

Pohyb a bilance říčního dřeva ve vodních tocích

Máčka, Z.: Transport and Budgeting of Large Wood in River Channels. *Životné prostredie*, 2018, 52, 2, p. 87 – 95.

Large wood in streams and rivers has become a functional component of lotic ecosystems since the 1970's pioneering studies in the USA. Large wood has diverse positive roles in channel hydraulics, hydrology, sediment transport, geomorphology, habitat availability and the structure and abundance of aquatic fauna and flora. In contrast to these positive ecological effects, large wood is also recognized as a contributing factor in flood hazard, river navigation problems and adverse effects on the culvert, weir and dam hydraulic structures. This paper focuses on wood dynamics in rivers, with special emphasis on wood transport and budgets. Case studies from the Dyje, Morava and Lužnice rivers are presented herein; and these illustrate the processes of wood recruitment from riparian vegetation, the conditions and distances for large wood transport and the annual wood budgets. Transport (mobility) and deposition of wood in river channels is a complex process governed by channel geomorphology, hydrological regimen, large wood properties, character and distribution of riparian vegetation and anthropogenic influences.

Key words: river, lotic ecosystem, large wood, wood budgeting, wood transport

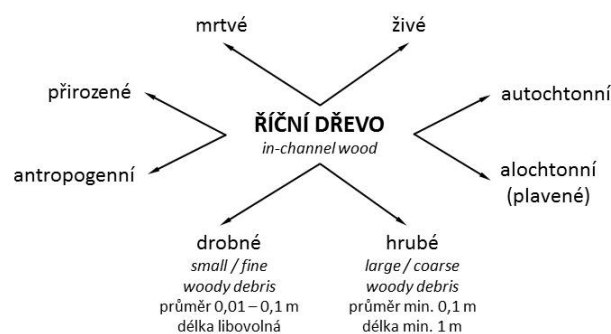
Jedním z přístupů ke studiu říčních krajín je kvantifikace materiálových toků v korytech vodních toků a jejich nivách. Ponejvíce bylo toto téma řešeno v souvislosti s odtokem vody, případně s transportem pevného (splaveniny) či rozpuštěného minerálního materiálu. Všeobecná pozornost věnovaná v současné době poznání cyklů uhlíku v terestrických ekosystémech otevřela v oblasti studia říčních systému rovněž otázky související s toky organických látek (Sutfin et al., 2016). Jako svébytná složka toku pevných látek v potocích a řekách je mimo dnových splavenin a plavenin nyní vylišováno také říční dřevo (Piégay, 2003).

Pojem říční dřevo lze definovat z různých úhlů pohledu (obr. 1), z hlediska jeho podoby se jedná o kontinuum od čerstvě vyvrácených, kompletně zachovalých stromů či keřů až po jejich zcela odvětvené a odkorněné fragmenty. Z pohledu funkcí dřeva v říčních systémech je stěžejní jeho interakce s hydrogeomorfologickými procesy. Říční dřevo se dostává do kontaktu s prouděním vody a transportem minerálních sedimentů, je těmito procesy ovlivňováno (např. transport za povodní, abraze unášenými splaveninami), a zpětně tyto procesy modifikuje, např. ovlivňuje rychlost a směr proudění vody, zachytává splaveniny (Máčka, Krejčí a kol., 2011). Největší badatelská pozornost je věnována tzv. hrubému říčnímu dřevu, které je definováno minimálními hodnotami průměru a délky (nejčastěji kusy dřeva alespoň s průměrem 10 cm a délkou 1 m).

Účinky hrubého dřeva ve vodních tocích začaly být studovány v pohořích při severozápadním pobřeží USA v první polovině 70. let 20. století. Od této doby bylo shromážděno velké množství poznatků o ekologických funkcích hrubého dřeva, které je v současnosti považováno za klíčový prvek koryt vodních toků

protékajících zalesněnými povodími. Působení dřeva v lotických ekosystémech (v proudící sladké vodě) má komplexní povahu: jednotlivé kusy či jejich akumulace vytvářejí v korytech pevné struktury, které ovlivňují hydraulické podmínky, zpomalují transport splavenin, určují místo a rychlost eroze a akumulace, čímž přispívají k utváření korytových morfologií, zvyšují stabilitu koryta, napomáhají vzniku různorodých vodních habitatů, mají dopad na početnost populací bezobratlých živočichů, ryb a vodních makrofyt (Comiti et al., 2008; Gurnell et al., 1995; Manners et al., 2007).

Vzhledem ke zjevným ekologickým užitkům vyplývajícím z přítomnosti dřeva v korytech a současně negativním jevům z pohledu lidské společnosti, jako je zvyšování povodňového rizika, ohrožení vodních staveb či lokální destabilizace koryt, je věnována v současnosti velká pozornost transportu a ukládání dřeva v korytech a příbřežní zóně vodních toků (Ruiz-Villa-



Obr. 1. Návrh klasifikace říčního dřeva podle jeho původu, pohyblivosti a velikosti

nueva et al., 2016). Hrubé dřevo se dnes sice používá stále častěji při revitalizacích potoků a řek (vkládání dřeva do koryt), převládající pohled vodohospodářů je však odmítavý, a dřevo je z vodních toků aktivně odstraňováno. Studie věnované transportu a depozici dřeva tak poskytují užitečné podklady pro usmíření pohledu přírodovědců a vodohospodářů, a představují nezbytné východisko pro optimalizaci managementu dřeva v říční síti.

Cílem předkládaného příspěvku je představit vybrané výsledky monitoringu pohyblivosti (transportu) dřeva ve vodních tocích České republiky. Studium transportu říčního dřeva má svoje opodstatnění jak z hlediska ekologie říčních systémů, tak z pohledu vodohospodářské praxe. Zatímco v zahraničí je problematika transportu dřeva v řekách věnována již celá řada empirických studií, ale i studie využívající fyzických a numerických modelů, v Česku a na Slovensku se s takovými pracemi setkáváme jen sporadicky. Podmínky transportu říčního dřeva jsou v Česku nejlépe prozkoumány na řekách Dyji, Moravě a Lužnici, odkud pocházejí případové studie zařazené do tohoto příspěvku.

Přehled zkoumaných říčních úseků

Zkoumaný úsek Dyje mezi Vranovem nad Dyjí a Znojmem je bohatý na říční dřevo díky dřívější blízkosti železné opony na hranici s Rakouskem, kde bylo omezeno obvyklé hospodářské využívání. Během desetiletí zarostla v dyjském údolí většina otevřených ploch a spontánně se vyvíjely břehové porosty, čímž se výrazně zvýšil přínos dřeva do fluvialního systému. Řeka má v úzkém, hlubokém údolí charakter podhorského toku s širokým a mělkým korytem (poměr šířky k hloubce se pohybuje v intervalu 15–25) se šterkovitými, místy až kamenitými sedimenty. Intenzivní transport a redepozice říčního dřeva probíhá za povodní, v poslední době zejména při povodních v letech 2002 ($Q_k = 364 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a 2006 ($Q_k = 306 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Významným fenoménem jsou v případě Dyje dřevní akumulace, v některých případech obsahující přes sto kusů dřeva. V druhové skladbě dřevin porůstajících říční břehy se uplatňují zejména olše lepkavá (*Alnus glutinosa*) a vrby (*Salix*). Druhová skladba porostů celého údolního dna je však mnohem pestřejší. Dále zde lze najít dub letní (*Quercus robur*), javor horský (klen) (*Acer pseudoplatanus*), javor mléčný (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*).

Na řece Moravě bylo říční dřevo zkoumáno na středním toku nedaleko Litovle v Hornomoravském úvalu (Chráněná krajinná oblast Litovelské Pomoraví). Koryto se samovolně vyvíjí, dochází zde k tvorbě,

vývoji a odškrcování meandrů. V korytě se vyskytují jesepní, boční i středové lavice tvořené písčítým šterkem. Koryto má značnou hloubkovou variabilitu, mělčí úseky v přímých a inflexních úsecích se střídají s tůněmi na vrcholech meandrů. Břehové nátrže lemují konkávní břehy, ale i břehy v přímých úsecích. Dominantním přísunovým procesem dřeva do koryta je boční eroze zalesněné nivy na konkávách meandrů, odstraňování dřeva člověkem se děje, ale pouze v omezené míře. Řeka je obklopena souvislými lužními lesy, v nichž převládají dřeviny tvrdého luhu. Typický je vyšší podíl javoru kleny, ale také javoru babyky (*Acer campestre*), kromě jilmu vazy se vyskytuje i jilm habrolistý (*Ulmus minor*) a jilm horský (*Ulmus glabra*). Mokřadní společenstva s převahou vrb se vyskytují jen ostrůvkovitě. Litovelské Pomoraví představuje oblast s největším množstvím říčního dřeva v Česku.

Posledním prezentovaným vodním tokem je Lužnice v úseku mezi státní hranicí s Rakouskem a Majdalenou. Niva s bohatě meandrujícím korytem, slepými rameny a tůněmi je pokrytá lesními porosty a podmačenými loukami. Velké zásoby říčního dřeva jsou především výsledkem značné laterální aktivity toku, při které dochází k erozi zalesněné nivy. Stromy nejsou z koryta odstraňovány, a vzhledem k jeho poměrně malé šířce (13–16 m) a značné křivolakosti jsou zde příhodné podmínky pro jeho retenci. Projevem laterální aktivity toku je velký počet slepých a mrtvých ramen v nivě. Mimo meandrování docházelo sporadicky také k avulzím (vytváření bočních ramen za povodní). Struktura vegetačního krytu nivy je velmi pestrá, bylo vymezeno šest biotopů: travino-bylinná mokřadní lada, polokulturní až kulturní louky a pastviny, smíšené lužní porosty tvrdých a měkkých dřevin, lužní porosty s převahou vrb, vrbové křoviny, olšové a osikové porosty.

Způsoby sledování transportu říčního dřeva

Nejjednodušším způsobem, jak sledovat pohyb individuálních kusů říčního dřeva je jejich štítkování. Používají se štítky vyrobené z plastu nebo kovu, na kterých je natištěný nebo vyražený číselný kód. Výhodné je použití nekorodujících hliníkových štítků, které jsou navíc díky světlé barvě dobře viditelné. Kromě štítku je vhodné sledovaný kus označit stuhou a nastříkat sprejem s jasnými barvami pro zvýšení pravděpodobnosti znovunalezení kusu. Použití štítků je levné a pro řadu aplikací naprosto vyhovující řešení pro sledování pohybu říčního dřeva. Štítkování se používá pro sledování postupného exportu kusů ze zkoumaných segmentů vodních toků nebo pro evidenci přínosu kusů k závěrovým profilům, jako jsou přehradní hráze. Štítkování lze na menších tocích použít také k dohledávání kusů přeplavených za povodní a stanovení jejich transportní vzdálenosti. V takovém případě je třeba oštítkovat, pokud možno, co největší počet kusů, protože řadu z nich se nepodaří následně dohledat.

Výhodným způsobem, jak sledovat pohyb říčního dřeva, je využití vhodných závěrových profilů, kde se připravené dřevo eviduje. Takovými závěrovými profily jsou hráze vodních nádrží, na kterých lze sledovat donášku dřeva řekami z povodí. Tímto způsobem je sledován pohyb dřeva na řece Dyji, kde je evidováno dřevo připravené k hrázi vodní nádrže Znojmo (od roku 2013 dosud) z území Národního parku Podyjí (cca 40 km dlouhý říční úsek). U každého kusu jsou zaznamenány rozměry (průměr, délka), zachovalost kořenového balu a větví, je provedena fotodokumentace. V případě, že jsou připraveny oštitkované kusy, je možné určit, z jaké vzdálenosti byl kus připraven, jaká byla jeho původní podoba (zda se transportem nějak změnil, například rozpadl na menší části), jaká doba byla potřebná k transportu na tuto vzdálenost a jaké průtoky v tomto období nastaly.

Bilancování říčního dřeva na příkladu fluviálních systémů Dyje, Moravy a Lužnice

Množství dřeva v úseku vodního toku je výsledkem procesů donášky, transportu a odbourávání. Dřevo se do fluviálního systému dostává různými přísunovými mechanismy z dřevinných porostů v nivě nebo z údolních svahů. Přisunové mechanismy jsou velmi rozmanité a zahrnují zejména erozi břehů, svahové pohyby (sesuvy, mury, sněhové laviny), větrné polomy, požáry, působení škůdců a chorob a kácivou činnost bobra. Časté je spolupůsobení více těchto faktorů současně (např. mechanická pevnost přestárých stromů je snížena dřevokaznými organizmy, takže dojde k jejich zlomení větrem).

Následně se dřevo fluviálním systémem pohybuje v podélném směru, probíhá jeho transport po proudu, případně nastává za povodní jeho laterální výměna mezi korytem a terestrickým okolím (nivou, úpatím svahů). Posledním článkem řetězce je odbourávání dřeva z fluviálního systému. Mezi nejdůležitější procesy vedoucí k odbourávání dřeva patří mechanický rozpad a biochemický rozklad, pohřbení fluviálními sedimenty a čištění koryt od dřeva člověkem. Sledování těchto toků dřeva fluviálním systémem a jejich kvantifikace je předmětem bilancování říčního dřeva (*wood budgeting*).

Stěžejními pracemi, které konceptualizují celkovou bilanci říčního dřeva v segmentu fluviálního systému, jsou příspěvky Bendy, Siase (2003) a Bendy et al. (2003), ve kterých autoři uvádějí bilanční rovnice a popisují nejdůležitější mechanismy přísunu a odbourávání dřeva ve fluviálních systémech. Základní bilanční rovnice, kterou autoři navrhují, vyjadřuje změnu v zásobě říčního dřeva ΔS_c v určitém úseku toku o délce Δx v časovém intervalu Δt :

$$\Delta S_c = [L_i - L_o + \frac{Q_i}{\Delta x} - \frac{Q_o}{\Delta x} - D]\Delta t$$

Změna v množství korytového dřeva je výsledkem laterálního přínosu z příbřežní zóny (L_i), ztráty v důsledku naplavování dřeva do příbřežní zóny za povodní (L_o), fluviálního transportu (přínosu) z úseků proti proudu (Q_i), fluviálního transportu (odnosu) dolů po proudu (Q_o) a rozkladu na místě (D). Veličiny L_i , L_o a D se vyjadřují jako objem dřeva na jednotkovou délku koryta za čas, jednotkou zbývajících veličin (Q_i a Q_o) je objem za čas.

Do dnešní doby v podstatě nejsou k dispozici odborné studie, které by řešily pro úseky vodních toků bilanční rovnice jako celek (ať už pomocí terénního výzkumu nebo modelování). Autoři si zpravidla vybírají pouze některé komponenty bilance, které kvantifikují. Největší pozornost byla vždy věnována otázce přísunu dřeva do koryt toků (člen L_i bilanční rovnice). Teprve v poslední době s rozvojem sledovacích metod, jako jsou RFID čipy či fotomonitoring, narůstá také počet prací věnovaných transportu dřeva po proudu (členy Q_i a Q_o bilanční rovnice). Publikované bilanční studie se liší prostorovým měřítkem, pro které se pokoušejí bilanci dřeva kvantifikovat: může to být celé povodí, delší úsek jednoho toku (desítky km) nebo krátké segmenty toku (desítky až stovky metrů).

Předkládané výsledky z Dyje, Moravy a Lužnice poskytují informace především o poproudovém transportu říčního dřeva (Q_i a Q_o) v prostorovém měřítku říčních úseků o délce prvních kilometrů až desítek kilometrů. Poté co se dřevní materiál dostane do koryta vodního toku, může setrvávat po dlouhou dobu na stejném místě (autochtonní kusy), nebo může být transportován korytem dále po proudu (alochtonní kusy). Indikátorem pohyblivosti dřeva je poměr autochtonních a alochtonních kusů: podíl alochtonních (transportovaných) kusů se zvětšuje s velikostí toku (kapacitou koryta, průměrným průtokem). Transport dřeva má svoje paralely s transportem splavenin – intenzitu transportu ovlivňují vnější okolnosti (průtok, rozměry a tvar koryta) i vlastnosti samotného dřeva (rozměry, fyziognomie, způsoby kotvení). Transport dřeva se vyznačuje epizodičností vázanou na období zvýšených průtoků: v období nízkých vodností sice probíhá transport malého množství dřeva menších rozměrů, velké objemy dřeva jsou však přemísťovány v korytech pouze za povodní.

Dyje

K intenzivnímu splavování říčního dřeva dochází na řece Dyji v Národním parku Podyjí (obr. 2). Dyje protéká na území národního parku hluboce zaříznutým, kaňonovitým údolím se zakleslými meandry, které je zahloubeno do mírně zvlněného povrchu jihovýchodního okraje Českomoravské vrchoviny. V I. zóně národního parku je sledována od roku 2009 bilance říčního dřeva v korytě a záplavovém území v 36 úsecích o délce 200 m. V návaznosti na monitoring v úsecích



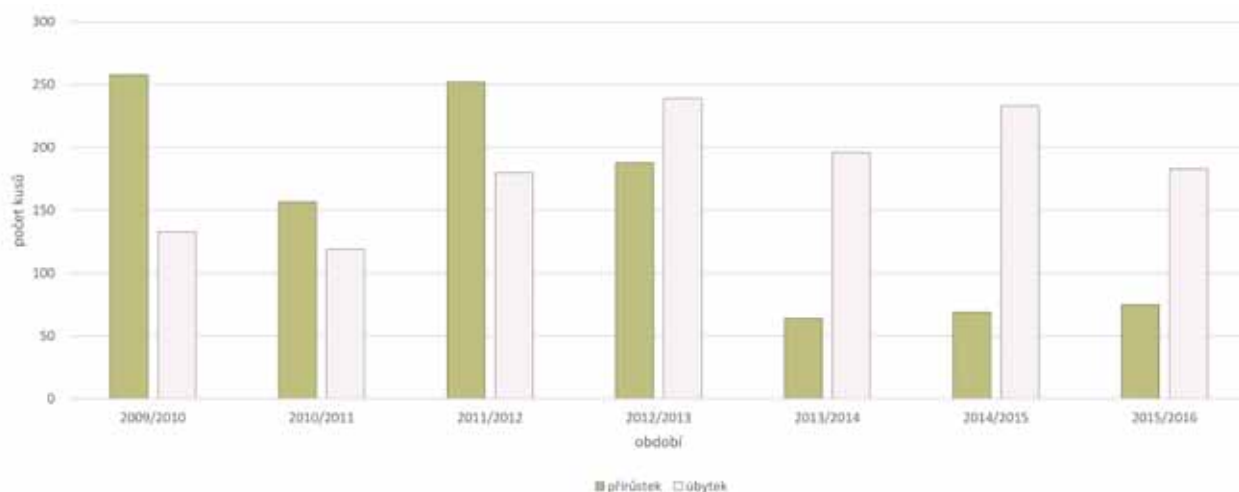
Obr. 2. Dřevní hmota naplavená k hrázi vodního díla Znojmo při povodni v březnu/dubnu 2006. Foto: Pavel Kožený

razně nakloněné nad koryto). Výsledky sledování za období osmi let ukazují, že množství ležících (říčního dřeva) i stojících dřevin (s potenciálem pro přísun do koryta) není stálé, ale podléhá určitému trendu. Až do roku 2012 se množství říčního dřeva zvyšovalo, od té doby však probíhá sestupný trend a množství říčního dřeva se zmenšuje. Příčiny kolísání množství říčního dřeva nejsou zcela zřejmé. Vzhledem k tomu, že podstatný úbytek označených kusů nastal nejen v korytě nebo u kusů přesahujících ze břehu do vody, ale i v případě kusů nacházejících se v břehových porostech v záplavovém území, hraje kromě odplavování svoji roli nejspíše i rozklad na místě (biochemický rozklad, mechanický rozpad). Rozklad na místě lze dobře sledovat u kusů přinesených do záplavového území povodní v roce 2006, u kterých bylo možné při každoročních kontrolách sledovat jejich tlení až úplný rozpad.

pak probíhá evidence kmenů připravených k hrázi nádrže Znojmo.

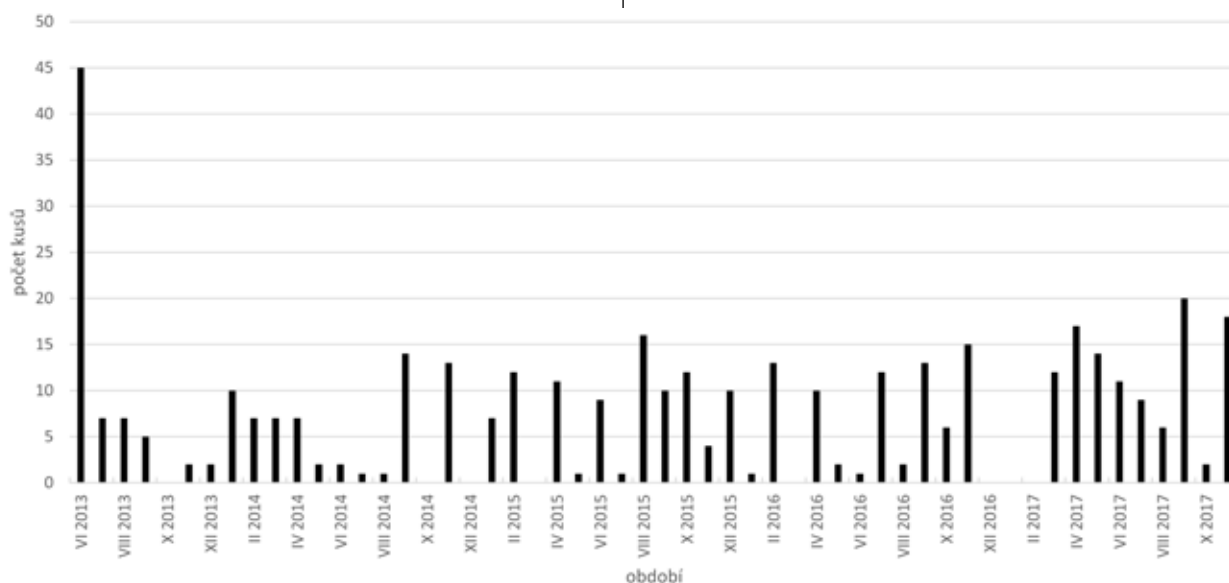
Mezi roky 2009 a 2016 bylo v monitorovaných úsecích evidováno více než 2 500 kusů dřevin s potenciálem pro odplavení, a to buď vyvrácených stromů a jejich fragmentů, nebo stojících stromů, které se potenciálně mohou zapojit do transportu dřeva řekou v blízké budoucnosti (suché stromy, živé stromy vý-

Počet kusů i bilance říčního dřeva v jednotlivých monitorovaných úsecích (roční přírůstek a úbytek) se často diametrálně odlišuje. V nedávné době bylo dominantním přísunovým mechanismem na Dyji připravení, za což jsou zejména zodpovědné povodně v letech 2002 a 2006. V roce 2009 při zahájení monitoringu byl podíl připravených kusů 79,5 % (zbytek tvoří autochtonní kusy, tedy ty, které nebyly transportovány



Obr. 3. Příklad meziroční bilance říčního dřeva v 36 monitorovaných úsecích na řece Dyji pro období 2009 – 2016. Zdroj: upraveno podle Hortvíka (2018)

Vysvětlivky: přírůstek – počet nově evidovaných kusů říčního dřeva, úbytek – počet zmizelých (nedohledaných) kusů říčního dřeva; graf naznačuje dynamiku výměny dřevní hmoty v říčním koridoru



Obr. 4. Časový vývoj splavování kusů dřeva k hrázi nádrže Znojmo v období od června 2013 do listopadu 2017

v řece a leží na původním místě). Pro srovnání v období 2013 – 2014, kdy bylo nově zaevidováno 188 kusů říčního dřeva, byl podíl připravených kusů 62,2 %. Podíl připravených kusů v úsecích pozvolna klesá, protože od roku 2006 nenastala tak velká povodeň, která by připravila podobně velké množství nových kusů. Meziroční bilanci říčního dřeva (počet nově evidovaných kusů, počet zmizelých kusů) v období 2009 až 2016 ukazuje obr. 3. Z grafu je patrné, že ačkoliv celkový počet kusů se v úseku nemusí v průběhu doby příliš lišit, tak za tímto víceméně rovnovážným stavem se skrývá značná vnitřní dynamika donášky a odnosu/zániku dřevní hmoty.

Sledování dřeva připraveného k hrázi nádrže Znojmo probíhá od června roku 2013 ve spolupráci se správcem toku, kterým je Povodí Moravy, s. p. Do konce roku 2017 bylo k hrázi připraveno celkem 407 kusů dřeva s průměrem větším než 10 cm. Největší počet dřevin byl splaven do nádrže Znojmo v prvním měsíci pozorování (45 kusů), kdy nastaly největší průtoky přesahující hodnotu jednoleté vody (kulminace $88,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V dalším období, kdy průtoky již nikdy nedosáhly ani hodnoty jednoleté povodně, byla donáška dřeva do nádrže značně rozkolísaná. V některých měsících nebylo splaveno do nádrže žádné dřevo, výjimečně pak bylo přineseno v jednom měsíci až 20 kusů. V následujících letech byl průtok zvýšen v zimě 2015 a létě 2016, nepřekročil však ani hranici jednoleté vody, a nedošlo také k pozorovatelnému zvýšení přínosu plovoucích kmenů do nádrže (obr. 4). Dosavadní výsledky pozorování naznačují, že splavování dřeva v malém množství je víceméně kontinuální proces, který probíhá nezávisle na kolísání nižších průtoků. Vliv průtoků na množství

připraveného dřeva začíná být patrný teprve od průtoků s intervalem opakování jeden a více roků. Můžeme tedy rozlišit kontinuální (požadový) transport malých objemů a epizodický (povodňový) transport velkých objemů dřevní hmoty.

Část kmenů připravených k hrázi nádrže Znojmo byla označena štítkem, za sledované období se k hrázi dostalo 79 takto označených kmenů. V takových případech je možné rovněž zjistit, z jaké vzdálenosti kmen připravlal a jak dlouhý čas k tomu byl zapotřebí. Sledování oštitkovaných kmenů naznačuje, že dřevní hmota splavená do nádrže pochází především z úseků Dyje bezprostředně nad nádrží, nejvíce ze vzdálenosti 6 až 10 km nad hrázi. Zaznamenány však byly i kusy, které byly ve sledovaném období přeplaveny na vzdálenost více než 35 km. Kromě vzdálenosti od hráze je dalším faktorem rozhodujícím o zdrojových oblastech dřeva splaveného do nádrže krajinná pokrývka údolního dna. Splavené kusy pocházejí především z úseků se souvislými porosty dospělého lesa spíše než z úseků s větším zastoupením křovinných formací a lučních porostů.

Morava

Řeka Morava vytváří v severní části Hornomoravského úvalu (součást Vněkarpatských sníženin) unikátní říční vzor, vyznačující se mnohonásobným větvením toku do samostatných meandrujících ramen v nivě široké až 6 km (anastomózní vzor). Nejzachovalější části rozvětvené říční sítě jsou dnes součástí Chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví, kde lze nalézt rozsáhlé porosty lužních lesů. Dřevo se do koryta dostává primárně v důsledku laterálních posu-

Tab. 1. Výsledky monitoringu pohybu označených kusů říčního dřeva v řece Moravě v Litovelském Pomoraví za období 2008 – 2011

Údaje o pohybu označených kusů dřeva	Období		
	VII/2009	VII/2010	VII/2011
Datum konání monitoringu (měsíc/rok)	VII/2009	VII/2010	VII/2011
N-letost největší povodně v době sledování (měsíc/rok)	1 (III/2010)	5 (VI/2010)	2 (I/2011)
Kulminační průtok (m ³ .s ⁻¹)	120	170	135
Počet kusů dohledaných v původní pozici	14	13	14
Počet dohledaných kusů přeplavených po proudu	5	4	1
Počet nedohledaných kusů	11	13	15

nů koryta Moravy (meandrování) protékající lužními lesy, ale i dalšími procesy, jako jsou větrné kalamity nebo kácivá činnost bobra. Ve sledovaném úseku bylo zaznamenáno říční dřevo v množství 44,6 m³.ha⁻¹ plochy koryta.

V rámci monitoringu transportu říčního dřeva bylo v období od srpna 2008 do července 2011 sledováno 30 označených stromů ležících v korytě. Po třech letech monitoringu zůstalo v úseku dlouhém 2,85 km z původního počtu zachováno 15 kusů. Největší úbytek kusů odplavením nastal v prvním roce monitoringu (11 kusů), v dalších dvou letech ubylo vždy po dvou kusech. V prvním roce (březen 2009) prošla monitorovaným úsekem jednoletá povodeň, která odplavila nejméně stabilní kusy. Zbylé stabilnější kusy pak v korytě převážně setrvaly i přesto, že na ně v pozdější době působily i větší povodně (Q₁ v III/2010 a V/2010, Q₅ v VI/2010, Q₂ v I/2011). Některé z označených kusů se v následujících letech podařilo dohledat a určit tak jejich transportní vzdálenost. Například v období mezi roky 2008 a 2009 byl jeden z větších kusů (průměr 33 cm, délka 21 m) posunut rovným úsekem koryta o 10 m, malý kus (17 cm, 3,2 m) byl transportován zákrutem koryta na vzdálenost 170 m, další menší kus (50 cm, 4 m) byl odnesen na vzdálenost 620 m a uložil se v jednom z bočních ramen. Přehled o meziroční mobilitě označených kusů dřeva poskytuje tab. 1.

Z kusů, které byly v době monitoringu odplaveny, vyplývá, že nevykazují specifické vlastnosti, které by je předurčovaly k přednostnímu odplavení. V některých případech se jednalo o poměrně rozměrné kusy se zachovalým kořenovým balem a hlavními větvemi (kusy s průměrem >20 cm a délkou >10 m), naopak, kus s průměrem 17 cm a délkou 3,7 m zůstal neodplaven. Roli zde pravděpodobně hrají různé stabilizační mechanismy jako je zachycení v dřevních akumulacích nebo částečné zasedimentování splaveninami do dna. Z výše uvedeného vyplývá, že Moravu lze ve sledovaném úseku považovat z hlediska pohybu říčního dřeva za vodní tok s poměrně velkou transportní kapacitou. Protože však poměr šířky koryta k délce kusů dřeva je v řadě případů blízký hodnotě 1, je zde současně i poměrně značná retence dřeva v korytě,

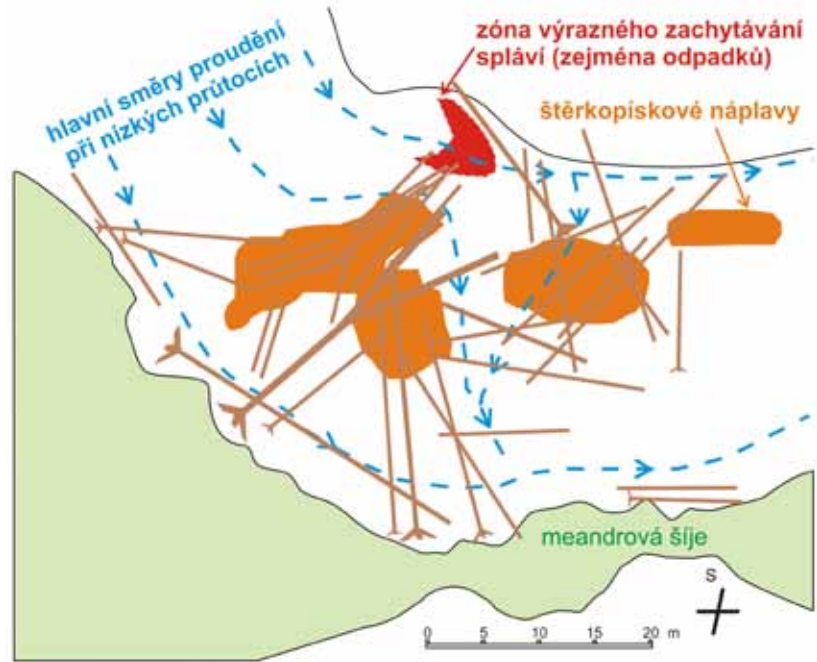
kteří nemůže být beze zbytku odplaveno. Větší stromy, které blokují podstatnou část šířky koryta (tzv. klíčové kusy, *key members*), totiž zachytávají menší plovoucí kusy, což vede ke vzniku dřevních akumulací (nahromadění tří a více vzájemně se dotýkajících kusů).

Výjimečným útvarem, který se utvořil z podstatné části díky transportu a zachytávání dřeva, je stabilní dřevní zátaras, který vznikl v korytě Moravy ve vstupní části výrazného meandru v blízkosti obce Hynkov. Svými rozměry a počtem obsažených kusů se jedná o největší dřevní akumulaci v korytě Moravy v celém cca 40 km dlouhém úseku procházejícím Chráněnou krajinnou oblastí Litovelské Pomoraví. Před odškracením meandru v roce 2012 akumulace přehrazovala celý průtočný profil koryta, způsobovala vzduť hladiny, blokovala poproudový transport říčního dřeva a dnových splavenin. Akumulace se začala tvořit před rokem 2000, kdy se na jejím místě nacházelo pět velkých stromů (*key members*) ležících napříč celým korytem. Klíčové kusy se dostaly do koryta během období rychlého zužování meandrové šíje břehovou erozí, která se v letech 1990 až 2010 zúžila o 18 m. V období 2000 – 2004 akumulace rychle přirůstala příplavováním dřeva i břehovou erozí meandrové šíje. V roce 2006 akumulace dosáhla šířky 43 m, délky 32 m a výšky 3,5 m s odhadovaným objem 92 m³ dřevní hmoty a její výška postupně přerostla úroveň okolní nivy. V roce 2010 obsahovala akumulace nejméně 40 kusů dřeva s délkou přes 10 m a nespecifikovaný počet kusů s délkou 1 až 10 m. Přesný počet kusů je obtížné stanovit, protože velký počet je jich pohřbený uvnitř akumulace, přikrytý naplaveným jemným dřevním materiálem nebo zarostlý bylinnou vegetací porůstající vynořené části akumulace. Přibližně polovina kusů obsažených v akumulaci je lokálního původu a pochází z eroze meandrové šíje, druhá polovina jsou alochtonní (příplavené) kusy převážně z doby před protřazením meandrové šíje. Přirůstání akumulace dnes pokračuje pomalejším tempem za vyšších vodních stavů, kdy voda přetéká z koryta nově vytvořeného při odškracení do původní meandrové smyčky. Stav akumulace v roce 2007 ukazuje obr. 5.

Lužnice

Horní tok řeky Lužnice v Třeboňské pánvi se na českém území vyznačuje poměrně zachovalými úseky, kde koryto řeky volně meandruje v nivě pokryté mozaikou dřevinných a lučních porostů. Ochrana nejzachovalejších částí nivy je legislativně zajištěna prostřednictvím dvou přírodních rezervací (Krabonošská niva a Horní Lužnice). Ačkoliv niva není souvisle zalesněná, množství dřeva nacházejícího se v korytě je značné (úsek od úseku leží průměrné množství dřeva v rozmezí 35,9 až 102,2 m³. ha⁻¹ plochy koryta). Příčinou jsou v tomto případě rychlé laterální posuny koryta v nivě (břehová eroze), které vedou k podemílání stromů v břehových porostech a jejich vyvrácení do koryta. Břehová eroze rovněž obnažuje staré, subfosilní kmeny pohřbené v sedimentech nivy; podíl exhumovaných kmenů na celkovém počtu kusů dřeva může lokálně činit více než 20 %.

Lužnice je příkladem toku s výraznou donáškou dřeva do koryta, monitoring označených kusů a mapování dřevních akumulací však ukázali, že transport hrubého říčního dřeva není zvláště intenzivní. Důvodem je poměr šířky koryta k délce kusů dřeva pod hodnotou 1. Vy-



Obr. 5. Schematické znázornění dřevního zátarasu (dřevní akumulace) zachytávajícího plovoucí dřevo v korytě Moravy nedaleko obce Hynkov z roku 2007 (akcelerovaná břehová eroze při jejích okrajích způsobila lokální rozšíření koryta). Zdroj: Máčka, Krejčí a kol. (2011)

vrácené stromy jsou v mnoha případech delší, než je šířka koryta, v korytě se zaklíní o břehy nebo koryto překlenují. Takováto pozice v korytě výrazně zvyšuje jejich stabilitu a brání jejich odplavení. Dalším fakto-



Obr. 6. Dřevní akumulace naplavená do příbřežní zóny řeky Lužnice (červenec 2010). Foto: Zdeněk Máčka

rem vedoucím ke stabilizaci dřeva a snížení jeho mobility je snadno deformovatelné dno tvořené písčítým až drobně štěrkovitým materiálem. Snadno mobilní dnové splaveniny překrývají části kmenů, které se dotýkají dna, a kmen je tak stabilizován částečným zanesením sedimenty. Výsledkem intenzivní donášky, ale malého transportu (odplavování) je velký objem dřeva na jednotkovou plochu koryta.

Určitá míra transportu v korytě nicméně probíhá, přeplavovány však jsou převážně kusy menších rozměrů. Přeplavování a depozici dřeva v řekách zpravidla dobře indikuje přítomnost dřevních akumulací tvořených alochtonními kusy. Při mapování výskytu dřeva podél Lužnice byly zjištěny v podstatě pouze dvě akumulace tvořené větším počtem kusů dřeva. Za účelem zjištění vlastností alochtonního dřevního materiálu obsaženého v akumulacích byly tyto rozebrány a změřeny následující parametry všech kusů: tloušťka, délka, orientace, zchovalost větví a zchovalost kořenového balu. Měřeny byly všechny kusy dřeva s průměrem od 3 cm. První akumulace (akumulace 1) vznikla v nivě zachycením plovoucích kusů na stromech v břehovém porostu v místě původní šíje odškráceného komplexního meandru (obr. 6), druhá akumulace (akumulace 2) vznikla zachycením plovoucích kusů na břehové nátrži konkávního břehu meandru. Údaje posloužily pro zhodnocení podmínek transportu a transportní kapacity v korytě Lužnice ve sledovaném úseku.

První akumulace obsahovala 137 kusů dřeva, druhá pak 70 kusů. Všechny kusy byly vyhodnoceny jako alochtonní, tedy připravené za povodní. Průměrná tloušťka kusů v akumulaci 1 byla 5,7 cm, v akumulaci 2 pak 6,5 cm, průměrná délka kusů pak 1,56 m, respektive 1,7 m. Uvedené údaje ukazují, že velikost kusů v obou akumulacích se příliš nelišila a že kusy se do nich tudíž dostaly ze stejné zdrojové oblasti. Sledována byla rovněž orientace kusů vůči proudnici, která napovídá, jakým způsobem probíhá zachytávání plovoucích kusů a jejich depozice do podoby akumulace. Při povodních jsou kusy unášeny paralelně s prouděním, v místě jejich zachycení pak dochází k jejich stáčení do konečné depoziční pozice. V tomto ohledu se akumulace výrazně odlišovaly: v akumulaci 1 převažovaly kusy orientované víceméně kolmo ke směru proudění, v akumulaci 2 pak byly orientovány převážně paralelně s proudnicí. Orientace kusů v akumulacích odpovídá místu jejich uložení. V prvním případě se dřevo vnesené za povodně do nivy zachytávalo na živých stromech, které vytvářely překážku proudění, ve druhém případě bylo dřevo páchováno proudem proti nárazovému břehu zákřutu. Výše uvedené údaje napovídají, že transportní kapacita Lužnice je spíše nízká, čemuž odpovídá malý počet akumulací i malé rozměry přeplavovaných kusů dřeva.

* * *

Možnost studia říčního dřeva včetně sledování jeho transportu je v říční síti ztížena řadou skutečností. V důsledku využívání krajiny člověkem došlo postupně ke značné redukci porostů dřevin v blízkosti vodních toků a ke změně jejich druhové, věkové a prostorové struktury. Dalším vlivem jsou vodo hospodářské zásahy ovlivňující hydrologický a geomorfologický režim toků, především pak inženýrské úpravy zaměřené na polohovou stabilizaci koryt a zamezení břehové erozi. V neposlední řadě je to pak rutinní management vodotečí správci toků, jehož součástí je i odstraňování překážek bránících odtoku vody v korytech, tedy odtěžování náplavů a odstraňování mrtvého dřeva. Ve výsledku se ve vodních tocích nachází pouze zlomek z množství dřeva, které by se v nich přirozeně vyskytovalo. Dynamiku říčního dřeva včetně jeho transportu tak lze zpravidla studovat pouze na vodních tocích ve zvláště chráněných územích přírody a jejich bezprostředním okolí.

Pohyblivost říčního dřeva ovlivňuje jeho množství a dobu setrvání v říčním úseku. Z hlediska biologického v zásadě platí, že čím větší je množství dřeva (počet kusů či objem na jednotkovou plochu koryta) a delší je doba jeho setrvání na místě, tím výraznější jsou (pozitivní) účinky pro pestrost stanovišť, druhovou diverzitu a početnost populací vodních organismů. Z pohledu vodo hospodářské praxe je důležitá skutečnost, že plovoucí dřevo se zachycuje na vodních stavbách, jako jsou mostní pilíře, jezy, hráze nádrží či propustky, a může způsobit jejich poškození nebo narušit jejich bezpečný provoz. Vzhledem k výrazným benefitům, které přináší říční dřevo ve vodních ekosystémech, je ovšem třeba hledat cesty, jak jeho množství ve vodních tocích v rozumné míře zvýšit. Toho může být docíleno především odpovídající péčí o doprovodné porosty vodních toků (vedoucí ke zvýšení jeho přirozeného přísunu), a ze strany správců vodních toků ponecháváním již existujícího říčního dřeva tam, kde to okolnosti dovolují.

Transport a opětovná depozice říčního dřeva vedou ke vzniku dřevních (kládových) akumulací. Nejhojněji se akumulace vyskytují v Litovelském Pomoraví a v Podyjí, naopak, na Lužnici je výskyt akumulací velmi sporadický. V prvním případě je přítomnost akumulací důsledkem kombinace značné transportní kapacity toku, který unáší plavené dřevo, a současně hojného výskytu stabilních klíčových kusů blokujících koryto, na kterých se plovoucí kusy zachycují. Na Litovelsku mají akumulace podobu plošně rozsáhlých dřevních struktur obsahujících velký počet často jen volně spojených kusů dřeva. V Podyjí je charakter akumulací zcela jiný. Především jsou v převážné většině situované v nivě, kde se uložilo velké množství dřeva při extrémních povodních v letech 2002 a 2006. Depozice plovoucích kusů probíhala za povodní na překážkách, kterými nejčastěji byly živé stojící stromy. Akumulace jsou kompaktní a mají různou velikost – od malých,

tvořených několika málo kusy, až po rozsáhlé, obsahující desítky až stovky kusů dřeva. Minimální výskyt akumulací indikuje buď omezený transport dřeva, což je případ Lužnice, nebo naopak velkou transportní kapacitu toku bez schopnosti plovoucí dřevo zachytávat, kdy nedochází k jeho retenci.

S transportem říčního dřeva souvisí otázka stability přirozených či člověkem vytvořených dřevních struktur v korytech. Ekologické benefity přítomnosti dřeva v tocích jsou zřejmé, současně však je třeba mít na paměti, že dřevo se za povodní dává do pohybu, je splavováno po proudu. Za tímto účelem je třeba dále studovat hraniční podmínky, za kterých se dřevo v korytě dává do pohybu, ale i podmínky, za kterých se opětovně ukládá. V této chvíli nám chybí uspokojivé množství poznatků o vztazích mezi vlastnostmi dřeva, morfologií koryta a hydrologickým režimem vodních toků a jeho transportem a redepozicí. V oblasti dalšího výzkumu mobility říčního dřeva bude třeba věnovat pozornost otázkám, jaká bude intenzita a prostorová distribuce přísunu dřeva do koryta toku, jaké množství dřeva projde daným průtočným profilem za povodně s určitým kulmi-načním průtokem a dobou trvání, jaká bude trajektorie kusů dřeva, které jsou transportovány korytem, jaká je průměrná doba setrvání kusů dřeva ve fluvialním systému, jak velký fluvialní export dřeva můžeme očekávat z určitého povodí a jaká bude jeho časová variabilita.

V tomto ohledu nyní nastává posun od empirických výzkumů k tvorbě numerických modelů simulujících přísun dřeva do koryta vodního toku a kalibrace těchto modelů pro reálné podmínky říční sítě (Ruiz-Villanueva et al., 2014). Slibný je rovněž výzkum v oblasti transportu dřeva v korytech, který se dnes může opírat o nové technologie umožňující sledovat pohyb konkrétních kusů řekou (RFID čipy, GPS trackery) či zaznamenávat časové změny množství a uspořádání dřeva v různě dlouhých úsecích řek – dálkový průzkum řek, např. UAV snímkování (Ravazzolo et al., 2015). Stávající poznatky i aktuálně probíhající výzkumy, doufejme, přispějí ke změně pohledu správců toků na přítomnost dřeva ve vodních tocích a docenění jeho pozitivních ekologických účinků.

Příspěvek byl připraven v rámci řešení projektu MU-NI/A/1251/2017 na Geografickém ústavu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně.

Literatura

- Benda, L., Miller, D., Sias, J., Martin, D., Bilby, R., Veldhuisen, C., Dunne, T.: Wood Recruitment Processes and Wood Budgeting. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (eds.): The Ecology and Management of Wood in World Rivers. Bethesda: American Fisheries Society Symposium 37, 2003, p. 49 – 74.
- Benda, L., Sias, J.: A Quantitative Framework for Evaluating the Mass Balance of In-Stream Organic Debris. *Forest Ecology and Management*, 2003, 172, 1, p. 1 – 16.

- Comiti, F., Andreoli, A., Mao, L., Lenzi, M. A.: Wood Storage in Three Mountain Streams of the Southern Andes and its Hydro-Morphological Effects. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2008, 33, 2, p. 244 – 262.
- Gurnell, A. M., Gregory, K. J., Petts, G. E.: The Role of Coarse Woody Debris in Forest Aquatic Habitats: Implications for Management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1995, 5, 2, p. 143 – 166.
- Hortvík, D.: Říční dřevo v NP Podyjí: množství, distribuce a vlastnosti. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2018, 78 s.
- Máčka, Z., Krejčí, L. a kol.: Říční dřevo v tocích ČR. Brno: Muni Press, 2011, 107 s.
- Manners, R. B., Doyle, M. W., Small, M. J.: Structure and Hydraulics of Natural Woody Debris Jams. *Water Resources Research*, 2007, 43, W06432, p. 1 – 17.
- Piégay, H.: Dynamics of Wood in Large Rivers. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (eds.): The Ecology and Management of Wood in World Rivers. Bethesda: American Fisheries Society Symposium 37, 2003, p. 109 – 134.
- Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, L., Lenzi, M. A.: Tracking Log Displacement during Floods in the Tagliamento River Using RFID and GPS Tracker Devices. *Geomorphology*, 2015, 228, p. 226 – 233.
- Ruiz-Villanueva, V., Bladé Castellet, E., Díez-Herrero, A., Bodoque, J. M., Sánchez-Juny, M.: Two-Dimensional Modelling of Large Wood Transport during Flash Floods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2014, 39, 4, p. 438 – 449.
- Ruiz-Villanueva, V., Piégay, H., Gurnell, A. M., Marston, R. A., Stoffel, M.: Recent Advances Quantifying the Large Wood Dynamics in River Basins: New Methods and Remaining Challenges. *Reviews of Geophysics*, 2016, 54, 3, p. 611 – 652.
- Sutfin, N. A., Wohl, E. E., Dwire, K. A.: Banking Carbon: A Review of Organic Carbon Storage and Physical Factors Influencing Retention in Floodplains and Riparian Ecosystems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2016, 41, 1, p. 38 – 60. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3857>

doc. RNDr. Zdeněk Máčka, Ph.D., macka@sci.muni.cz
Geografický ústav Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně, Kotlářská 2, 602 00 Brno, Česká republika