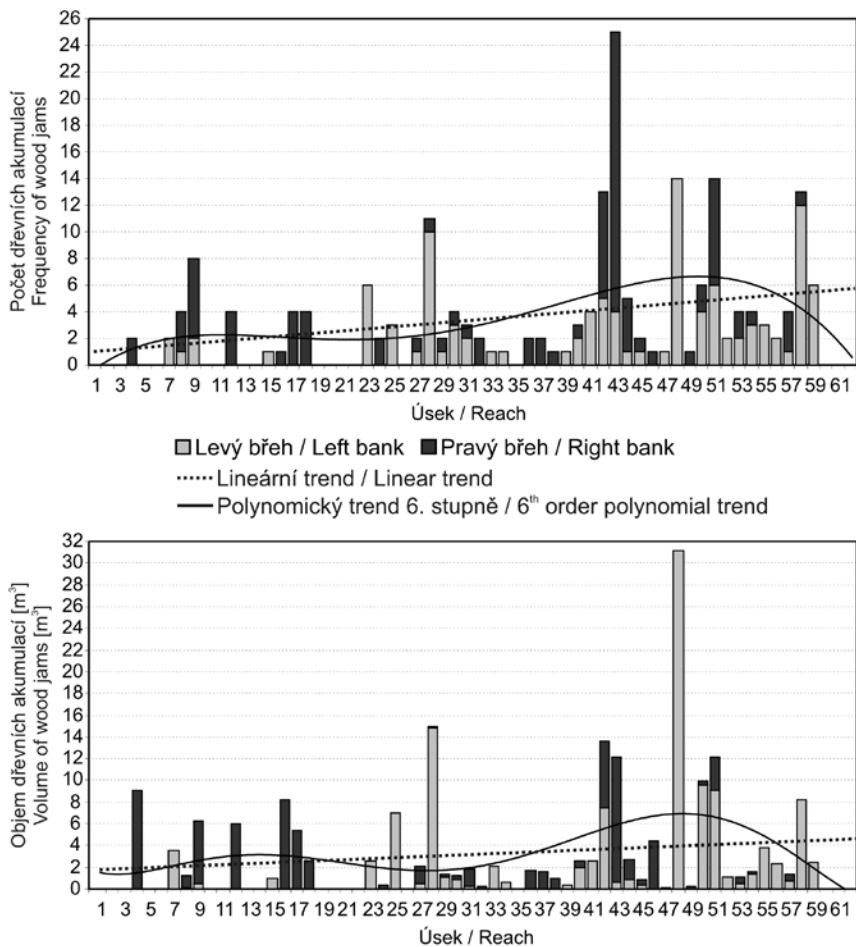
parametr	postup	poznámka
genetický typ	vizuálně	kategorie: alochtonní (příplavený), autochtonní (místní, nepřepravený)
tloušťka	lesnická průměrka	průměr v polovině délky u odvětvených kmenů, výčetní tloušťka u kusů se zachovalými větvemi; s přesností na 1 cm
délka	laserový dálkoměr, pásmo	s přesností na 0,5 m
zachování větví	vizuálně	kategorie: primární, sekundární, terciární větve
úřez	vizuálně	zaznamenány byly případy, kdy byl kus alespoň na jednom konci uříznutý motorovou pilou
parameter	method	note
genetic type	visually	category: allochthonous (floated), autochthonous (local, non-floated)
diameter	forestry calliper	diameter in mid-length for pieces without branches, breast-height diameter for pieces with preserved branches; 1 cm accuracy
length	electronic distance meter, tape	0.5 m accuracy
preservation of branches	visually	category: primary, secondary, tertiary branches
chain saw cut	visually	pieces cut with a chain saw at least at one end

úseky položené v inflexních bodech, na vrcholech meandrů a v mezilehlých pozicích s cílem posoudit vliv půdorysného vzoru koryta na tvorbu akumulací. Párový t-test byl použit ke zjištění, zda se množství dřevních akumulací a počet a objem kusů dřeva v nich obsažených liší v závislosti na pozici v rámci meandru (vrchol, inflexní bod, mezilehlý úsek).

VÝSLEDKY

V rámci zkoumaných úseků bylo zmapováno celkem 200 dřevních akumulací. Z tohoto počtu se nacházelo 193 v příbřežní zóně (na březích a v nivě) a pouze 7 přímo v korytě. Žádná z akumulací, které se nacházejí v korytě, není položena přímo uprostřed koryta či v proudnici, ale vždy v blízkosti jednoho ze břehů. Z akumulací, které se nacházely v příbřežní zóně, bylo položeno 89 v pravobřeží a 104 v levobřeží. Na českém státním území bylo zjištěno 129 akumulací, na rakouském území pak 71 akumulací. V akumulacích bylo změřeno 1476 individuálních kusů dřeva, což představuje 196,978 m³ dřevní biomasy. Zaznamenaný počet kusů však představuje

pouze minimální hodnotu, protože uvnitř velkých akumulací se nachází neurčené množství pohřbených kusů, které nebylo možné změřit. V pravobřeží je v akumulacích zachyceno 618 kusů obsahujících 77,738 m³ dřevní biomasy, v levobřeží pak 858 kusů obsahujících 119,246 m³ dřevní biomasy. Z toho na českém státním území je zachyceno v akumulacích 1159 kusů s objemem 151,472 m³, na rakouském území pak 317 kusů s objemem 45,506 m³.



Obr. 4. Počet (nahore) a objem (dole) dřevních akumulací v 62 náhodně lokalizovaných úsecích podél 42 km dlouhého úseku říčního koridoru řeky Dyje. Mapování proběhlo v červnu a červenci 2009.

Fig. 4. Frequency (above) and volume (below) of wood jams in 62 randomly localized reaches along 42 km of the corridor of the River Dyje. The survey took place in June and July 2009.

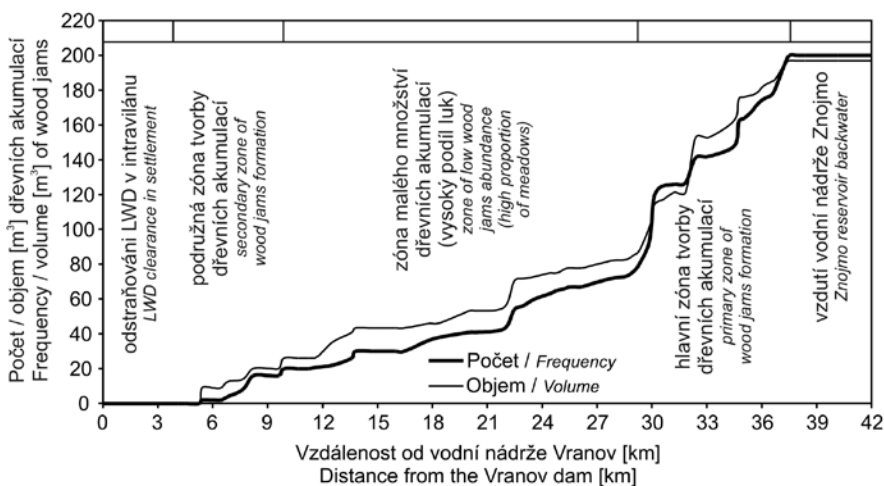
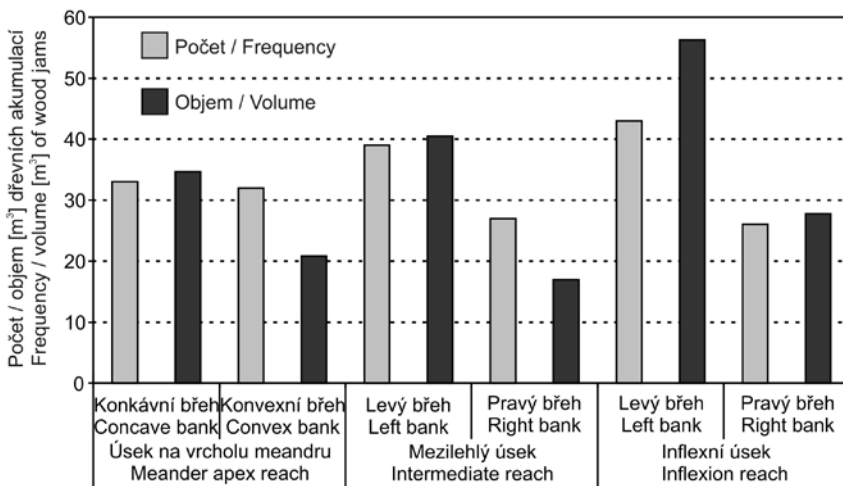


Fig. 5. Součtová čára počtu a objemu dřevních akumulací podél řeky Dyje ukazující jejich distribuci v závislosti na vzdálenosti od nádrže Vranov. V obrázku jsou také uvedeny hlavní faktory ovlivňující prostorové rozšíření dřevních akumulací (odstraňování dřeva, vegetační kryt území, vodní nádrž).

Fig. 5. Wood jam frequency and volume cumulative curve along the River Dyje showing accumulations distribution with respect to the distance from the Vranov dam. The main factors influencing the spatial distribution of wood jams along the river corridor are noted (LWD clearance, land cover of riparian zone and the Znojmo Reservoir).

Prostorové rozšíření dřevních akumulací podél říčního koridoru

Počet akumulací zjištěný v jednotlivých úsecích je značně rozkolísaný; v 18 úsecích nebyly nalezeny žádné akumulace, maximální počet akumulací zaznamenaných v jednom úseku je 25. Průměrně se vyskytuje 16 akumulací na 1 km říčního koridoru. Z obr. 4 je patrné rozložení počtu a objemu akumulací v jednotlivých úsecích a také v závislosti na vzdálenosti od hráze nádrže Vranov (od počátku zájmového území). Počty a objemy akumulací jsou uvedeny zvlášť pro pravý a levý břeh, protože většina akumulací se nacházela v příbřežní zóně. Z grafu je patrné, že rozmístění akumulací v podélném směru je značně nerovnoměrné. Podél řeky se cyklicky střídají úseky s výraznější retencí říčního dřeva s úseky s malou tvorbou akumulací nebo zcela bez nich. Celkově lze konstatovat, že tvorba akumulací byla menší v horních dvou třetinách zkoumaného území a jejich množství nepravidelně narůstá směrem po proudu. V horních dvou třetinách zájmového území se nachází 72 akumulací, v dolní třetině 128 akumulací. Toto je patrné zejména z obr. 5, kde je vidět skokový nárůst počtu a objemu akumulací ve vzdálenosti 28 km od hráze nádrže Vranov. Žádné akumulace pak nebyly zaznamenány na samém konci zájmového území v dosahu vzdutí nádrže Znojmo. Největší retence říčního dřeva a tvorba akumulací se tak váže na 9,5 km dlouhý úsek řeky bezprostředně nad vzdutím nádrže Znojmo. Z obr. 4 je také patrné, že v dolní třetině zájmového území je největší variabilita v počtu akumulací mezi jednotlivými úseky.



Obr. 6. Rozdělení počtu a objemu dřevních akumulací podle polohy podél meandrových zákrutů.
Fig. 6. Classification of wood jam frequency and volume according to position in meander bend.

Určitou úlohu při vzniku akumulací mohla sehrát i přítomnost jezů, které lokálně silně modifikují morfologii a hydrauliku koryta. Mezi 62 studovanými úseky se nachází 5 úseků, ve kterých se vyskytuje jez. Na tyto úseky je vázáno celkem 29 akumulací (14,5 %), přímo pod jezy se nachází 26 akumulací (13 %). Akumulace ležící pod jezy jsou nadprůměrně velké, jak co do počtu kusů, tak do objemu. Z hlediska objemu se pod jezy nachází 21,5 % dřevní biomasy všech akumulací. Ještě markantnější je to v případě počtu kusů, kdy na akumulace pod jezy připadá 300 kusů (20,3 %).

Vliv geomorfologie údolního dna na prostorové rozšíření dřevních akumulací

Pro posouzení vlivu meandrujícího vzoru koryta na prostorové rozšíření akumulací bylo provedeno porovnání počtu a objemu akumulací v inflexních bodech, na vrcholech a v bodech mezilehlých mezi inflexy a vrcholy meandrů (obr. 6). Z analýzy vyplývá, že křivolakost koryta (meandrující říční vzor) nemá vliv na rozmístění akumulací. Rozdíl mezi počtem a objemem akumulací mezi jednotlivými pozicemi podél meandrového zákrutu nebyl ani v jednom případě statisticky významný. Z grafu na obr. 6 vyplývá, že akumulace jsou podél meandrových zákrutů rozmístěny víceméně rovnoměrně. Předpoklad maximálního počtu akumulací v konkávních partiích meandrů se nepotvrdil. Nevýrazné maximum počtu akumulací se nachází v přechodné zóně mezi inflexními body meandrů a jejich vrcholy. Velké akumulace s největším objemem byly rovněž lokalizovány převážně v inflexních bodech meandrů.

Pro posouzení vlivu geomorfologie údolního dna na depozici říčního dřeva a tvorbu dřevních akumulací byly hledány korelační vztahy mezi vlastnostmi dřevních akumulací (počet, objem, počet obsažených alochtonních kusů) a parametry geomor-

fologie údolního dna (sklon koryta, vzdálenost od hráze nádrže Vranov, šířka koryta, šířka nivy, rádius meandru). Hodnoty korelačních koeficientů mezi jednotlivými proměnnými jsou uvedeny v tab. IV. Statisticky signifikantní korelace byly prokázány pouze mezi parametry dřevních akumulací (mezi závislými proměnnými). Co se týče vztahu parametrů dřevních akumulací k nezávislým proměnným, slabá korelace byla zaznamenána pouze mezi objemem akumulací a šířkou nivy (0,41).

Vzhledem k vysokým vzájemným korelacím třech závislých proměnných bylo pro účely dalších analýz pracováno pouze s proměnnou objem akumulací. Cílem následující analýzy bylo posoudit vliv půdorysného vzoru koryta (meandrování) na depozici říčního dřeva a tvorbu dřevních akumulací. V dalším kroku proto byla testována závislost mezi objemem akumulací a geomorfologickými parametry údolního dna zvláště pro úseky položené v inflexních bodech, na vrcholech meandrů a v mezilehlých pozicích. Do analýzy bylo zahrnuto zvláště 23 případů lokalizovaných v inflexních bodech (1 případ byl odstraněn z důvodu nadměrné šířky koryta v místě vzduť nádrže Znojmo za účelem homogenizace dat), 15 případů ve vstupní/výstupní větvi meandrů a 23 případů ve vrcholových částech meandrů. Slabá, kladná korelace byla zjištěna mezi objemem akumulací a šířkou příbřežní zóny u úseků lokalizovaných v inflexních bodech meandrů (0,52). Další slabá, kladná korelace byla zaznamenána mezi objemem akumulací a sklonem koryta u úseků lokalizovaných ve vrcholových částech meandrů (0,44). Jiné statisticky významné vztahy mezi objemem akumulací a parametry geomorfologie údolního dna nebyly při tomto diferencovaném testování podle polohy v rámci meandrových zákrutů detekovány. Z analýz vyplynuly pouze některé vztahy mezi geomorfologickými parametry údolního dna. Šířka údolní nivy se zvětšuje a rádius meandrů se zmenšuje směrem po proudu se vzrůstající vzdáleností od hráze nádrže Vranov.

Tab. IV. Korelační matice mezi vybranými parametry akumulací a geomorfologií údolního dna, Statisticky významné korelace jsou uvedeny tučným písmem ($p \leq 0,05$)

Tab. IV. Correlation matrix between parameters of wood jams and valley bottom geomorphology, Statistically significant correlations ($p \leq 0,05$) appear in bold

Vysvětlivky: NA = počet akumulací, VA = objem akumulací, NAIP = počet alochtonních kusů, Grad = sklon koryta, Dist = vzdálenost od VD Vranov, Rad = rádius meandru, ChW = šířka koryta, RipW = šířka příbřežní zóny

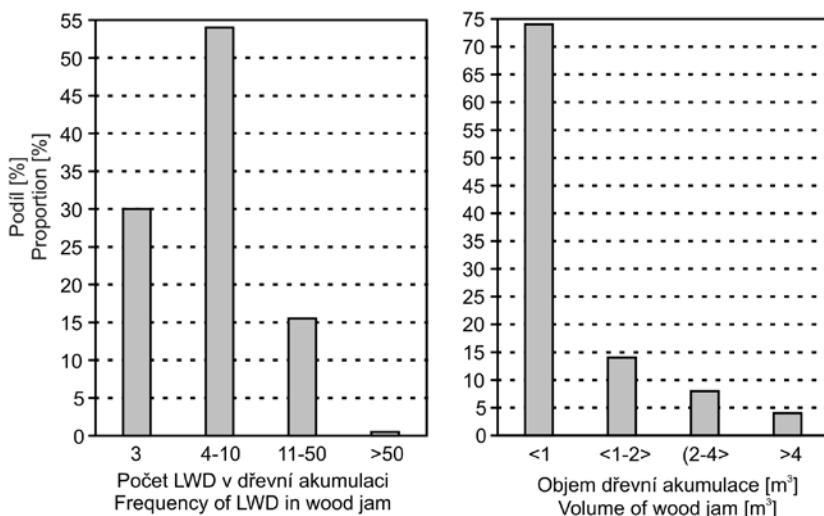
Explanations: NA = number of jams, VA = volume of jams, NAIP = number of allochthonous pieces, Grad = channel gradient, Dist = distance from the Vranov dam, Rad = meander radius, ChW = channel width, RipW = width of riparian zone

	NA	VA	NAIP	Grad	Dist	Rad	ChW	RipW
NA	–	0,75	0,94	0,07	0,33	-0,14	-0,04	0,39
VA	0,75	–	0,86	0,14	0,19	-0,09	0,00	0,41
NAIP	0,94	0,86	–	0,06	0,32	-0,14	0,06	0,37
Grad	0,07	0,14	0,06	–	0,13	-0,05	-0,21	0,09
Dist	0,33	0,19	0,32	0,13	–	-0,20	0,07	0,36
Rad	-0,14	-0,09	-0,14	-0,05	-0,20	–	0,00	-0,17
ChW	-0,04	0,00	0,06	-0,21	0,07	0,00	–	-0,20
RipW	0,39	0,41	0,37	0,09	0,36	-0,17	-0,20	–

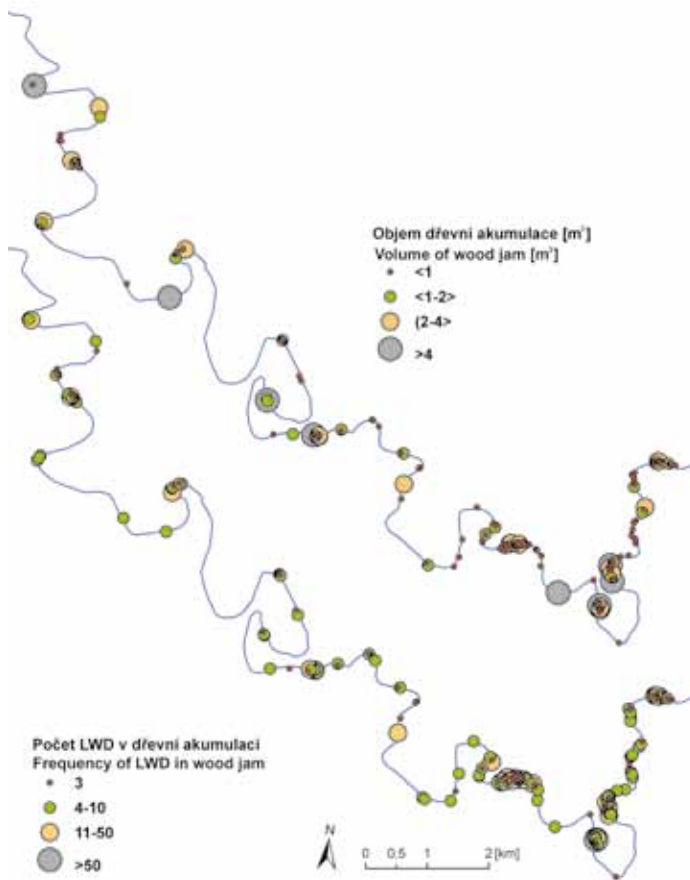
Vlastnosti dřevních akumulací

Ve zkoumaných úsecích se nacházejí autochtonní (6 %), kombinované (29 %) i alochtonní akumulace (65 %). Alochtonní a kombinované akumulace vznikly za povodní v letech 2002 a 2006 a indikují intenzivní transport dřeva v říčním koridoru. Poměrně vysoký podíl kombinovaných akumulací ukazuje na významný vliv velkých vyvrácených stromů (klíčové kusy) pro zachytávání plovoucího dřeva. Průměrný počet LWD kusů obsažených v autochtonních akumulacích je 5,3, v kombinovaných 9,3 a v alochtonních 6,7. Autochtonní akumulace jsou rozmístěny náhodně v rámci celého zájmového území, počet kombinovaných akumulací zvolna roste směrem po proudu a alochtonní akumulace jsou z větší části koncentrovány do dolní třetiny území.

Velikost akumulací byla vyjádřena pomocí počtu obsažených kusů dřeva a objemu dřevní biomasy (obr. 7). Z grafů je patrné, že dominují akumulace obsahující menší počet kusů a akumulace s objemem dřevní biomasy do 1 m³. Velké akumulace čítající několik desítek kusů jsou poměrně vzácné a tvoří méně než 5 % z celkového počtu. Maximální počet kusů dřeva zaznamenaný v jedné akumulaci byl 98, maximální zaznamenaný objem dřeva v akumulaci byl 14,9 m³. Tyto hodnoty však jsou mírně podhodnocené, protože blíže nespecifikovaný počet kusů pohřbených uvnitř akumulace nemohl být změřen. Několik velkých akumulací, které však nebyly do analýzy zahrnuty, obsahujících až desítky kusů, se nacházejí také mimo mapované úseky. Největší akumulace bývají zpravidla velmi kompaktní, zaklíněné mezi živé, stojící stromy a obsahují i velké množství jemného dřeva a dalších organických naplavenin (seno, listí, aj.). Velké akumulace představují zvláštní biotopy, na kterých probíhají v současnosti iniciační sukcesní stádia s rozvojem bylinné vegetace. Pro-



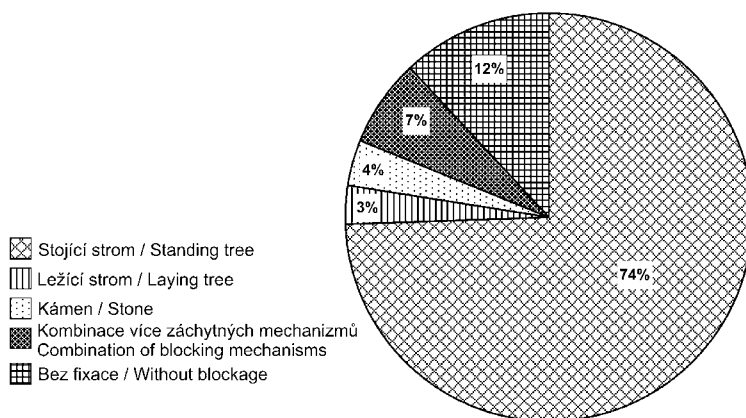
Obr. 7. Rozdělení dřevních akumulací podle velikosti na základě počtu obsažených kusů a objemu.
Fig. 7. Classification of wood jams according to number of LWD pieces and volume.



Obr. 8. Prostorové rozšíření akumulací různé velikosti v říčním koridoru Dyje.
 Fig. 8. Spatial distribution of wood jams of various dimensions in the corridor of the River Dyje.

storové rozmístění akumulací různých velikostí je zachyceno na obr. 8. Akumulace s velkým počtem kusů jsou soustředěny spíše do dolní třetiny zájmového území, akumulace s menším počtem kusů, ale velkým objemem dřevní biomasy jsou rozmístěny více rovnoměrně.

Tvorbu akumulací a jejich prostorovou distribuci ovlivnil do značné míry výskyt různých překážek, které se nacházejí na březích a v nivě, méně také v korytě. Obr. 9 ukazuje poměrné zastoupení blokačních mechanismů, které vyvolaly zachytávání a akumulaci říčního dřeva na určitých místech. Z grafu jednoznačně vyplývá, že prvořadou úlohu při zachytávání dřeva sehrály především živé, stojící stromy. Tento fakt je také nejspíše zodpovědný za to, že nejvíce alochtonních akumulací se nachází v dolní třetině údolí, která je nejsouvisleji zalesněná. Pouze 12 % akumulací vznik-



Obr. 9. Poměrné zastoupení blokačních mechanismů, které se uplatnily při zachytávání říčního dřeva za povodní a podminily tvorbu dřevních akumulací v říčním koridoru Dyje.

Fig. 9. Relative proportion of the blockage mechanisms which affected trapping of floating LWD and formation of wood accumulations during floods.

lo na volném prostranství a neváže se na žádnou překážku blokující proudění vody a transport dřeva. Kromě živých stromů se v menším počtu případů uplatnily jako záchytný prvek také velké ležící stromy a velké balvany.

Balvany se uplatnily jako blokační mechanismus v horní a dolní třetině zájmového území, kde vystupují na povrch ortoruly a granity, které zvětrávají na velké bloky. Záchytný efekt balvanů se však projevuje spíše za menších povodní, protože při extrémních průtocích bývají ponořené pod vodou. Na některých místech se na vzniku akumulace podílelo více záchytných mechanismů současně. K takovým případům patří např. zachycení dřeva v úzkém průchodu mezi stromem a skalním svahem nebo balvanem, ale zejména případy, kdy zachytávání vyvolal vyvrácený strom v kombinaci se stojícím stromem.

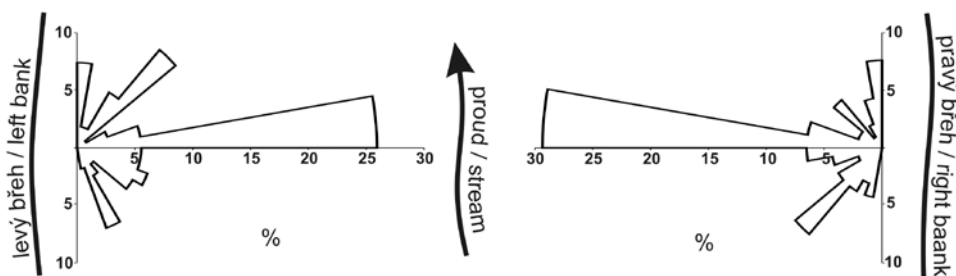
Velký význam různých blokačních mechanismů pro depozici plovoucího dřeva a vznik akumulací vyplývá i z orientace delší osy akumulací (obr. 10). Transportované kusy dřeva bývají v korytě většinou orientovány paralelně s osou proudění. Naproti tomu převážná většina akumulací je orientována příčně či diagonálně ke směru proudění, což naznačuje natlačení plovoucích kusů na překážku a jejich stočení do pozice kolmé ke směru proudění.

Parametry LWD kusů v dřevních akumulacích

Průměrná tloušťka změřených kusů dřeva je 19 cm a průměrná délka 3,6 m. Z porovnání tloušťky a délky kusů s jinými říčními systémy v České republice je zřejmé, že jejich rozměry jsou výrazně menší, viz například práci MÁČKA, KREJČÍ (2010a). Z mapování vyplývá, že akumulace obsahují 87 % alochtonních kusů a pouze z 13 % jsou tvořeny místními, nepřepravenými kusy.

Analýza ukázala, že existuje statisticky významný rozdíl mezi alochtonními (mobilními) a autochtonními (stabilními) kusy, co se týče jejich rozměrů (tloušťka, délka). Obr. 11 ukazuje variabilitu tloušťky a délky zvláště pro mobilní a stabilní kusy. Z grafů je patrné, že stabilita kusu je ovlivněna především jeho délkou, menší rozdíl mezi mobilními a stabilními kusy je pak v jejich tloušťce. Z grafů vyplývá, že 75 % mobilních kusů jsou kratší než 3,4 m a současně 75 % stabilních kusů jsou delší než tato hodnota. Z grafů je také patrná mnohem větší variabilita délky u stabilních kusů. Méně citlivým indikátorem mobility/stability je tloušťka kusů. Shoda obou souborů je větší, nicméně rozdíl v tloušťce alochtonních a autochtonních kusů je stále statisticky významný. Z grafů vyplývá že 75 % mobilních kusů bylo tenčích než 21 cm.

Další zjišťovanou charakteristikou kusů říčního dřeva byla zachovalost kořenového balu a stupeň odvětvení. Naprostá většina kusů obsažených v akumulacích nemá zachovalý kořenový bal, který byl zaznamenán pouze u 6 % kusů. Většina má podobu holého kmene bez větví (89 %), primární větve mělo zachovalé 5 % kusů, sekundární větve 2 % kusů a terciární větve (většinou kompletní korunu) 4 % kusů. obr. 12 ukazuje rozdíly v zachovalosti kořenového balu a stupni odvětvení mezi alochtonními a autochtonními kusy. Více než 90 % kusů, které mají zachovalý kořenový bal patří do kategorie autochtonních. V řadě případů jsou vyvrácené stromy ještě zčásti spojeny kořeny se substrátem, což je přirozený kotvicí mechanismus, který dále zvyšuje jejich stabilitu. U alochtonních kusů byla přítomnost kořenového balu zaznamenána v méně než 1 % případů. Velmi zřetelný je rovněž vztah mezi mobilitou dřeva a stupněm zachovalosti větví. S rostoucí mírou odvětvení proporcionálně stoupá podíl přeplavených kusů. Nejmobilnější jsou krátké, holé kmeny bez větví, které jsou mezi alochtonními kusy zastoupeny více než z 90 %. Stabilizační účinek větví se obvykle kombinuje s přítomností kořenového balu. Stromy, které mají dosud zachovalý kořenový bal, mají ve více než polovině případů zachovalé alespoň primární větve. Kusy bez balu mají větve zachovalé v méně než 10 % případů.



Obr. 10. Orientace delší osy wood jams vůči směru proudění. Zvláště jsou vykresleny soubory pro akumulace ležící při pravém a levém břehu.

Fig. 10. Orientation of the longer axis of wood accumulations to the flow direction. Orientations of wood jams lying on the left and right side (bank) of the river corridor are presented separately.

Poslední sledovanou charakteristikou u individuálních kusů dřeva bylo jejich ovlivnění člověkem. V říčním koridoru jsme našli motorovou pilou nařezaná polena s délkou 1 až 2,5 m a dále vyvrácené či ulomené stromy, jejichž koruny byly odřezány, aby nezasahovaly do koryta. Oba typy člověkem ovlivněného říčního dřeva byly rovněž součástí akumulací. Podíl kusů uřezaných motorovou pilou je neobvykle vysoký a tvoří 31 % všech měřených kusů obsažených v akumulacích. V případě alochtonních kusů tvořily uřezané kusy 35 % a v drtivé většině se jednalo o polena, v případě autochtonních kusů tvořily uřezané kusy 12 % a většinou se jednalo o stromy s odřezanými korunami.

DISKUSE

Mapování ukázalo, že říční koridor Dyje je poměrně bohatý na říční dřevo, včetně hojného výskytu dřevních akumulací. Referenční mapování individuálních kusů a akumulací v 6 km dlouhém, souvislém úseku v dolní části zájmového území ukázalo, že 42,2 % z celkového počtu je agregováno v akumulacích. Identifikovali jsme následující faktory, které ovlivnily prostorovou distribuci a vlastnosti dřevních akumulací: prostorová dynamika přísunu dřeva, redepozice dřeva extrémními povodněmi (transportní vzdálenost, přednostní místa ukládání), vlastnosti kusů dřeva a vliv člověka. Prostorovou variabilitu přísunu dřeva ovlivňuje prostorové rozšíření a charakter (druhová, věková skladba) vegetačního doprovodu řeky a jeho

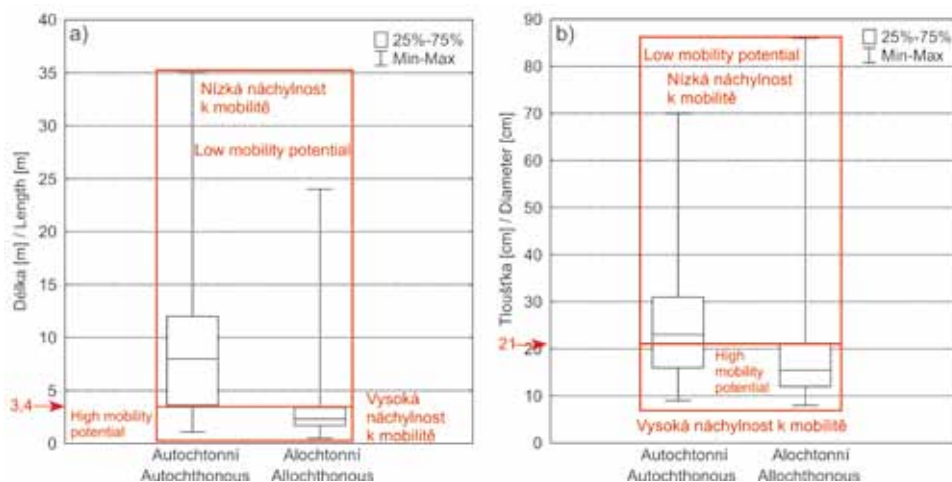
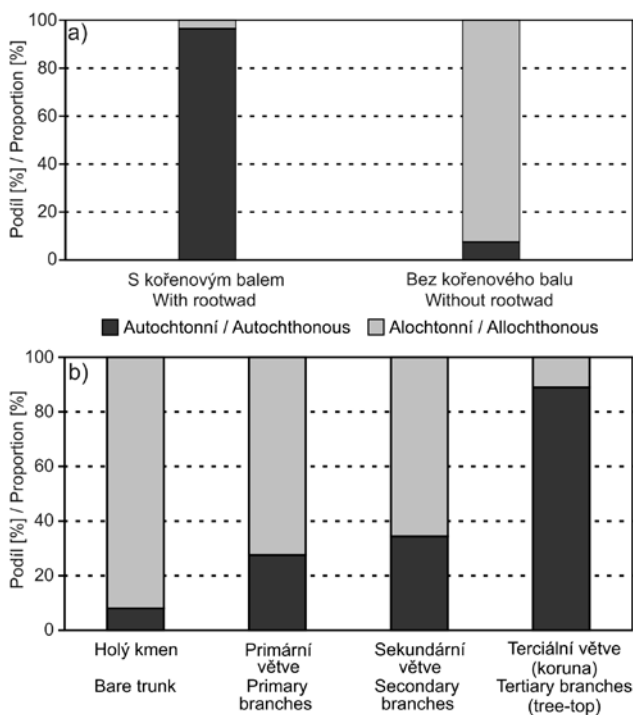


Fig. 11. Krabicové grafy pro délku (a) a tloušťku (b) kusů dřeva obsažených v dřevních akumulacích. V obrázku jsou demonstrovány rozdíly v délce a tloušťce mezi alochtonními (mobilními) a autochtonními (stabilními) kusy.

Fig. 11. Box plots for length (a) and diameter (b) of LWD pieces included in wood jams. Differences in length and diameter between allochthonous (mobile) and autochthonous (stable) pieces are shown.



Obr. 12. Stupeň rozkladu (zachovalost kořenového balu, stupeň odvětvení) vyjádřený zvláště pro autochtonní (stabilní) a alochtonní (mobilní) kusy dřeva obsažené v akumulacích.

Fig. 12. Decay status (preservation of rootwad and branches) expressed separately for autochthonous (stable) and allochthonous (mobile) LWD pieces included in studied wood accumulations.

interakce s přísunovými procesy. Mapování fyziognomie porostů lemujících koryto ukázalo vysoký podíl dospělého lesa (71,5 %) a souvislých i nesouvislých dřevinných lemů (12 %). S lesními porosty na údolním dně a svazích nebylo v minulých 65 letech nakládáno jako s klasickými lesy hospodářskými, jednalo se o lesy účelové s minimem těžebních zásahů. Porosty postupně stárnou a tím se zvyšuje přísun dřeva do říčního koridoru. Hlavními přísunovými mechanismy jsou vítr a vlastní dynamika lesních porostů (např. choroby, škůdci, kompetice mezi jedinci, stáří). Vliv geomorfologických procesů jako břehová eroze a svahové pohyby je spíše zanedbatelný.

Prostorově náhodná distribuce individuálních kusů říčního dřeva, která je výsledkem přísunových procesů, je následně modifikována redepozicí za povodní. Povodně způsobují koncentraci dřeva do akumulací (65 % akumulací je alochtonních), které vznikají na místech příhodných pro retenci plovoucího dřeva. Výskyt povodní je od roku 1934 potlačen přehradou Vranov a povodně s extrémními průtoky, které s velkou hloubkou vody zaplavily celé údolní dno a úpatí údolních svahů, se vyskytly pouze v letech 2002 a 2006 (v obou případech více než 100letá povodeň). Nic-

méně, redistribuce dřeva korytem a v níže položených částech nivy je možná i při menších povodňových událostech. Lokálně jsou podstatné části nivy zaplaveny již při průtoku $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (10letá povodeň). Takové povodně se vyskytly v letech 1951, 1965, 1996 a v prosinci 2002 (ČHMÚ). Nové prostorové uspořádání říčního dřeva je pak funkcí transportní vzdálenosti a prostorového rozmístění zachytných míst. Řeka Dyje je ukázkovým příkladem říčního systému náchylného k mobilitě říčního dřeva, protože šířka koryta je výrazně větší než průměrná délka kusů dřeva (poměr průměrné délky kusů k průměrné šířce koryta je pouze 0,1). Prvotní předpoklad, že počet a objem akumulací progresivně poroste s rostoucí vzdáleností od hráze nádrže Vranov a zvětšující se zdrojovou oblastí splavování dřeva, se nepotvrdil. Výskyt akumulací má podružné maximum blízko počátku zájmového území, minimum ve střední části a výrazné maximum na dolním toku (obr. 4 a 5). Toto uspořádání spíše odráží rozložení lesa podél toku, se zalesněním na horním toku, větším výskytem kosených a vlhkých aluviálních luk ve střední části a nejsouvislejším zalesněním na dolním toku. Rozmístění akumulací tak spíše odráží rozložení zdrojových oblastí a naznačuje spíše kratší transport říčního dřeva.

Z analýzy prostorové distribuce akumulací dále vyplynulo, že jejich drtivá většina se nachází v nivě (78 %), malá část v přechodné zóně mezi korytem a nivou (18 %) a pouze minimum v přímo korytě (4 %). Minimální retence dřeva v korytě ukazuje na velkou transportní kapacitu řeky a současně velkou retenční kapacitu příbřežní zóny. V detailním pohledu se pak ukázalo, že prvoradou úlohu při zachytávání dřeva a tvorbě akumulací měly stojící, živé stromy, případně padlé stromy a balvany (obr. 9). Původní předpoklad, že prostorová distribuce dřevních akumulací bude v první řadě podmíněna geomorfologií koryta a nivy se nepotvrdil. Nepodařilo se prokázat hypotézu, že místa preferenční depozice plovoucího dřeva se nacházejí na konkávních březích meandrových zákrutů. Poloměr zákrutů je zřejmě již tak velký, že konkávní břehy nepůsobí jako přirozené lapače dřeva. Naše výsledky se tedy rozcházejí se zjištěními autorů, kteří prokázali roli konkávních břehů pro zachytávání plovoucího dřeva (např. ABBE, MONTGOMERY 1996, PIÉGAY, MARSTON 1998). Naopak naše výsledky jsou konzistentní se zjištěním, že efektivním blokačním mechanismem jsou stojící, živé stromy či balvany (PIÉGAY 1993, PIÉGAY, GURNELL 1997). Hypotéza, že větší šířka nivy vytváří větší potenciál pro depozici plovoucího dřeva, se potvrdil pouze částečně. Existující závislost mezi počtem akumulací a šířkou nivy je poměrně slabá (viz tab. IV). Nebylo rovněž potvrzeno, že místa zvýšené retence dřeva a tvorby dřevních akumulací se nacházejí v úsecích s užším korytem, menším sklonem koryta a v meandrových zákrutech s menším poloměrem. Variabilita těchto parametrů koryta není pravděpodobně v zájmovém území tak velká, aby měla vliv na prostorové rozmístění dřevních akumulací.

Naopak se zdá, že pro distribuci dřevních akumulací je klíčový rozsah a charakter doprovodného lesa. Les se uplatňuje jako zdroj dřeva pro následný transport za povodní a současně stojící, živé stromy se projevují jako klíčová místa pro zachytávání plovoucího dřeva. Svoji úlohu při retenci dřeva v příbřežní zóně mohla sehrát i laterální konektivita mezi korytem a nivou. Laterální konektivita je v první řadě funkcí porostní hustoty (počtu stromů na jednotkovou plochu) a dále pak délky kusů dřeva přítomných v říčním koridoru. Laterální konektivita roste s klesající porostní hustotou a snižující se délkou kusů dřeva. V případě vysoké laterální konektivity

je při povodni ležící dřevo snadno vynášeno do koryta, a současně dřevo unášené korytem může být snáze vneseno hlouběji do nivy, kde se zachytává na stojících stromech. V takových místech mohou vznikat větší alochtonní akumulace hlouběji uvnitř nivy, dále od břehu. Naopak v místech s vysokou porostní hustotou bude docházet k zachytávání dřeva plovoucího korytem spíše na rozhraní mezi korytem a nivou. Uvnitř zaplavené nivy pak budou transportovány místní kusy dřeva na krátkou vzdálenost jednotek až prvních desítek metrů a budou vznikat malé alochtonní akumulace. Vliv laterální konektivity na retenci alochtonního říčního dřeva a vznik akumulací však nebyl studován a bude předmětem dalšího výzkumu.

Tvorba akumulací byla rovněž do značné míry ovlivněna vlastnostmi kusů dřeva – velikostí a zachovalostí. Délka kusu je významným faktorem určujícím jeho stabilitu, případně délku transportu při povodni, protože ovlivňuje pravděpodobnost zachycení v doprovodných porostech. Čím je kus delší, tím větší je šance, že se zachytí v zaplaveném lese v nivě. Naproti tomu snadno jsou transportovány i velmi tlusté, ale krátké kusy dřeva. Z tohoto pohledu je zajímavý vliv člověka, konkrétně způsob údržby doprovodných porostů, na mobilitu dřeva. Po povodni v roce 2002 provedl správce toku vyklizení části dřevní hmoty z inundačního území. Větší stromy ležící na zemi na místech nepřístupných pro přibližovací techniku však byly pouze pořezány na polena 1 až 2,5 m dlouhá a ta byla ponechána na místě k zetlení. Tím se ovšem neobyčejně zvýšil transport dřeva při povodni v roce 2006, protože v záplavovém území byl zanechán velký počet krátkých, snadno odplavitelných kusů dřeva. Podíl pořezaných polen mezi alochtonními kusy v akumulacích činí celých 31 %. Podle analýzy, kterou provedli KOŽENÝ, SIMON (2006), sestávalo hrubé říční dřevo naplavené v březnu 2006 do nádrže Znojmo z 49 % z pořezaných kusů.

Dalším faktorem, který se ukázal být důležitý pro mobilitu dřeva a tvorbu dřevních akumulací je stupeň rozkladu padlých stromů. Se vrůstajícím stupněm odvětvění roste pravděpodobně i potenciál pro transport za povodně (obr. 12). Povahu vztahu mezi stupněm zachování větví a mobilitou však nelze jednoznačně určit. Nelze totiž vyloučit ani možnost, že za povodni byly transportovány i kusy s dobře zachovalými větvemi, a že ke ztrátě větví došlo až rozlámáním při povodňovém transportu. Tento případ by se mohl zejména týkat alochtonních kusů se zachovalými primárními a sekundárními větvemi. V případě kusů se zachovalými terciárními větvemi či dokonce kompletní korunou, však přítomnost větví účinně brání odplavení. Strom se může větvemi zaklesnou do okolních stojících a vyvrácených stromů či o balvany v korytě a je účinně kotven ve své původní pozici.

ZÁVĚR

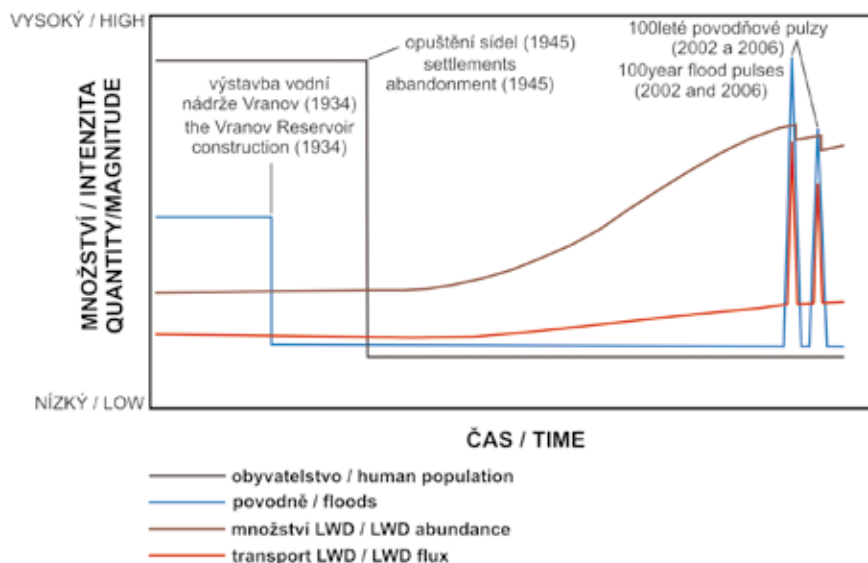
Zájmový úsek řeky Dyje dlouhý 42 km představuje z hlediska přísunu říčního dřeva uzavřený systém, protože import z horního toku a export na dolní tok jsou omezeny hrázemi dvou přehradních nádrží. Přínos dřeva z povodí přítoku je rovněž omezený, protože se jedná o krátké toky s úzkým korytem a omezenou transportní kapacitou. V říčním koridoru Dyje (ponejvíce v nivě) se nachází poměrně značné množství dřeva, které je do značné míry agregováno do podoby dřevních akumulací. Průzkum akumulací v 62 úsecích o délce 200 m ukázal, že se jedná z větší části o akumulace tvořené alochtonními kusy. Alochtonní akumulace se vytvořily s největší pravděpodobností při extrémních povodních (> 100leté povodně) v letech 2002 a 2006.

Tuto interpretaci potvrzuje fakt, že 31 % kusů dřeva obsažených v akumulacích jsou uříznuté motorovou pilou. Jedná se hlavně o polena, která vznikla při krácení vyvrácených stromů, které provedl správce toku po první povodni v roce 2002. Vznik dřevních akumulací byl tedy podmíněn extrémními povodňovými pulsy v kombinaci se zásahem člověka, který značně přispěl ke zvýšení mobility dřeva ležícího v záplavovém území. Akumulace jsou převážně malé a obsahují většinou 4 až 10 kusů dřeva, největší akumulace však obsahují více než 100 kusů.

Řeka Dyje představuje fluviální systém se značnou náchylností k transportu říčního dřeva, ve kterém šířka koryta značně přesahuje délku kusů, které vstupují do říčního koridoru. Z tohoto důvodu je množství říčního dřeva včetně akumulací, které se nacházejí přímo v korytě minimální a k jeho retenci dochází na rozhraní koryta a nivy. Kusy dřeva, které se dostaly za povodně přímo do koryta, mohou být transportovány na delší vzdálenost. Nicméně řada akumulací zřejmě vznikla pouze krátkým přeplavením několika málo kusů uvnitř zaplaveného lesa v nivě a neprodělala transport přímo korytem. Tomu nasvědčuje velký podíl akumulací s malým počtem alochtonních kusů zachycených na stojících, živých stromech v nivě. Povodňové pulzy reorganizovaly rozmístění říčního dřeva z více náhodného do více koncentrovaného (nahromadění v akumulacích).

Extrémní povodně v letech 2002 a 2006 způsobily intenzivní transport dřeva, který vedl k tomu, že přehradní nádrž Znojmo byla zanesena dřevním materiálem. Redistribuce takto velkého množství říčního dřeva může být vysvětlena v kontextu vývoje říčního koridoru v posledních 70 letech (viz obr. 13). V první polovině 20. století dosud neexistovala přehrada Vranov a byl ještě zachován přirozený povodňový režim. Celé území bylo v té době osídlené a údolní dno i svahy byly více odlesněné, koryto bylo čištěno od dřeva. Z tohoto důvodu byla tvorba a přísun dřeva do řeky mnohem menší než později po II. světové válce. Malé množství říčního dřeva bylo tehdy snáze transportováno dolů po proudu menšími a středními povodněmi. V roce 1934 byla zprovozněna přehrada Vranov, která eliminovala povodně, po roce 1945 pak bylo vysídleno obyvatelstvo a skončilo ekonomické využívání dyjského údolí. Následná spontánní obnova lesa na údolním dně a na svazích, jeho odrůstání a stárnutí vedlo ke pozvolnému nahromadění velkých zásob ležícího dřeva v říčním koridoru. K hromadění dřeva navíc přispěla absence povodní, které by jinak dřevo exportovaly dále po proudu. Extrémní povodňové pulsy v letech 2002 a 2006 pak vyvolaly rozsáhlou redistribuci nahromaděného dřeva, jeho redepozici v nivě, tvorbu dřevních akumulací a také vnesení částí dřeva do přehradní nádrže Znojmo (obr. 1).

Nové prostorové uspořádání říčního dřeva (koncentrace v akumulacích) je mnohem stabilnější než původní uspořádání (náhodné rozmístění). U kusů dřeva, které prodělaly transport během povodně a byly uloženy v říčním koridoru se předpokládá, že pro jejich opětovnou mobilizaci je zapotřebí průtok, který přesáhne povodeň, která kusy uložila (HAGA et al. 2002). Protože poslední povodeň v roce 2006 byla extrémní a hydrologický režim řeky je kontrolován manipulací na vodním díle Vranov, je výskyt stejně velké nebo větší povodně v blízké budoucnosti málo pravděpodobný. Existující dřevní akumulace tak budou přetrvávat v nivě po dlouhou dobu a budou podléhat pozvolnému rozkladu, protože většina dřeva je deponována v terestrickém prostředí (nivě) a značný podíl tvoří dřeviny s rychle se rozkládajícím dřevem (vrby, olše).



Obr. 13. Konceptuální model ukazující vztah mezi antropogenním ovlivněním hydrologického režimu, produkcí říčního dřeva v závislosti na odrůstání lesa a redepozici dřeva při povodňových událostech.

Fig. 13. Conceptual model showing relationships between human intervention on the hydrological regime, LWD production due to increase of riparian forest cover, and re-deposition of large woody debris caused by flood pulses.

SUMMARY

The study reach of the River Dyje (42 km long) is a closed system, because import of LWD from upstream and export downstream are prevented by the retaining dams of water reservoirs at each end. Import from the tributaries within the study reach is also limited by low transport capacity resulting from narrow channels and small discharges. A large amount of LWD is present in the river corridor (especially in the riparian zone), to a substantial degree aggregated into wood jams. A survey of wood jams in 62 reaches distributed across the study area showed a marked preponderance of wood jams comprising allochthonous (transported) LWD pieces. These allochthonous wood jams were created in the course of two large flood pulses (>100-year floods) in the years 2002 and 2006. This interpretation is supported by the fact that 31% of the LWD pieces included in the wood jams have been cut with chainsaws. Those pieces are logs from uprooted trees cut into sections by the river manager after the first flood in 2002. Thus, the origin of many of the wood jams was conditioned by two extreme floods in combination with a management impact that considerably increased the mobility of LWD lying in the riparian zone. The wood jams are mostly small, including 4–10 LWD pieces; the largest jams contain more than a hundred LWD pieces.

The channel of the River Dyje is a transport-susceptible system in which channel width markedly exceeds mean LWD length. This accounts for why LWD loads directly in the channel are low in comparison with those at the channel/floodplain boundary and in the riparian zone. LWD pieces which entered the river channel directly may be transported for large distances. Nevertheless, many allochthonous wood jams originated in short transport of a few pieces within the inundated riparian

forest and were never subject to transport via the channel. This conclusion is supported by the presence of a high number of small wood jams trapped on standing trees far from the channel in the riparian forest.

Two large flood pulses in the years 2002 and 2006 re-organized the spatial distribution of LWD, from random to more concentrated (i.e. gave rise to aggregation into wood jams). The floods brought about intensive LWD transport, resulting in the downstream reservoir at Znojmo becoming congested with floated wood biomass. Widespread re-deposition of large quantities of LWD may be explained in the context of river corridor changes that have taken place in the last 70 years (see conceptual model, Fig. 13). A natural hydrological regime with floods prevailed until the early 20th century, when the Vranov dam was constructed. The studied area used to be inhabited, the valley bottom and slopes were to a large extent deforested and LWD was removed from the channel to protect water mills. This accounts for the fact that production and input of LWD in and around the river corridor was much lower than in the period after the Second World War. Small LWD loads could easily be exported downstream by recurring small and medium floods. The Vranov dam came into operation in 1934 with resultant large floods elimination, the inhabitants being relocated from the border area with Austria and economic exploitation of the area ceased in 1945. The subsequent spontaneous regeneration of forest on the valley bottom and slopes and the growth and aging of this forest increased the production and accumulation of LWD in the river corridor. The accumulation of LWD was also conditioned by a dam-mediated absence of floods that would otherwise have exported LWD further downstream. Extreme flood pulses then caused extensive re-distribution of accumulated LWD, its re-deposition in the riparian zone, the formation of wood jams and also their inflow to the Znojmo reservoir (Fig. 1).

The new spatial organization of LWD (its concentration in wood jams) is more stable than the original arrangement (a more random distribution). It is presumed that LWD pieces may be remobilised only by a discharge exceeding the peak discharge of the flood responsible for their deposition. However, the statistical probability of a large flood is rather low because the flow is controlled by the Vranov dam. Thus, existing wood jams will probably persist in the riparian zone for a considerable time and their longevity will tend to depend on the wood decomposition rates. Their rate of LWD decay is dependent on their position in the river corridor (a shaded environment in riparian forest enhances decomposition) and the capacity of various tree species to resist decay.

PODĚKOVÁNÍ

Mapování dřevních akumulací bylo provedeno jakou součástí česko-rakouského projektu Příroda bez hranic (Natur ohne Grenze), 2009–2011. Výzkum byl dále podpořen projektem GA ČR Environmentální význam mrtvého dřeva v říčních ekosystémech č. 205/08/0926. Za pomoc při terénním výzkumu děkujeme Martinu Braunovi, Ondřeji Kincovi, Ondřeji Marvánkovi, Lucii Peterkové a Pavlu Roštinskému.

LITERATURA

- ABBE T. B., PETROFF C., MONTGOMERY D. R. (1997): Design of stable in-channel wood debris structures for bank protection and habitat restoration: an example from the Cowlitz River, WA. – In: WANG C. C., LANGENDOEN E. J., SHIELDS F. D. (eds.): Management of landscapes disturbed by channel incision, stabilization, rehabilitation, and restoration. University of Mississippi, Oxford, 809–814.
- ABBE T. B., MONTGOMERY D. R. (1996): Large woody debris jams, channel hydraulics, and habitat formation in large rivers. – *Regulated Rivers: Research and Management*, 12: 201–221.
- ABBE T. B., MONTGOMERY D. R. (2003): Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. – *Geomorphology*, 51: 81–107.
- ANONYMUS (1952): Dvojargumentové hmotové tabulky. – Lesprojekt, Brandýs nad Labem.
- ANONYMUS (2006): Conceptual design guidelines – Application of Engineered Logjams. Herrera Environmental Consultants, Inc., Seattle. – [ms. depon. in Scottish Environmental Protection Agency].

- ASSANI A. A., PETIT F. (1995): Log-jam effects on bed-load mobility from experiments conducted in a small gravel-bed forest ditch. – *Catena*, 25: 117–126.
- BEECHIE T. J., SIBLEY T. H. (1997): Relationships between channel characteristics, woody debris, and fish habitat in Northwestern Washington streams. – *Transactions of the American Fisheries Society*, 126: 217–229.
- BENDA L. (2004): Wood Recruitment to Streams, Mendocino Coast, California. Lee Benda and associates, Inc. – [ms. depon. in Campbell Timberland Management, Mt. Shasta].
- BILBY R. E. (1981): Role of organic debris dams in regulating the export of dissolved and particulate matter from a forested watershed. – *Ecology*, 62: 1234–1243.
- BILBY R. E. (1984): Removal of woody debris may affect stream channel stability. – *Journal of Forestry*, 82: 609–613.
- BILBY R. E., WARD J. W. (1989): Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size of streams in Western Washington. – *Transactions of the American Fisheries Society*, 118: 368–378.
- BOCCHIOLA D., RULLI M. C., ROSSO R. (2008): A flume experiment on the formation of wood jams in rivers. – *Water Resources Research*, 44: W02408.
- BOOTH D. B., MONTGOMERY D. R., BETHEL J. (1997): Large woody debris in urban streams of the Pacific Northwest. – In: ROESNER L. A. (ed): *Proceedings of the Engineering Foundation Conference*. Engineering Foundation, New York, 178–197.
- BROOKS A. P., GEHRKE P. C., JANSEN J. D. (2004): Experimental reintroduction of woody debris on the Williams River, NSW: Geomorphic and ecological responses. – *River Research and Applications*, 20: 513–536.
- BRUMMER C. J., ABBE T. B., SAMPSON J. R., MONTGOMERY D. R. (2006): Influence of vertical channel change associated with wood accumulations on delineating channel migration zones. – *Geomorphology*, 80: 295–309.
- BRYANT M. D. (1983): The role and management of woody debris in west coast salmonid nursery streams. – *North American Journal of Fisheries Management*, 3: 322–330.
- COE H. J., KIFFNEY P. M., PESS G. R., KLOEHN K. K., MCHENRY M. L. (2009): Periphyton and invertebrate response to wood placement in large wood placement in large Pacific coastal rivers. – *River Research and Applications*, 25: 1025–1035.
- COMITI F., ANDREOLI A., MAO L., LENZI M. A. (2008): Wood storage in three mountain streams of the Southern Andes and its hydro-morphological effects. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 244–262.
- CURRAN J. C. (2010): Mobility of large woody debris (LWD) jams in a low gradient channel. – *Geomorphology*, 116: 320–329.
- CURRAN J. H., WOHL E. (2003): Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. – *Geomorphology*, 51: 141–157.
- DE WAAL L. C. (2002): The nature and spatial distribution of large woody debris in the Upper Luznice River, the Czech Republic. – *Ecology (Bratislava)*, 21: 85–101.
- DIEZ J. R., LARRANAGA S., ELOSEGI A., POZO J. (2000): Effect of removal of wood on streambed stability and retention of organic matter. – *Journal of the North American Benthological Society*, 19: 631–632.
- ELOSEGI A., DIEZ J. R., POZO J. (1999): Abundance, characteristics, and movement of woody debris in four Basque streams. – *Archiv für Hydrobiologie*, 144: 455–471.
- FAUSTINI J. M., JONES J. A. (2003): Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon. – *Geomorphology*, 51: 187–205.
- FRANCIS R. A., TIBALDESCHI P., MCDUGALL L. (2008): Fluvially-deposited large wood and riparian plant diversity. – *Wetlands Ecology and Management*, 16: 371–382.
- FREMIER A. K., SEO J. I., NAKAMURA F. (2010): Watershed controls on the export of large wood from stream corridors. – *Geomorphology*, 117: 33–43.
- GIPPEL C. J. (1995): Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. – *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 121: 388–395.

- GREGORY K. J., GURNELL A. M., HILL C. T. (1985): The permanence of debris dams related to river channel processes. – *Hydrological Sciences Journal*, 30: 371–381.
- GREGORY K. J., DAVIS R. J., TOOTH S. (1993): Spatial distribution of coarse woody debris dams in the Lymington Basin, Hampshire, UK. – *Geomorphology*, 6: 207–224.
- GREŠKOVÁ A. (2005): Zvyšky dreva v korytách riek: interakcie s korytovou morfológiou a fluvialnými procesmi. – *Geomorphologia Slovaca*, 5: 21–33.
- GURNELL A. M., SWEET R. (1998): The distribution of large woody debris accumulations and pools in relation to woodland stream management in a small, low-gradient stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 1101–1121.
- GURNELL A. M., PETTS G. E., HANNAH D. M., SMITH B. P. G., EDWARDS P. J., KOLLMANN J., TOCKNER K., WARD J. V. (2000): Wood storage within the active zone of a large European gravel-bed river. – *Geomorphology*, 34: 55–72.
- HAGA H., KUMAGAI T., OTSUKI K., OGAWA S. (2002): Transport and retention of coarse woody debris in mountain streams: an in situ field experiment of log transport and a field survey of coarse woody debris distribution. – *Water Resources Research*, 38: 1126.
- HYATT T. L., NAIMAN R. J. (2001): The residence time of large woody debris in the Queets River, Washington, USA. – *Ecological Applications*, 11: 191–202.
- IL SEO J., NAKAMURA F., CHUN K. W. (2010): Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions. – *Landscape and Ecological Engineering*, 6: 271–287.
- KACZKA R. J. (2003): The coarse woody debris dams in mountain streams of central Europe, structure and distribution. – *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 37: 111–127.
- KOŽENÝ P. (2007): Vliv desetileté povodně na transport dřevní hmoty uložené v korytě a nivě řeky Blanice. – In: MĚKOTOVÁ, J., ŠTĚRBA O. (eds.): Říční krajina 5. Univerzita Palackého, Olomouc, 124–133.
- KOŽENÝ P., SIMON O. (2006): Analýza naplavené dřevní hmoty na nádrži Znojmo po jarní povodni 2006. – In: MĚKOTOVÁ, J., ŠTĚRBA O. (eds.): Říční krajina 4. Univerzita Palackého, Olomouc, 111–117.
- KOŽENÝ P., SIMON O., VAJNER P., ŽERNÍČKOVÁ O. (2006): Stabilita přírodě blízkého zpevnění meandrů Moravy v NPR Vrapač. – In: MĚKOTOVÁ, J., ŠTĚRBA O. (eds.): Říční krajina 4. Univerzita Palackého, Olomouc, 118–130.
- LASSETRE N. S., PIÉGAY H., DUFOUR S., ROLLET A. J. (2008): Decadal changes in distribution and frequency of wood in a free meandering river, the Ain River, France. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 1098–1112.
- LEMLY A. D., HILDERBRAND R. H. (2000): Influence of large woody debris on stream insect communities and benthic detritus. – *Hydrobiologia*, 421: 179–185.
- MÁČKA Z., BRAUN M. (2009): Risk analysis of riparian trees and large woody debris in the managed river ecosystems (case study from the National park Podyjí, Czech Republic). – *Geoscape*, 4: 86–92.
- MÁČKA Z., KREJČÍ L. (2010a): Výskyt dřevní hmoty v korytech vodních toků České republiky. – *Vodní hospodářství*, 60: 33–36.
- MÁČKA Z., KREJČÍ L. (2010b): Morfologické a sedimentologické účinky říčního dřeva v korytě Černé Opavy. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 17: 69–75.
- MALIK I. (2005): Rates of lateral channel migration along the Mała Panew River (southern Poland) based on dating riparian trees and Coarse Woody Debris. – *Dendrochronologia*, 23: 29–38.
- MALIK I. (2006): Contribution to understanding the historical evolution of meandering rivers using dendrochronological methods: example of the Mała Panew River in southern Poland. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 1227–1245.
- MANGA M., KIRCHNER J. W. (2000): Stress partitioning in streams by large woody debris. – *Water Resources Research*, 36: 2373–2379.
- MANNERS R. B., DOYLE M. W. (2008): A mechanistic model of woody debris jam evolution and its application to wood-based restoration and management. – *River Research and Applications*, 24: 1104–1123.
- MANNERS R. B., DOYLE M. W., SMALL M. J. (2007): Structure and hydraulics of natural woody debris jams. – *Water Resources Research*, 43: W06432.

- MASER C., SEDELL J. R. (1995): From the forest to the sea. The ecology of wood in streams, rivers, estuaries, and oceans. – St Lucie Press, Delray Beach.
- McHENRY M., PESS G., ABBE T., COE H., GOLDSMITH J., LIERMANN M., MCCOY R., MORLEY S., PETERS R. (2007): The Physical and Biological Effects of Engineered Logjams (ELJs) in the Elwha River, Washington. Elwha River Engineered Logjam Monitoring Report. – [ms. depon. in Salmon Recovery Funding Board, Olympia].
- MUTZ M. (2003): Hydraulic effects of wood in streams and rivers. – In: GREGORY S. V., BOYER K. L., GURNELL A. M. (eds.): The ecology and management of wood in world rivers. American Fisheries Society Symposium, 37. American Fisheries Society, Bethesda, 93–107.
- NAIMAN R. J., BALIAN E. V., BARTZ K. K., BILBY R. E., LATTERELL J. J. (2002): Dead wood dynamics in stream ecosystems. – USDA Forest Service General technical report PSW-GTR, 181: 23–48.
- NAKAMURA F., SWANSON F. J. (1993): Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 43–61.
- NAGAYAMA S., NAKAMURA F. (2010): Fish habitat rehabilitation using wood in the world. – *Landscape and Ecological Engineering*, 6: 289–305.
- O'CONNOR M. (2000): Garcia River large woody debris instream monitoring. O'Connor Environmental, Inc., Healdsburg. – [ms. depon. in Mendocino County Resource Conservation District, Ukiah].
- OPPERMAN J. J., MERENLENDER A. M. (2007): Living trees provide stable large wood in streams. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1229–1238.
- OGINK H. J. M. (2006): Manipulace na VD Vranov – vyhodnocení manipulace při povodni na jaře 2006. Technická zpráva. – [ms. depon. in Delft Hydraulics, Delft].
- PIÉGAY H. (1993): Nature, mass and preferential sites of coarse woody debris deposits in the lower Ain Valley (Mollon Reach), France. – *Regulated Rivers - Research & Management*, 8: 359–372.
- PIÉGAY H., GURNELL A. M. (1997): Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. – *Geomorphology*, 19: 99–116.
- PIÉGAY H., MARSTON R. A. (1998): Distribution of large woody debris along the outer bend of meanders in the Ain River, France. – *Physical Geography*, 19: 318–340.
- PIÉGAY H., THÉVENET A., CITTERIO A. (1999): Input, storage and distribution of large woody debris along a mountain river continuum, the Drôme River, France. – *Catena*, 35: 19–39.
- POLLOCK M. M., HEIM M., NAIMAN R. J. (2003): Hydrologic and geomorphic effects of beaver dams and their influence on fishes. – In: GREGORY S. V., BOYER K. L., GURNELL A. M. (eds.): The Ecology and Management of Wood in World Rivers. American Fisheries Society Symposium, 37. American Fisheries Society, Bethesda, 213–233.
- SHIELDS F. D. JR., MORIN M., KUHNLE R. A. (2001): Effect of large woody debris structures on stream hydraulics. – Proceedings of the conference on wetlands engineering and restoration. American Society of Civil Engineers, Reston, 12.
- POŘÍZKA M., VANČURA P. (2003): Povodňové škody na břehových porostech. – *Podyjské listy*, 4 (3): 2.
- SCHUETT-HAMES D., PLEUS A. E., WARD J., FOX M., LIGHT J. (1999): Method manual for the large woody debris survey. TFW Monitoring Program, AM9-99-004. – [ms. depon. in Washington State Department of Natural Resources, Olympia].
- SEAR D. A., MILLINGTON C. E., KITTS D. R., JEFFRIES R. (2010): Logjam controls on channel: floodplain interactions in wooded catchments and their role in the formation of multi-channel patterns. – *Geomorphology*, 116: 305–319.
- SHIELDS F. D., JR., MORIN N., KUHNLE R. A. (2001): Effect of large woody debris structures on stream hydraulics. – In: HAYS D. F. (ed.): Wetland Engineering and River Restoration 2001. American Society of Civil Engineers, Reston, 12.
- THÉVENET A., CITTERIO A., PIÉGAY H. (1998): A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (example of two French piedmont rivers). – *Regulated Rivers: Research and Management*, 14: 467–483.
- WALLERSTEIN N. P., THORNE C. R. (2004): Influence of large woody debris on morphological evolution of incised, sand-bed channels. – *Geomorphology*, 57: 53–73.

- WALLERSTEIN N. P., THORNE C. R., DOYLE M. W. (1997): Spatial distribution and impact of large woody debris in Northern Mississippi. – In: WANG C. C., LANGENDOEN E. J., SHIELDS F. D. (eds.): Management of landscapes disturbed by channel incision, stabilization, rehabilitation, and restoration. University of Mississippi, Oxford, 145–150.
- WOOSTER J., HILTON S. (2004): Large woody debris volumes and accumulation rates in cleaned streams in redwood forests in Southern Humboldt County, California. – USDA Forest Service Research Note, PSW-RN-426.
- WRIGHT J. P., FLECKER A. S. (2004): Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream. – *Biological Conservation*, 120: 439–447.
- WYZGA B., ZAWIEJSKA J. (2005): Wood storage in a wide mountain river: case study of the Czarny Dunajec, Polish Carpathians. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 1475–1494.