

1. FUNKCE A VÝZNAM DŘEVNÍ HMOTY VE VODNÍCH TOCÍCH

Obsah

1.	Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích.....	1
1.1	Klasifikace, množství a dynamika dřevní hmoty v tocích ČR a ve světě	2
1.1.1	Úvodní terminologické poznámky	2
1.1.2	Přístupy ke klasifikaci dřevní hmoty ve vodních tocích	4
1.1.3	Faktory ovlivňující přísun, zánik a množství dřeva ve vodních tocích	13
1.1.4	Přirozené množství dřeva ve vodních tocích Evropy a České republiky	14
1.2	Dřevní hmota a fluvialní procesy	17
1.2.1	Úvod do problematiky vztahu geomorfologických procesů a dřevní hmoty	17
1.2.2	Vývoj oboru fluvialní geomorfologie a tématu dřevní hmoty	17
1.2.3	Popis geomorfologických typů vodních toků	21
1.2.4	Vliv dřevní hmoty na hydrauliku, erozní a sedimentační procesy v korytě	23
1.2.5	Vliv dřevní hmoty na geomorfologický typ toku	32
1.2.6	Využití prvků dřevní hmoty v revitalizačních opatřeních	33
1.3	Vliv dřevní hmoty na stanovištní diverzitu a biologickou rozmanitost	35
1.3.1	Dřevo jako zdroj živin a partikulovaného organického materiálu	35
1.3.2	Význam dřevní hmoty pro vodní bezobratlé	36
1.3.3	Význam dřevní hmoty pro ryby	40
	Citovaná literatura	43
	Slovník pojmů	48

1.1 KLASIFIKACE, MNOŽSTVÍ A DYNAMIKA DŘEVNÍ HMOTY V TOCÍCH ČR A VE SVĚTĚ

Souhrn

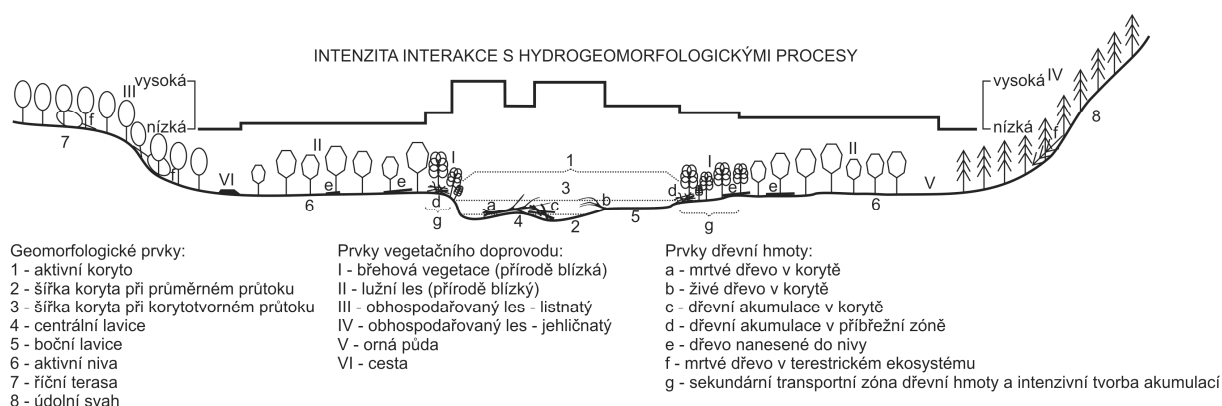
Dřevní hmota je nedílnou součástí říčních systémů (říčních krajin) v zalesněných povodích. V této studii se přidržujeme obecného termínu „dřevní hmota“, který v sobě zahrnuje všechny různé formy dřevní biomasy interagující s vodním prostředím. Pojem zahrnuje kompletní stromy i jejich fragmenty, mrtvé i živé dřeviny. Termín dřevní hmota rovněž nerozlišuje mezi různými velikostními kategoriemi, i když většina informací poskytnutých v textu se týká tzv. "large woody debris" – velikostní kategorie dřeva o průměru alespoň 10 cm a s délkou nejméně 1 metr. Dřevní hmotu v korytě můžeme rozdělit na dřevo autochtonní (uložené v místě svého vzniku) a allochtonní (dřevo naplavené z povodí). Kusy dřeva se mohou vyskytovat v toku samostatně nebo tvoří akumulace dřevní hmoty. Pro vznik a stabilitu akumulace je důležitá přítomnost tzv. klíčového kusu - zpravidla velkého a stabilního kmene s kořeny a rozvětvenou korunou. Dřevní hmota se může vyskytovat v různých pozicích vzhledem ke směru proudění nebo v různých korytových zónách. Poloha dřeva určuje míru jeho interakce s vodním prostředím. Množství dřevní hmoty v říčním systému je výsledkem poměru mezi jejím přísunem a odsunem (zánikem). V přírodních podmínkách je tento poměr závislý na velikosti, sklonu a dalších parametrech vodního toku a hlavně na typu a stáří dřevinné vegetace na březích. Dostatečný přísun dřeva do vodních toků je předpokladem zdravého fungování vodních ekosystémů i příbřežní zóny. Nejobvyklejším přísunovým procesem dřevní hmoty do vodních toků je břehová eroze. Mezi další přísunové mechanismy patří vyvrácení nebo ulomení větrem, vyvrácení či ulomení tíhou sněhu či námrazy, požáry, sesuvy, sněhové laviny, kácivá činnost bobra, exhumace fosilních kmenů z fluválních sedimentů, faktory ovlivňující vitalitu (a následně stabilitu) dřevin – hmyzí škůdci dřeva, choroby, kompetice v rámci lesního porostu, stáří, aj.), přímé a nepřímé vlivy člověka. Celosvětově nejvyšší množství dřevní hmoty v přirozených podmínkách se vyskytuje v tocích na západě USA (řádově stovky krychlových metrů dřeva na hektar koryta). Množství dřevní hmoty v evropských tocích je významně sníženo lidskou činností. V málo ovlivněných lokalitách evropských toků byly zjištěny objemy dřevní hmoty v řádu desítek až několika málo stovek $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. S těmito údaji jsou ve shodě studie provedené na přírodě blízkých lokalitách České republiky, které naměřily množství dřeva v hodnotách 10 – 100 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ koryta.

1.1.1 Úvodní terminologické poznámky

Před podáním přehledu možných klasifikací dřevní hmoty je vhodné nastínit termíny, které se používají pro dřevní hmotu ve vodních tocích u nás a ve světě. Pojmosloví v rámci problematiky o dřevní hmotě v říčních systémech není u nás dosud náležitě ustálené. Následující přehled má sloužit jako přehled termínů, na které lze narazit v odborné literatuře, výzkumných zprávách či při osobní komunikaci. Pod terminologickou pestrostí se však často skrývá jeden a tentýž jev – dřevní hmota ve vodním toku či jeho blízkém okolí.

Dřevní hmota je nedílnou součástí říčních systémů (říčních krajin) v zalesněných povodích, kde v korytech a nivách vodních toků ovlivňuje celou řadu abiotických a biologických procesů. Pod obecným termínem *dřevní hmota* se ovšem skrývá velké množství forem a způsobů (módů) výskytu dřeva v říčních systémech (obr. 1.1.1). Nejčastěji se používá pro vyvrácené či ulomené stromy, keře a jejich zbytky spadlé do koryta vodního toku. Je však zapotřebí uvažovat i dřevo, které se nachází v příbřežní zóně, případně dále v nivě. Takovéto vněkorytové dřevo se za povodňových rozlivů dostává do kontaktu s proudící vodou a unášenými splaveninami, případně může být povodněmi přeplavováno. Dřevní hmota nabývá různých podob podle toho, zda se jedná o celé dřeviny nebo jejich části. V říčních systémech se lze na jedné straně setkat s kompletními, čerstvě vyvrácenými stromy se zachovalou kůrou, větvíčkami a listím, na druhé straně se zcela odkorněnými a odvětvenými fragmenty kmenů. Vyskytují se rovněž odlomené větve, pařezy a kořeny. Dřevní hmota nemusí být nutně přírodního původu, ale mnohdy se jedná o výrobky ze dřeva,

kteřé se neúmyslně dostaly do vodního toku (trámky, desky, palety, odnesené lávky a mostky, aj.).



Obr. 1.1.1 Schéma zachycující různé formy a způsoby výskytu dřevní hmoty v korytě a nivě řeky protékající středoevropskou kulturní krajinou. (zdroj: Máčka a Krejčí, 2010)

V českém prostředí se lze setkat s termíny, které většinou poukazují na mobilitu dřeva při povodních: *spláví, plavená dřevní hmota, plavené dříví, popř. plavené dřevo, plovoucí dřevo, splavené dřevo*, dále pak *mrtvé dřevo, zbytky dřeva, dřevní suť, divoké dřevo*. Tyto pojmy jsou buď samovyvětlující, případně nejsou přesněji definované. V angličtině se pro dřevo v řekách hojně používá termín *woody debris (WD)*; prostý překlad tohoto pojmu by mohl být: dřevní suť, zbytky dřeva či dřevní úlomky. Používání takového doslovného překladu by však nebylo vhodné, protože navozuje představu, že se jedná o drobný, úlomkovitý materiál a zakrývá skutečnost, že se mnohdy jedná o celé, zachovalé stromy. Méně frekventované jsou v angličtině pojmy *dead wood* (mrtvé dřevo), *in-stream woody debris* (korytová dřevní suť) či *fallen trees* (padlé stromy). Na Slovensku se lze setkat v pracích Greškové (2005, 2007) s termínem *zvyšky dreva*. Toto označení však autorka používá jako synonymum anglického termínu *woody debris* a zahrnuje do něho nejen dřevní fragmenty, ale i celé, neporušené dřeviny. Další termíny, se kterými se lze na Slovensku setkat, jsou *mrtvé drevo, popadané stromy, padnuté stromy*. V pracích polských autorů lze nalézt pojem *kloda* (kláda, špalek, poleno) (Malik, 2004a, 2004b). V Německu je terminologie o něco pestřejší, používají se termíny *totholz* (mrtvé dřevo), *strukturholz* (strukturní dřevo), *fallholz* (padlé dřevo) či *treibholz* (připlavené dřevo). Ve španělštině, francouzštině či italštině se převážně používá pojmu mrtvé dřevo, tj. *madera muerta, bois mort, legno morto*.

Poměrně oblíbený a hojně používaný je v našich podmínkách pojem mrtvé dřevo. Tento termín však nemusí být vždy zcela výstižný. Podobné nebo stejné účinky mohou být ve vodních tocích vyvolány i živými, dožívajícími nebo opětovně zmlazujícími dřevinami. V mnoha případech se například plně vitální stromy naklánějí přes břehovou hranu do koryta, případně rostou přímo v korytě; to se týká především rodu vrba (*Salix* spp.). Takové živé dřeviny pak významně ovlivňují hydraulické vlastnosti proudění (disipace energie proudění), zachytávají plovoucí organické zbytky, nebo snižují kapacitu průtočného profilu (obr. 1.1.2).



Obr. 1.1.2 Příklady různých forem dřevní hmoty v říčních systémech. A: břehovou erozí vyvrácený strom s částečně zachovalými větvemi, strom byl za povodně přepraven a zachytil se na jesebním břehu, kde se kolem jeho kořenového balu vytvořila vírová tůň, větve byly využity jako potrava bobrů (Morava, PP Osypané břehy); B: Abrází vodním proudem odvětvené a odkorněné stromy (Morava, NPR Ramena řeky Moravy); C: dřevní akumulace vytvořená zachycením plovoucího dřeva v doprovodných porostech během zaplavení nivy za povodně (Dyje, NP Podýjí); D: vyvrácený, zmlazující strom ležící v korytě (Lužnice, PR Horní Lužnice). Foto Z. Máčka (A, C, D) a L. Krejčí (B)

Pokud se tedy klade důraz spíše na účinky dřeva ve vodním toku (ekosystémové funkce), tak je vhodnější používat termíny obecnější, např. dřevní hmota, které již nereflektují, zda se jedná o mrtvou či živou dřevní biomasu. Pokus o návrh české terminologie lze najít v práci Máčka a Krejčí (2010), kteří používají obecný termín *říční dřevo*. Tento termín přímo poukazuje na prostředí, ve kterém se dřevo vyskytuje. Říční dřevo autoři definují alternativně pro koryta a nivy vodních toků. *Korytové říční dřevo* lze popsat jako vyvrácené či stojící (mrtvé, dožívající, opětovně zmlazující, živé) stromy a keře, případně jejich fragmenty, zasahující do koryta, které jsou více či méně kontinuálně vystaveny působení proudící vody a transportu splavenin a které tyto procesy zpětně ovlivňují. *Nivní říční dřevo* lze pak charakterizovat jako padlé, ležící stromy a keře, případně jejich fragmenty, které jsou příležitostně (během zaplavení nivy za povodní) vystaveny působení proudící vody a transportu splavenin a které tyto procesy zpětně ovlivňují. Pro účely této příručky a ustálení termínů používaných v ČR byl zvolen obecný termín **dřevní hmota**, který v sobě zahrnuje všechny různé formy dřevní biomasy interagující s vodním prostředím potoka či řeky. Pojem zahrnuje kompletní dřeviny i jejich fragmenty, mrtvé i živé dřeviny, a také nejrozličnější velikostní kategorie dřeva.

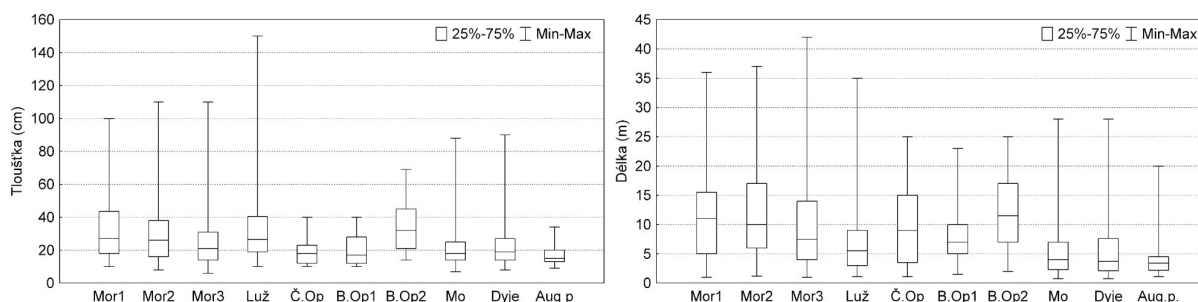
1.1.2 Přístupy ke klasifikaci dřevní hmoty ve vodních tocích

Dřevní hmotu v říčních systémech lze klasifikovat podle nejrozličnějších kritérií a aspektů. V nejobecnější rovině lze klasifikaci provádět podle strukturálních, dynamických a funkčních vlastností dřeva, dalším kritériem pak může být jeho prostorová pozice. Mezi strukturální charakteristiky dřeva patří zejména velikost (rozměry) a stupeň rozkladu. K dynamickým

vlastnostem náleží především způsob, jakým se dřevo dostalo do koryta vodního toku (přísunové mechanismy a procesy) a jeho mobilita (náchyllost k přeplavení vodním proudem). Mezi funkční charakteristiky lze zařadit široké spektrum účinků, které dřevo v potoce či řece vyvolává; jedná se především o ovlivnění hydraulických podmínek a hydrologických charakteristik toku, utváření morfologie koryta a nivy, zpomalování transportu splavenin, zachytávání vodou unášené drobné organické hmoty, vytváření stanovišť pro mikroorganismy, živočichy a rostliny, poskytování potravní nabídky pro živé organismy a uvolňování živin. V textu této kapitoly bude věnována pozornost především klasifikacím, které jsou založeny na strukturálních vlastnostech dřeva. Takové vlastnosti jsou totiž při monitoringu v terénu nejsnáze a nejrychleji zjistitelné a zároveň z nich lze usuzovat i na vlastnosti dynamické a funkční.

Klasifikace dřevní hmoty podle velikosti

Nejběžnějším způsobem třídění dřevní hmoty v říčních systémech je podle rozměrů – průměru (tloušťky) a délky. Zde se rozlišuje mezi tzv. jemnou a hrubou dřevní hmotou (jemným [malým] a hrubým [velkým] dřevem). Jedná se o překlady z anglického jazyka, kdy se rozlišuje *large woody debris*, zkr. *LWD* (nebo synonyma *coarse woody debris*, zkr. *CWD*; *large organic debris*, zkr. *LOD*; *large organic material*) a *fine woody debris*, zkr. *FWD* (nebo synonymum *small woody debris*, zkr. *SWD*). Hranice mezi oběma kategoriemi je nejčastěji kladena na 10 cm v průměru a na 1 m délky (van Sickle a Gregory, 1990). Aby byl kus dřeva zařazen do kategorie hrubé dřeviny, musí splňovat obě velikostní kritéria současně. V této souvislosti se ještě otevírá otázka, ve které části dotyčného kusu má být dosažen průměr 10 cm. Může to být na tlustším konci, uprostřed (střední průměr kusu) nebo na tenčím konci. Nejobvyklejší postup je kus zařadit podle středního průměru. Přírodovědný a technický výzkum i praktický management jsou ve světě zaměřeny převážnou měrou na hrubé dřevo. Jemnému dřevu věnují pozornost spíše hydrobiologové a ekologové, kteří se věnují hlavně jeho vztahu k populacím vodních živočichů. V literatuře se lze dále setkat i s jinými velikostními limity pro hrubé dřevo: průměr >15 cm (Sollins, 1982), průměr >7,5 cm (Quesnel, 1994), průměr >2,5 cm (Harmon a kol., 1986). Hranice od 10 cm průměru a 1 m délky je však nejpoužívanější, protože se předpokládá, že kusy této velikosti jsou již schopné výrazněji ovlivňovat hydrogeomorfologické a ekologické procesy. Pro potřeby této studie se přidržujeme mezinárodně nejvíce akceptované hranice mezi jemným a hrubým dřevem na 10 cm v průměru a 1 m délky. Z hlediska účinků v říčních systémech je však důležitější poměr velikosti kusu k velikosti koryta, než jeho absolutní rozměry. Účinky kusu dané velikosti (např. hydraulické či geomorfologické) se zmenšují s rostoucí velikostí koryta (Gurnell, 2003). Míra, která se obvykle používá pro vyjádření relativní velikosti dřeva, je poměr délky kusu k šířce koryta. S klesající hodnotou tohoto poměru lze očekávat menší ovlivnění korytových procesů, menší stabilitu a větší pravděpodobnost odplavení.



Obr. 1.1.3 Rozložení hodnot tloušťky (nahore) a délky (dole) kusů dřeva v deseti říčních úsecích v ČR. (zdroj: Krejčí, 2010) Mor1, Mor2, Mor3 – různé úseky řeky Moravy, Luž – Lužnice, Č.Op – Černá Opava, B.Op1, B.Op2 – různé úseky Bílé Opavy, Mo – Morávka, Aug.p – Augšperský potok.

Klasifikace dřevní hmoty podle stupně rozkladu

V říčních systémech se vyskytuje celé kontinuum dřevin od kompletně zachovalých jedinců po holá torza kmenů či větví. K rozpadu a rozkladu dochází působením kombinace fyzikálních a biochemických pochodů. Ve fluviálním prostředí se významně uplatňuje mechanické namáhání kusů proudící vodou a abraze unášenými splaveninami. Stupněm rozkladu dřevní hmoty ve vodních tocích se zabývala celá řada prací. Nejpoužívanějšími parametry, pomocí kterých se rozpad/rozklad hodnotí, jsou: stupeň zachovalosti větví, zachovalost kořenového balu, zachovalost kůry, výskyt prasklin a děr v povrchu dřeva, barva a pevnost dřeva. Většinou se používá více těchto parametrů současně a na základě jejich charakteristických kombinací se vymezují kategorické škály rozkladu; počet kategorií se ve škálách různých autorů pohybuje nejčastěji od tří do pěti. V následující tabulce (Tab 1.1.1) jsou pro ilustraci uvedeny tři vybrané škály rozkladu dřevní hmoty.

Tab. 1.1.1 Popis kategorií rozkladu dřevní hmoty podle tří vybraných autorů.

Zdroj	Popis kategorií rozkladu
Chen a kol. (2008)	1) kus má neporušenou kůru či více jak 50% plochy kůry je neporušeno, dřevo má svou původní barvu, přítomny jsou větve 2) kus má méně než 50% plochy zachované kůry, povrch dřeva je zbrzděn rýhami, absence menších větví 3) kus má tmavou barvu dřeva, absence kůry a větví, dřevo měkké, na povrchu četné díry a praskliny
Schuett-Hames a kol. (1999)	1) intaktní kůra, přítomnost větviček 2) intaktní kůra, absence větviček 3) pozůstatky kůry 4) absence kůry, světle hnědá barva dřeva 5) absence kůry, měkké a tmavě hnědé dřevo
Martin a Benda (2001)	1) přítomny zelené listy či jehličí 2) přítomny větvičky 3) přítomny sekundární větve 4) přítomny pouze primární větve 5) absence primárních větví 6) kmen pokryt mechem

Klasifikace podle fyzikálních vlastností dřeva (hustota dřeva)

Nejedná se v pravém slova smyslu o klasifikace, ale v mnoha případech je užitečné znát vybrané fyzikální vlastnosti dřeva stromů, které se ve vodních tocích nacházejí. V první řadě se jedná o hustotu dřeva. Ta je důležitým faktorem, který především ovlivňuje mobilitu za povodní. Hodnota hustoty dřeva je rovněž nezbytná pro výpočet zásob dendromasy ve vodním toku. Kusy dřeva o nižší objemové hmotnosti snáze plavou a jsou proto mobilnější. Dřeviny v podmínkách střední Evropy mají hustoty dřeva, které jsou výrazně nižší než hustota hustoty vody, takže plavou na hladině. V kontrastu k tomu některé druhy australských blahovičníků mají tak vysokou objemovou hmotnost (vyšší hustota než voda), že klesají ke dnu a neplavou. Díky tomu je tato dřevní hmota v korytech velmi stabilní. V případě, že je kalkulována hmotnost dřevní hmoty v úseku vodního toku, používá se obvykle hodnota 500 kg.m^{-3} . Tato hodnota se používá samozřejmě ze zcela praktických důvodů, a to proto, že mnohdy je velmi obtížné určit druh dřeviny, ze které dřevní hmota pochází. Řada kusů dřeva je totiž v takovém stupni rozkladu, že postrádá determinální znaky, podle kterých by bylo možné stanovit alespoň rod dřeviny. Použití této smluvní hodnoty ovšem vnáší poměrně velkou chybu do výpočtů hmotnosti dendromasy ve zkoumaném úseku vodního toku. Velikost chyby při použití této hodnoty u dřevin běžných v našich břehových a doprovodných porostech ukazuje Tab. 1.1.2. Pro představu o variabilitě hustoty dřeva našich běžných dřevin je uvedena Tab. 1.1.3.

Tab. 1.1.2 Modelové vyčíslení rozdílů ve zjištěných hodnotách dendromasy ve třech říčních systémech při použití smluvní hodnoty hustoty dřeva 500 kg.m³. Porovnání bylo provedeno s hodnotami hustoty pro vrby (*Salix* spp.) a duby (*Quercus* spp.).

	Morava		Dyje		Morávka	
	hmotnost (t/ha)	odchylka	hmotnost (t/ha)	odchylka	hmotnost (t/ha)	odchylka
M 500	22,307		3,277		2,216	
M Salix	17,174	-23,0	2,523	-23,0	1,706	-23,0
M Quercus	30,335	+36,0	4,456	+36,0	3,014	+36,0

Tab. 1.1.3 Přehled hustoty dřeva (kg.m⁻³) u vybraných druhů dřevin běžných v podmínkách ČR.

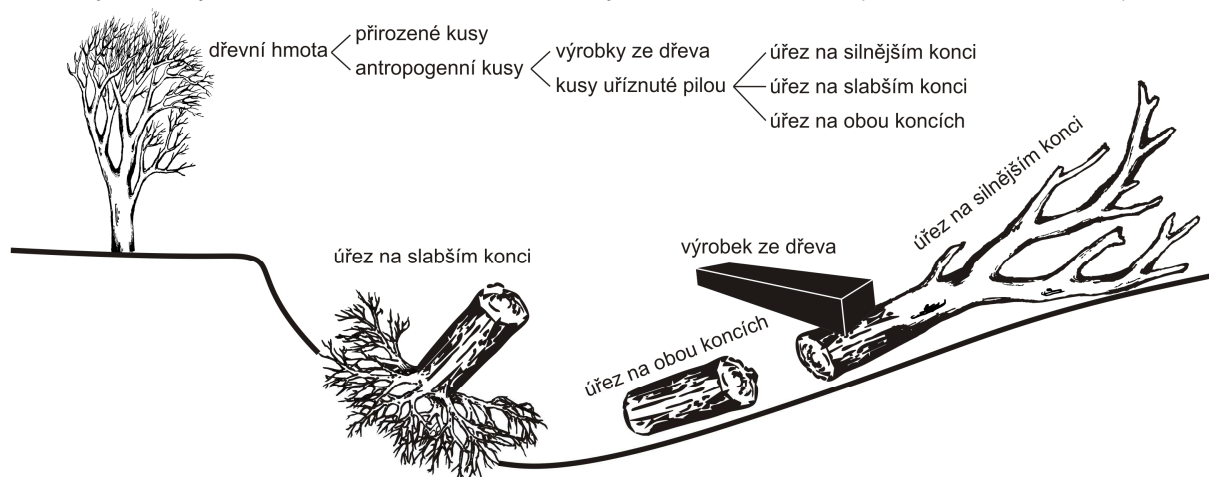
Smrk ztepilý	Jedle bělokorá	Borovice lesní	Modřín opadavý	duby
392	407	520	448	696
Jasan ztepilý	Trnovník akát	Ořešák královský	Ořešák černý	Buk lesní
660	690	670	550	684
Olše lepkavá	Habr obecný	Bříza bělokorá	javory	topoly
494	697	630	526	450

Klasifikace dřevní hmoty podle dynamických charakteristik

V tomto ohledu se lze zaměřit především na původ a pohyblivost (mobilitu) dřevní hmoty. Většina kusů dřeva ve vodních tocích má *přírodní původ* a dostaly se do koryta přirozenými přísunovými mechanismy, jako jsou břehová eroze, vítr, kácivá činnost bobra, dřevokazný hmyz, aj. Některé kusy se však ocitly v korytě vodního toku přičiněním člověka a mají tedy *antropogenní původ*. Antropogenní dřevo lze rozdělit na výrobky ze dřeva a kusy uříznuté motorovou pilou. Mezi výrobky ze dřeva, se kterými se lze vcelku běžně setkat v našich řekách patří trámy, desky, fošny, palety, sloupy, kůly, zbytky plotů a ohrad, odplavené lávky a mostky, aj. Dále se jedná o kusy dřeva uříznuté na jednom či na obou koncích motorovou pilou. Takovéto dřevo se dostává do vodních toků buď v souvislosti s údržbou břehových a doprovodných porostů nebo v souvislosti s hospodařením v lesních porostech v okolí vodního toku (těžba, probírky mladých porostů). Kusy s úřezem na tlustším konci jsou většinou výsledkem těžby dřeva v lesích, kdy se do koryta dostanou například tenké odřezané vršky stromů, které nejsou komerčně zajímavé, případně dojde k nechtěnému odplavení jednotlivých pokácených stromů. Občas dochází k rozplavení nevhodně založených skládek vytěženého dřeva během povodní. Naopak kusy uřezané na tenčím konci jsou většinou výsledkem údržby břehových porostů. Správce toku totiž běžně odřezává vršky stromů, které se naklánějí nad koryto. Během času však může břehová eroze přisunout do koryta i zbylou bázi kmene s kořenovým balem. Stromy pokácené při probírkách břehových porostů jsou většinou odstraněny mimo nivu, nicméně občas jsou pořezány na polena, která se ponechávají blízko vodního toku k zetlení. Pořezání na polena se provádí, protože krátké kusy, které řeka může odnést, nejsou tolik nebezpečné pro vodní stavby a nepředstavují ani výrazné nebezpečí z pohledu zablokování koryta. Pořezáním na 1 až 2 m dlouhá polena se ovšem neobyčejně zvýší pravděpodobnost jejich odplavení za povodně.

Pokud se kus nachází na místě, do kterého byl přisunut z břehových či doprovodných porostů některým z přísunových procesů, a nebyl přeplaven vodním proudem, tak je označován jako *autochtonní*. Pokud byl kus ze své původní polohy přemístěn proudící vodou (byl přeplaven), tak je označován jako *alochtonní*. Kusy, které jsou transportovány vodou, se mohou hromadit na místech, která podporují jejich zachytávání a vznikají *dřevní akumulace* (anglicky *wood jams*). Kusy dřeva se tedy vyskytují ve vodních tocích buď samostatně jako jednotlivé (individuální) kusy (Obr. 1.1.2 a, b d) nebo v podobě akumulací (Obr. 1.1.2 c, Obr.

1.1.5). Pro vymezení akumulací má zásadní význam minimální počet kusů dřeva, které musí akumulace obsahovat. Nejčastěji se za akumulace považují shluky tří a více vzájemně se dotýkajících kusů hrubého dřeva. Akumulace se rozdělují podle způsobu vzniku na *autochtonní*, *alochtonní* a *kombinované*. Autochtonní akumulace vznikají napadáním několika v blízkosti stojících stromů na jedno místo, alochtonní akumulace se tvoří naplavením více kusů dřeva na jedno místo, kombinované akumulace mají svůj původ v zachytávání plovoucího dřeva na místním, vyvráceném stromu (tzv. **klíčovém kusu**).



Obr. 1.1.4 Klasifikace dřevní hmoty ve vodních tocích podle stupně ovlivnění člověkem. (zdroj: Krejčí a Máčka, 2011) A: výrobek ze dřeva – trámeček; B: výrobek ze dřeva – zbytek odplavené lávky; C: výrobek ze dřeva – piloty zaražené do dna; D: pokácený strom, který se dostal do koryta řeky (úřez pilou na silnějším konci); E: odřezaný vršek stromu přeplavený řekou, zachycený na dřevní hmotě; F: strom s odřezaným vrškem (úřez pilou na tenčím konci), strom se po odřezání dostal do koryta řeky v důsledku břehové eroze; G: strom s odřezaným vrškem; H: dřevní akumulace vzniklá zčásti naplavením uřezaných polen; I: strom pořezaný na polena, kusy jsou zanášeny fluvialními sedimenty.

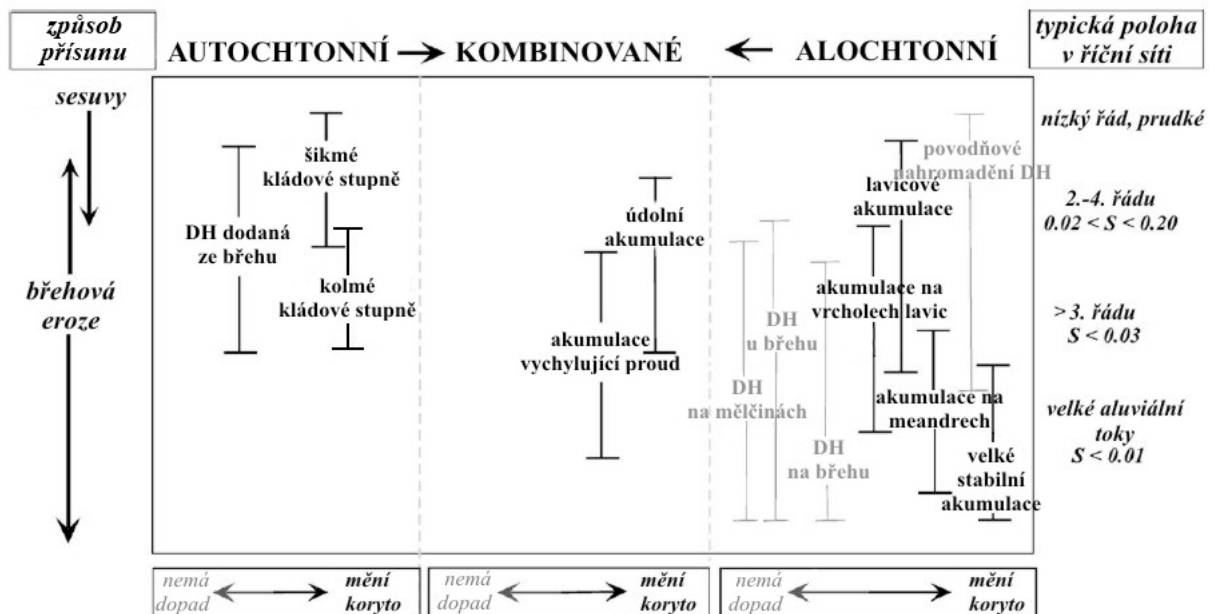


Obr. 1.1.5 Ukázka dřevní akumulace, která vznikla přednostním vyvrácením stromů (břehovou erozí) v nárazovém břehu na konkávní straně meandru, vyvrácené stromy dále zachytávají plovoucí dřevo, čímž se akumulace zvětšuje. Jedná se o typ „akumulace na meandrech“ (meander bend jam) v klasifikaci Abbe a Montgomery (2003), z pohledu původu se jedná o akumulaci kombinovanou. V levé střední části akumulace jsou patrné trsy bylin, které využívají jako stanoviště kořenové baly vyvrácených stromů. Foto L. Krejčí.

Kromě původu je možné dále akumulace třídit podle jejich vzhledu, polohy (vztahu k mikroformám koryta) či předpokládaných účinkům (zejména hydraulickým a geomorfologickým). V tomto ohledu je jistě nejpropracovanějším klasifikačním systémem práce Abbe a Montgomery (2003), která definuje celkem třináct různých druhů akumulací. Klasifikace je znázorněna formou schématu na Obr. 1.1.6. Podrobněji je vzhled a funkce hlavních typů akumulací dřevní hmoty popsána v kapitole 1.2. Jednodušší způsob rozdělení akumulací lze najít v pracích Gregory a kol. (1985) a Gregory a kol. (1993). Autoři rozlišují následující typy akumulací:

- **aktivní hráz:** kompletní bariéra napříč korytem vytvářející stupeň v podélném profilu, jedná se o nahromadění dřeva, které přemostňuje napříč celé koryto a vyvolává vzduť hladiny ve směru proti proudu, v důsledku toho voda přepadává přes vzniklý stupeň, akumulace je pro proudící vodu špatně propustná a její hydraulický účinek je tedy značný, na tento typ akumulací bývají vázány výrazné morfologické účinky, jako jsou vývařistiště (tůně) pod akumulací či zachytávání splavenin nad akumulací;
- **úplná hráz:** kompletní bariéra napříč korytem, která nevytváří stupeň v podélném profilu, na rozdíl od předchozího typu je nahromadění dřeva více rozvolněné (porézní) a proudící voda akumulací prochází víceméně volně, změna hydraulických vlastností proudění není tak markantní a rovněž morfologické projevy nejsou tak výrazné, nedochází ke vzduť hladiny směrem proti proudu;
- **hráz z jednoho kmene:** kompletní bariéra tvořená pouze jedním stromem, v pravém slova smyslu se nejedná o akumulaci, protože koryto je přemostěno (blokováno) pouze jediným kmenem ležícím napříč korytem, jeho účinky jsou podobné jako v případě aktivních hrází, charakter hydraulického a morfologického účinku je závislý na velikosti kmene, zejména na jeho průměru, a také na jeho poloze, morfologické účinky se liší podle toho, zda voda hráz podtéká (kmen se nedotýká dna) či přetéká (kmen spočívá na dně);
- **částečná hráz:** nahromadění kusů dřeva, které neblokují průtočný profil v celé šířce koryta, tento typ akumulací nepřeklenuje celé koryto, ale vybíhá od jednoho břehu směrem do středu koryta, případně se jedná o shluky dřeva, které se nacházejí uprostřed koryta a jsou z obou stran obtékány vodním proudem;
- **povodňová hráz:** dřevní struktura ovlivňující úroveň hladiny pouze za vyšších vodních stavů, většinou se jedná o volněji uspořádaná nahromadění větších kmenů, které jsou za nižších a průměrných vodních stavů z větší části vynořené nad hladinou a

voda je volně obtéká, při povodních, kdy jsou kmeny ponořené, se může projevit jejich hydraulický účinek.
Zcela zvláštním případem jsou pak dřevní akumulace záměrně vytvořené člověkem za účelem revitalizace vodního toku, tzv. *engineered log jams*, zkr. *ELJ*.



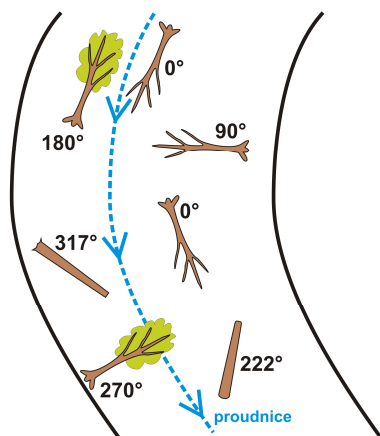
Obr. 1.1.6 Schéma typologie dřevních akumulací podle Abbe a Montgomery (2003) ukazující typické přísunové procesy dřeva, polohu v rámci říční sítě a potenciál pro modifikaci geomorfologie koryta. Obrázek poskytl L. Krejčí.



Obr. 1.1.7 Příklad typů akumulací („hrází“) podle Gregory a kol. (1985) a Gregory a kol. (1993): A) aktivní hráz, B) narušená aktivní hráz na přechodu k úplné hrázi, C) a D) úplná hráz, E) a F) hráz z jednoho kmene, G) a H) částečná hráz, I) povodňová hráz.

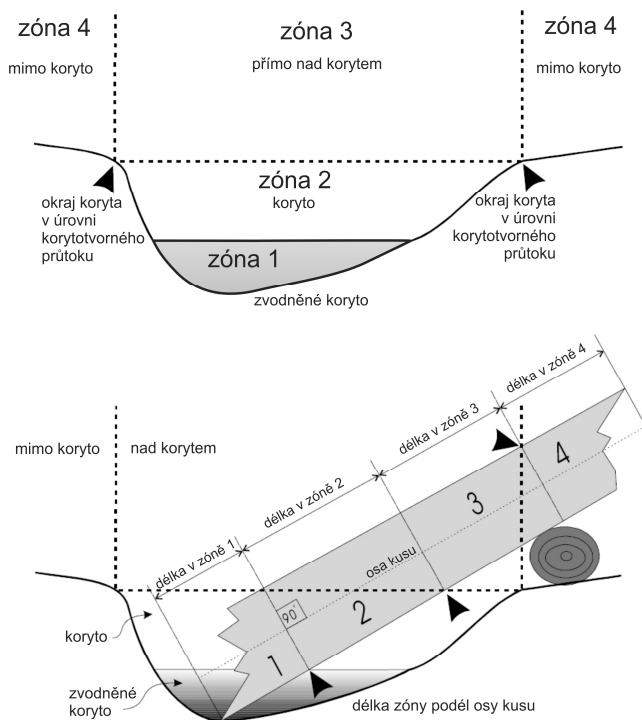
Klasifikace dřevní hmoty podle prostorové pozice

Z hlediska prostorové pozice lze dřevní hmotu třídit podle orientace vůči směru proudění, sklonu vůči podkladu (dnu koryta) a pozici v korytových zónách. Orientace je běžně zjišťovaným parametrem kusů dřeva v korytech vodních toků. Vhodné je brát při určení orientace v potaz, kterým směrem je otočený kořenový bal a kterým korunou. V tomto případě se kusům s korunou otočenou po proudu přisuzuje orientace 0° , kusům natočeným korunou proti proudu orientace 180° (viz obr. 1.1.8). Orientace má indikativní význam z hlediska transportu dřeva vodním proudem; např. kusy vyvrácené do koryta břehovou erozí jsou většinou orientovány kolmo ke břehu, za vyšších vodních stavů pak dochází k jejich natáčení ve směru po proudu a jejich orientace se stává více paralelní se směrem proudění v korytě. Doplňkovým parametrem je sklon kusu; tato charakteristika je však měřena spíše výjimečně. Orientace v kombinaci se sklonem popisuje pozici kusu dřeva ve vztahu k proudění vody a lze je následně využít pro hydraulické výpočty, zejména stanovení míry blokace koryta (stupně zahrazení průtočného profilu).



Obr. 1.1.8 Schéma ukazující, jakým způsobem lze stanovit orientaci kusu dřeva v korytě vodního toku. Obrázek poskytl L. Krejčí.

Nejdůležitějším hlediskem charakterizace dřevní hmoty podle její pozice je výskyt v tzv. korytových zónách. Jedná se o segmentaci příčného profilu toku do čtyř segmentů (zón); jejich vymezení ukazuje Obr. 1.1.9. Zóna 1 zaujímá nejnižší část koryta a je zaplavená vodou i v období s nízkými vodními stavy (při základním odtoku), zóna 2 zasahuje od vodní hladiny po břehovou hranu, zóna tři se nachází nad korytem nad úrovní břehové hrany, a poslední zóna 4 představuje nivu podél obou břehů. Pozice v rámci zón určuje četnost interakcí dřevní hmoty s hydrogeomorfologickými procesy (prouděním vody a transportem splavenin). V zónách 1 a 2 dochází k nepřetržitému či velmi častému vzájemnému ovlivňování dřevní hmoty a fluvialních procesů a proto je zde vliv dřevní hmoty největší. Dřevo nad korytem a v nivě (zóny 3 a 4) se zapojuje do fluvialních procesů pouze za povodní.



Obr. 1.1.9 Rozdělení koryta vodního toku do zón, pro které se zpravidla během mapování/monitoringu stanovuje množství dřevní hmoty. Upraveno podle Schuett-Hames a kol. (1999), obrázek poskytl L. Krejčí.

1.1.3 Faktory ovlivňující přísun, zánik a množství dřeva ve vodních tocích

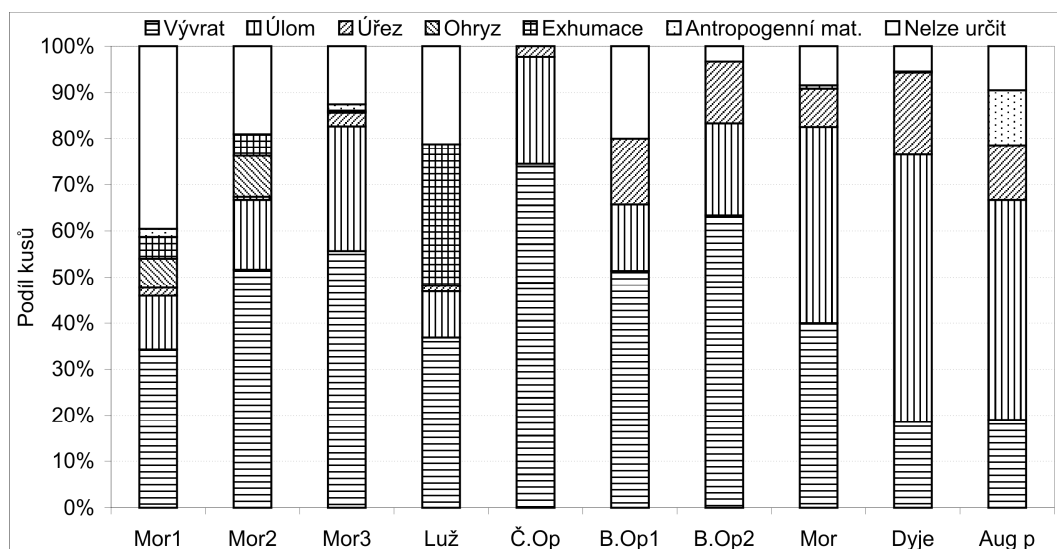
Množství dřevní hmoty ve vodních tocích

Množství dřevní hmoty v říčním systému je výsledkem poměru mezi jejím přísunem a odsunem (zánikem) (Swanson a kol., 1976). Downs a Simon (2001) hovoří o bilanci dřevní hmoty (anglicky *LWD budget*). Dostatečný přísun dřeva do vodních toků je předpokladem zdravého fungování vodních ekosystémů i příbřežní zóny. Množství dřeva je při přepočtu na jednotkovou plochu koryta největší u toků malých (toků nízkého řádu dle Strahlera) a existuje obecná tendence ke snižování jeho množství směrem po proudu (Robinson a Beschta, 1990). Malé, úzké toky postrádají schopnost transportovat dřevo dále po proudu a dřevo se v nich hromadí. Ve větších tocích, jejichž transportní kapacita je větší, je dřevo exportováno dále po proudu, a proto je v nich relativní množství dřeva menší.

Množství dřeva ve vodních tocích je primárně závislé na produkci (přísunu) dřeva z přilehlého lesa, jeho rozkladu a odnosu (transportem po proudu, zanesením sedimenty). Zvláštním případem je dřevní hmota, která je obnažena říční erozí z aluviálních sedimentů. Jedná se o fosilní stromy, které byly zaneseny splaveninami a při pozdější laterální migraci koryta jsou znovu obnažovány a zapojují se opětovně do bilance dřeva. Studie zabývající se přísunem dřeva z okolních porostů ukazují, že nejvíce materiálu pochází ze zóny široké cca 30 m; Fetherston a kol. (1995) tuto zónu uvádějí jako zdroj 70 až 90% dřevní hmoty obsažené v korytech jimi studovaných vodních toků.

Přísun dřevní hmoty do vodních toků

Nejobvyklejším, ale zdaleka ne jediným, přísunovým procesem dřevní hmoty do vodních toků je břehová eroze. Mezi další přísunové mechanismy patří vyvrácení nebo ulomení větrem, vyvrácení či ulomení tíhou sněhu či námrazy, požáry, sesuvy, sněhové laviny, kácivá činnost bobra, exhumace fosilních kmenů z fluviálních sedimentů, faktory ovlivňující vitalitu (a následně stabilitu) dřevin – hmyzí škůdci dřeva, choroby, kompetice v rámci lesního porostu, stáří, aj.), přímé a nepřímé vlivy člověka. V podmínkách ČR je zejména důležitá břehová eroze a větrné kalamity, lokálně (například v NP Šumava) se významně uplatňují kalamity hmyzích škůdců (lýkožrout smrkový) nebo chřadnutí olší způsobené invazním houbovým parazitem *Phytophthora alni*. Ostatní procesy hrají méně významnou roli (např. přirozená dynamika porostů – mortalita, kácivá činnost bobra). Poměrné zastoupení různých přísunových mechanismů v deseti říčních systémech ČR ukazuje Obr. 1.1.10. Pro určitý podíl kusů nelze zpravidla přísunový mechanismus spolehlivě určit. Také je třeba upozornit na to, že za kategoriemi vývrat a úlom se mohou skrývat různé přísunové procesy. Strom se například může vyvrátit jak vlivem břehové eroze, tak působením silného větru. Větev se může ulomit jak vlivem větru, tak i samovolně (v důsledku oslabení mechanické pevnosti) v důsledku usychání.



Obr. 1.1.10 Příklad podílu různých přísunových mechanismů na vstupu dřevní hmoty do deseti říčních úseků v ČR podle práce Krejčí (2010). Mor1, Mor2, Mor3 – různé úseky řeky Moravy, Luž – Lužnice, Č.Op – Černá Opava, B.Op1, B.Op2 – různé úseky Bílé Opavy, Mor – Morávka, Aug p – Augšperský potok.

Zajímavé údaje z hlediska struktury přísunu dřeva do vodních toků přináší například práce Benda (2004). V této studii je uvedeno, že až 85% kusů ve studovaných úsecích řek v severní Kalifornii je výsledkem břehové eroze a sesuvů. Konkrétně v oblasti Mendocino bylo možné určit způsob přísunu u 26 až 66% kusů dřeva, přičemž struktura přísunových procesů byla následující: 65% antropogenní přísun (historická a současná těžba a plavení dřeva), 14% břehová eroze, 9% přirozená mortalita, 8% sesuvy, 4% blokovobahenní proudy.

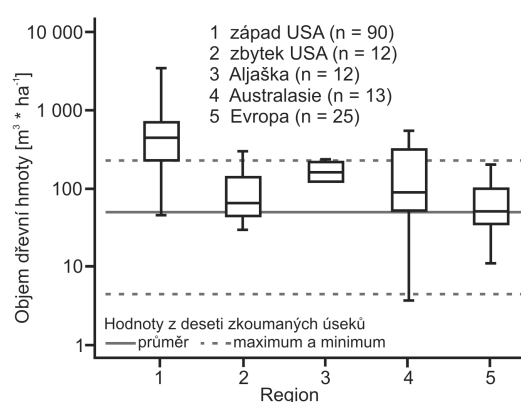
Zánik (odsun) dřevní hmoty ve vodních tocích

Co se týče procesů vedoucích k zániku dřevní hmoty ve vodních tocích, tak je lze rozdělit do čtyř skupin: mechanický rozpad, chemický rozklad, pohřbení sedimenty a odplavení. Stabilní kusy dřeva mohou setrvávat víceméně na jednom místě i řádově ve stovkách let. Při posuzování pravděpodobnosti dlouhodobějšího setrvání kusu ve vodním toku se lze řídit dvěma pravidly. Jednak rozklad je významně zpomalený, pokud je dřevo ponořené ve vodě, a jednak jehličnaté stromy se rozkládají pomaleji než listnaté (Harmon a kol., 1986). Stevens (1997) rozlišuje šest způsobů destrukce dřevní biomasy: fragmentace, vyluhování, hroucení a usazování, vysoušení vedoucí ke smršťování, respirace organismů a biologická přeměna organismy při využití dřeva jako energetického zdroje. V prostředí s proudící vodou je rovněž významným činitelem abraze, která atakuje povrchovou rozrušenou (změkčenou) vrstvu připravenou procesy biochemického rozkladu.

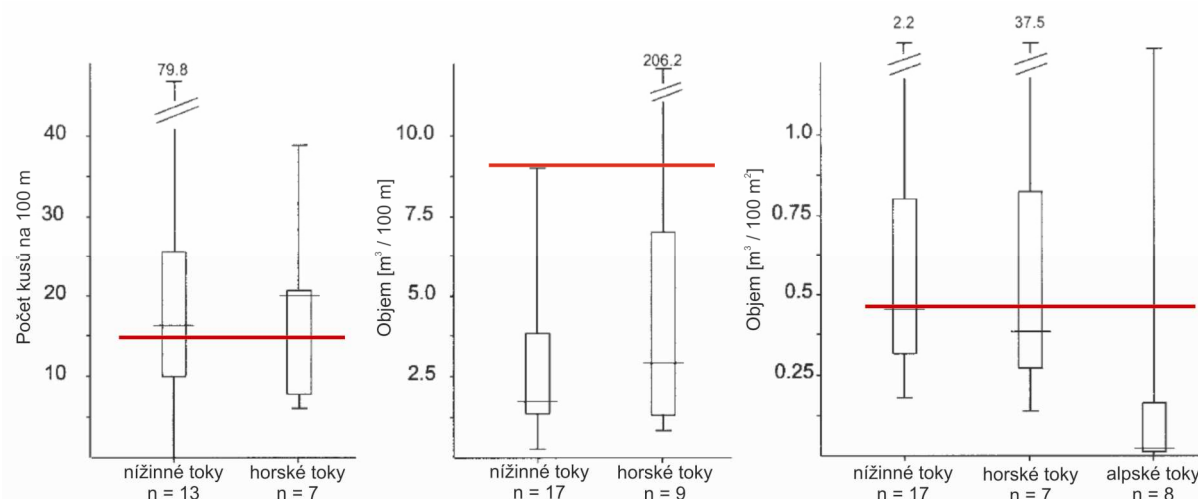
1.1.4 Přirozené množství dřeva ve vodních tocích Evropy a České republiky

Současné množství dřeva v tocích Evropy je výsledkem mnohasetletého cíleného i nepřímého ovlivňování vodních toků. V hustě osídlených kulturních krajinách střední a západní Evropy je množství dřeva vodohospodářskou provozní praxí sníženo na minimum. Zcela běžné jsou dlouhé úseky vodních toků zcela zbavené hrubého dřeva. Příklady uváděné ze zahraničí, případně z území ČR, reprezentují říční úseky, které mají relativně přírodní charakter a dřevo není z toku cíleně a pravidelně odstraňováno. V řadě případů se jedná o legislativně chráněná území přírody. Jak však ukazuje práce Krejčí a Máčka (2011), dokonce i na nejzachovalejších, přírodě blízkých tocích může být v tuzemsku množství dřeva významně ovlivněno člověkem (většinou sníženo).

První údaje o množství dřeva na tuzemských tocích jsou dostupné z výzkumných prací prováděných na Masarykově univerzitě v Brně nebo na Výzkumném ústavu vodohospodářském TGM v Praze. Údaje o množství a velikostní struktuře dřeva z kratších úseků na řekách Bílé a Černé Opavě, Dyji, Lužnici, Moravě, Morávce, Svratce a na Augšperském potoce lze najít v pracích Máčka a Krejčí (2006), Máčka a Braun (2009), Máčka a Krejčí (2009), Krejčí (2010), Máčka a Krejčí (2010), Máčka a kol. (2010). Zaznamenané objemy dřevní hmoty se pohybovaly v rozmezí od $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Morava – Strážnické Pomoraví) do $102,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Lužnice – Suchdol nad Lužnicí). Vesměs se jednalo o přírodě blízké úseky vodních toků obklopené souvislými lesními porosty. Výjimkou je úsek na Lužnici s maximálním zaznamenaným množstvím dřeva, který se nachází v pastvinách s lesíky, dřevinnými lemy a roztroušenými stromy. Dále jsou k dispozici údaje z koryta Moravy obklopeného zapojeným lužním lesem - v NPR Vrapač uvádí Kožený a kol. (2006) $36,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ dřevní hmoty (jedná se o odhad množství dřeva před realizací revitalizace, která zahrnovala vkládání dalších stromů do koryta). Podobně uvádí Kožený (2007) hodnotu $36,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ z Blanice v oblasti Šumavy pro koryto a přilehlý 3 m široký pás údolní nivy a $19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ pro samotné koryto.



Obr. 1.1.11 Krabicové grafy variability množství dřevní hmoty v závislosti na regionu a porovnání s průměrným množstvím zjištěným na deseti říčních úsecích v ČR (zdroj: Máčka a Krejčí, 2009). Údaje z regionů světa pocházejí z práce Gurnell (2003).



Obr. 1.1.12 Množství dřevní hmoty v německých řekách podle Hering a kol. (2000) a porovnání s průměrným množstvím dřeva v deseti říčních systémech v ČR. (zdroj: Máčka a Krejčí, 2009)

Základní přehled o tom jaké množství dřeva se může řádově nacházet v říčních systémech v celosvětovém kontextu podává Obr. 1.1.11. Z grafu je patrné, že rozdíl mezi Severní Amerikou a Evropou může dosahovat úrovně dvou řádů. Data rovněž ukazují míru variability v rámci jednotlivých oblastí. Aljaška jako příklad nejméně člověkem dotčeného území

vykazuje velké objemy dřeva ve vodních tocích (řádově stovky $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a malou variabilitu. Naproti tomu v Austrálii, kde se vyskytují přirozená i do značné míry člověkem ovlivněná povodí, vykazuje velký rozptyl hodnot od jednotek po stovky $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Jak ukazuje Obr. 1.1.11, množství dřeva na českých tocích dobře koresponduje se stavem v Evropě. Srovnatelné je i množství na tocích východní části USA a vcelku i Austrálie a Nového Zélandu.

Zřejmě nejucelenější přehled o množství dřeva na relativně přirozených tocích, v nám blízkých geografických podmínkách Německa (s výjimkou vysokohorských toků), nabízí práce Hering a kol. (2000). Zkoumané vodní toky měly šířku od necelého 1 m po 450 m. Průměrná čísla hovoří o $1,44 \text{ m}^3$ dřevní hmoty na 100 m délky koryta, což vyjádřeno četností odpovídá 12,5 kusům hrubého dřeva. Průměrná hodnota objemu vztažená k jednotkové ploše koryta činila pouze $0,2 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$. Porovnání zásob dřevní hmoty na německých tocích s deseti říčními systémy v ČR ukazuje Obr. 1.1.12 (Máčka a Krejčí, 2009).

Zajímavý je rovněž pohled na velikostní strukturu dřevní hmoty. Z celkového počtu 1 828 kusů dřeva, které byly zahrnuty do německého regionálního přehledu, měla více než polovina průměr v intervalu 10 až 14 cm a naprostá většina kusů měla tloušťku do 34 cm. Nejvíce kusů dosahovalo délky pouze 50 až 99 cm, druhý nejčtenější délkový interval byl 100 až 149 cm. Tyto údaje lze konfrontovat s Obr. 1.1.3, který ukazuje velikostní strukturu dřevní hmoty v deseti říčních systémech ČR (Máčka a Krejčí, 2009). V porovnání s Německem vychází v našich podmínkách, z pohledu ekologických funkcí, velikostní struktura dřevní hmoty příznivější. Řada sledovaných říčních úseků v ČR má větší průměry i délky kusů dřeva než německé toky. Větší kusy samozřejmě více odpovídají přirozeným, referenčním podmínkám. Větší dřevo se může mnohem účinněji uplatnit při ovlivňování hydrogeomorfologických a biologických procesů v potocích a řekách. Menší rozměry dřeva, oproti přírodním podmínkám, jsou v kulturních, intenzivně obhospodařovaných krajinách Evropy důsledkem změněné druhové a věkové skladby lesních porostů. Chybí zde zralé, staré až přestálé porosty s velkými stromy, které by byly schopné zásobovat vodní toky velkým množstvím dřeva s velkými rozměry.

1.2 DŘEVNÍ HMOTA A FLUVIÁLNÍ PROCESY

Souhrn

Ponožené dřevo klade odpor vodnímu proudu, zvyšuje drsnost koryta a zpomaluje odtok vody. Turbulentní proudění v okolí struktur dřevní hmoty usnadňuje prokysličování a samočistící procesy ve vodním toku. V důsledku změn rychlosti a směru proudění urychluje dřevo lokální vymílání a ukládání sedimentu, způsobuje tvorbu tůní a ve svém proudovém stínu umožňuje vznik šterkopískových lavic. Výsledkem je morfologicky členité koryto s proměnlivou šířkou, hloubkou a pestrým složením zrnitostních frakcí dna. V měřítku delšího úseku toku působí dřevní hmota jako stabilizační struktura koryta – zadržuje sediment a brání hloubkové erozi. V měřítku celého toku ovlivňuje množství dřeva v korytě celý říční vzor a jeho přítomnost je důležitá pro existenci stabilních meandrů, tvorbu říčních ostrovů a anastomózního větvení vodního toku. Největší vliv na morfologický stav toku mají akumulace dřevní hmoty, které podle výskytu, tvaru a účinku lze rozdělit do několika základních typů. Poznatky o hydrogeomorfologickém působení dřevní hmoty na vodní tok jsou aplikovány v revitalizačních projektech, kdy se dřevní hmota do toků úmyslně vkládá. Kromě přirozených kusů dřeva jsou vytvářeny i umělé konstrukce, které napodobují svou funkcí akumulace přirozené.

1.2.1 Úvod do problematiky vztahu geomorfologických procesů a dřevní hmoty

Dřevní hmota v toku je nedílnou součástí vodních a na vodu vázaných ekosystémů, podílí se na fluviálně – geomorfologických procesech utvářejících koryta vodních toků a navazujících niv (Šindlar, 2010). Právě působení dřeva jako geomorfologického činitele je důležité pro formování vodního toku (spolu s následným významem pro biologické oživení toku). Problematika dřevní hmoty se stala součástí úvah o přirozeném vývoji a managementu vodních toků teprve v nedávné době (Montgomery a Buffington, 1997). Tématicky studie a vědecké práce o interakci dřevní hmoty a vodního toku navazují na publikace z oblasti přirozené geomorfologie vodních toků. Pro pochopení významu a konkrétních vlivů dřevní hmoty na vodní toky, včetně následného využití pro revitalizace, je nutné se seznámit se základními principy a typologií fluviálně-geomorfologických procesů.

Na úvod je nutné podotknout, že nejsou doposud k dispozici ucelené informace o využívání dřevní hmoty v praxi a jejím následném monitoringu, které by bylo možné využít jako komplexní metodický postup. Jako problematické se ukazuje geografická omezenost části prací, nebo odvození závěrů z laboratorních podmínek, kde nelze namodelovat všechny spolupůsobilé, zejména působení vegetace a tedy i mrtvého dřeva.

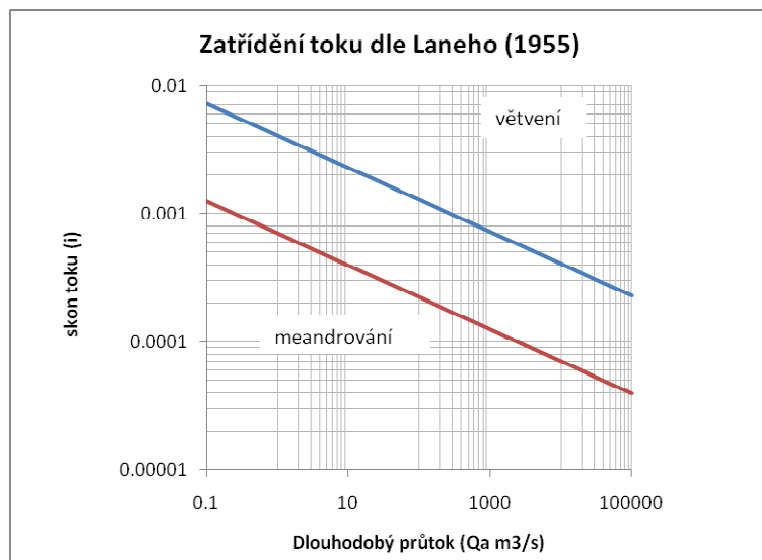
Vzhledem k nedostupnosti literatury zabývající se problematikou, byl zpracován přehled vývoje poznání v oboru, s ohledem na téma dřevní hmoty.

1.2.2 Vývoj oboru fluviální geomorfologie a tématu dřevní hmoty

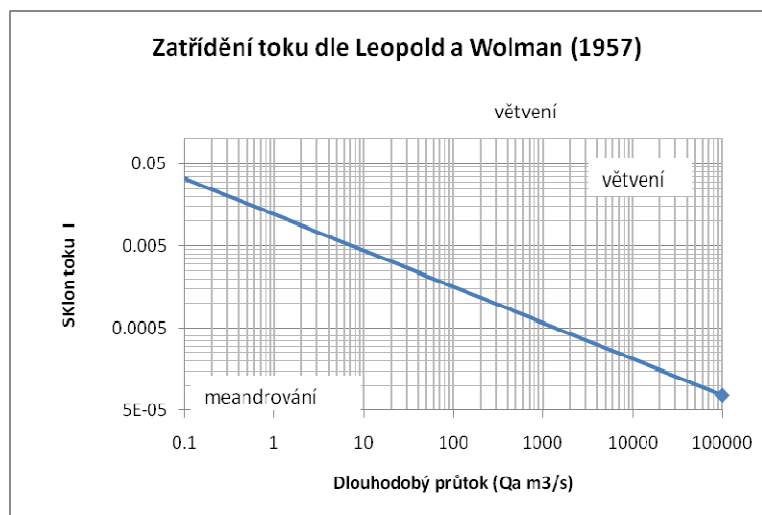
První práce zabývající se tématem byly především z oboru hydrauliky se zaměřením na řešení technických úloh kladených požadavky rostoucího průmyslu 19. století. Management uplatňovaný na základě těchto prací nezohledňoval problematiku přirozeného vývoje koryt a po dlouhou dobu určoval charakter vodních toků včetně přítomnosti dřeva. Nejstarší práce věnující se přirozeným tvarům koryt vychází z prostředí geologů a postupně formují geomorfologický přístup (Šindlar, 2010).

První rozdělení dělí toky na horské a nížinné se zohledněním problematiky erozních bází a následně problematiky splavenin včetně formování nivy (Lane, 1955; Powell, 1875). Základní rozdělení toků by se dalo zjednodušeně shrnout na úseky erozní – transportní – akumulační (Šindlar, 2010).

Podrobnější typologie a práce věnující se procesům, kterými koryta vznikají, se objevují v polovině 20. století (Lane, 1955; Leopold a Wolman, 1957). Shrnutí problematiky v ČR popsal Šindlar (2010). Postupně jsou rozlišovány jednotlivé morfologické typy a určovány jejich charakteristické parametry včetně nástrojů pro rozlišení. První identifikované rozdělení je na toky meandrující a toky větvičí se, s identifikačními parametry sklon toku a vodnost, reprezentována dlouhodobým průtokem (Q_a). Třídění je znázorněno grafy vymezujícími oblasti jednotlivých typů (Lane, 1955).

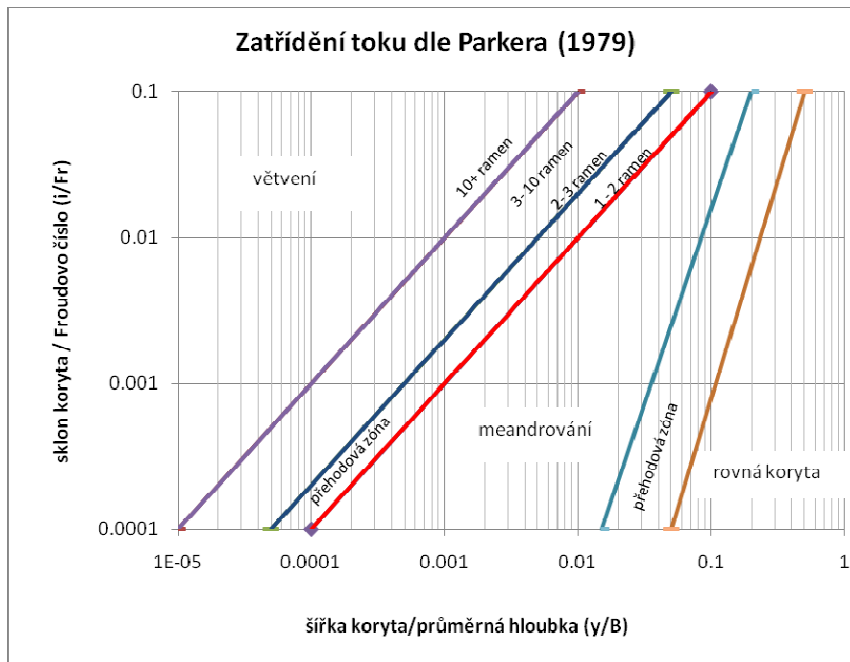


Obr. 1.2.1 Zatřídění geomorfologického typu (GMF typu) toku dle Lane (1955).



Obr. 1.2.2 Zatřídění GMF typu toku dle Leopold a Wolman (1957).

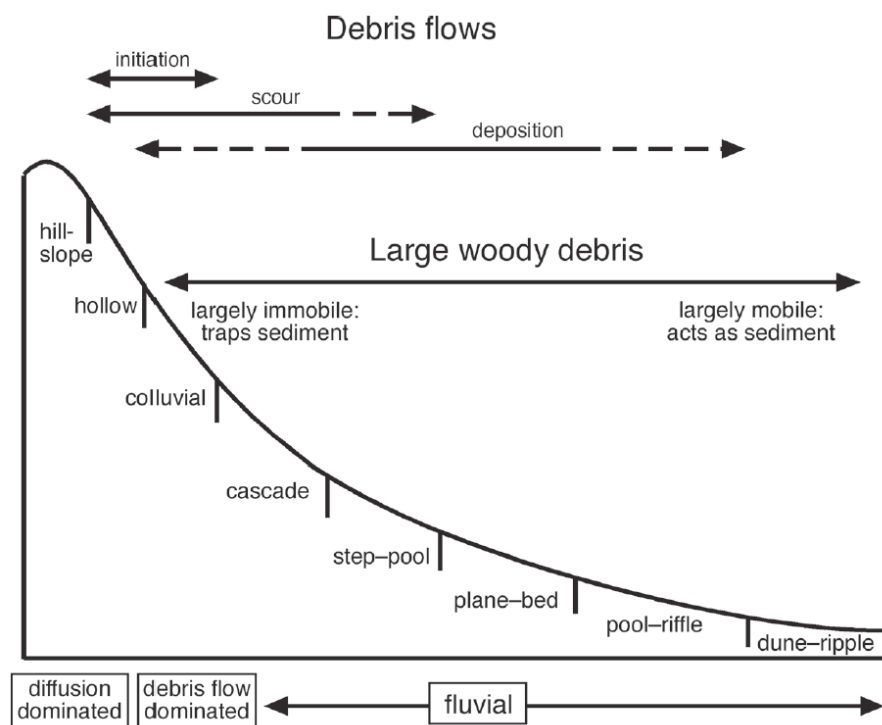
V dalším období poznávání geomorfologických procesů byl zkoumán zejména vliv geologického podloží a splaveninového režimu (Schumm a Lichty, 1965). Předchozí typologie byly rozšířeny a upřesněny s využitím poznatků hydrauliky (Parker, 1979).



Obr. 1.2.3 Zatřídění GMF typu toku dle Parker (1979).

V souvislosti s navazujícími pracemi byly identifikovány další geomorfologické typy (habitaty) a útvary nezapadající do výše zmíněných systémů. Např. Rosgen (1994) sestavil na základě dlouhodobých terénních měření charakteristických parametrů přirozených vodních toků kategorizaci geomorfologických typů vodních toků ve Spojených státech amerických. Toky rozdělil v závislosti na tvaru koryta a přilehlé aktivní nivy (floodplain) do osmi základních typů. V roce 1996 vydal publikaci, ve které podložil tuto kategorizaci výsledky zhodnocení velkého počtu geomorfologicky zaměřených koryt a rozšířil ji o rozdělení na šest podskupin jednotlivých typů (Rosgen, 1996). Montgomery a Buffington (1993) rozdělili toky do osmi typů, jež vystihují kontinuum geomorfologických procesů v podélném profilu přirozeného toku.

V souvislosti s těmito pracemi byly identifikovány jako zásadní činitelé vegetace, zejména dřevinná, a prvky mrtvé dřevní hmoty (Montgomery, Buffington, 1997; Brooks a kol, 2001; Abbe a kol., 2003b;).

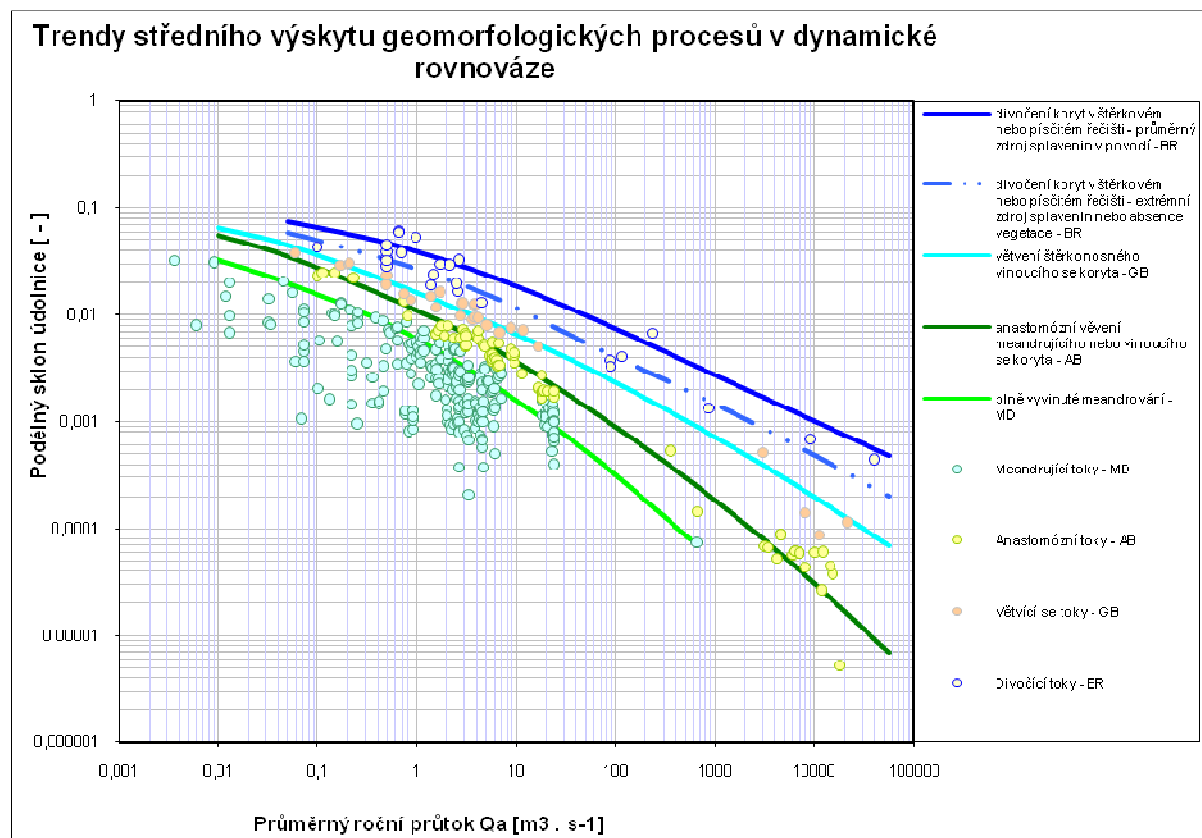


Obr. 1.2.4 Výskyt erozního rozlišení toků a výskytu dřevní hmoty kategorie „large woody debris“ (LWD) dle sklonu toku (Montgomery a Buffington, 1997). Idealizovaný podélný profil toku od vrcholové části povodí po říční deltu. Na ose x je vymezen rozsah podélného sklonu pro charakteristické úseky. Vymezení charakteristických úseků pomocí podélného sklonu je použito i při rozlišení geomorfologického typu (viz obr. 1.2.1 až 1.2.3 a 1.2.5). Podélný sklon je tak charakteristikou, kterou lze využít při srovnání geomorfologických charakteristik a výskytu dřevní hmoty. Problémem je, že k parametru sklonu je v geomorfologických grafech použita vodnost toku, buď přímo, nebo v podobě prostorových parametrů koryta. Ta z důvodu zjednodušení a ilustrativnosti v tomto schématu chybí přes to, že má důležitý vliv na dřevní hmotu.

V České republice byly poznatky o vývoji koryt publikovány hlavně ve vodohospodářské literatuře, např. Úpravy tokov (Macura, 1966; Raplík a kol., 1989). Zde je v úvodu uvedena část základních informací o přirozených tvarech koryt a jejich vývoji. V navazujících částech věnujících se přístupu při realizaci úprav a následnému managementu vodních toků, nejsou tyto poznatky v rozsáhlejší míře reflektovány. Problematika dřevní hmoty je zastoupena pouze informací o možnosti využití břehových porostů pro zpevnění a estetiku úpravy.

Práci reflektující vývoj oboru ve světě v kombinaci s vlastním pozorováním vydávají Šindlar a Vlček (2002) a následně v přepracované formě Šindlar (2006, 2008a, 2008b, 2010). V těchto dokumentech jsou zohledněny zákonitosti platné pro vývoj koryt obecně a podrobně popsány převažující geomorfologické typy pro území České republiky.

Rozlišení geomorfologických typů je založeno na analýze energie vodního toků v interakci s odporem prostředí nivy. Pro účel identifikace převládajících geomorfologických procesů byly zvoleny charakteristiky dlouhodobého průtoku Q_a , charakterizující celkovou vodnost toku a sklon údolnice. Sklon údolnice je zvolen z důvodů hierarchické nadřazenosti geomorfologické jednotky determinující proces v nivě, tedy i tvorbu koryta a interakci s přirozenými prvky nivy, včetně dřevinné vegetace a mrtvého dřeva (Šindlar, 2010). Metoda je určena pro rozlišení typů v dynamické rovnováze: meandrování, anastomózní větvení, větvení šterkonosného vinoucího se koryta, divočení v šterkovém nebo písčitém řečišti. Erozní typy nejsou v tabulce zastoupeny a určují se dle dalších geomorfologických znaků popsaných v textu níže.



Obr. 1.2.5 Zatlavení GMF typu toku dle Šindlar (2010). V grafu jsou vymezeny toky v dynamické rovnováze, které tvoří převládající skupinu významných vodních toků v ČR. Erozi geomorfologické typy (hloubková, akcelerovaná eroze) nelze na základě parametrů daných grafem jednoznačně vymežit. Jejich rozlišení na základě dalších znaků je popsáno níže.

1.2.3 Popis geomorfologických typů vodních toků

Popis geomorfologických typů vychází z publikace „Přírodě blízká protipovodňová opatření na tocích a v nivách. Metodika vyhodnocení aktuálního stavu hydromorfologie vodních toků včetně návrhů přírodě blízkých protipovodňových opatření k dosažení potřebného stupně protipovodňové ochrany a dobrého stavu hydromorfologické složky vod“ (Šindlar, 2008b).

Erozní oblast, hlavní tvorba splavenin DE (deep erosion)

Hloubková eroze v horských pramenných oblastech, vstup splavenin erozí dna a procesy svahových sesuvů. Údolí tvaru „V“ bez nivy, svahy v dlouhodobém vývoji, eroze dna je dlouhodobým charakteristickým znakem, skalní podloží udržuje relativní stabilitu podélného profilu.

Rozlišovacím znakem je úzké údolí bez vytvořené nivy, kdy koryto vyplňuje téměř celé dno nivy. Dále čela zpětné eroze vytvářející krátké prudší až stupňové úseky často vázané na skalní výchozy nebo místa hrubozrnných usazenin ve dně.

Oblast nestability po změně okrajových podmínek lokality, hlavní tvorba splavenin AE (acceleration erosion)

Hloubková a následně boční eroze v rychle se vyvíjejících kaňonech (akcelerovaná eroze) nebo aggradace z nadměrného přísunu splavenin je nestabilní přechodový stav, ve kterém si vodní tok vytváří novou nivu, vstup splavenin v první fázi erozí dna a v druhé fázi procesy svahových sesuvů.

Akcelerovaná eroze nebo aggradace je vždy procesem vývoje od výchozího stavu dynamické rovnováhy přes vývojová stadia zvyšující se nestability k návratovému vývojovému trendu do stavu dynamické rovnováhy v nových okrajových podmínkách (soubor vnějších vlivů podmiňující charakter toku). Tento proces je vyjádřen indexem počátečního a cílového geomorfologického typu dynamické rovnováhy, např.

- AE / GB – GB/ fa
- AE / AB – MD/ sl
- další kombinace

Indexy fa a sl značí rychlost procesu (fast, slow), která je dána vztahem mezi energií korytotvorných průtoků a odolností horninového prostředí.

Rozlišovacím znakem je velký poměr hloubky toku k šířce neodpovídající geomorfologickému charakteru toku. Projevy rozsáhlé zejména boční eroze zvýšené nestabilitou prudkých svahů vzniklých předešlým zahloubením koryta. Typická jsou i čela zpětné eroze rychle postupující proti proudu.

Oblast dynamické rovnováhy koryta, transport splavenin v korytě a akumulace splavenin v nivě

Geomorfologické typy během svého vývoje prochází fází, kdy aktuální šířka nivy je dostatečná, aby se projevil základní korytotvorné procesy a morfologické charakteristiky cílového stavu dynamické rovnováhy, ale nedosahují cílového stavu, kdy aktuální šířka nivy $\geq$ šířka nivy potřebná pro dosažení dynamické rovnováhy. Potom je tento stav označen indexem /ND:

- BR / ND
- GB / ND
- AB / ND
- MD / ND

BR (braided) - divočení koryt v štěrkonosném řečišti

Široké štěrkonosné řečiště s několika hlavními, vinoucími se koryty často překládajícími trasu, soustava ramen v řečišti protékaná při zvýšených stavech se velmi často překládá (v průběhu roku). Vždy vznikají štěrkonosná větvičí se ramena protékaná a překládaná během průtoků Q_1 , velmi dynamický vznik a zánik, morfologické tvary starých ramen jsou likvidovány akumulacemi štěrku a boční erozí nových koryt.

GB (gravel branching) - větvení štěrkonosného vinoucího se koryta

Široké štěrkonosné řečiště s jedním hlavním, vinoucím se korytem často překládajícím svoji trasu, soustava ramen v štěrkonosném řečišti protékaná při zvýšených průtocích se často překládá, ale okrajové části jsou již stabilizovány vegetací. Boční ramena jsou štěrkonosná protékaná a překládaná během průtoků Q_{10} , okrajová dlouhodobě stabilizována vegetací, dynamický vznik a zánik, morfologické tvary starých ramen jsou likvidovány akumulacemi štěrku a boční erozí nových koryt.

AB (anastomotic branching) - anastomózní větvení vinoucího se až meandrujícího koryta

Široká niva s jedním nebo více hlavními koryty, soustava ramen a ostrovů je stabilizována vegetací a vývoj je vázán na pozvolnou boční erozi břehů při procesu vinutí nebo meandrování koryt. Vždy přítomna větvcí se ramena vytvářející samostatná nivní koryta, dlouhodobě stabilizovaná vegetací s trvalým nebo občasným průtokem a samostatně se vyvíjející i v odlišném geomorfologickém typu než hlavní koryto, korytotvorné průtoky působí pozvolna, ale systematicky.

MD (meander) - plně vyvinuté meandrování

Jedno meandrující koryto v meandrovém pásu vinoucím se kolem údolnice, meandry se prohlubují pozvolnou boční erozí až do protržení meandrové šíje, nivní vegetace zpomaluje korytotvorné procesy. Odstavená ramena vznikají protržením meandrové šíje, nejdříve se zazemní vtok, potom dolní napojení a následně celé rameno. Jedná se o přirozený vývoj odstavených ramen meandrujících toků, korytotvorné průtoky působí pozvolna, ale systematicky.

DL (delta) – větvení vodního toku v deltě

Pro upřesnění může být použit index pro popis korytotvorného procesu v hlavním korytě (nejčastěji /AB méně často /MD) a druhý index pro dominantní charakteristiku procesu utváření ramen delty (nejčastěji /AB méně často /MD). V případě, že delta nemá dominující hlavní koryto, první index proškrtne (např. /- /AB) příklady nejčastějších kombinací:

- DL /AB /MD
- DL /- /AB
- DL /AB /AB

Větvení je podmíněno dosažením erozní báze toku (vodní hladina) s následným vytvořením konečného dejekčního kuželu splavenin, typy korytotvorných procesů jsou vázány na charakteristiky jednotlivých koryt, obvykle se projevuje typ AB a MD, někdy GB. Odstavená ramena přebírají charakteristiky převládajících geomorfologických typů (AB, MD, někdy GB), korytotvorné průtoky působí pozvolna, ale systematicky.

1.2.4 Vliv dřevní hmoty na hydrauliku, erozní a sedimentační procesy v korytě

Před popisem interakcí geomorfologických typů a dřevní hmoty je nutné vysvětlit hydraulické a erozní - sedimentační procesy. Při popisu působení dřevní hmoty uvnitř koryta můžeme rozdělit efekt na dvě prostorové a jednu časovou dimenzi:

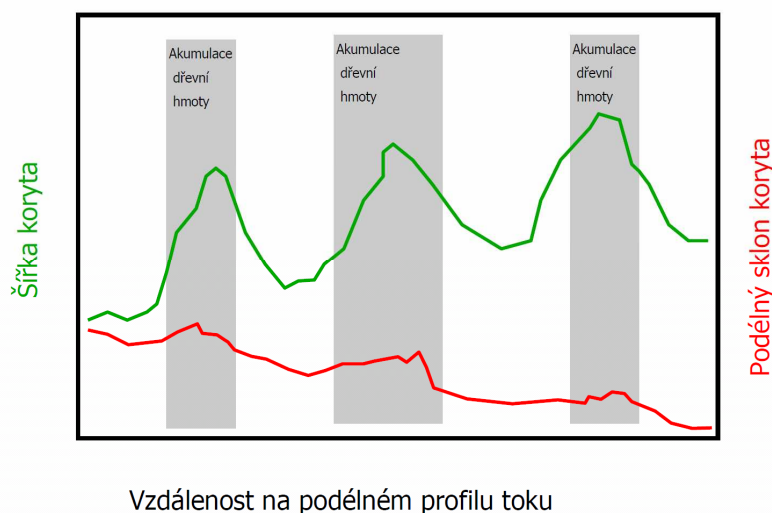
- přímé působení na proudění, erozi a ukládání sedimentu v těsné blízkosti dřevní hmoty,
- působení z hlediska delšího úseku vodního toků, nepřímé spolupůsobení s vytvořenými strukturami,
- působení z hlediska životnosti dřevní hmoty a interakce se sukcesí dřevin.

Efekt dřevní hmoty může být z těchto hledisek rozdílný nebo dokonce protichůdný. Například prvek dřevní hmoty působící místní disturbancí a tím i zvýšení obsahu materiálu v těsném okolí, zpomaluje v delším úseku vodní proud a tím stabilizuje celý úsek.

Vliv dřevní hmoty na proudění, ukládání sedimentu a stabilitu delšího úseku koryta

Ponořené dřevo klade odpor vodnímu proudu, tím zvyšuje drsnost koryta a zpomaluje odtok vody (Shields a Smith, 1992; Gippel, 1995; Buffington a Montgomery, 1999; Curran a Wohl, 2003). Turbulentní proudění v okolí kusů dřevní hmoty usnadňuje prokysličování vody i sedimentu (hyporeálu) a usnadňuje samočistící procesy ve vodním toku (Mutz a Rhode, 2003). Kromě dřeva samotného zvyšují drsnost koryta i další geomorfologické struktury (tůně, jesepy) na jejichž tvorbě se dřevní hmota podílí (O'Neal a kol., 2000; Abbe a kol., 2003b; Abbe a Montgomery, 2003; Kitts a kol., 2010). Dochází tak k zvýšení celkové disipace energie a zmenšení průměrné profilové rychlosti vodního proudu, místy i vzniku vzdutí. Dle zjištěných měření nedochází k výraznému snížení kapacity průtočného profilu (navýšení hladiny) v případě, kdy akumulace dřevní hmoty zaujímá cca 10 % plochy průtočného profilu koryta (Abbe a kol., 2003a). Vliv akumulace vzrůstá s procentem plochy příčného profilu koryta obsazeného dřevní hmotou. K největšímu vlivu na proudění dochází při přehrazení celého toku, kdy vzniká tzv. zdrž - přehrážka (Kitts a kol., 2005). U přirozených toků s hojným výskytem dřeva v korytě jsou příčné přehrážky a stupně tvořené dřevní hmotou odpovědné za vznik koryta se střídajícími se tůněmi a brodovými úseky, vzrůstá tak zároveň variabilita šířky a hloubky koryta. Se zvyšujícím se množstvím dřevní hmoty vzrůstá i frekvence výskytu tůní (Montgomery a kol., 1995). U drobných lesních toků s velkým spádem tvoří dřevní hmota většinu stupňů, na kterých koryto ztrácí svou nadmořskou výšku (obr. 1.2.6).

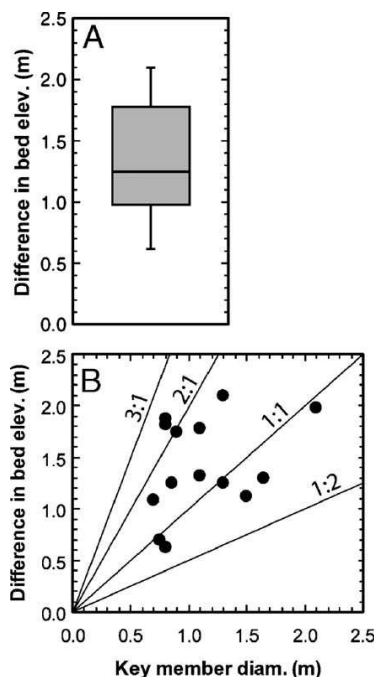
V přirozených tocích tvoří dřevo pevnou strukturu dna a zabraňuje hloubkové erozi (Brooks a Brierley, 2004; Brooks a kol., 2006). Bylo prokázáno, že vodní toky s množstvím dřeva v korytě zadržují více organického i anorganického materiálu a pomaleji transportují sedimenty dále po proudu (Beschta, 1979; Bilby a Likens, 1980; Bilby, 1981). Dlouhodobé odstraňování dřeva z vodních toků vede ke zvýšenému odnosu sedimentů, postupné erozi koryta a změně geomorfologického typu toku (Shields a Gippel, 1995; Bilby, 1981; Assani a Petit, 1995; Montgomery a kol., 2003).



Obr. 1.2.6 Schematické znázornění variability šířky a podélného sklonu koryta ovlivněného přítomností dřevní hmoty (podle Montgomery a kol. (2003) a dalších autorů).

Množství sedimentů akumulovaných na kontaktu s dřevní hmotou je závislá na velikosti a struktuře objektu dřevní hmoty (Abbe a kol., 2003a; Manners a kol., 2007). Jako zásadní parametr je uváděn průměr klíčového kusu (key member) akumulace dřevní hmoty: při měření prostorových parametrů akumulace splavenin byl rozdíl v úrovni dna koryta (obrázek 1.2.7) způsobené lokální akumulací splavenin u překážky na obou stranách v součtu 0,62 až

2,10 m (medián 1,25 m) (obr. 1.2.7, část A). Při srovnání s velikostí klíčového kusu se rozdíl v úrovni dna pohyboval v rozmezí 0,75 - 2,35 násobku průměru klíčového kusu (obr. 1.2.7, část B) (Abbe a kol., 2003b).



Obr. 1.2.7 Vztah tloušťky klíčového kusu (key member diam.) a zvýšení úrovně dna (difference in bed elev.) (Abbe a kol., 2003).

Vliv na změnu proudění má i hustota (mezernatost) akumulace dřevní hmoty. Pokud není akumulace vyplněna drobnějším naplaveným materiálem (drobné dřevo, listí, zemina), je efekt akumulace na změnu proudění a ukládání sedimentu malý (Manners a kol., 2007). V některých případech může dokonce vznikat tryskový efekt soustředěním vodního proudu a dochází k lokálnímu zvýšení erozní činnosti (Manners a kol., 2007). Tento jev byl pozorován zejména v obloucích konkávních břehů, kde byla umístěna nebo se přirozeně akumulovala dřevní hmota bez zachycení dalšího drobného materiálu (Šindlar a kol., 2007a-g).

Dřevo z hlediska parametrů toku – vodnost, sklon, velikost splavenin

Význam dřevní hmoty pro formování geomorfologického typu toku stoupá s poměrem možné velikosti kusu (kmene, masivních větví) oproti šířce koryta. Dalším parametrem je celkové množství kusů dřevní hmoty vůči vodnosti úseku toku.

U veletoků je vliv dřeva na celkový geomorfologický typ toku minimální. Dřevní hmota je zde obvykle součástí toku a má podstatný vliv na vznik mikrohabitatů a hierarchicky podřízených geomorfologických typů u bočních koryt. Pro celkový ráz toku je ale i nejmohutnější strom příliš malým činitelem, aby překonal hlavní formující vliv ostatních faktorů, především vodního proudu a odolnosti podloží (Šindlar, 2010).

Významným činitelem začíná dřevní hmota být u toků, kde je schopna zmenšit příčný řez průtočného profilu o víc jak 10% (Abbe a kol., 2003). Zde je dřevo činitelem způsobujícím směrové změny koryta, nátrže a ostrovy.

U malých vodních toků, kde velikost jednotlivých kusů dřeva přesahuje šířku koryta, je dřevo zásadním činitelem formujícím charakter geomorfologického typu.

V oblastech, kde převažují jemnozrnné splaveniny a nejsou přítomny geologické útvary jako výchozy skalního podloží, tvoří dřevní hmota zcela zásadní prvek ve vodním toku. To se

projevuje na formování a charakteru toku, zejména na heterogenitě prostředí (Abbe a kol., 2003; Šindlar a kol., 2007a-g).

Obdobný gradient lze sledovat i vůči sklonu toků. Se zvyšujícím se sklonem vliv dřevní hmoty klesá (Abbe a kol., 2003). Vliv sklonu je však výrazně menší než vodnosti (šířky) toku.

Stabilita dřevní hmoty, vztah dřevní hmoty v korytě a lesa

Stabilita kusu dřeva v korytě, nebo jejich akumulace, je dána schopností odolávat zvýšeným průtokům a dekompozičním procesům. Odolnost je závislá především na velikosti klíčových kusů akumulace.

Dlouhodobý výskyt jednotlivého kusu nebo akumulace dřeva je závislý na přísunu dalšího dřevinného materiálu z břehových porostů, výše položených částí povodí, zasedimentování splaveninami a stabilizací vegetací rostoucí přímo na akumulaci. Osídlení vegetací, zejména dřevinou, je důležitým stabilizačním prvkem. Kromě zvýšení přímé odolnosti prokořeněním, je také zdrojem dendromasy, která postupně a přímo na místě nahrazuje rozkládanou hmotu mrtvé složky (Abbe a kol., 2003).

Velkou část geomorfologických efektů dřevní hmoty v korytě tvoří „živá dřevní hmota“, kořenové systémy, větve a kmeny zasahující do průtočného profilu. Ty se pak stávají často zdrojem mrtvé hmoty nebo základem akumulací. Řada struktur je tak kombinovaných z částí živých dřevin zasahujících do profilu koryta, naplaveného dřeva a mladých stromů rostoucích na vzniklé akumulaci.

Z geomorfologického hlediska nelze oddělovat funkci dřevní hmoty a funkci živé dřevinné vegetace, protože jsou úzce propojeny (Šindlar a kol., 2007a-g). Dlouhodobá stabilita je tak závislá na interakci sukcesního procesu lesa s geomorfologickým procesem a uplatňovaném managementu břehových porostů.

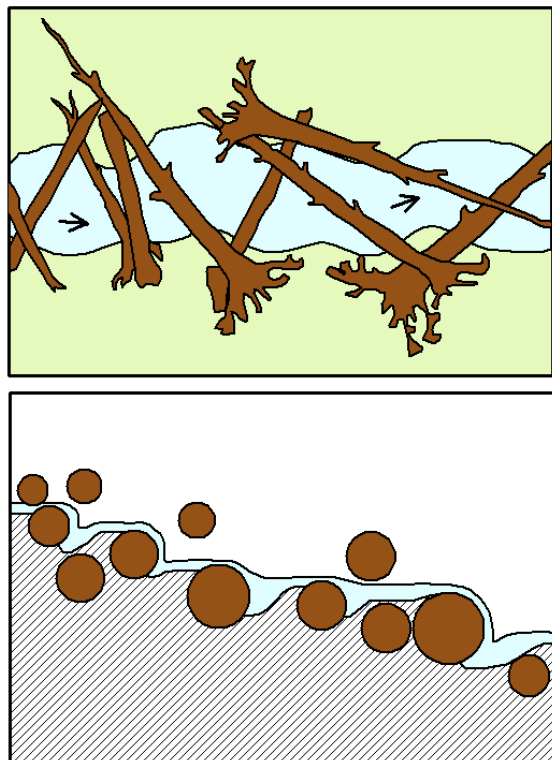
Tradiční přírodě blízký management praktikovaný vodohospodáři je zaměřený na stabilizaci břehů pomocí břehových porostů (Abbe a kol., 2003; Brooks a kol., 2001), případně kombinovaných biotechnických opatření (Úradníček a Šlezingr, 2010). To vede k obnově pouze části biotopů. Jako negativní se může projevit i stabilizace stávajícího morfologicky nevyhovujícího stavu proběhlé hloubkové eroze.

Přehled typů akumulací dřevní hmoty a jejich vliv na koryto

Změny v proudění vody v korytě jsou závislé na velikosti a prostorovém charakteru jednotlivých kusů a akumulací dřevní hmoty (Abbe a kol., 2003). U jednotlivých typů akumulací se efekt značně liší, proto je popis vlivu dřeva na vodní tok vztažen ke klasifikaci charakterizující nejčastější typy akumulací dřevní hmoty.

Typologie dřevní hmoty je převzata z publikace Abbe a kol. (2003b). V podmínkách České republiky se tématem zabýval Krejčí (2008).

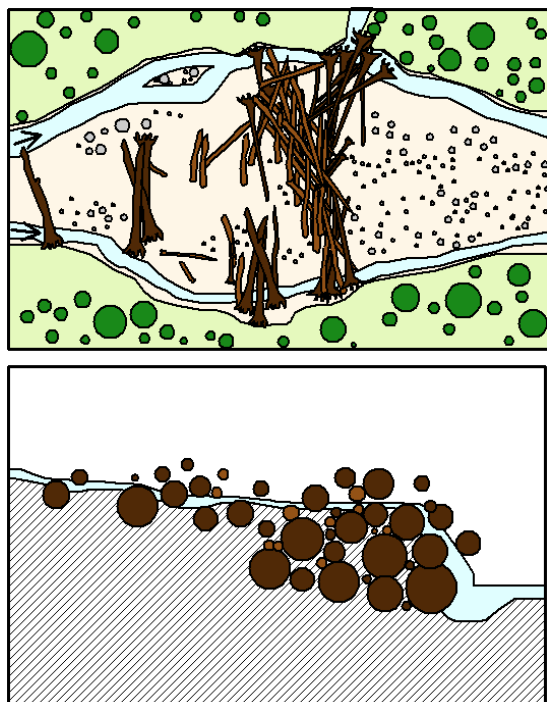
Kládové stupně („step jams“ nebo „multi-log weirs“)



Obr. 1.2.8 Kládové stupně („step jams“ nebo „multi-log weirs“) (podle Abbe a kol., 2003b).

Vliv akumulace na vodní tok je podobný jako efekt stupně, přehrážky nebo zdrsňeného skluzu (Dooley a Maschhoff, 2001; Abbe a kol. (2003b). Dochází k celkové disipaci energie v delším úseku. Nad akumulací dochází k zpomalení vodního proudu a ukládání sedimentu, efekt se postupně propaguje proti proudu a erozně stabilizuje celý úsek. V těsné blízkosti akumulace může dojít k podtékání jednotlivých kmenů a vzniku kaverny (Abbe a kol. 2003; Krejčí, 2008). Častější je však usazení sedimentů a vznik stupně (Abbe a kol. 2003; Šindlar a kol, 2007a-g). Jeli akumulace v podélném profilu krátká a má tak charakter hráze, vytvoří se pod stupněm přirozený vývar, nebo v případě skalního podloží spadiště. Vzniklý objekt hydraulicky funguje jako spádový stupeň známý z praxe úprav vodních toků a hrazení bystřin. V případě akumulace delší ve směru toku dochází k efektu zdrsňeného skluzu, kdy jednotlivé prvky akumulace mohou být přetékaný nebo částečně podtékány. Zde dochází k rozsáhlé ztrátě energie. Pod úsekem opět většinou vzniká výmol (Kitts a kol, 2010). U tohoto typu akumulace dřevní hmoty dochází k ukládání sedimentu zejména v prostoru nad akumulací (Dooley a Maschhoff, 2001; Abbe a kol. 2003b).

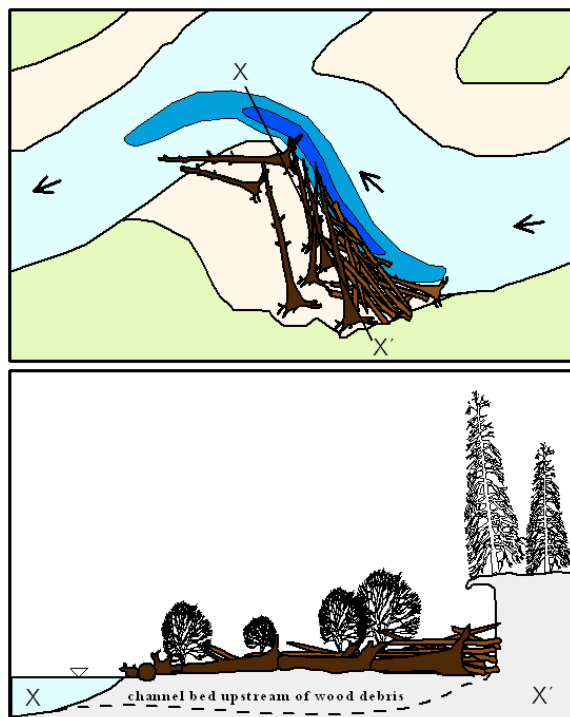
Údolní akumulace („valley jams“)



Obr. 1.2.9 Údolní akumulace („valley jams“) (podle Abbe a kol., 2003b).

Dřevní hmota způsobuje zpomalení vodního proudu a ukládání splavenin v těsné blízkosti nad i pod akumulací. Zároveň dochází k výraznému rozšíření koryta erozí břehů. Agradace se propaguje i výše v korytě. Při průchodu velkých vod směřuje proudění zejména kolem bočních okrajů akumulace. K výraznému zpomalení vodního proudu a uložení splavenin dochází v „proudovém stínu“, který dřevo vytváří. V těsné blízkosti nad akumulací v místech nárazu vodního proudu na dřevní hmotu vznikají erozní tůně.

Akumulace vychylující proud („flow deflection jams“)

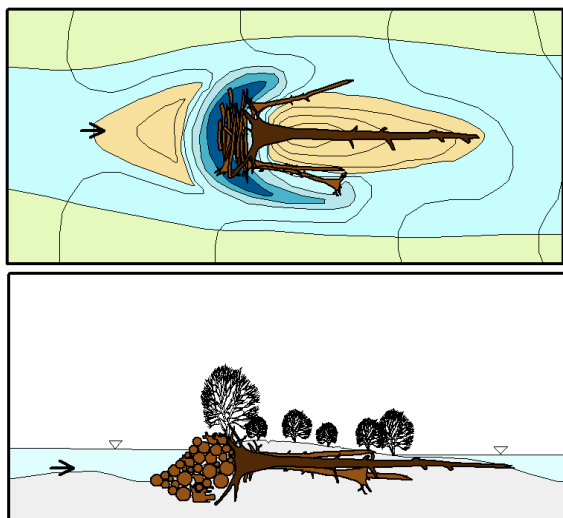


Obr. 1.2.10 Akumulace vychylující proud („flow deflection jams“) (podle Abbe a kol., 2003b).

Akumulace je situována na břehu bez přehrazení celého koryta. Častý je výskyt v konkávních tůních.

Akumulace vytváří směrové vychýlení vodního proudu směrem od břehu. Těsně před akumulací dochází k vzniku tůň změnou části horizontální složky proudění na vertikální, obdobně jako u pilířů mostních konstrukcí (Abbe a kol., 2003). Tato tůň pokračuje podél akumulace ve směru proudění a dále níže po proudu se postupně ztrácí. V prostoru za akumulací směrem po proudu se zpomaluje rychlost proudění (nebo vzniká zpětný proud) a usazují se zde splaveniny (Abbe a kol., 2003). Funkce je obdobná, jako u výhonů používaných ve vodohospodářské praxi.

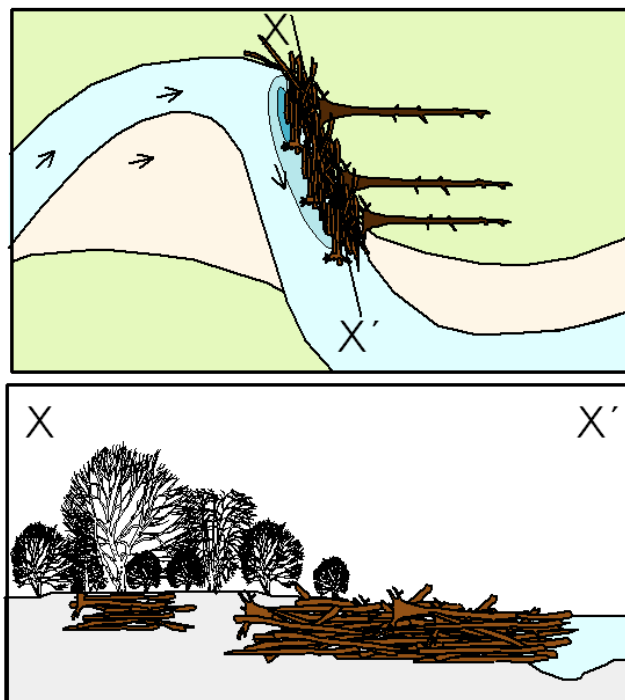
Akumulace na vrcholech lavic („bar apex jams“)



Obr. 1.2.11 Akumulace na vrcholech lavic („bar apex jams“) (podle Abbe a kol., 2003b).

Akumulace způsobuje rozdělení vodního proudu a následné obtékání akumulace z obou bočních stran. V proudovém stínu akumulace vzniká rozsáhlý středový náplav. V prostoru těsně nad akumulací dochází vlivem nárazu vodního proudu ke vzniku tůň (Abbe a kol., 2003).

Akumulace v meandrech („meander jams“)



Obr. 1.2.12 Akumulace v meandrech („meander jams“) (podle Abbe a kol., 2003b).

Vliv na změny směru proudu je oproti předešlým typům minimální. Akumulace způsobuje ztráty třením o drsný povrch. Na návodní stranu akumulace naráží vodní proud a vzniká zde rozsáhlá tůň. Turbulencí v tůni dochází k dalšímu zmenšení energie vodního proudu. Hlavní účinek spočívá v zvýšení odolnosti konkávního břehu (Abbe a kol., 2003; Sear a kol., 2003; Biedenharn a kol., 1997).

1.2.5 Vliv dřevní hmoty na geomorfologický typ toku

Výskyt dřevní hmoty a GMF typ

Dřevní hmota je jedním z faktorů formující říční tvary a ovlivňující další GMF procesy v interakci s ostatními složkami prostředí. Vliv dřevní hmoty na GMF typy je možné rozdělit:

- Dřevo v korytě není přirozeně přítomno (např. aridní nebo horské oblasti)
- Dřevo je přítomno
 - Dřevo nemá zásadní vliv na charakter toku
 - Dřevo má střední vliv na charakter toku
 - Dřevo je podmínkou pro vznik typu toku

Takové rozlišení je důležité z hlediska rozhodovacího procesu určení charakteru toku ať už z důvodu teoretického poznání geomorfologických procesů, nebo z praktického při přípravě revitalizačních opatření. Například, je-li v lokalitě z hlediska přírodních podmínek potenciální geomorfologický typ závislý na výskytu dřevní hmoty a z důvodů změněných okrajových podmínek není možné dřevní hmotu umístit, je nutné určit náhradní geomorfologický typ, odpovídající oblastem bez dřevní hmoty.

Pohled na výše uvedené rozdělení tak lze obrátit na primární hledisko geomorfologických typů:

- Geomorfologický typ je vázán na nepřítomnost, nebo nízké zastoupení dřevní hmoty. V prostředí ČR se tyto geomorfologické typy prakticky nevyskytují. (Příkladem jsou například toky v pouštních a stepních oblastech, ledovcových oblastech permafrostech.
- Geomorfologický typ se vyskytuje v oblastech s dřevní hmotou i bez dřevní hmoty a dřevní hmota nemá významný vliv na jeho tvorbu.
- Geomorfologický typ se vyskytuje v oblastech bez dřevní hmoty i s dřevní hmotou a ta má střední vliv na charakter toku. Dochází k změně tvaru koryta, ale ta není natolik významná, aby došlo k změně v jiný geomorfologický typ.
- Geomorfologický typ je prakticky vázaný na výskyt dřevní hmoty.
- Dřevní hmota způsobuje nehomogenitu delšího úseku výskytem (vložením) krátkých úseků jiného typu do převládajícího geomorfologického typu. (Např. v úseku s meandrováním se vyskytují krátké úseky s vysokým podélným sklonem až stupni).

Dřevo jako determinant GMF procesů

Dřevní hmota a následná sukcese dřevin je zásadním činitelem pro vznik trvalých ostrovů (Brooks a kol, 2001; Abbe a kol., 2003a) a tedy GMF typu anastomozní větvení. Tento jev je podpořen schopností vytvořit rozsáhlou akumulaci během povodňové události a rychlého přeložení toku přesměrováním proudu v nivě (Abbe a kol., 2003; Šindlar a kol, 2007a-g). Při odstranění dřeva z toku dochází k postupnému zániku ostrovů v toku a přechodu k jiným GMF typům (Abbe a kol., 2003). U nás byl tento proces zaznamenán při extrémní povodni v roce 1997 například na řece Opavě (Šindlar, 2007c 2010).

Pro energetičtější GMF typy má dřevní hmota vliv pro disipaci energie. Bez přítomnosti dřevní hmoty dojde k přechodu do GMF typu hloubková nebo akcelerovaná eroze (Abbe a kol., 2003; Šindlar, 2010). Obdobně u těchto typů je akumulace dřevní hmoty důležitou součástí procesu periodického obnovování vedlejších koryt (Šindlar, 2010).

U divočících koryt a hloubkové eroze má přítomnost dřeva opět za následek disipaci energie a udržení současného GMF typu bez přechodu do erozních typů.

Akumulace dřevní hmoty na malých vodních tocích, kde kusy dřeva přehrazují celý tok, vytvářejí „přirozený spádový objekt“ - stupně a akumulační tůň (Abbe a kol., 2003; Šindlar, 2007a-g; Kitts a kol., 2010). Zmenšením podélního sklonu mezi akumulacemi tvořícími stupně může dojít k posunu převládajícího GMF typu k méně energetickému (Šindlar a kol., 2007a-g).

Degradace GMF typu odstraněním dřevní hmoty

Po odstranění dřevní hmoty dochází k zvýšené erozi akumulovaného materiálu. Nejprve dochází k odnosu materiálu jesepů a šterkových lavic a následně k celkovému zahlubování dna (Abbe a kol., 2003; Šindlar a kol., 2007a-g). Stávající GMF typ, který byl v lokalitě v přirozené dynamické rovnováze, je destabilizován a začne se vyvíjet do přechodového typu hloubkové eroze. V případě dostatečné odolnosti břehů, například v důsledku zachování kvalitních břehových porostů, dojde k stabilizaci toku v současné trase se zahluobeným dnem (Šindlar a kol., 2007a-g, 2010). K vývoji hloubkové eroze může dojít i ve velmi dynamické podobě.

V případně nestability břehů dojde po fázi hloubkové eroze k akcelerované boční erozi a následně k postupnému vývoji nového GMF typu (Šindlar a kol., 2007a-g, 2010).

1.2.6 Využití prvků dřevní hmoty v revitalizačních opatřeních

Důvody pro využití dřevní hmoty

S rozvojem poznání o přirozených procesech ve vodních tocích se prvky dřevní hmoty v podobě konstrukcí „engineered log jams“ (ELJ) stávají důležitou součástí revitalizačních opatření, zejména v zemích severní Ameriky a západní Evropy (Murphy a Koski, 1989; Biedenharn a kol., 1997; O'Neal a kol., 2000; Dooley a Maschhoff, 2001; Abbe a kol., 2003b; Kitts a kol., 2010; Abbe a Montgomery, 2003; Sear a kol., 2003).

Cíle opatření při umístění dřevní hmoty do koryta vychází z přirozených funkcí dřeva v korytě (Abbe a kol., 2003). Základní funkční využití je následující:

- Vytvoření habitatů pro živočichy a rostliny (přímo vázaných na dřevo, vázaných na biotop vytvářený přítomností dřeva v korytě – sedimentační procesy, separace a vytvoření heterogenní mozaiky dna, tůň) (Murphy a Koski, 1989; Dooley a Maschhoff, 2001; Abbe a kol., 2003b).
- Řešení problémů v období nízkých průtoků (v korytech bez hloubkové diferenciace dochází v bezvodých obdobích k snížení vodního sloupce pod úroveň nutnou pro přežití zejména ichtyofauny, tůň vzniklé v důsledku umístění dřevní hmoty vytváří refugia, kam se mohou ryby dočasně stáhnout (viz kapitola 1.3)).
- Podpora GMF procesů (vznik dočasných a trvalých ostrovů, překládání koryta (Abbe a kol., 2003; Šindlar a kol., 2007a-g; Šindlar, 2010)).
- Celková stabilizace koryta (zvýšení drsnosti a tím disipace energie) (Abbe a kol., 2003; Manners a kol., 2007; Kitts a kol., 2010).
- Řešení konkrétního problému stabilizace (stabilizace břehů v blízkosti zástavby nebo infrastruktury, řešení hloubkové nebo akcelerované eroze) (Biedenharn a kol., 1997; Sear a kol., 2003).
- Schopnost zachytávat dřevní hmotu (využití schopnosti lapat uvolněné - plovoucí kusy dřevní hmoty) (Abbe a kol., 2003).

Obecné zásady umístění a konstrukce prvků dřevní hmoty

Dřevní hmota v korytě je součástí geomorfologických procesů (Abbe a kol., 2003; Šindlar, 2010) a pro správné použití dřevní hmoty je nutné provést GMF analýzu (viz kapitola 1.2.3). Ta určuje, jaké typy prvků a akumulací se ve vodním toku v zájmovém úseku potenciálně přirozeně vyskytují a jakou mají geomorfologickou funkci (Šindlar, 2010).

Pro využití dřevní hmoty pro úpravy nebo revitalizace je nutné posoudit vliv na stabilitu koryta, potenciální ohrožení okolních pozemků a nemovitostí (Abbe a kol., 2003; Manners a kol., 2007). Velkou pozornost je nutné věnovat mostům a další technické infrastruktuře i níže po toku z důvodu případného ohrožení uvolněnými kusy dřevní hmoty.

Konstrukční základ umělých akumulací dřevní hmoty (ELJ) tvoří takzvané „klíčové kusy“. To jsou kusy dostatečně stabilní a odolné vůči působení vodního proudu. Schopnost odolávat posunu je dána poměrem velikosti (hmotnosti) prvku vůči velikosti koryta (průtokům) (Montgomery a Buffington, 1997), a strukturovanosti prvku (Abbe a kol., 2003). Jako klíčové kusy se často přirozeně vyskytují neodvětvěné kmeny, kmeny s kořenovým systémem a jsou tak téměř vždy alespoň částečně kotveny do sedimentů (Abbe a kol., 2003). Nedostatečnou přirozenou stabilitu lze řešit kotvením pomocí pilotů, zátěže, ocelovými lany a podobně.

Pro vytvoření klíčových kusů jsou v případě nedostupnosti odpovídajících kusů dřevní hmoty využívány montované konstrukce (Dooley a Maschhoff, 2001).

Drobnější kusy dřevní hmoty tvoří výplň „kostry“ tvořené klíčovými prvky. Mají vliv především na hustotu celé akumulace a tím na její hydraulické vlastnosti, zejména průtočnost (Manners a kol., 2007). Při konstrukci je třeba dbát na možnost vzniku tryskového proudění mezi prvky tvořící kostru akumulace dřevní hmoty a jeho případnou eliminaci. Toto proudění může vytvořit nežádoucí namáhání dna a zejména břehů v místech, kde byl umístěn prvek z důvodů stabilizace. Doplnění klíčových prvků drobnějšími kusy dochází k zpomalení proudění uvnitř konstrukce a v místech mezi konstrukcí a dnem nebo břehem (Manners a kol., 2007).

Používané typy prvků a konstrukcí

Při vkládání do koryt je možné použít buď jednotlivé kusy (kmeny, větve) nebo konstruovaný prvek z dřevní hmoty, případně konstruovaný prvek kombinující dřevní hmotu s dalšími materiály. Nejčastějším doplňkovým materiálem je kamenivo, případně zemina zajišťující dostatečnou stabilitu prvku a možnost ozelenění.

Z technologických důvodů je obtížné použití kusů dřevní hmoty dostatečně velkých pro „klíčové prvky“. V realizovaných projektech jsou nahrazovány konstruovanými prvky.

Duté válce plněné kameny (O'Neal a kol., 2000; Dooley a Maschhoff, 2001) jsou hodnotné z hlediska poskytování habitatu pro živočichy, problematická je jejich životnost a schopnost zadržovat další dřevo. Z hlediska funkčnosti se projevily jako vhodné do menších toků s rybí osádkou.

Plošně rozsáhlé struktury z kulatiny (Dooley a Maschhoff, 2001) – mohou být konstruovány s různou mírou propustnosti pro aktivní proudění (Manners a kol., 2007). Na míře propustnosti závisí přetvoření rychlosti a směru vodního proudu a následně sedimentační nebo erozní procesy (Manners a kol., 2007). Vždy musí být řešeny tak, aby nedocházelo k nežádoucí erozi břehů.

Prvky konstruované z kořenových systémů pro opevnění břehů (Biedenharn a kol., 1997; Sear a kol., 2003; Šindlar, 2010). Konstrukce vychází z břehových akumulací, které jsou překryty zeminou. Jsou tvořeny kmenem uloženým do terénu břehu s ponechaným kořenovým systémem orientovaným do návodní strany. Kořeny vytváří bohatou plošnou strukturu chránící břeh před erozí a poskytující biotopy fauně. U několika realizací se projevila defekt odplavení břehu v důsledku použití nevhodného typu stromu a nedostatečného doplnění kořenů dalším drobným materiálem.

1.3 VLIV DŘEVNÍ HMOTY NA STANOVIŠTNÍ DIVERZITU A BIOLOGICKOU ROZMANITOST

Souhrn

Dřevní hmota samotná může být v některých případech zásobárnou organického uhlíku a biogenních prvků pro potravní řetězec vodního toku. Významnější je ale její funkce jako struktury pro zadržování sedimentu. Velké dřevo vytváří morfologicky rozmanité koryto a v jeho okolí se zachycuje značné množství partikulovaného organického materiálu (POM) v různých velikostních frakcích. POM je jednou z potravních základů pro vodní bezobratlé. Stejně významnou roli hraje ponořené dřevo jako stabilní struktura pro přisednutí filtrujících bezobratlých, vývoj vajíček a kukel nebo jako zdroj potravního biofilmu. Relativně největší význam pro početnost a druhovou rozmanitost makrozoobentosu mají struktury dřeva v tocích s pohyblivým písčitým dnem. Pro populace ryb vytváří dřevo v toku především vhodné stanoviště k získání potravy, rozmnožování, vývoji jiker a mladých jedinců, ochraně před predátory a pro přečkání nepříznivých podmínek, jako je např. zimní období nebo období sucha. Vkládání dřeva do vodních toků zvyšuje nabídku dostupných stanovišť pro organismy. Může tedy pomoci zvýšit druhovou rozmanitost a početnost vodních a na vodu vázaných živočichů. Využití dřevní hmoty je vhodným nástrojem k dosažení dobrého stavu vodních útvarů a dobrého ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů podle požadavků Rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES).

1.3.1 Dřevo jako zdroj živin a partikulovaného organického materiálu

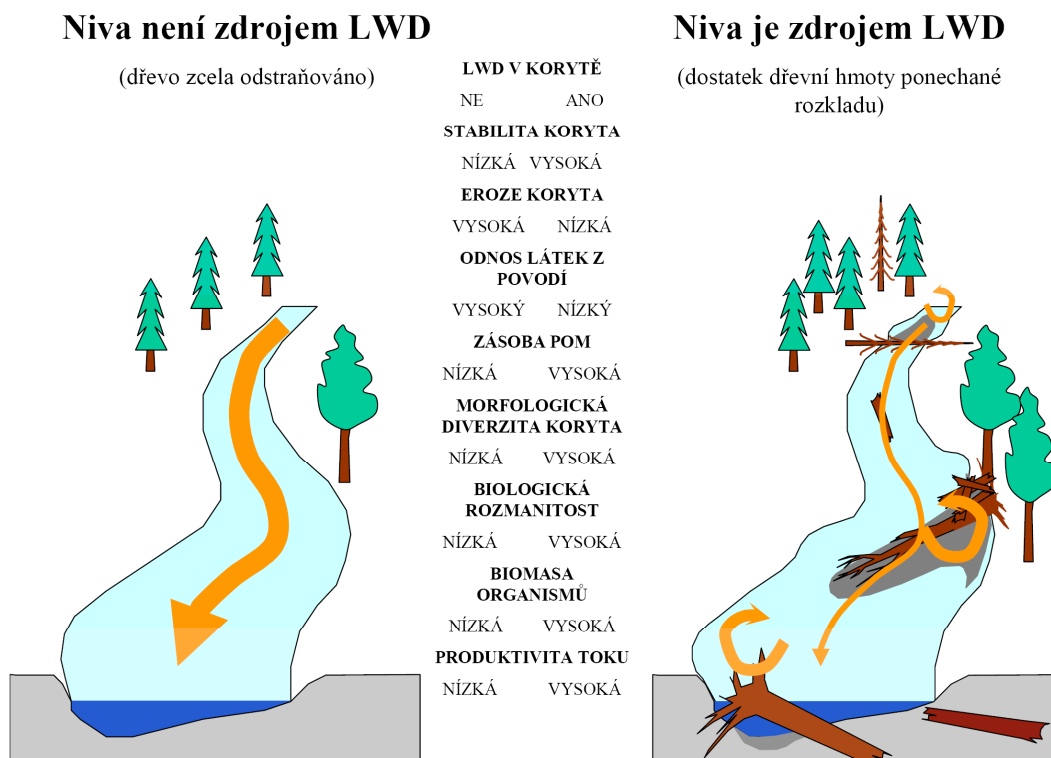
Dřevní hmotu v tocích, včetně její největší frakce zvané large woody debris (LWD), můžeme považovat za jednu ze složek partikulovaného organického materiálu, která se v toku vyskytuje (dřevo a jeho úlomky, kousky listů, organický detrit). Na allochtonním přísunu POM je závislá produkce většiny drobných lesních toků, protože primární produkce fotosyntetizujících řas není v lesním zástínu podstatná. Zásadní frakcí organického materiálu, který se do těchto vodních toků dostává, je listový opad. Ovšem i rozklad dřeva může za jistých okolností poskytovat významný zdroj uhlíku i dalších biogenních prvků.

Zatímco v terestrických ekosystémech rozkládají dřevo především houby, na rozkladu dřevní hmoty ponořené ve vodě se podílejí hlavně bakterie ze skupiny Actinobacteria (Crawford a Sutherland, 1979; Aumen a kol., 1983). Vlhké dřevo je z důvodu nedostatku kyslíku rozkládáno velmi pomalu a to hlavně v povrchové vrstvě. Významným doplňkem bakteriální dekompozice je fragmentace a abraze způsobená proudící vodou.

Obsah živin v dřevní hmotě je poměrně nízký (Harmon a kol., 1986) ve srovnání s ostatními typy rostlinné organické hmoty, která se v tocích vyskytuje (listy, větvičky, makrofyty). Objem dřeva v korytech člověkem neovlivněných toků je ale řádově větší než objem zmíněných výživnějších rostlinných zbytků (Bilby, 2003). Jeho zásoba v toku navíc nepodléhá sezónním změnám. Dřevní hmota tak může být významným zdrojem organického materiálu (Bilby, 1981), pro který je charakteristické pomalé uvolňování živin (Triska a kol., 1975; Grier, 1978).

Pro zásobu a dynamiku živin ve vodním toku je velmi významná schopnost dřeva tvořit struktury, kde se POM zachycuje. Experimentální práce potvrdily, že po odstranění dřevní hmoty z vodního toku se zvýšil transport partikulovaného materiálu tokem a zároveň pokleslo množství POM v korytě (Beschta, 1979; Bilby, 1981). Naopak po vložení dřeva do malého toku vzrostlo množství POM téměř 18x (Wallace a kol., 1995). Bilby a Likens (1980) naměřili více než čtyřnásobně vyšší transport POM v následujícím roce po odstranění dřevní hmoty z malého horského toku. Partikulovaný organický materiál obsahuje významné množství živin dostupných pro ekosystém vodního toku. Toky bez dřevní hmoty tedy neumožňují biologické zpracování allochtonní organické hmoty a klesá jejich sekundární produkce. Význam dřeva pro zadržování živin vázaných na POM je relativně nejvýznamnější u malých

vodních toků, které mohou být rozměrnými kusy dřeva zcela přehrazeny a vzniká tak velké množství sedimentačních tůní (Bilby a Ward, 1989).



Obr. 1.3.1 Schematické znázornění toku partikulovaného materiálu v korytě bez dřevní hmoty a vodního toku s hojným výskytem dřevní hmoty (LWD = „large woody debris“ – dřevní hmota velkých rozměrů). V morfologicky jednoduchém korytě převládá transport POM po proudu, v morfologicky rozmanitém korytě se POM zachycuje a je zpracováván v potravním řetězci.

1.3.2 Význam dřevní hmoty pro vodní bezobratlé

Většina prací o vztahu makrozoobentosu a dřeva ve vodním toku pochází z území Severní Ameriky, kde je tato problematika studována již desítky let, zejména od počátku let sedmdesátých. Z této oblasti pocházejí první rešerše na téma vztahu bezobratlých a dřevní hmoty (Dudley a Anderson, 1982; Wallace a Webster, 1996). Na území střední Evropy je zkoumán vztah dřevní hmoty a bezobratlých teprve v nedávné době (Weigelhofer a Waringer, 1999; Warmke a Hering, 2000).

Dudley a Anderson (1982) popisují dvě hlavní kategorie vazby bezobratlých na dřevní hmotu:

- a) druhy vázané úzce na dřevo během některé části **vývojového cyklu** nebo druhy, které mají svou výživou významný vliv na degradaci dřevní hmoty (**xylofágní druhy**). (Hoffmann a Hering (2000) rozdělují tuto skupinu dále na obligátní xylofágy živící se jen odumřelým dřevem a fakultativní xylofágy, u kterých tvoří dřevní hmota významnou, ale ne jedinou složku potravy - např. larvy hmyzu z funkční ekologické skupiny drtičů - „shredders“).
- b) druhy, které využívají dřevní hmotu oportunisticky jako **habitat** a neživí se přímo xylofágně (ale např. oškrabují povrchovou vrstvu dřeva s organickým biofilmem).

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

Tab. 1.3.1 Přehled vodních bezobratlých střední Evropy vázaných na výskyt dřevní hmoty. V závorce je uveden počet druhů v dané skupině. Jako xylofágní byly označeny druhy, u kterých byl výskyt dřeva v trávicí soustavě potvrzen laboratorně nebo je jejich xylofagie zdokumentována velkým počtem literárních odkazů. Upraveno podle Hoffmann a Hering (2000).

charakteristika skupiny	řád	druh
Vodní bezobratlí úzce vázaní na dřevo, nexylofágní (25)	Amphipoda (1)	<i>Corophium curvispinum</i> SARS
	Ephemeroptera (5)	<i>Ephemerella ignita</i> (PODA) <i>Electrogena affinis</i> (EATON) <i>Heptagenia flava</i> (ROSTOCK) <i>Heptagenia sulphurea</i> (MÜLLER) <i>Paraleptophlebia submarginata</i> (STEPHENS)
	Odonata (3)	<i>Calopteryx splendens</i> (HARRIS) <i>Calopteryx virgo</i> L. <i>Ophiogomphus serpentinus</i> CARPENTIER
	Plecoptera (2)	<i>Leuctra fusca</i> L. <i>Agnetina elegantula</i> (KLAPALEK)
	Heteroptera (1)	<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (FABRICIUS)
	Trichoptera (10)	<i>Brachycentrus subnubilus</i> (CURTIS) <i>Oligoplectrum maculatum</i> (FOURCROY) <i>Agapetus fuscipes</i> CURTIS <i>Hydropsyche pellucidula</i> CURTIS <i>Hydropsyche saxonica</i> MACLACHLAN <i>Hydropsyche siltalai</i> DÖHLER <i>Philopotamus ludificatus</i> MACLACHLAN <i>Philopotamus montanus</i> DONOVAN <i>Wormalida occipitalis</i> (PICTET) <i>Rhyacophila tristis</i> PICTET
	Coleoptera (1)	<i>Orectochilus villosus</i> MÜLLER
	Diptera (2)	<i>Chelifera praecatoria</i> (FALLEN) <i>Lonchoptera tristis</i> (MEIGEN)
Fakultativní xylofágové (22)	Gastropoda (3)	<i>Acroloxus lacustris</i> (L.) <i>Ferrissia wautieri</i> (MIROLI) <i>Physella acuta</i> (DRAPARNAUD)
	Isopoda (1)	<i>Asellus aquaticus</i> (L.)
	Plecoptera (1)	<i>Protonemura intricata</i> (ILLIES)
	Trichoptera (16)	<i>Beraea maura</i> CURTIS <i>Beraea pullata</i> CURTIS <i>Beraeodes minutus</i> L. <i>Hydropsyche ornatula</i> MACLACHLAN <i>Crunoecia irrorata</i> CURTIS <i>Lasiocephala basalis</i> KOLENATI <i>Lepidostoma hirtum</i> F. <i>Anabolia furcata</i> BRAUER <i>Anabolia nervosa</i> CURTIS <i>Chaetopteryx villosa</i> (F.) <i>Halesus digitatus</i> SCHRANK <i>Halesus radiatus</i> CURTIS <i>Limnephilus rhombicus</i> L. <i>Potamophylax cingulatus</i> (STEPHENS) <i>Potamophylax nigricornis</i> PICTET <i>Sericostoma personatum</i> (KIRBY and SPENCE)
	Coleoptera (1)	<i>Elodes marginata</i> (F.)
Obligátní xylofágové (15)	Trichoptera (2)	<i>Lype phaeopa</i> STEPHENS <i>Lype reducta</i> HAGEN
	Coleoptera (2)	<i>Macronychus quadrituberculatus</i> MÜLLER <i>Potamophilus acuminatus</i> F.

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

	Diptera (11)	<i>Brillia flavifrons</i> JOHANNSEN <i>Brillia modesta</i> (MEIGEN) <i>Glyptotendipes glaucus</i> (MEIGEN) <i>Glyptotendipes gripekoveri</i> (KIEFFER) <i>Glyptotendipes pallens</i> (MEIGEN) <i>Stenochironomus gibbus</i> (F.) <i>Symposiocladius lignicola</i> (KIEFFER) <i>Lipsothrix ecucullata</i> (EDWARDS) <i>Lipsothrix errans</i> (WALKER) <i>Lipsothrix nobilis</i> (LOEW) <i>Lipsothrix remota</i> (WALKER)
Pravděpodobně xylofágové (41)	Gastropoda (2)	<i>Bithynia tentaculata</i> (L.) <i>Viviparus viviparus</i> (L.)
	Amphipoda (7)	<i>Chaetogammarus ischnus</i> STEBBING <i>Dikerogammarus haemobaphes</i> EICHW. <i>Dikerogammarus villosus</i> SOW. <i>Gammarus fossarum</i> (KOCH) <i>Gammarus lacustris</i> SARS <i>Gammarus pulex</i> (L.) <i>Gammarus roeselii</i> (GERVAIS)
	Plecoptera (2)	<i>Capnia bifrons</i> (NEWMAN) <i>Nemoura cinerea</i> RETZIUS
	Trichoptera (4)	<i>Crunoecia kempnyi</i> MORTON <i>Adicella reducta</i> MACLACHLAN <i>Anabolia laevis</i> ZETTERSTEDT <i>Hydatophylax infumatus</i> MCLACHLAN
	Coleoptera (1)	<i>Stenelmis canaliculata</i> (GYLLENHAL)
	Diptera (25)	<i>Atherix ibis ibis</i> (F.) <i>Atherix ibisia marginata</i> (F.) <i>Brillia longifurca</i> KIEFFER <i>Metriocnemus hygropetricus</i> (KIEFFER) <i>Micropsectra notescens</i> (WALKER) <i>Polypedilum pedestre</i> (MEIGEN) <i>Austrolimnophila ochracea</i> (MEIGEN) <i>Dictenidia bimaculata</i> (L.) <i>Epiphragma ocellare</i> (L.) <i>Limonia macrostigma</i> (SCHUMMEL) <i>Limonia nubeculosa</i> MEIGEN <i>Limonia trimaculata</i> MEIGEN <i>Neolimonia dumetorum</i> (MEIGEN) <i>Nephrotoma quadrifaria</i> (MEIGEN) <i>Ormosia haemorrhoidalis</i> ZETTERSTEDT <i>Phylidorea ferruginea</i> (MEIGEN) <i>Rhipidia duplicata</i> (DOANE) <i>Rhypholophus varius</i> (WIEDEMANN) <i>Tipula fascipennis</i> MEIGEN <i>Tipula flavolineata</i> MEIGEN <i>Tipula irrorata</i> MACQUART <i>Tipula oleracea</i> (L.) <i>Tipula signata</i> STAEGER <i>Tipula staegeri</i> NIELSEN <i>Tipula vittata</i> MEIGEN

Dudley a Anderson (1982) označili ve své rešerši z území USA přes 50 druhů z pěti řádů hmyzu jako úzce vázané na dřevní hmotu a další více než dvojnásobek druhů ji využívá příležitostně. První souhrnnou rešerši vztahu středoevropských druhů makrozoobentosu k dřevní hmotě provedli Hoffmann a Hering (2000). Zjednodušený přehled vytvořený z této rešerše je uveden v tabulce 1.3.1.

Dřevo jako potrava vodních bezobratlých

Jako přímý zdroj potravy vodních bezobratlých hraje dřevo ve většině vodních toků jen malou roli (Anderson a Sedell, 1979). Specializované druhy vodních xylofágů jsou spíše výjimkou. Ve většině případů konzumují vodní bezobratlí povrchovou vrstvu rozloženého dřeva a bakterií. Na povrchu dřeva byla navíc prokázána i vyšší biomasa perifýtonu ve

srovnání s minerálními povrchy (např. Coe a kol., 2009). Druhy živíci se dřevem musí kompenzovat jeho malou výživnost zvýšeným příjmem potravy nebo kombinací s bohatšími zdroji (Harmon a kol., 1986; Benke a Wallace, 2003). Významně vzrůstá role dřeva ve vodním prostředí při nedostatku listového opadu (Hall a kol., 2000), zelených rostlin a řasových nárostů. Pak se může dřevo stát i dominantním zdrojem organického uhlíku (Wallace a kol., 1999), především však zprostředkovaně přes mikrobiální nárosty (Tank a Webster, 1998).

Dřevo jako habitat vodních bezobratlých

Dřevo je pevnou velkou strukturou, která se může v toku vyskytovat desítky let (Harmon a kol., 1986) a tvořit relativně stabilní habitat pro vodní bezobratlé. Řada z nich využívá dřevo jako refugium. Některé druhy do dřeva vrtají, minují nebo se živí rozloženou povrchovou vrstvou dřeva. Jiné druhy se živí oškrabováním periphytonu z povrchu ponořeného dřeva, využívají dřevo ke kladení a vývoji vajíček, kukel nebo dřevo využívají jako strukturu pro přisednutí při filtraci (Harmon a kol., 1986; Benke a Wallace, 2003). Johnson a kol. (2003) v rozsáhlé studii z desítek lokalit vodních toků v zemědělské oblasti Minnesoty a Michiganu prokázali, že kolem 90% taxonů makrozoobentosu se vyskytovalo v habitatech s přítomností dřeva. Palmer a kol. (1996) potvrdili, že přítomnost akumulací dřeva zvyšuje odolnost společenstev makrozoobentosu vůči disturbancím způsobených povodněmi.



Obr. 1.3.2 Olšový kmen vytažený ze dna řeky Blanice v CHKO Šumava nese stopy po činnosti larev chrostíků (Trichoptera), foto: P. Kožený.

Největší význam mají struktury dřeva v tocích s jemným pohyblivým sedimentem, kde dřevo představuje jedinou stabilní strukturu pro růst bakteriálního a řasového biofilmu a přichycení filtrujících bezobratlých (Cudney a Wallace, 1980; Benke a kol., 1984). S dřevní hmotou pak může být spojena významná část sekundární produkce vodního toku. Benke a Wallace (2003) podávají přehled o densitě, biomase a produkci bezobratlých vyskytujících se na dřevě (jeden případ z území Německa a Austrálie, ostatní lokality USA). Abundance dosahovala běžně hodnot několika tisíc jedinců na 1 m² povrchu dřeva. Ve výjimečných případech (nížinné vodní toky na jihovýchodě USA) i několik desítek tisíc jedinců na 1 m², což odpovídalo biomase kolem 5 gramů suché váhy na 1 m² a roční produkci několik desítek gramů suché váhy na 1 m². Ze 100 druhů vodních larev hmyzu odebraných z různých habitatů (ponořené dřevo, písek, bahno) řeky Satilla v Georgii se na dřevě vyskytovalo 63 druhů, z nichž 29 druhů bylo velmi početných (Benke a kol., 1984). Biomasa bezobratlých vyskytujících se na ponořených mrtvých stromech byla 20x – 50x větší než biomasa bezobratlých na písčitém dně a 5x – 10x větší než biomasa bezobratlých z bahnitého sedimentu. Autoři odhadli, že produkce vodního hmyzu v toku byla limitována spíše

množstvím vhodného substrátu (ponožené dřevo) než množstvím dostupné potravy. Rovněž z Evropy jsou známy práce, které hovoří o akumulacích dřeva jako o centru diversity bezobratlých v písčitých tocích (např. Weigelhofer a Waringer, 1999). V těchto typech toků má záměrné vkládání dřeva největší vliv na zvýšení početnosti a druhové rozmanitosti bezobratlých organismů (Benke a Wallace, 2003). Jestliže se ve vodním toku vyskytují i jiné pevné struktury (šterky, kameny, makrofyta, kořeny břehové vegetace) zůstává dřevo významné jen pro xylofágní a detritivorní organismy (Benke a Wallace, 2003).

Při vložení dřevěných struktur do malého horského toku na východě USA byly pozorovány výrazné změny v početnosti a biomase funkčních ekologických skupin makrozoobentosu ve vztahu ke změně morfologickým podmínkám, dostupnosti potravy a typu sedimentu (Wallace a kol., 1995). Podobný vliv změny habitatu na malý vodní tok zjistili i Lemly a Hildebrandt (2000). Z Evropy je známá práce Gerharda a Reicha (2000), kteří srovnali dva toky, do kterých byla přidána dřevní hmota. V prvním případě šlo o těžební zbytky nahromaděné ve vodním toku při povodni. Tyto akumulace dřeva měly významný vliv na zlepšení morfologického stavu původně napřímeného toku. Rovněž početnost a diversity bezobratlých se zvýšila. V druhém případě bylo dřevo vloženo do vodního toku záměrně, ovšem vzhledem k menšímu množství a poloze v korytě nebyl vliv na společenstvo bezobratlých výrazný.

Dřevo je významným habitatem makrozoobentosu, který je sledován při biologickém hodnocení vodních toků. Je dobře, že i naše domácí metodické postupy pro odběr vzorků makrozoobentosu se vzorkováním ponořeného dřeva počítají (Fremrová a kol., 2008). Význam posouzení dřeva jako habitatu bude vzrůstat v revitalizovaných úsecích toků, kam je dřevní hmota záměrně vkládána. Z hlediska environmentálních cílů rámcové směrnice o vodách (2000/60/ES) může být dřevní hmota vhodným prostředkem pro dosažení dobrého stavu vodních útvarů a ještě větší revitalizační efekt může mít její vkládání do degradovaných vodních toků se zjednodušeným morfologickým stavem.

1.3.3 Význam dřevní hmoty pro ryby

Význam dřeva v tocích pro populace ryb vyplývá z velké části z prospěchu, který tento habitat poskytuje vodním bezobratlým. Vyšší produkce makrozoobentosu, jeho bohatší druhová diversity a rozdílné substráty, ve kterých se vyskytuje, představují pro ryby bohatou nabídku potravy. Kromě získání potravy vytváří dřevní hmota také stanoviště vhodná ke tření, vývoji jiker a juvenilních jedinců, poskytuje úkryt před predátory, prouděním vody, tvoří oddělená stanoviště pro teritoriální druhy ryb a refugia v obdobích sucha a pro přezimování (Harmon a kol., 1986; Dolloff a Warren, 2003). Vodní toky s dostatkem dřevní hmoty mají obvykle vyšší produkci i diversity ryb (Wondzell a Bisson, 2003).

Podobně jako v případě makrozoobentosu pochází dosud většina poznatků ze severozápadu USA. V této oblasti byl sledován především vztah dřevní hmoty a anadromních lososovitých ryb. Ještě v nedávné minulosti (80tá léta) převládal názor, že akumulace dřeva brání prostupnosti vodních toků pro táhnoucí lososy. Z tohoto důvodu byly rozsáhlé úseky lososových toků čištěny od akumulací naplaveného dřeva. Tyto úpravy ovšem měly opačný efekt – zánik vhodných biotopů pro tření a nadměrnou erozi koryt. V práci z roku 1984 varuje např. Bilby před morfologickým zjednodušením koryta, které následovalo po odstranění dřeva z toku (navíc většina zbytků po odstraněném dřevu je během krátké doby odplavena a může způsobovat akumulaci v nižších partiích toku). K podobným výsledkům došli také House a Boehne (1987), kteří sledovali preferenci lososovitých ryb ke tření v korytě po odstranění dřeva. Vyčištěný úsek byl využíván ke tření mnohem méně než původní úsek s akumulacemi dřeva a množstvím tůňových úseků. Lososovité ryby vyžadují ke tření a vývoj jiker prokysličený sediment. Dřevní hmota udržuje takovou dynamiku koryta, při které tato místa průběžně vznikají. Význam dřevní hmoty pro lososovité ryby byl potvrzen řadou studií z člověkem málo ovlivněných vodních toků. Například Neumann a Wildmann (2002) posuzovali vliv dřevní hmoty na hustotu populace sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*) a pstruha obecného (*Salmo trutta*) ve dvou řekách

Nové Anglie. Přítomnost dřeva vysvětlovala v obou případech většinu nebo podstatnou část variability výskytu těchto lososovitých ryb. Mossop a Bradford (2004) zjistili korelaci výskytu dřevní hmoty a juvenilních jedinců lososa čavyča (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum) v tocích na aljašském pobřeží i při relativně malém množství dřeva ($5 - 127 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Piégay a kol. (2000) analyzovali 95 km dlouhý úsek řeky Drôme ve Francii z hlediska výskytu habitatů vhodných pro ryby. Autoři doporučují ponechání dřevní hmoty v toku jako významného faktoru tvorby habitatů a morfologické dynamiky koryta.

Vzrůstající množství důkazů o významu dřevní hmoty je v současnosti důvodem pro rozsáhlé vkládání dřevěných struktur do vodních toků nejen v USA, ale také v Austrálii, Japonsku a některých evropských zemích. Erskine a Webb (2003) popisují vývoj managementu vodních toků v Austrálii za posledních 150 let - od masivního odstraňování dřeva v korytech i břehové vegetace směruje management k současným snahám o návrat těchto přirozených prvků zpět do toků. Mezitím se bohužel řada původních druhů ryb dostala na seznam ohrožených druhů z důvodu ztráty habitatu, změn rychlosti proudění, nedostatečné hloubky vody v korytě a zvýšené teploty vody.

Řada prací dokumentuje zlepšení stavu populací ryb po umělém vložení struktur dřevní hmoty do vodního toku. Např. Zika a Peter (2002) sledovali změnu populace pstruha obecného (*Salmo trutta*) a pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) po vložení celých stromů do regulovaného toku. Početnost i biomasa obou druhů ryb vzrostla především kvůli preferenci habitatu. V zimních podmínkách byl rozdíl mezi regulovaným a revitalizovaným úsekem ještě větší z důvodu vhodných podmínek pro přezimování. Zlepšení stavů populace ryb na revitalizované řece Wertach v Německu popisuje Siemens a kol. (2005): na lokalitě stoupl během čtyř let počet vyskytujících se druhů ryb z 10 na 13. Počet druhů, u kterých bylo na lokalitě prokázáno rozmnožování, se zvýšil ze 7 na 10 a vzrostla početnost většiny druhů ryb.

Jak ukazují některé výzkumy revitalizovaných toků, odezva rybích společenstev na uměle vložené dřevo nemusí být jednoznačně pozitivní v krátkém horizontu několika let po realizaci opatření. Sweka a Hartman (2006) popisují efekt vložení celých stromů do 300 m dlouhých úseků v osmi tocích na východě USA na populaci sivena amerického (*Salvelinus fontinalis*). Během tří let po manipulaci populace sivena kolísala a nebyl zaznamenán vliv na densitu populace v rámci jednotlivých lokalit. Ovšem při srovnání mezi lokalitami byla zaznamenána největší hustota jedinců sivena v tocích, kam bylo vloženo největší množství dřevní hmoty. Tříleté období patrně nemohlo postihnout variabilitu změn populace sivena, která na jednotlivých lokalitách nastala po vložení dřeva. Jiným příkladem může být vložení 350 tun dřeva do 1100 metrů dlouhého úseku dlouhodobě degradovaného vodního toku v Austrálii, kde se následně krátkodobě zvýšila početnost ryb (Brooks a kol., 2004). V horizontu 4 let ale nebyl zjištěn významný rozdíl v diversitě ani početnosti ryb oproti nerevitalizovaným úsekům, ačkoliv nové koryto poskytovalo dostatek vhodných habitatů (Brooks a kol., 2006). Podobně Shields a kol. (2003) sice popisují mírné zlepšení populace ryb v 1 – 2 letém období po stabilizaci konkávních břehů erodujícího meandrujícího toku v Austrálii, celková skladba rybích populací ale odpovídala populacím z okolních zahloubených toků. Při biologickém hodnocení nově tvořených habitatů na revitalizovaných úsecích vodních toků je tedy třeba počítat s pomalým zotavováním rybích populací. Například Reeves a kol. (2006) uvádějí, že po disturbanci způsobené lesním požárem se rybí obsádka vodního toku vyrovná nezasaženým úsekům asi po deseti letech. Nilsson a kol. (2005) předpokládají zvýšení diverzity a stabilizaci rybích populací v revitalizovaných úsecích švédských řek v časovém horizontu delším než 10 let po revitalizaci, i když dílčí úspěchy (zlepšení migrační prostupnosti, úspěšné tření a podmínky pro přezimování) mohou být měřitelné již dříve.

Význam dřevní hmoty v tocích pro ostatní obratlovce

I když ryby a makrozoobentos jsou nejsledovanějšími skupinami bioty vodních toků, je třeba zmínit potenciální význam dřevní hmoty i pro další organismy vázané na vodní prostředí, zejména pro druhy zvláště chráněné. Z obratlovců přední místo zaujímá bobr evropský

(*Castor fiber*), který je i v České republice jednou z příčin přísunu dřeva do toků. Kromě skácených stromů zvyšují bobří mortalitu stromové vegetace vzedmutím hladiny nad svými hrázemi. Vedle možných škod na lesních porostech může být v určitých oblastech nežádoucí vzduť hladiny malých toků. Z ostatních zvláště chráněných savců uveďme ještě vydru říční (*Lutra lutra*), která využívá jako úkryt akumulace naplaveného dřeva na březích.

Části stromů vystupující nad hladinu využívají k různým účelům vodní ptáci, zejména na velkých řekách. Ornitologickým průzkumem v NPR Ramena řeky Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví bylo zjištěno 17 druhů ptáků, kteří nějakým způsobem využívali kmeny v korytě (Bureš, 1999). Mezi nejčastější způsoby využití patřilo tzv. komfortní chování (krátkodobý odpočinek, promazávání peří) a sběr potravy, především hmyzu vyskytujícího se na dřevě. Dále ptáci využívali padlé kmeny stromů k antipredačnímu chování (úkryt, odlákání pozornosti od hnízda), obraně teritoria nebo sběru hnízdního materiálu. Ze zvláště chráněných druhů ptáků byli ve výčtu zaznamenáni písík obecný, ledňáček říční, břehule říční, kormorán velký, kvakoš noční a vodouš kropenatý. Je zřejmé, že zmíněné využití dřeva v korytě by bylo možné zaznamenat pro řadu dalších chráněných druhů ptáků. V případě konfliktního druhu, kterým je kormorán velký je třeba poznamenat, že ponořené dřevo může sloužit i jako úkryt ryb před predací tohoto rybožravého ptáka. Úspěšný případ vyřešení konfliktu kormorána a rybářské veřejnosti zmiňuje Siemens a kol. (2005) z německé řeky Lech. Stromy na břehu, které sloužily jako nocoviště kormoránů, byly z části pokáceny a vloženy do koryta. Predační tlak kormoránů tak byl naráz snížen dvěma způsoby – omezením jejich stanoviště a vytvořením úkrytu pro ryby.

Citovaná literatura:

- Abbe, T. B., Brooks, A. P., Montgomery, D. R. Wood in River Rehabilitation and Management. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (Eds.). *The ecology and management of wood in world rivers*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2003a, s. 249-263.
- Abbe, T. B., Montgomery, D. R. (2003) Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. *Geomorphology* 51, 81–107.
- Abbe, T., Pess, G., Montgomery, D. R., Fetherston, K. Integrating engineered log jam technology into reach-scale river restoration. In Montgomery, D. R., Bolton, S., Booth, D. B., Wall, L., (Eds.). *Restoration of Puget Sound Rivers*. Seattle and London: University of Washington Press, 2003b, s. 443-482.
- Anderson, N. H., Sedell, J. R. (1979) Detritus processing by macroinvertebrates in stream ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 24, 351-377.
- 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.
- Aumen, N. G. P., Bottomley, G. M., Ward, G. M., Gregory, S. V. (1983) Microbial decomposition of wood in streams: distribution of microfauna and factors affecting ¹⁴C lignocelulose mineralization. *Applied Environmental Microbiology* 46, 1409-1416.
- Benda, L. (2004) Wood recruitment to streams, mendocino Coast, California. Cambell Timberland Management, 18 s.
- Benke, A. C., Vanarsdall, T. C., Gillespie, D. M., Parrish, F. K. (1984) Invertebrate Productivity in A Sub-Tropical Blackwater River - the Importance of Habitat and Life-History. *Ecological Monographs* 54, 25-63.
- Benke, A. C., Wallace, J. B. Influence of wood on invertebrate communities in streams and 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, 2003; 149-177.
- Beschta, R. L. (1979) Debris removal and its effects on sedimentation in an Oregon Coast Range stream. *Northwest Science* 53, 71-77.
- Biedenharn, D. S., Elliott, C. M., Watson, C. C. The WES stream investigation and streambank stabilization handbook. Vicksburg, Mississippi, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1997. 286 s.
- 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) Post-logging removal of woody debris affects stream channel stability. *Journal of Forestry* 82, 609-613.
- Bilby, R. E. Decomposition and nutrient dynamics 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*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2003; 2003: 135-147.
- Bilby, R. E., Likens, G. E. (1980) Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems. *Ecology* 61, 1107-1113.
- 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.
- Brooks, A. P., Abbe, T. B., Jansen, J. D., Taylor, M., Gippel, C. J. Putting the wood back into our rivers: An experiment in river rehabilitation. In: Rutherford, I., Sheldon, F., Brierley, G., Kenyon, C. (eds.) *Third Australian Stream Management Conference*. Brisbane, 2001. s. 27-29.
- Brooks, A. P., Brierley, G. J. (2004) Framing realistic river rehabilitation targets in light of altered sediment supply and transport relationships: lessons from East Gippsland, Australia. *Geomorphology* 58, 107-123.
- Brooks, A. P., Gehrke, P. C., Jansen, J. D., Abbe, T. B. (2004) Experimental reintroduction of woody debris on the Williams River, NSW: Geomorphic and ecological responses. *River Research and Applications* 20, 513-536.
- Brooks, A. P., Howell, T., Abbe, T. B., Arthington, A. H. (2006) Confronting hysteresis: Wood based river rehabilitation in highly altered riverine landscapes of south-eastern Australia. *Geomorphology* 79, 395-422.
- Brooks, A. P., Howell, T., Abbe, T. B., Arthington, A. H. (2006) Confronting hysteresis: Wood based river rehabilitation in highly altered riverine landscapes of south-eastern Australia. *Geomorphology* 79, 395-422.
- Buffington, J. M., Montgomery, D. R. (1999) Effects of hydraulic roughness on surface textures of gravel-bed rivers. *Water Resources Research* 35, 3507-3521.
- Bureš, S. Význam padlých topolů v korytě řeky Moravy pro migrující a hnízdící ptactvo. Olomouc, 1999. 3 s.
- 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 Pacific Coastal rivers. *River Research and Applications* 25, 1025-1035.
- Crawford, D. L., Sutherland, J. B. (1979) The role of actinomycetes in the decomposition of lignocelulose. *Developments in Industrial Microbiology* 20, 143-151.
- Cudney, M. D., Wallace, J. B. (1980) Life cycle, microdistribution, and production dynamics of six species of net-spinning caddisflies in a large southeastern (U.S.A.) river. *Holarctic Ecology* 3, 169-182.

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

- Curran, J. H., Wohl, E. E. (2003) Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. *Geomorphology* 51, 141-157.
- Dolloff, C. A., Warren, J. Fish relationships with large wood in small streams. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (Eds.). *The ecology and management of wood in world rivers*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2003; 2003: 179-193.
- Dooley, J. H., Maschhoff, J. T. ELWd Engineered woody debris jam structures for small rivers and streams, Forest Concepts, LLC, ELWd Systems division. 2001. <<http://www.forestconcepts.com/docs/121801.pdf>> [cit. 3. 3. 2011].
- Downs, P.W., Simon, A. (2001) Fluvial geomorphological analysis of the recruitment of large woody debris in the Yalobusha river network, Central Mississippi, USA. *Geomorphology*, 37, 65–91.
- Dudley, T., Anderson, N. H. (1982) A survey of invertebrates associated with wood debris in aquatic habitats. *Melandria* 39, 1-21.
- Erskine, W. D., Webb, A. A. (2003) Desnagging to resnagging: New directions in river rehabilitation in Southeastern Australia. *River Research and Applications* 19, 233-249.
- Fetherston, K.L., Naiman, R.J., Bilby, R.E. (1995) Large woody debris, physical process, and riparian forest development in montane river networks of the Pacific Northwest. *Geomorphology* 13, 133–144.
- Fremrová, L., Kokeš, J., Němejcová, D., Opatřilová, L., Janovská, H., Zahrádková, S. ČSN 75 7701 Jakost vod - Metodika odběru a zpracování vzorků makrozoobentosu tekoucích vod metodou PERLA. : ČSN 75 7701 [2008]
- Gerhard, M., Reich, M. (2000) Restoration of streams with large wood: Effects of accumulated and built-in wood on channel morphology, habitat diversity and aquatic fauna. *International Review of Hydrobiology* 85, 123-137.
- Gippel, C. J. (1995) Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers. *Journal of Environmental Engineering* 121, 388-395.
- Godfrey A. A review of the invertebrate interest of coarse woody debris in England. Godfrey, A. 513, 1-51. 2003. Northminster House, Peterborough PE1 1UA, English Nature. English Nature Research Reports. 2003.
- 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.
- Gregory, K.J., Gurnell, A.M., Hill, C.T. (1985) The permanence of debris dams related to river channel processes. *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques*, 30, 371–381.
- Grešková, A. (2005) Zvyšky dreva v korytách riek: interakcie s korytovou morfológiou a fluvialnými procesmi. *Geomorphologia Slovaca*, 5, 21–33.
- Grešková, A. (2007) Využitie akumulácií zvyškov dreva (Large Woody Debris) pri revitalizácii riečnych koryt. In: Herber, V. (ed.), Fyzikogeografický sborník 4: Fyzická geografie, teorie a aplikace, Masarykova univerzita, Brno, 105–110.
- Grier, C. C. (1978) Tsuga-Heterophylla - Picea-Sitchensis Ecosystem of Coastal Oregon - Decomposition and Nutrient Balances of Fallen Logs. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 8, 198-206.
- Gurnell, A.M. (2003). Wood storage and mobility. In S. Gregory, K. Boyer, & A. Gurnell (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers* (pp. 75–92). Bethesda: American Fisheries Society.
- Hall R.O., Wallace, J. B., Eggert, S. L. (2000) Organic matter flow in stream food webs with reduced detrital resource base. *Ecology* 81, 3445-3463.
- Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack, K., Cummins, K. W. (1986) Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15, 133-302.
- Hering, D., Kail, J., Eckert, S., Gerhard, M., Meyer, E.I., Mutz, M., Reich, M., Weiss, I. (2000) Coarse woody debris quantity and distribution in Central European streams. *International Review of Hydrobiology*, 85, 5 – 23.
- Hoffmann, A., Hering, D. (2000) Wood-associated macroinvertebrate fauna in Central European streams. *International Review of Hydrobiology* 85, 25-48.
- House, R. A., Boehne, P. L. (1987) The Effect of Stream Cleaning on Salmonid Habitat and Populations in a Coastal Oregon Drainage. *Western Journal of Applied Forestry* 2, 84-87.
- Chen, X., Xiaohua, W., Scherer, R., Hogan, D. (2008) Effects of large woody debris on surface structure and aquatic habitat in forested streams, southern interior British Columbia, Canada. *River Research and Applications*, 24, 862–875.
- Johnson, L. B., Breneman, D. H., Richards, C. (2003) Macroinvertebrate community structure and function associated with large wood in low gradient streams. *River Research and Applications* 19, 199-218.
- Kitts, D. R., Sear, D. A., Darby, S. E. The effect of large woody debris dams upon flow resistance. University of Southampton, School of Geography, <<http://www.newforestlife.org.uk/life3/PDFs/SU-effectsofdams.pdf>> [cit. 3. 3. 2011] Lane, E. W. (1955) Design of stable channels. *Transactions ASCE* 120, 1234 - 1279.
- Kožený, P. (2007) Vliv desetileté povodně na transport dřevní hmoty uložené v korytě a nivě řeky Blanice. In: Jarmila Měkotová, Otakar Štěrbá Říční krajina 5. Univerzita Palackého v Olomouci, Česká společnost pro krajinnou ekologii, Olomouc, 124–133.
- Kožený, P., Vajner, P., Žerníčková, O., Simon, O. (2006) Stabilita přírodě blízkého zpevnění meandrů Moravy v NPR Vrapač. In: Měkotová, J. – Štěrbá, O. (eds.), Říční krajina 4, Univerzita Palackého v Olomouci, Česká společnost pro krajinnou ekologii, Olomouc, 118–125.

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

- Krejčí, L. (2010) Struktura, dynamika a geomorfologické účinky dřevní hmoty v říčních korytech lesních vegetačních stupňů ČR. Disertační práce, Masarykova univerzita, 224 s.
- Krejčí, L., Máčka, Z. (2011) Human involvement in large woody debris input, removal and mobility – examples from rivers in the Czech Republic. *Area*, v recenzním řízení.
- Lemly, A. D., Hilderbrand, R. H. (2000) Influence of large woody debris on stream insect communities and benthic detritus. *Hydrobiologia* 421, 179-185.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. (1957) River channel patterns – braided, meandering, and straight. Washington: United States Geological Survey Professional Paper 282 (B), 39–85.
- Macura, L. Úpravy tokov. Bratislava: SVTL. 1966. 731 s.
- Máčka, Z., Krejčí, L., Loučková, B., Peterková, L. (2010) A critical review of field techniques employed in the survey of large woody debris in river corridors: a central European perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, on-line first 28. prosince 2010, DOI: 10.1007/s10661-010-1830-8.
- Máčka, Z., Braun, M. (2009) Risk analysis of riparian trees and large woody debris in the managed ecosystems (case study from the National park Podyjí, Czech Republic). *Geoscape*, 4, 86–92.
- Máčka, Z., Krejčí, L. (2006) Plavená dřevní hmota (splávi) v korytech vodních toků – případová studie z CHKO Litovelské Pomoraví. In: Měkotová, J. – Štěrba, O. (eds.), Říční krajina 4, Univerzita Palackého v Olomouci, Společnost pro krajinnou ekologii, Olomouc, 172–182.
- Máčka, Z., Krejčí, L. (2009) Mrtvé dřevo – přirozená součást říční krajiny. In: Herber, V. (ed.), Fyzickogeografický sborník 7 – Fyzická geografie a trvalá udržitelnost, Brno, 34–40.
- Máčka, Z., Krejčí, L. (2010) Výskyt dřevní hmoty v korytech vodních toků České republiky. *Vodní hospodářství*, 60 (2), 33–36.
- Malik, I. (2004a) Rola kłod w kształtowaniu dna koryta rzeki meandrującej na przykładzie Malej Panwi (Równina Opolska). *Czasopismo Geograficzne*, 75 (4), 255–274.
- Malik, I. (2004b) Wpływ drzew nadrzecznych na transformacje równiny zalewowej i koryta rzeki meandrującej na przykładzie Malej Panwi (Równina Opolska). *Przegląd geograficzny*, 76 (3), 345–360.
- Manners, R. B., Doyle, M. W., Small, M. J. (2007) Structure and hydraulics of natural woody debris jams. *Water Resour. Res.* 43. 76-78.
- Martin, D.J., Benda, L.E. (2001) Patterns of in-stream wood recruitment and transport at watershed scale. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130, 940–958.
- Montgomery, D. R., Buffington, J. M. (1997) Channel reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 109, 596-611.
- Montgomery, D. R., Buffington, J. M., Smith, R. D., Schmidt, K. M., Pess, G. (1995) Pool spacing in forest channels. *Water Resources Research* 31, 1097-1105.
- Montgomery, D. R., Collins, B. D., Buffington, J. M., Abbe, T. B. Geomorphic effects of wood in rivers. In Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (Eds.). *The ecology and management of wood in world rivers*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2003. s. 21-47.
- Mossop, B., Bradford, M. J. (2004) Importance of large woody debris for juvenile chinook salmon habitat in small boreal forest streams in the upper Yukon River basin, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 34, 1955-1966.
- Murphy, M. L., Koski, V. (1989) Input and depletion of woody debris in Alaska streams and implications for streamside management, *North American Journal of Fisheries Management* 9, 427-436.
- Mutz, M., Rhode, A. (2003) Processes of surface-subsurface water exchange in a low energy sand-bed stream. *International Review of Hydrobiology* 88(3-4), 290-303.
- Neumann, R. M., Wildman, T. L. (2002) Relationships between trout habitat use and woody debris in two southern New England streams. *Ecology of Freshwater Fish* 11, 240-250.
- Nilsson, C., Lepori, F., Malmqvist, B., Törnlund, E., Hjerdt, N., Helfield, J. M., Palm, D., Östergren, J., Jansson, R., Brännäs, E., Lundqvist, H. (2005) Forecasting Environmental Responses to Restoration of Rivers Used as Log Floatways: An Interdisciplinary Challenge. *Ecosystems* 8, 779-800.
- O'Neal, J., Watts, A., Sibley, T., Bolton, S. Hydraulic and biologic effects of engineered large woody debris in stream rehabilitation. University of Washington, Center for Streamside Studies. 2000. <<http://www.cfr.washington.edu/research/factSheets/05-CSSelwd.pdf>> [cit. 3. 3. 2011]
- Palmer, M. A., Arensburger, P., Martin, A. P., Denman, D. W. (1996) Disturbance and patch-specific responses: The interactive effects of woody debris and floods on lotic invertebrates. *Oecologia* 105, 247-257.
- Parker, G. (1979) Hydraulic geometry of active gravel rivers. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 105, 1185 - 1201.
- Piegay, H., Thevenet, A., Kondolf, G. M., Landon, N. (2000) Physical and Human Factors Influencing Potential Fish Habitat Distribution along a Mountain River, France. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography* 82, 121-136.
- Powell, J. W. Exploration of the Colorado river of the west and its tributaries. Washington, D. C.: Government Printing Office. 1875. 291 s.
- Quesnel, H. (1994). Assessment and characterization of old-growth stands in the Nelson Forest Region. British Columbia Forest Service, Nelson Forest Regional Technical Report TR-013, 150 s.

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

- Raplík, M., Výbora, P., Mareš, K. Úprava tokov. Bratislava, Alfa. 1989. 639 s.
- Reeves, G. H., Bisson, P. A., Rieman, B. E., Benda, L. E. (2006) Postfire Logging in Riparian Areas. *Conservation Biology* 20, 994-1004.
- Robinson, E.G., Beschta, R.L. (1990) Coarse woody debris and channel morphology interactions for undisturbed streams in southern Alaska, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 149–156.
- Rosgen, D. L. A. (1994) A classification of natural rivers. *Catena*, 22, 69 - 99.
- Rosgen, D. L. A. Applied River Morphology. Pagosa Springs: Wildland Hydrology. 1996. 390 s.
- Sear D. A., Newson, M. D., Thorne, C. R. Guidebook of applied fluvial geomorphology, R&D Technical Report FD1914, London, 2003.
- Shields Jr., F. D., Smith, R. H. (1992) Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river. *Aquatic Conservation* 2, 145-163.
- Shields, F. D., Jr., Knight, S. S., Morin, N., Blank, J. (2003) Response of fishes and aquatic habitats to sand-bed stream restoration using large woody debris. *Hydrobiologia* 494, 251-257.
- Shields, J., Gippel, C. J. (1995) prediction of effects of woody debris removal on flow resistance. *Journal of Hydraulic Engineering* 121, 341-354.
- 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, 33 s.
- Schumm, S. A., Lichty, R. W. (1965) Time, Space and causality in geomorphology. *American Journal of Science* 263, 110-119.
- Siemens, M., Hanfland, S., Binder, W., Herrmann, W., Rehlau, W. Mrtvé dřevo přináší život do řek a potoků. Bavorský zemský úřad pro životní prostředí. Mnichov, 2005. 48 s.
- Sollins, P. (1982). Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 12, 18–28.
- Stevens, V. (1997) The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in B.C. forests. British Columbia Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, B.C., 26 s.
- Swanson, F.J., Lienkamper, G.W., Sedell, J.R. (1976) History, physical effects, and management implications of large organic debris in western Oregon streams. General Technical Report PNW-GTR-056, Forest Service, Pacific Northwest Forest Station, Portland, 15 s.
- Sweka, J. A., Hartman, K. J. (2006) Effects of large woody debris addition on stream habitat and brook trout populations in Appalachian streams. *Hydrobiologia* 559, 363-378.
- Šindlar M., Vlček, L., (2002) Geomorfologické typy vodních toků a jejich využití pro revitalizace. *Vodní hospodářství* 2002/6, 172.
- Šindlar, M. (2008a) Stream channels and floodplain evolution: Typology of geomorphologic processes. Poster. 4th ECRR International Conference on River Restoration. Venice.
- Šindlar, M. a kol. (2007a) Projekt Nežárka – vazba přírodě blízkých protipovodňových opatření a hydromorfologického stavu vod.
- Šindlar, M. a kol. (2007b) Projekt Horní Opava - část C - vazba protipovodňové ochrany a hydromorfologického stavu vod.
- Šindlar, M. a kol. (2007c) Projekt Horní Morava – vazba přírodě blízkých protipovodňových opatření a hydromorfologického stavu vod.
- Šindlar, M. a kol. (2007d) Projekt Dyje a Moravská Dyje – vazba přírodě blízkých protipovodňových opatření a hydromorfologického stavu vod.
- Šindlar, M. a kol. (2007e) Projekt Dědina – vazba přírodě blízkých protipovodňových opatření a hydromorfologického stavu vod.
- Šindlar, M. a kol. (2008b) Přírodě blízká protipovodňová opatření na tocích a v nivách. Metodika vyhodnocení aktuálního stavu hydromorfologie vodních toků včetně návrhů přírodě blízkých protipovodňových opatření k dosažení potřebného stupně protipovodňové ochrany a dobrého stavu hydromorfologické složky vod. Verze 06/2008. Býšť. 80 s. Publikováno in: Věstník MŽP XVII/11, listopad 2008.
- Šindlar, M. a kol. (2010) Geomorfologické procesy vývoje vodních toků, část I. – typologie korytotvorných procesů. Hradec Králové: Sindlar EU s.r.o., stavby vodního hospodářství a krajinného inženýrství. ISBN 978-80-254-244 5-2. v tisku.
- Šindlar, M. a kol. Pilotní projekt modelového řešení monitoringu, vyhodnocení návrhu opatření a vyhodnocení efektivity vynaložených prostředků v oblasti hydromorfologie toků v ČR dle požadavků WFD – Část č. 1. Mapování základních hydromorfologických charakteristik vybraných vodních toků v povodí toku Ploučnice. Hradec Králové. 2007c.
- Šindlar, M. a kol. Projekt Svatka – vazba přírodě blízkých protipovodňových opatření a hydromorfologického stavu vod. Býšť. 2007d.
- Tank, J. L., Webster, J. R. (1998) Interaction of substrate and nutrient availability on wood biofilm processes in streams. *Ecology* 79, 2168-2179.
- Triska, F. J., Sedell, J. R., Buckley, B. M. (1975) The processing of conifer and hardwood leaves in two coniferous forest streams. II Biogeochemical and nutrient changes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19, 1628-1639.

Příloha 1: Funkce a význam dřevní hmoty ve vodních tocích

- Úradníček, L., Šlezingr, M. a kol. Stabilizace břehů za využití armované zemní konstrukce s podporou kořenových systémů dřevin. Brno: akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2007. 210 s. ISBN 978-80-7204-550-1.
- van Sickle, J., Gregory, S.V. (1990) Modelling input of large woody debris to streams from falling trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 1593–1601.
- Wallace, J. B., Eggert, S. L., Meyer, J. L., Webster, J. R. (1999) Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem. *Ecological Monographs* 69, 409-442.
- Wallace, J. B., Webster, J. R. (1996) The Role of Macroinvertebrates in Stream Ecosystem Function. *Annual Review of Entomology* 41, 115-139.
- Wallace, J. B., Webster, J. R., Meyer, J. L. (1995) Influence of log additions on physical and biotic characteristics of a mountain stream. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 52, 2120-2137.
- Warmke, S., Hering, D. (2000) Composition, microdistribution and food of the macroinvertebrate fauna inhabiting wood in low-order mountain streams in Central Europe. *International Review of Hydrobiology* 85, 67-78.
- Weigelhofer, G., Waringer, J. A. (1999) Woody debris accumulations - Important ecological components in a low order forest stream (Weidlingbach, Lower Austria). *International Review of Hydrobiology* 84, 427-437.
- Wondzell, S. M., Bisson, P. A. Influence of wood on aquatic biodiversity. In: Gregory, S. V., Boyer, K. L., Gurnell, A. M. (Eds.). *The ecology and management of wood in world rivers*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2003; 2003: 249-263.
- Zika, U., Peter, A. (2002) The introduction of woody debris into a channelized stream: Effect on trout populations and habitat. *River Research and Applications* 18, 355-366.

Slovník pojmů

Agradace: zvyšování zemského povrchu sedimentací unášeného materiálu.

Anadromní ryby: ryby žijící v moři, které vyplouvají za třením do řek. Ve střední Evropě k nim patří zejména losos.

Detritivorní organismy: organismy živící se detritem – jemnými rozkládajícími se zbytky organického materiálu.

Engineered log jam (ELJ): uměle vytvořená akumulace dřevní hmoty napodobující vzhled a funkci přirozených akumulací dřeva ve vodním toku. Ke konstrukci ELJ se používají vzájemně spojené kulatiny nebo kmeny stromů včetně kořenů.

Klíčový kus akumulace (z anglického „key member“): zpravidla velký a stabilní kus dřeva (celý strom), který je z důvodu své velikosti, hmotnosti, případně dalších faktorů (přítomnost kořenového balu, větví, zasedimentování, funkční kořeny žijícího stromu) dostatečně stabilní. Klíčový kus je základním prvkem akumulace dřevní hmoty, na který se zachytávají další kusy dřeva.

Large woody debris (LWD): v anglické literatuře hojně používaný termín pro velikostní frakci dřevní hmoty (zpravidla odumřelé) o průměru alespoň 0,1 m a délce nejméně 1 metr. Synonymem je termín „coarse woody debris“ (CWD), který se ale více používá v lesnickém výzkumu.

Log jam: často používaný anglický termín pro akumulace dřevní hmoty.

Partikulovaný organický materiál (POM): jde o úlomky organického materiálu zpravidla menší než 1 cm. POM je tvořen zbytky listového opadu, úlomky větviček, kůry a dřeva, zbytky vodních i terestrických makrofyt a zbytky drobných organismů. Jemná frakce partikulovaného organického materiálu je detrit, ve kterém velký podíl zaujímá bakteriální biomasa.

Xylofágní organismy: organismy živící se dřevem.