

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Oldřich Šálek

**APLIKACE DENDROCHRONOLOGICKÝCH METOD
V HYDROLOGII A FLUVIÁLNÍ GEOMORFOLOGII**

**APPLICATION OF DENDROCHRONOLOGY IN HYDROLOGY
AND FLUVIAL GEOMORPHOLOGY**

Bakalářská práce

Praha 2013

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Václav Tremel, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl a řádně citoval všechny použité informační zdroje a literaturu. Práce jako celek ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 20. 5. 2013

Oldřich Šálek

Zadání bakalářské práce

Název práce: Aplikace dendrochronologických metod v hydrologii a fluvialní geomorfologii

Cíle práce

1. Zpracovat rešerši na téma: (a) vliv disturbancí spojených s hydrologickými jevy na růst stromů, a záznam disturbancí v letokruhových křivkách, (b) typy hydrologických jevů datovatelných dendrochronologickou metodou;
2. Provést metaanalýzu studií využívajících dendrochronologii k datování hydrologických a fluvialně-geomorfologických jevů s tím, že bude vždy identifikován proces, metoda datování, úspěšnost (přesnost) datování;

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Metody: rešerše, metaanalýza vědeckých studií;

Datové zdroje: rešerše prostřednictvím WOS, SCOPUS, ScienceDirect, Ingenta, Geobase, neopomenout domácí periodika a časopisy Dendrochronologia, Tree Ring Research.

Datum zadání: 1. 10. 2012

Jméno studenta: Oldřich Šálek

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: Václav Tremel

Podpis vedoucího práce:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce Mgr. Václavu Tremlovi, Ph.D. především za věnovaný čas, rady a připomínky a za zapůjčenou literaturu. Rodině bych rád poděkoval za podporu během dosavadního studia.

Abstrakt

Hydrologické jevy jsou přírodní procesy, které dlouhodobě utvářejí krajinu kolem nás a v některých případech ohrožují náš majetek a zdraví. Dendrochronologie představuje jednu z metod výzkumu těchto jevů a rekonstrukce minulých hydrologických událostí, které lze následně využít k předpovědím a plánování bezpečnostních opatření v budoucnosti. O možnosti využití nejrůznějších dendrochronologických metod v aplikovaném výzkumu se můžeme přesvědčit v provedené meta-analýze odborných studií dostupných v elektronické a tištěné podobě. Mezi hlavní poznatky meta-analýzy patří výrazná nerovnoměrnost v geografickém rozložení dendrohydrologického průzkumu. Také nás seznamuje s celou řadou sledovaných indikátorů u rozličných hydrologických jevů a na konkrétních výzkumech ukazuje použití metod uváděných v rešeršní části práce.

Klíčová slova: dendrohydrologie, disturbance, metaanalýza, povodně, fluviální geomorfologie, hladina podzemní vody, oceánské proudy

Abstract

Hydrological phenomena are natural processes that shape the landscape around us in the long-term and in some cases threaten our property or health. Dendrochronology is one of the methods of research of these phenomena and reconstruction of past hydrological events, that can be then used to predict and plan security measures in the future. The possibility of using a variety of dendrochronological methods in applied research, we can see in the meta-analysis of scientific studies available in electronic and printed form. The main finding of meta-analysis is a significant geographical disproportion in dendrohydrological survey. It also introduces a wide range of indicators, which are observed in various hydrological phenomena and also demonstrates application of dendrohydrological methods on specific studies.

Keywords: dendrohydrology, disturbance, meta-analysis, flooding, fluvial geomorphology, groundwater level, ocean currents

Obsah

Abstrakt/Abstract	5
1. Úvod.....	7
2. Anatomická stavba a tvorba letokruhu	10
3. Vlivy stresu a disturbancí spojených s hydrologickými jevy na růst stromů.....	14
3.1 Náhlé růstové změny	14
3.2 Traumatické pryskyřičné kanálky.....	16
3.3 Exhumované kořeny.....	17
3.4 Reakce na pohřbení části kmene a adventivní kořeny	20
3.5 Růstové jizvy.....	23
3.6 Věková struktura porostu	25
3.7 Křížové datování.....	25
4. Dendrochronologicky datovatelné hydrologické jevy	27
4.1 Povodně	27
4.2 Vývoj koryta vodního toku	30
4.3 Změny hladiny podzemní vody	31
4.4 Oceánské proudění	33
5. Metody.....	36
6. Výsledky meta-analýzy	37
7. Diskuse	43
8. Závěr	46
Seznam použité literatury a zdrojů	47
Seznam obrázků a tabulek.....	54

1. Úvod

Jevy jako jsou povodně, kolísání hladiny podzemní vody, proměnlivost oceánských proudů či geomorfologický vývoj říčních koryt se poměrně obtížně datují, neboť po nich stopy doslova spláchla voda.

Velmi zajímavou metodou průzkumu těchto událostí je využití dendrochronologie. Na počátku sedmdesátých let bylo této vědy využíváno pouze v několika amerických a evropských laboratořích. Dnes však používá dendrochronologii mnoho vědců z celého světa ke zkoumání různých přírodních jevů i antropogenních vlivů (Schweingruber 1996). Můžeme ji uplatnit po celém světě, vyjma polárních a některých pouštních oblastí. Dnes již ale můžeme narazit i na studie z Arktidy, kde jsou zkoumány keře (např. Weijers et al. 2010). Problematické je také uplatnění v rovníkových oblastech (viz následující kapitola), kde je téměř zanedbatelná sezonalita klimatu, avšak některé dřeviny i zde tvoří letokruhy (např. Trouet et al. 2001, Worbes 1995).

Zatímco v USA byla založena centrální laboratoř pro dendrochronologický výzkum, po Evropě probíhaly počátky poněkud rozptýleně, především v Německu, Skandinávii a Rusku. Existují zřejmě dva hlavní důvody pomalejšího začátku dendrochronologie v Evropě. Za první, evropské stromy se nedožívají takového věku, jako některé severoamerické, a za druhé jsou v Evropě mnohem složitější klimatické vztahy, které výzkum znesnadňují.

Podle Schweingruber (1996) vznikla dílčí odvětví, jako je například dendroklimatologie, dendrogeomorfologie, dendrotektonika, dendroglaciologie, dendrohydrologie a další. Letokruhy jsou jako přírodní archiv informací o dějích v minulosti a slouží jako poměrně přesný zdroj pro jmenovaná vědní odvětví.

Tato práce je zaměřena na dendrohydrologii, která se zabývá čtyřmi základními jevy. Prvním, pro člověka asi nejdůležitějším zkoumaným jevem, jsou povodně. Povodně jsou neoddělitelnou a časově i prostorově nepravidelnou součástí vodního oběhu v přírodě. Vždy se na našem území vyskytovaly a je třeba s nimi počítat i do budoucna. Kvůli dlouhé absenci velkých povodní ve středoevropském prostoru docházelo k zástavbě až k samotné hranici břehu. Přitom oblast údolních niv byla vždy vymezena přírodou pro odtok jakéhokoliv objemu povodňových vod. Tyto nepříjemné události jsou destruktivním a stresovým faktorem pro mnoho obyvatel rizikových oblastí. Nejen, že extrémní průtoky vody působí majetkové škody, ale dochází při nich i ke ztrátám na životech (Hladný 2007).

Dendrochronologie není jen o studiu minulosti. Její výsledky často slouží jako podklady pro dlouhodobé prognózy (Cook, Kairiukstis 1992). K pochopení zákonitostí a odhalení příčin nám mohou pomoci statistická data z minulosti. Na základě těchto dat může zkušený odborník vyvodit závěry a vymyslet řešení daného problému. Jelikož bývají data nekompletní, chybí úplně, nebo jsou zaznamenány příliš krátké řady do nedávné minulosti, nabízí se možnost využití dendrochronologie. Ta nám umožňuje datovat historické povodně a dokonce poskytnout údaj o tehdejší výšce hladiny.

Dendrochronologickým průzkumem můžeme datovat i změny v reliéfu v oblasti průběhu vodního toku. Říční údolí a niva je neustále modelována protékající vodou. V případě vysokých průtoků je pak vývoj poměrně rychlý a okem pozorovatelný. Zkoumání těchto oblastí je důležité vzhledem k rozšiřování zástavby a zemědělské činnosti na úrodných nivních půdách v blízkosti toku. Změny reliéfu spojené s enormním srážkovým úhrnem jsou zapříčiněny erozí, sedimentací, zaplavením vodou a svahovými pohyby, které mohou být také podníceny extrémním spadem srážek. Tyto procesy spolu vzájemně souvisejí (Vilímek 2007).

Velká část vody se skrývá pod zemským povrchem. Tato podpovrchová část hydrosféry je dokonce druhou nejvýznamnější zásobou sladké vody, hned po ledovcích. Pokud nezahrneme ledovce, podílí se až 97 % na kapalně sladké vodě. S takovou vodou se můžeme setkat například ve studnách a u pramenů. Její hladina není stálá. Je ovlivněna srážkami a výškou hladiny blízkých toků či jezer. Roli hrají samozřejmě geologické a pedologické podmínky, vegetační kryt a reliéf. Ke snižování hladiny může docházet také vlivem lidské činnosti - nadměrným čerpáním. Zkoumání stavu podzemních vod je důležité (zejména v aridních oblastech). Rekonstrukce historického vývoje může napomoci k pochopení některých zákonitostí a napovědět, jak se budou podzemní vody chovat v budoucnu v souvislosti s měnícím se klimatem. I ve zkoumání této problematiky nám poskytuje cenné informace aplikace dendrochronologie.

Posledním typem hydrologických jevů, kterým se budu v této práci zabývat, je oceánské proudění. V případě nalezení vyplaveného dřeva se můžeme pokusit zjistit, odkud původem pochází. K tomu potřebujeme zjistit letokruhové chronologie vyplavených kmenů a srovnat je s chronologiemi z oblastí, ze kterých by dřevo mohlo pocházet. Protože jsou k dispozici recentní i subfosilní vzorky vyplavených kmenů, můžeme provádět rekonstrukce, jak se proudění měnilo v minulosti.

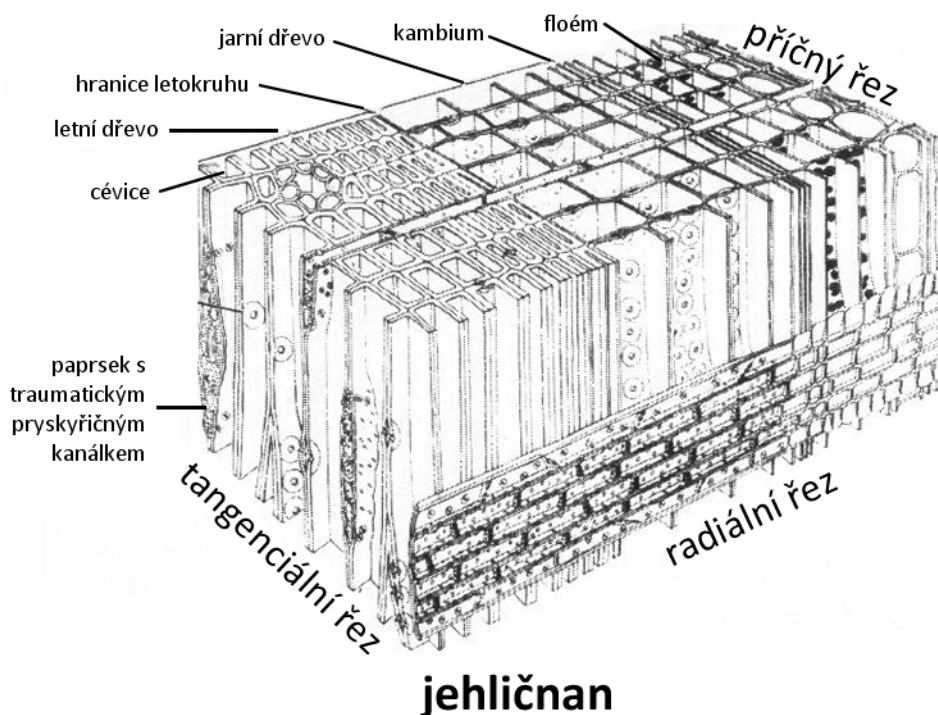
Cílem této práce je zhodnotit téma využití dendrochronologie v hydrologii a ve vývoji koryt vodních toků. Dílčími cíli jsou:

- I. Provést rešerši na téma a) anatomická stavba a tvorba letokruhu, b) vlivy vodou podmíněných disturbancí na růst dřevin, c) typy hydrologických a fluvialně geomorfologických jevů, na které můžeme dendrochronologické metody aplikovat
- II. Provést meta-analýzu dostupné odborné literatury a zhodnotit současný stav dendrochronologického výzkumu v hydrologii a fluvialní geomorfologii ve světě i v České republice.

2. Anatomická stavba a tvorba letokruhu

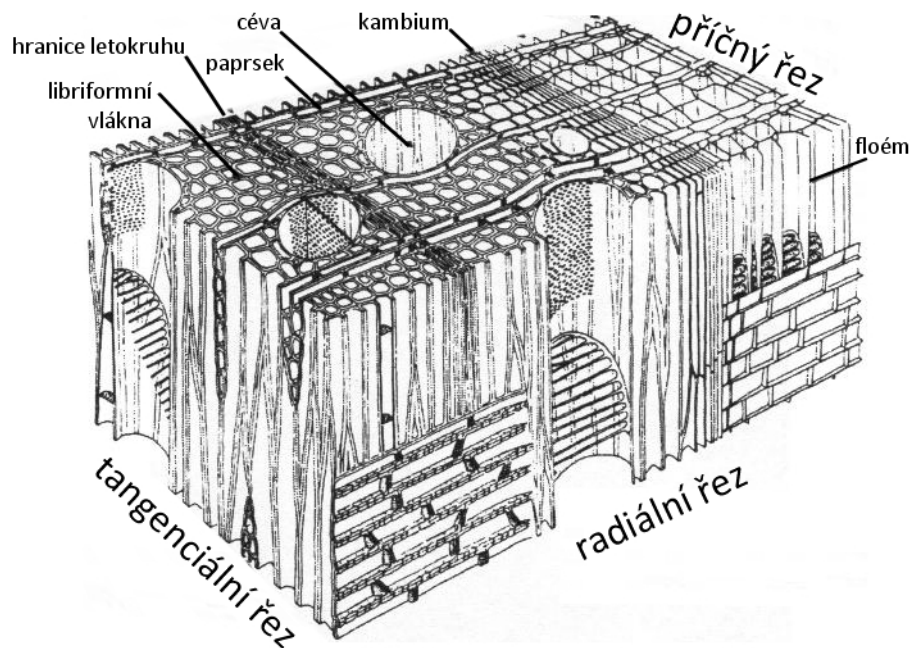
U dřevin, jejichž kořenový systém a kmeny přežívají mnoho let, dochází k velice významné produkci sekundárních vodivých pletiv, které dodávají rostlinnému tělu větší mechanickou odolnost. Dřeviny se obvykle dožívají desítek až stovek let, nejstarší z nich jsou americké borovice osinaté (*Pinus longaeva*). Někteří jedinci této borovice dosahují věku až 5000 let (Votrubová 2001).

Přírůst dřeva je zajištěn skupinou nediferencovaných buněk zvaných kambium, které si uchovávají dělivou funkci po celou dobu své existence. Vrstva těchto buněk vytváří vodivá pletiva dvou typů. Sekundární xylém (z řeckého xylon, dřevo) směrem do středu kmene a sekundární floém (z řeckého phloios, lýko) směrem od středu kmene. Funkcí xylému je především transport vody a minerálních i organických látek, a to vždy směrem od kořene vzhůru. Může sloužit i jako zásobárna vody a rezervních látek. V neposlední řadě splňuje úlohu mechanické opory rostlinného těla. Floém je specializované pletivo na přenos mnoha rozličných látek, mimo jiné i fytohormonů (zejména auxinu), které mají vliv na přírůst dřeva. Transport látek je ve floému na rozdíl od xylému složitější a probíhá v různých směrech (Votrubová 2001). Přírůst lýka jako takový však na vznik letokruhů nemá vliv.



Obrázek 1. Struktura dřeva jehličnanů

upraveno podle: Speer (2010)

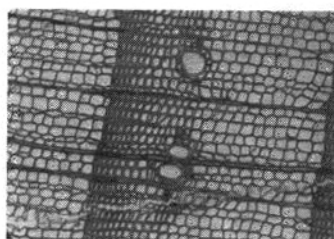


listnáč

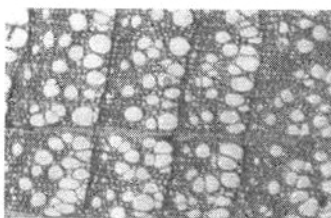
Obrázek 2. Struktura dřeva listnáčů

upraveno podle: Speer (2010)

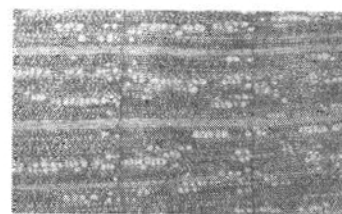
Xylém se skládá z různých typů buněk. Konkrétně se jedná o sklerenchymatické buňky, které mají především opornou funkci, parenchymatické, které přivádějí vodu do transportních drah, nebo ji naopak odebírají, a cévní elementy, které samotný transport zajišťují. Mezi cévní elementy patří cévice (tracheidy), které se vyskytují ve všech typech dřevin, a články cév, jimiž jsou tvořeny cévy (tracheje), které lze najít pouze u krytosemenných dřevin (Votrubová 2001). Podle uspořádání cév (pórovitosti) ve dřevě listnatých stromů pak ještě rozlišujeme listnáče s kruhovitou, přechodnou – polokruhovitou, a roztroušenou (difúzní) pórovitostí (Speer 2010).



bez pórů
jehličnany



kruhovitá pórovitost



roztroušená (difúzní) pórovitost

listnáče

Obrázek 3. Pórovitost dřeva

upraveno podle: Speer (2010)

Letokruh je prstenec dřeva, který se během vegetačního období vytvoří po obvodu pláště celého kmene a můžeme jej pozorovat na horizontálním příčném řezu kmenem stromu (Kozłowski, Pallardy 1997). Viditelné kruhy vznikají vlivem nekonstantní rychlosti činnosti kambia v průběhu ročních období. Jeden letokruh tak obvykle zaznamenává jeden rok života stromu, nejmladší letokruh vždy přiléhá ke kůře. Nejvýraznější letokruhy tvoří dřeviny rostoucí v mírném vegetačním pásu, protože jsou zde větší teplotní výkyvy v rámci roku, než v oblastech blíže k rovníku (Holuška et al. 2007). V oblastech se střídajícími se ročními obdobími je činnost kambia omezena pouze na část roku (Schweingruber 1996).

U střeoevropských dřevin se buňky kambia začínají dělit na jaře, obvykle poté, co začnou rašit pupeny, neboť ty jsou zdrojem fytohormonu auxinu, který aktivitu kambia stimuluje. Kambium je u našich dřevin aktivní přibližně tři a půl měsíce v roce s maximální aktivitou nejčastěji v červnu. Při poklesu teplot a zkracování dne na konci léta se kambium přestává dělit. V rostlině pak nastává soubor změn, které ji připravují na nepříznivé zimní období (Votrubová 2001).

Vrstevnatost dřeva, vznikající periodickou činností kambia, můžeme u většiny dřevin pozorovat pouhým okem či při malém zvětšení. Hranice mezi letokruhy u dřevin mírného pásu je zřetelná, protože jarní dřevo se svou stavbou liší od pozdního.

Své funkce však mohou letokruhy druhotného dřeva plnit jen po omezenou dobu. Po této určité době, která se druh od druhu liší, dochází ke ztrátě transportní funkce. V té chvíli dochází ke změnám struktury a složení letokruhů směrem od středu kmene – vzniká tzv. jádrové dřevo (duramen), které je obvykle tmavší. Obvodové vrstvy dřeva se nazývají běl (splint nebo alburnum), které buď mají zachovanou vodivou funkci, nebo se již pomalu přeměňují na jádrové dřevo. Zatímco jádrového dřeva s každým rokem přibývá, běl je tvořen po celou dobu života dřeviny přibližně stejným počtem letokruhů. Jádrové dřevo je odolnější vůči vnějším vlivům a může tedy posloužit k odhadu stáří stromu v případě, kdy nemáme k dispozici nejmladší letokruhy například kvůli stádiu rozkladu kmene (Votrubová 2001).



Obrázek 4. Dřevo s vylišenou jádrovou a bělovou částí

převzato z: Zeidler (2011)

3. Vlivy stresu a disturbancí spojených s hydrologickými jevy na růst stromů

Od sedmdesátých let dvacátého století se využití dendrochronologie rozšířilo z pouhého datování dřeva do širokého pole dendroekologických zkoumání (Schweingruber 1996). Během náhlých hydrologických a geomorfologických událostí dochází k disturbancím, na které strom následně reaguje. Každé narušení má pak svou specifickou reakci (Stoffel, Bollschweiler 2008). Podle Shrodera (1978) tyto děje fungují na principu proces – událost – reakce. Procesem je v našem případě hydrologický jev nebo geomorfologické změny v korytě toku, které vedou k ovlivnění podmínek pro další vývoj dřeviny. Po náhlé narušující události pak strom zareaguje například změnou ve struktuře nebo míře přírůstu nového dřeva. Z těchto reakcí můžeme mnohé vyvodit a rekonstruovat minulé události. V této kapitole se budeme zabývat konkrétními změnami ve vývoji stromu, které mohou být užitečné při výzkumu hydrologických a fluvialně geomorfologických jevů.

3.1. Náhlé růstové změny

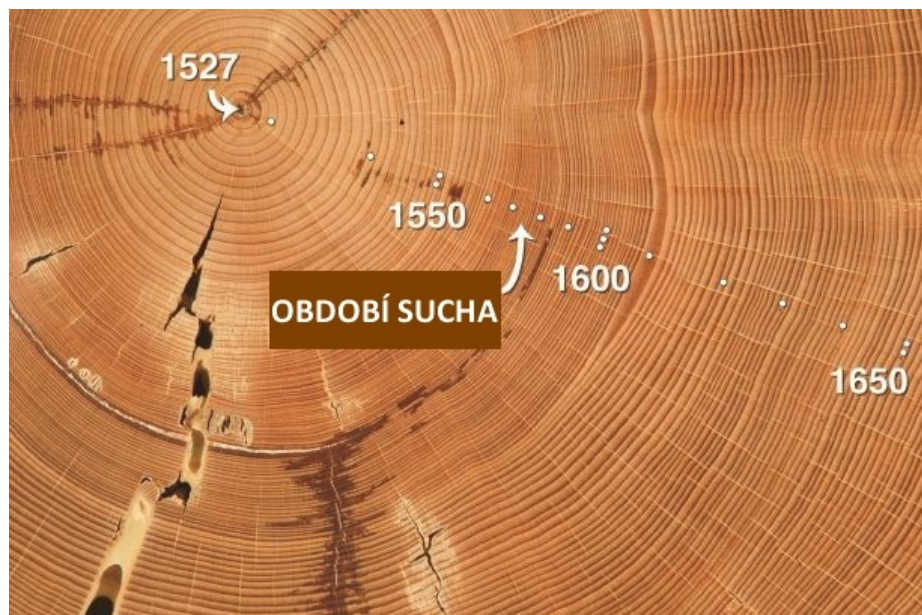
Nejčastěji měřenou hodnotou v dendrochronologii je roční přírůst dřeva, kterému odpovídá šířka letokruhu. Přírůst je dán věkem, genetickou výbavou, ale je poměrně výrazně ovlivňován také vnějšími biotickými a abiotickými faktory. Mezi abiotické faktory se řadí například mechanické poškození kořenů, kmene či koruny, pedologické změny (minerální složení), změny atmosférické (teplota, srážky, větry) nebo také změny v přísunu světla (Schweingruber 1996). Při hydrologických dějích se obvykle setkáváme s poškozením kořenového systému a kmene, se změnami v půdním pokryvu i s náhlým vyšším přísunem světla.

V případě extrémních povodňových událostí mohou být dřeviny na březích toku vyvráceny a původní porost je tak zničen. To dává příležitost pro vznik nového mladého porostu (Schweingruber 1996). Mladé stromky pak mají v následujícím vegetačním období více světla, díky odstranění vzrostlých stromů, které jim dříve stínily. Zvyšuje se tak i dostupnost živin a vody, což vede k podstatnému zvýšení jejich přírůstu (Casteller et al. 2007). Pokud v těsné blízkosti stromu dojde k akumulaci sedimentu s vhodným složením živin nebo vysokým obsahem vody, dochází taktéž ke zvyšování míry přírůstu dřeva (Gärtner 2007, Fantucci, Sorriso-Valvo 1999).

Akumulace sedimentu však často mívá i opačný efekt. K poklesu růstu pak dochází kvůli omezení funkce kořenů, což má za následek nižší příjmy živin a vody. Dalším důvodem je vnější tlak materiálu na kambium, čímž zpomaluje jeho činnost. Poté se tvoří užší letokruh (Strunk 1997).

V případě podemletí břehu může dojít k vyvrácení stromu. Pokud strom přežije, dojde v následujících letech k výraznému zmenšení přírůstu dřeva, dokud se neadaptuje na nové podmínky. Podle Burdy (2010) má na šířku letokruhu vliv i pouhé naklonění kmene stromu, neboť tvorba reakčního dřeva a lignifikace jeho buněčných stěn je pro rostlinu energeticky poměrně náročná.

Výkyvy hladiny podzemní vody mají také za následek změnu rychlosti růstu dřeviny. Při její nízké hladině strom snižuje roční přírůst dřeva a klesá fotosyntetická aktivita. Příliš vysoká hladina podzemní vody nebo dokonce zaplavení kořenového systému má rovněž velmi nepříznivý vliv. Delší trvání těchto extrémů může mít za následek smrt stromu (Mahoney, Rood 1992, Horton et al. 2001).



Obrázek 5. Kolísání ročního růstu dřeva vlivem proměnné hladiny podzemní vody

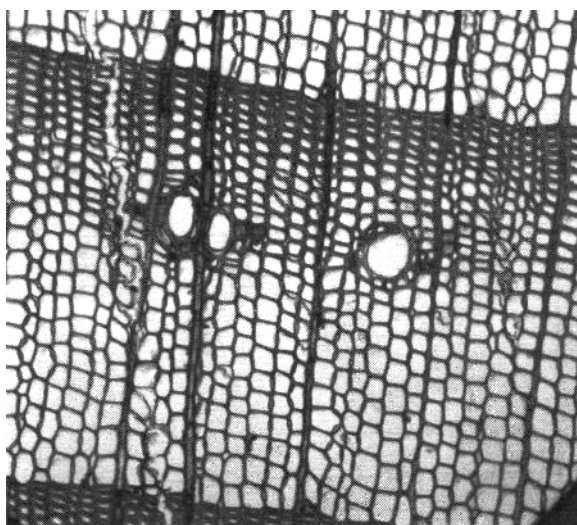
upraveno podle: Griffin (2013)

Růstové anomálie se však mohou vyskytovat z rozličných důvodů, které s hydrologií nemají nic společného. Z pouhého sledování růstových změn u stromů v zasažené oblasti nelze určit, které byly způsobeny vodou, a které například klimatickými výkyvy. K odfiltrování těchto disturbancí, které při výzkumu nehledáme, obvykle slouží srovnání letokruhových

chronologií z postižených oblastí s chronologiemi stromů rostoucích v blízkosti, avšak mimo působení zkoumaných disturbancí. Důležité je, aby srovnávané dřeviny rostly ve velmi podobných klimatických a edafických podmínkách. Tyto referenční chronologie, které nejsou postiženy hydrologickým jevem, mohou mít s těmi postiženými zkoumanými chronologiemi některé růstové výkyvy společné. Takové výkyvy jsou prokazatelně způsobeny jinými než hydrologickými faktory, můžeme je tedy ignorovat. Díky referenčním chronologiím je také možné odhalit falešné nebo chybějící letokruhy a vyvarovat se tak závažných chyb (Schweingruber 1996).

3.2. Traumatické pryskyřičné kanálky

Tvorba pryskyřice je obrannou reakcí stromu na stres. S pryskyřičnými kanálky se setkáváme běžně ve dřevě jehličnatých stromů, u listnáčů je ale nenajdeme. Jejich přítomnost může být také vyvolána mechanickým poraněním rostlinného těla, čehož můžeme využít při výzkumu. Takové kanálky pak označujeme jako traumatické. V odborných studiích se obvykle setkáváme se zkratkou TRD – traumatic resin ducts (=traumatické pryskyřičné kanálky).



Obrázek 6. Pryskyřičné kanálky

převzato z: Speer (2010)

Většinou se jedná o kontinuální vrstvu kanálků, které začínají v letokruhové části přiléhající k místu poranění (Stoffel 2008). Se zvětšující se vzdáleností od tohoto místa jsou méně výrazné a již nejsou příliš kontinuální. Mohou nám odhalit i menší disturbance, kterých bychom si pomocí jiných reakcí dřeva možná nepovšimli (Stoffel 2008). Se zvyšujícím se

stářím stromu však citlivost na zranění postupně klesá a dochází tak i ke snížení tvorby traumatických pryskyřičných kanálků. Naopak mladé stromky mají tendence tvořit vyšší množství kanálků i bez vnějších rušivých činitelů. Proto není vhodné datovat poranění pomocí TRD u stromků mladších deseti let (Stoffel, Bollschweiler 2008).

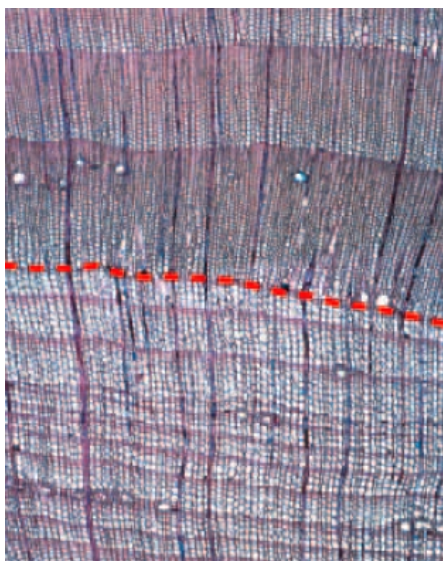
K rozdílným reakcím dochází i podle druhu stromu a podle období, ve kterém k disturbanci dojde. Pokud je strom poraněn během vegetačního období, traumatické pryskyřičné kanálky se začnou tvořit poblíž rány v zápětí. Díky tomu máme možnost datovat daný jev s měsíční přesností (Stoffel, Bollschweiler 2008). K takto přesné dataci je ale vhodné mít k dispozici nejlépe příčný řez kmenem, neboť v oblastech vzdálenějších od místa poranění dochází k tvorbě kanálků se zpožděním.

Pokud k poranění dojde mimo vegetační sezonu, je reakce stromu závislá na mnoha faktorech a přesná datace je pak komplikovanější. Obecně se dá říci, že při výskytu TRD hned v prvních vrstvách buněk nového letokruhu došlo k disturbanci v období vegetačního klidu, a v případě, že se objevují až ve druhé polovině jarního dřeva nebo ve dřevě letním, můžeme usoudit, že k disturbanci došlo během vegetační sezony. Při velmi silném poškození je možno pozorovat traumatické pryskyřičné kanálky i několik let po povodni nebo erozní události (Szymczak et al. 2010).

3.3. Exhumované kořeny

Exhumované kořeny jsou nejběžněji používaným indikátorem břehové eroze a vývoje strží (Malik, Matyja 2008). Mezi projevy odhalení kořenů u jehličnatých a listnatých stromů jsou jisté rozdíly. Dendrochronologické studie využívají častěji vzorky z kořenů jehličnanů, z důvodu jednodušší anatomické stavby. U některých listnáčů můžeme pozorovat podobné změny jako u jehličnanů. Např. u buku lesního (*Fagus sylvatica*) dochází k 50% snížení velikosti cév podobně, jako je tomu u jarního dřeva jehličnanů (Gärtner et al. 2001, Sahling et al. 2001). Po odhalení je kořen vystaven vnějším podmínkám, díky kterým se mění jeho struktura a roste podobnost se strukturou kmene (Hitz et al. 2008).

Schweingruber (1996) zmiňuje nevýraznost kořenových letokruhů, ve srovnání s letokruhy v kmene. Jsou užší, letní dřevo je málo vyvinuté a je možné najít velké rozdíly ve struktuře dřeva i v rámci srovnávání kořenů stejného druhu stromu. Podle Bodoque et al. (2005) je v podzemních částech dřeviny četnější výskyt falešných a chybějících letokruhů než v částech nadzemních.



**Obrázek 7. Tvorba širších letokruhů po (pozvolné) expozici – odděleno červenou čarou
(*Abies alba*)**

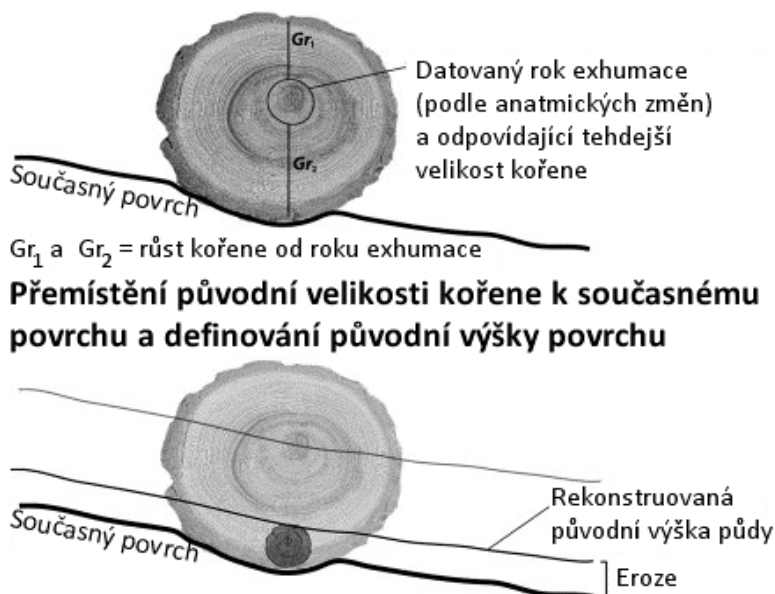
převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

Další komplikace přichází při datování kořenů stromů s mělkým kořenovým systémem, jako je například smrk (*Picea*). K odhalení totiž může dojít i pouhým postupným růstem kořene i bez účasti vodního nebo jiného geomorfologického činitele. Chybě z důvodu takového zavádějícího jevu můžeme předejít, pokud budeme vzorky z kořenů odebírat v co možná největší vzdálenosti od kmene, a to alespoň 1,5 m. Tam je již šance odhalení způsobeného pouhým růstem minimální (Bodoque et al. 2005).

Není-li však takový postup možný, můžeme poznat, zda jde o erozi či nikoli tím, že změříme průměr prvního letokruhu vykazujícího již známky denudace. Poté změříme hloubku deprese, ve které kořen leží (za předpokladu, že je stále v kontaktu s povrchem terénu). Porovnáním těchto naměřených hodnot rozeznáme, zda jde o vodní erozi či o pouhý růst na povrchu země. Je-li deprese hlubší než průměr změřeného letokruhu, pravděpodobně se nejedná o erozi. Tento postup byl primárně navržen Gärtnerem (2007) pro sledování erozních změn půdního pokryvu.

Původní úroveň terénu Gärtner (2007) určuje zjištěním velikosti kořene v době erozní události a tu pak přenesse na dnešní povrch půdy.

Rekonstrukce velikosti kořene v době odhalení



Obrázek 8. Zjištění původní úrovně povrchu půdy

upraveno podle: Gärtner (2007)

Při utržení břehu nebo uvolnění materiálu ve strži často dojde k mechanickému poškození kořene. Nejčastěji k újmě dojde v místě těsně u země, ve které je kořen částí stále fixován. Taková poranění mohou být užitečná při dataci erozního jevu (Malik 2006b). Vrchní strana exhumovaného kořenu pak bývá vydána napospas vnějším vlivům, sešlapávání a okusování zvěří atd. Tím je kambium poškozeno nebo zcela zničeno a kořen pak přirůstá více ze spodní – více chráněné části. Na to bychom měli brát zřetel při odběru vzorků (Malik, Matyja 2008).

Najdeme-li ve strži oblast, kde se nacházejí exhumované kořeny jednoho stromu v různých horizontálních úrovních, je potřeba zjistit, zda exhumace proběhla v rámci jedné extrémní události, nebo byl materiál odnášen postupně. Podle Malik, Matyja (2008) bychom měli v takové situaci odebrat vzorky ze všech exhumovaných úrovní, a to zejména z nejstarších kořenů, abychom získali data za co možná nejdelší období. Pak hledáme u jednotlivých vzorků rok odhalení kořene. Pokud ve vzorcích všech úrovní došlo k odhalení v jednom roce, pravděpodobně se tak stalo v rámci jediné velké události. Liší-li se roky exhumace, docházelo k postupnému odhalování např. vlivem větru a deště, nebo několika menších náhlých erozních vlivů.



Obrázek 9. Masivní odplavení půdy z břehu
převzato z Larter (2012)

3.4. Reakce na pohřbení části kmene a adventivní kořeny

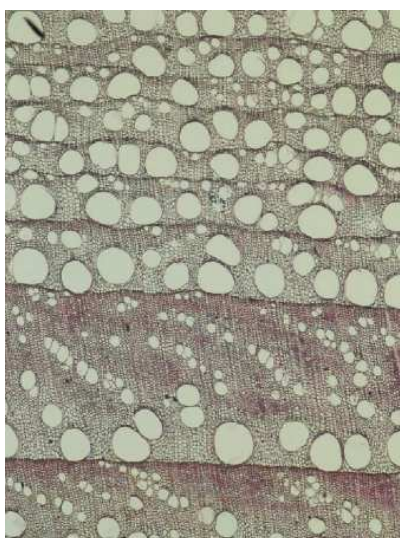
Voda může mít i opačný účinek. Množství plavenin a hydrodynamické vlastnosti proudění vody ovlivňují, zda dochází převážně k erozi břehů nebo naopak k akumulaci materiálu. Tok je schopen unášet určité množství materiálu a při jeho překročení dochází k ukládání „přebytečného“ materiálu v podobě přirozených valů podél toku (Baker et al. 1988).

Pokud je sediment nanesen k úpatí stromu, má to za následek jednak prudké růstové změny v pohřbené oblasti kmene, ale také změnu struktury dřeva, v závislosti na složení usazeného materiálu. Ten může mít různé fyzikální a chemické vlastnosti. Důležitým faktorem je periodicitu usazování (zda se povodňová událost odehrává každý rok, nebo se jedná např. o stoletou vodu) a samozřejmě také výška akumulace (Kent et al. 2001). Růst stromu je pak omezen nedostatkem vody a živin (Friedman et al. 2005, Malik, Ovczarek 2008).

Podle Strunka (1995) může ve výjimečných případech pohřbení části kmene způsobit i zvýšení ročního přírůstu dřeva za předpokladu, že je naakumulovaný materiál bohatý na

živiny a obsahuje dostatečné množství vody. Vrstva nového sedimentu však nesmí být příliš mocná.

Podobně jako exhumovaný kořen získává na podobnosti se strukturou nadzemních částí, tak se i pohřbený kmen začíná strukturou podobat dřevu kořenů. Dochází k vytváření tracheid s větším průměrem a slabší buněčnou stěnou. Mezi výraznější změny patří pokles šířky letokruhu a menší kontrast na jejich přechodech. Tyto změny jsou lépe pozorovatelné hlouběji pod novým povrchem, a proto je vhodné odebírat vzorky pro analýzu v místě původní paty kmene. Některé druhy ale ve větší hloubce tvoří již zcela nerozeznatelné letokruhy (Friedman et al. 2005).



**Obrázek 10. Náhlý pokles růstu po pohřbení kořene
(*Castanea sativa*)**

převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

Podle Strunka (1997) jsou reakce na pohřbení kmene rozdílné podle druhu dřeviny. U smrku jsou pozorovatelné změny v šířce letokruhu již při akumulaci prvních decimetrů sedimentu. Dojde-li k nanesení tak vysoké vrstvy materiálu, že strom uhyne, je poměrně obtížné přesně datovat, kdy se tak stalo. Smrt dřeviny může následovat až několik let po sedimentaci (Yoshida et al. 1997).

Největším stresem pro rostlinu je nedostatek kyslíku pro kořeny, které se po povodni mohou nacházet hluboko pod zemským povrchem. V takovém případě může dřevina (nejčastěji s mělkým kořenovým systémem) vytvářet tzv. adventivní kořeny, které vyrůstají z kmene blíže k povrchu (Bannan 1941). Zanesené původní kořeny neodumírají. Datování

pomocí adventivních kořenů je nevhodnější provádět příčným řezem v místě nejstaršího kořene v příslušné vrstvě nově vzniklých kořenů a poté zjistíme, z jakého letokruhu kořen vyrůstá (Strunk 1997).



**Obrázek 11. Nalezení prvních změn před tvorbou adventivního kořene
(*Alnus incana*)**

převzato z: Schweingruber (1996)

Podobně jako dochází k úmrtí stromu různě dlouho po pohřbení, různě dlouho trvá i reakce v podobě vytvoření adventivních kořenů. Získáme tak spíše údaj o minimálním stáří povodňové události, nikoli na rok přesnou dataci. I taková informace může být cenná, zejména pak v oblastech s periodickým opakováním povodňových událostí. Z vertikální vzdálenosti jednotlivých vrstev můžeme také poměrně přesně zjistit výšku sedimentu, naneseného při jednotlivých událostech (Stoffel, Bollschweiler 2009).



**Obrázek 12. Vrstvy adventivních kořenů
(*Populus deltoides*)**

převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

3.5. Růstové jizvy

Mezi nejsledovanější ukazatele disturbancí dřeviny patří bezesporu růstové jizvy. V dendrohydrologickém výzkumu se s nimi můžeme setkat při rekonstrukci povodňových událostí v minulosti (Bégin, Payette 1988, Gottesfeld, Gottesfeld 1990, Tardif, Bergeron 1997, Bégin 2001). Informace o nich můžeme získat z jizev na živých stromech i na pařezech (Lepage, Bégin 1996, Yanoski 1999, St. George, Nielsen 2003). Datováním růstových jizev pravděpodobně dosáhneme lepších výsledků, než datováním zbytků dřevní hmoty akumulované v korytě. To platí především v případě menších a strmějších horských potoků, kde je většina dřevní hmoty rychle odplavena (Zielonka et al. 2008).

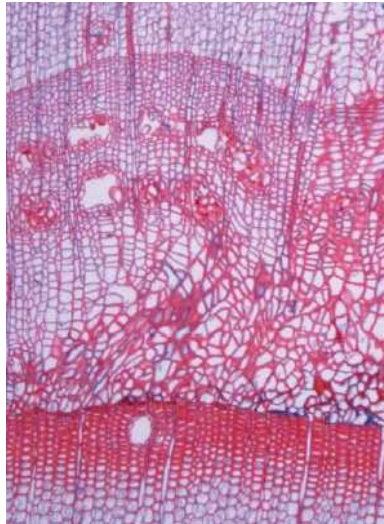


Obrázek 13. Poškozený kmen

převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

K poškození nebo zničení kambia dochází vlivem mechanického opotřebení nebo kvůli vysokým teplotám (Zielonka et al. 2008). Pokud takové zranění strom přežije, během následujících let rána postupně zarůstá. Okolní kambium reaguje tvorbou nepravidelných parenchymatických buněk (kalus) a vytváří tak jizvu (Schweingruber 2001). V ideálním případě strom ránu zcela zacelí. Hojivý proces závisí na věku stromu, ročním období a rozsahu poškození (Stoffel, Bollschweiler 2008).

Poblíž koryta řeky dochází k poškození dřevin vlivem nárazů předmětů, které voda při zvýšené hladině unáší (Gottesfeld 1996). Nejčastěji to jsou plovoucí kusy dřeva a ledu, nebo také kamínky či balvany, které voda uvede v pohyb (St. George 2010).



Obrázek 14. Tvorba nepravidelných parenchymatických buněk

převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

Pokud je rána zacelena, na povrchu kmene nejsou již patrné známky poškození. Pro výzkum tak potřebujeme odebrat vzorek v podobě přírůstového kotouče. Tvar letokruhu je značně zdeformován a v místě zranění je neuzavřený (Stoffel, Bollschweiler 2008). S úplným zahojením rány přichází riziko chyby dendrochronologického datování, zejména pokud určujeme periodicitu disturbancí v různých obdobích. Pokud bychom se zaměřili pouze na odběr vzorků viditelných, tedy obecně spíše mladších jizev, nebo jizev po vážnějších zraněních, byla by periodicitu ve starších obdobích výrazně podhodnocena kvůli zanedbání již zhojených ran. Proto je doporučeno provádět odběr vzorků spíše náhodně (Stoffel, Perret 2006).



Obrázek 15. Jizva na kmeni stromu

(*Larix decidua*)

převzato z: Stoffel, Bollschweiler (2008)

Jizvy a tvorba kalusu nám mohou pomoci s datací přesněji, než je jeden rok. Kambium začne produkovat kalus v podstatě ihned po disturbanci. Nalezneme-li první stopy po jizvě na začátku jarního dřeva, došlo k disturbanci během období vegetačního klidu. Pokud jsou její počáteční známky až uvnitř letokruhu, došlo ke zranění během vegetačního období (Szymczak et al. 2010).

Historické povodňové události jsou písemně zaznamenány spíše v obydlených oblastech, kde působí vážné škody na majetku a zdraví lidí. V lesem zarostlých horských bystřinách takové záznamy obvykle chybí. Dendrochronologický výzkum těchto hydrologických jevů je důležitý pro vysvětlení a pochopení fluvialní činnosti, vývoje geomorfologie říčního koryta, odnosu dřevní hmoty a dynamiky vegetace na březích toků (McCord 1996).

3.6. Věková struktura porostu

Při extrémně ničivých povodních může dojít k plošné devastaci porostu. V takových případech není možné terén dendrochronologicky prozkoumat. Minimální stáří povodně nám může napovědět stáří stromů, které nově vyrůstají na zasaženém území. Jde však pouze o hrubý odhad, neboť doba mezi katastrofou a rekolonizací dřevinami závisí na pedologických a klimatických podmínkách a na dostupnosti semen stromů (Stoffel, Bollschweiler 2008).

Věk stromků se zjišťuje klasicky počítáním letokruhů nejvhodněji z příčného řezu těsně u paty kmene. Takové destruktivní odebírání vzorků však není přípustné např. na chráněných územích (McCarthy et al. 1991).

Tento přístup „minimálního věkového datování“ je často používán ke zjišťování minimálního času uplynulého od poslední ničivé události, jako jsou sněhové laviny nebo jiné svahové pohyby a extrémní povodně (McCarthy, Luckman 1993, Winter et al. 2002, Pierson 2007, Bollschweiler et al. 2008).

Přesnější metodou je zkoumání mrtvého dřeva, které bylo evidentně zničeno při povodňové události. Pomocí křížového datování pak můžeme určit rok, kdy strom zahynul, a získat tak konkrétnější informaci, než je minimální stáří disturbance.

3.7. Křížové datování

Dostupné živé stromy pro výzkum mívají relativně nízký věk. Napasování letokruhových chronologií mnoha stromů na sebe se nazývá křížové datování. Takovýmto postupem

můžeme odhalit chybějící letokruhy, které korespondují s roky, kdy strom příliš nerostl, i tzv. falešné letokruhy, které jsou spjaty s disturbancemi v průběhu sezóny růstu (Moya, Corominas 1996). Kromě toho dosáhneme prodloužení chronologie v některých případech až o tisíce let. Pro křížové datování lze použít například stavební materiál (trámy) z budov, u nichž můžeme dohledat původ materiálu, tedy lokalitu, kde byl strom pokácen. Použitím křížového datování mezi živými a subfosilními kmeny můžeme získat přesná data ještě dále do minulosti (Wiles et al. 1996). I přesto je tato metoda aplikovatelná na relativně krátký časový úsek geologické historie. Její uplatnění je prozatím v mezích holocénu.

Díky křížovému datování lze pozorovat změny v oceánském (a s ním spojeném atmosférickém) proudění (např. Tremblay, Mysak 1997, Häggblom 1982, Johansen 1999). Mrtvé naplavené dřevo se dendrochronologicky prozkoumá a poté se srovnává s chronologiemi z možných míst původu. Lze tak určit, kdy a odkud bylo dřevo unášeno oceánským proudem.

Podle Ecksteina (1972) byla už v polovině 20. století psána první shrnutí rané historie křížového datování (např. Studhalter 1955; in Eckstein 1972), kde se můžeme dočíst o vůbec prvních průzkumech letokruhových chronologií (např. Douglass 1919, Švedov 1892, Kapteyn 1914; vše in Eckstein 1972).

4. Dendrochronologicky datovatelné hydrologické jevy

V této kapitole se seznámíme se základními jevy způsobenými činností vody, u kterých můžeme při průzkumu využívat dendrochronologických metod. Je vždy dobré brát v potaz více zdrojů informací. Například svědectví lidí, fotografie, letecké snímky, průzkum sedimentů atd. Tyto informace bychom měli předem znát a brát na ně ohled při výběru vzorků. Podle Stoffela a Bollschweilera (2008) nám tato znalost může napovědět, zda má daná růstová nebo anatomická anomálie skutečně souvislost se sledovaným jevem.

Problémem by se mohla stát správná časová interpretace. Zdaleka ne každá disturbance se přihodí během vegetačního období, kdy je kambium aktivní. Pokud dojde k disturbanci během vegetačního klidu, reakce dřeviny se dostaví až různě dlouho po začátku následujícího vegetačního období. Z tohoto důvodu je vhodné výsledky uvádět v tzv. dendrochronologických letech, která začínají obdobím vegetačního klidu a končí na konci následujícího vegetačního období (Corominas, Moya 1999).

4.1. Povodně

Mezi největší přírodní rizika v našich zeměpisných podmínkách patří bezesporu povodně. Nemůžeme se na ně však dívat jen jako na pomstu přírody. „Povodně představují přirozenou součást vývoje krajiny a významně se podílejí na jejím vytváření“ (Langhammer 2007, s. 11). Každý rok ale způsobují ohromné škody na majetku a zabijí tisíce lidí po celém světě. Během 90. let povodně zasáhly do životů 1,4 miliardy lidí a přibližně 100 000 lidí při nich zahynulo (Jonkman 2005). Povodně jsou považovány za druhou nejnákladnější přírodní katastrofu po tropických bouřích, které způsobují ještě větší škody (SWISSRE 2009).

Podle ústavu fyziky atmosféry AV ČR dosahovaly srážky při povodních v letech 1997 a 2002 pouze cca 68 % maximálních srážkových úhrnů možných na našem území. Do budoucna tak můžeme očekávat ještě mohutnější povodně (Řezáčová 2003).

Obvykle je předpověď pravděpodobnosti a rozsahu povodní založena na jejich minulém výskytu. Bohužel jsou však většinou písemné záznamy o chování řek a jezer v minulosti příliš krátké na to, aby mohla být vytvořena věrohodná předpověď (Klemeš 1989). Záznamy paleopovodní na bázi geologických a biologických důkazů mohou odhalit děje před stovkami nebo tisíci let.



Obrázek 16. Zaplavené dřeviny na rozsáhlém území při povodni na Vltavě

převzato z: Kotrba (2002)

Dendrochronologové využívají tři hlavní strategie studia minulých povodní a zvýšené hladiny vody pomocí důkazů z letokruhů. Nejhojněji využívaným dendrochronologickým důkazem povodní jsou růstové jizvy vytvořené abrazí nebo nárazem plovoucího předmětu. Kusy ledu, dřeva nebo i jiné předměty spláchnuté z příbřežních oblastí díky zvýšené hladině mohou obrousit kůru dřevin nebo ji prorazit a poškodit tak vrstvu kambia. Stromy pak reagují tvorbou nediferencovaných buněk (kalus), které pak slouží jako stopa po poškození kambia v minulosti i přesto, že se rána zcela zacelí a přeroste novou borkou. Určení data povodňové události se pak počítá rozdílem počtu letokruhů v nepoškozeném místě a v místě růstové jizvy. Minimální výška povodně je stanovena podle výšky jizvy na kmeni (McCord 1996, Zielonka et al. 2010). Podél řek jsou zjizvené stromy častější tam, kde je koryto sevřené a má prudký spád. Voda má větší rychlost a zároveň i vyšší unášecí schopnost, může tak unášet i těžké předměty. Zvýšení hladiny jezera může vést také ke zjizvení stromů, pokud do nich naráží např. kusy ledu při jarním tání (Tardif, Bergeron 1997, Tardif et al. 2010).

Povodně také mohou zasahovat do fyziologických procesů, které ovlivňují růst stromu a způsobují anatomické změny v části nebo v celém letokruhu. Podle Stoffel et al. (2010) se tyto povodně ovlivněné letokruhy nejčastěji objevují u stromů s kruhovitou pórovitostí, jako je jasan nebo dub. Obvykle se vyskytují u stromů, které rostou v terénní depresi, kde dlouhodobě zvýšená hladina způsobí částečné nebo úplné odlistění stromu během pozdního

jara nebo začátkem léta (Yanovsky 1983). Pokud je strom schopen obnovit olistění, mohou se v daném letokruhu objevit další velké vodivé cévy oddělené jedním nebo více řádky menších cév. „Povodňové letokruhy“ se též mohou vytvořit, pokud jsou kořeny a kmen vystaveny delšímu zaplavení během začátku vegetační sezóny (St. George 2010). Tyto signatury můžeme poznat také podle přítomnosti abnormálně malých cév v jarním dřevě, ale také mohou obsahovat jiné anatomické rysy, jako jsou vlákna s neobvykle tenkými buněčnými stěnami (Stoffel et al. 2010).

Třetím způsobem zjištění minulých povodní je pozorování náklonu kmene stromu vlivem podemletí, nebo dokonce jeho vyvrácení. Pokud katastrofická povodeň zabije všechny stromy v okolí řeky, je povrch kolonizován po určité době novými stromy. Podle stáří nejstaršího nového stromu můžeme určit minimální stáří povodňové události, která zahubila jeho předchůdce (Gottesfeld, Gottesfeld 1990). Takováto metoda však vyžaduje odhad doby potřebné v dané lokalitě k rekolonizaci poničené plochy. Částečně vyvrácení může u mladších stromků způsobit růst vertikálních klíčků podél kmene. Věk těchto klíčků odpovídá věku povodně, která vyvrácení způsobila. V extrémních případech při opakované disturbanci povodní může mít strom i více kmenů. V případě nakloněného kmene se může tvořit reakční dřevo (Yanovsky, Jarrett 2002).

Schweingruber (1996) uvádí, že nepoškozené stromy v novém prostředí bez kompetice mají k dispozici více světla, vody a živin. Poté začnou tvořit širší letokruhy, tato reakce ovšem může mít zpoždění. Proto tato metoda není vhodná pro datování destruktivních jevů, pokud chceme dosáhnout roční přesnosti (Stoffel, Bollschweiler 2008). Pokud nejsou vyvrácené mrtvé stromy odplaveny, můžeme je s pomocí křížového datování taktéž využít k určení stáří povodně, podaří-li se zjistit, kdy zahynuly.

Podle Stoffel et al. (2010) je hlavní výhodou dendrochronologického datování paleopovodní jeho poměrně vysoká časová přesnost ve srovnání s většinou dalších metod. Hojně geografické rozšíření dendrochronologicky datovatelných druhů dřevin a široké spektrum metod určených ke zkoumání souvislostí mezi růstem stromu a povodněmi dovoluje dendrochronologům výzkum i v mnoha případech, kdy metody např. na geologické bázi není možno uplatnit.

4.2. Vývoj koryta vodního toku

Podle Baker, Costa (1987) geomorfologické projevy povodní nejsou způsobeny přímo nadstandardním průtokem vody, ale unášeným materiálem, který působí smykovým třením, a energií vodního toku přepočtenou na jednotku plochy (která je při povodni díky vyšší rychlosti proudění vyšší). K největší erozi a sedimentaci dochází zpravidla v suchých oblastech, ale i v oblastech s vysokými srážkami, kde jsou časté svahové pohyby, může být tokem unášeno velké množství materiálu. Důležitá není jen intenzita, ale i délka trvání povodně. Podle Costa, O'Connor (1995) jsou pro úpravu reliéfu neúčinnější povodně, které mají dostatečnou energii a zároveň mají dostatek času k uskutečnění akumulární nebo erozní činnosti. Takové bývají povodně střední délky trvání.

Wolman, Miller (1960; in Vilímek 2007) uvádějí, že se na vývoji koryta toku podílejí větší měrou pomalu a dlouhotrvající děje, nicméně vývoj břehu více ovlivňují extrémní průtoky. A právě na březích jsou zasaženy dřeviny, u kterých se tyto disturbance v různých formách projevují. Nejčastěji je zasažen jejich kořenový systém. U většiny dřevin nejsou letokruhy v kořenech formovány tak zřetelně jako ve kmenech, což je jistým omezením dendrochronologické metody. Nejsnáze zjistíme disturbance v letokruhových řadách při přímém mechanickém poškození kořene či kmene, kdy dochází zpravidla k vytvoření růstové jizvy (Tremel 2007).

Podle Stoffel, Bollschweiler (2008) lze z reakce kořenu a zejména z náhlých růstových změn v jeho erozí zasažené části poznat, zda se proces odnosu materiálu udál náhle, nebo pozvolna. V případě okolí potoků, řek, jezer a oceánů se obvykle setkáváme s kontinuálním průběhem eroze. Není-li kořen exhumován náhle, má čas se přizpůsobit. Dále plní svou původní funkci, avšak svou strukturou se začíná podobat struktuře nadzemních částí stromu, obvykle dochází k rozšíření letokruhů, podle kterého je možné datovat počátek erozních změn v daném místě.

Pokud dojde k náhlému obnažení kořenů v důsledku odnosu zvětraliny například extrémní povodní, můžeme pozorovat pokles šířek letokruhů v zasažené části (Vandekerckhove et al. 2001). Pokud kořen vlivem silné disturbance zcela odumře, můžeme srovnáním letokruhových řad s ostatními živými kořeny odečíst, kdy k destrukci došlo. Dojde-li k masivnímu zásahu do kořenového systému, mohou se zúžené letokruhy objevit i ve kmenech. Schweingruber (1996) uvádí, že typické nivní dřeviny, jako jsou vrby, olše a topoly, nereagují zmenšením radiálního přírůstu kmene ani při rozsáhlém poškození kořenového

systemu, neboť jsou vysoce rezistentní. Je-li eroze opravdu výrazná, může dojít až k vychýlení stromu vlivem podemletí břehu. Pak může dřevina tvořit tzv. reakční dřevo (tenzní nebo kompresní), které díky rozdílné buněčné stavbě rozpoznáme v určitých letokruzích a můžeme tak disturbanci datovat (Schweingruber 1996).

Pokud je na kmen stromu v důsledku povodní nanesen materiál (tzv. pohřbení kmene), dochází obvykle k nedostatečnému příjmu vody a živin, což vede ke snížení ročního přírůstu dřeva (Hupp et al. 1987). Strom může tvořit také adventivní kořeny. Ty můžeme datovat tím, že zjistíme, ze kterého letokruhu vyrůstají. V zaneseném kmeni můžeme také pozorovat pokles šířky letokruhů, širší tracheje a menší rozdíl mezi jarním a letním dřevem (Friedman et al. 2005).

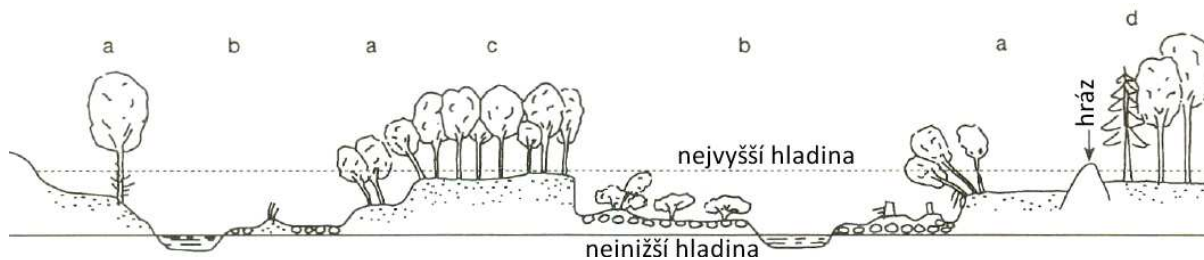
Máme-li jistotu, že nové erozní nebo akumulární tvary nebyly dodatečně antropogenně upravovány, můžeme určit jejich minimální stáří zjištěním věku nejstaršího stromu, který na nich roste. Jistým omezením je však fakt, že tyto následky extrémních průtoků bývají člověkem sanovány velice často krátce po povodni. V takovém případě nelze fluvialně geomorfologické jevy datovat touto metodou (Tremli 2007).

4.3. Změny hladiny podzemní vody

Přes důležitost podzemních vod jako složky vodního koloběhu a zdroje pitné vody, zejména v suchých a semiaridních regionech, je nedostatek studií o dopadech změn a výkyvů klimatu na podzemní vody (IPCC, 2007). Studie jsou limitovány množstvím a kvalitou pozorování, která jsou k dispozici, a také antropogenním ovlivňováním hladiny podzemní vody (Perez-Valdivia, Sauchyn 2011).

Půdní voda je pro růst rostlin nezbytná. Ty také viditelně reagují na její množství, čehož můžeme při výzkumu využívat. Při její nízké hladině strom snižuje roční přírůst dřeva a klesá fotosyntetická aktivita (Mahoney, Rood 1992, Horton et al. 2001). Kromě přírůstu dřeva se mění i velikost a tvar cév. Letokruhové rekonstrukce hladin podzemních vod jsou založeny na reakci růstu stromů a výšky hladiny podzemní vody na efektivní srážky (Perez-Valdivia, Sauchyn 2011).

Hladina podzemní vody bývá často spjata s hladinou blízkého toku nebo jezera či umělé vodní nádrže. Ekologické poměry v okolí řeky nebo jezera mají své charakteristické rysy. Pokud není habitat antropogenně ovlivněn, bývá jeho heterogenita určovaná právě měnící se výškou hladiny podzemní vody, mimo to i naplavenými sedimenty.



Obrázek 17. Vývoj porostu v okolí koryta toku

upraveno podle: Schweingruber (1996)

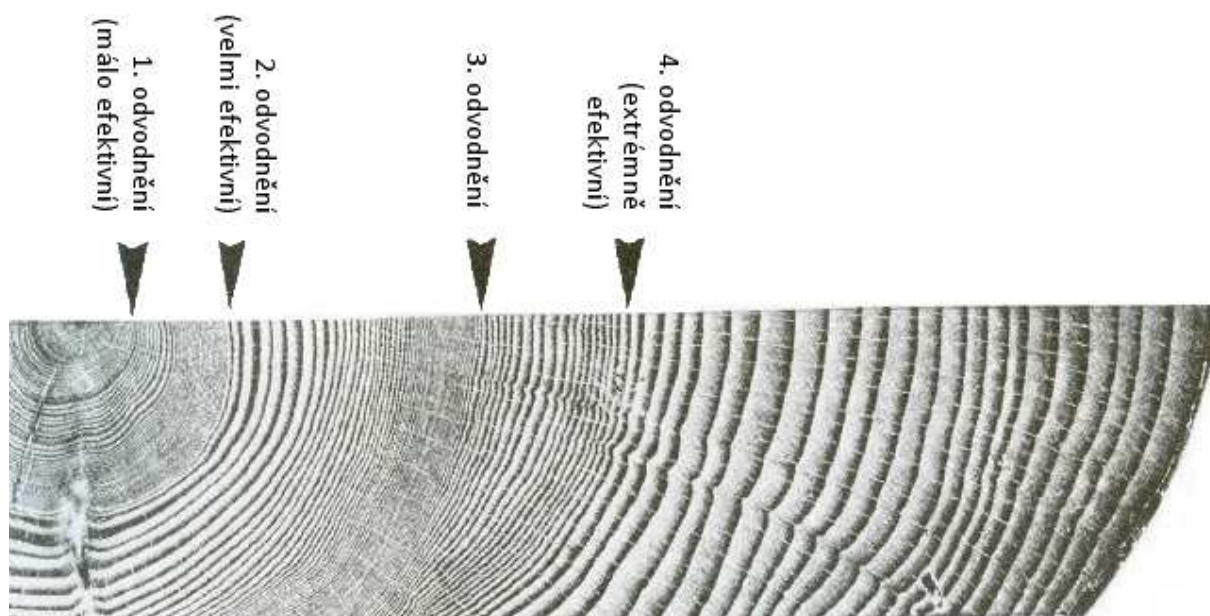
Na obrázku 17 vidíme rozdíly ve vegetačním pokryvu v závislosti na vzdálenosti od toku a dostupnosti povodňových vod. Hranice lesa na břehu toku bývá zasažena zejména erozí, také může být často zaplavována. Někdy dochází k vývratu stromu při příliš podmáčeném podloží nebo podekletém břehu (a). Přímo uvnitř koryta bývají rostliny vystavovány cyklickému zaplavování a vysoušení v důsledku měnící se hladiny. Rozmanitost porostu je ovlivňována silou proudu. Dřeviny se zde zřídka dožívají více než deseti let (b). Stromy na vyvýšených štěrkových a písčitých náspech bývají zaplavovány občasně, obvykle se dožívají více než dvaceti let (c). Pokud je les chráněn hrází, bývá zaplaven pouze neobvykle velkými povodněmi (d) (Schweingruber 1996).

Pokud dojde k přeložení toku nebo jeho přirozeného posunu vlivem eroze, mění se v okolí hladina podzemní vody a s ní i ekologické podmínky pro vegetaci (Schweingruber 1996). Voda i živiny pak mohou být v půdě v poměrně malém množství a v blízkosti kořenového systému tak mohou být tyto zdroje rychle vyčerpány. Dostatečný příjem těchto nezbytných látek je zajištěn neustálým růstem kořenů do nových nevyčerpaných oblastí půdy. Absorpční povrch rostlina zvyšuje tvorbou nových postranních kořenů, kořenových vlásků případně i symbiózou s houbovými hyfami (Votrubová 2001). Pokud však dojde k výraznému odvodnění ve velmi krátké době, kořenový systém se nestihne přizpůsobit náhlé změně. To mívá za následek obvykle uhynutí stromů během několika let (Schweingruber 1996).

Dlouhodobé zaplavení představuje rovněž problém pro dřeviny, jejichž kořenový systém pak nemá dostatečný příjem kyslíku a živin (Tremel 2007). V takovém případě dochází ke změnám ve struktuře letokruhů a k jejich zúžení (Bayard, Schweingruber 1989). Podle Schweingruber (1996) dochází při zaplavení také ke snížení počtu pórů ve dřevě a v případě následného odvodnění dojde k náhlému růstovému uvolnění (viz obrázek 18).

Vysoušení rašeliniště bývá doprovázeno nestabilitou půdy, což může způsobit naklonění kmene stromu a s tím spojenou tvorbu reakčního dřeva, které můžeme rozpoznat v řezu kmenem a následně datovat (Schweingruber 1996).

Někdy však drastické změny anatomie dřeva znemožní datování pomocí letokruhových chronologií, neboť není možné rozeznat jarní a letní dřevo, někdy se mohou vytvořit i nepravidelné pryskyřičné kanálky (Schweingruber 1996).



Obrázek 18. Růstová uvolnění po opakovaném odvodňování rašeliniště

upraveno podle: Schweingruber (1996)

4.4. Oceánské proudění

Oceánské (mořské) proudy jsou přirozené pohyby vodních mas ve světovém oceánu, spolu s vlněním a dmutím. Jde o složitý systém pohybů, kdy v rámci jednoho proudu existuje i řada vírů a protiproudů. Pohyb není stálý v čase, jeho směr a rychlost se mění prakticky neustále. K významným změnám, které se dotýkají i suchozemské flóry a fauny (a člověka), však dochází relativně pomalu, a jejich příčiny zatím nejsou zcela objasněny. Tyto proudy se výrazně podílejí na morfologickém utváření břehů a vytvářejí v jednotlivých oceánech uspořádané koloběhy proudění, které jsou v úzké souvislosti s celkovou cirkulací atmosféry (Janský 1992).

Řeky splachují do moří a oceánů velké množství dřeva splaveného z různých koutů kontinentů. Toto náplavové dřevo pak nacházíme na pobřeží často daleko od svého místa

původu. Zkoumáním těchto vyplavených kusů můžeme sledovat oceánské proudy, čehož je dosahováno tak, že zjistíme, z jaké oblasti vzorek pochází. K tomu je potřeba využít dendrochronologii (Giddings 1952).



Obrázek 19. Náplavové dřevo

převzato z: Thody (2009)

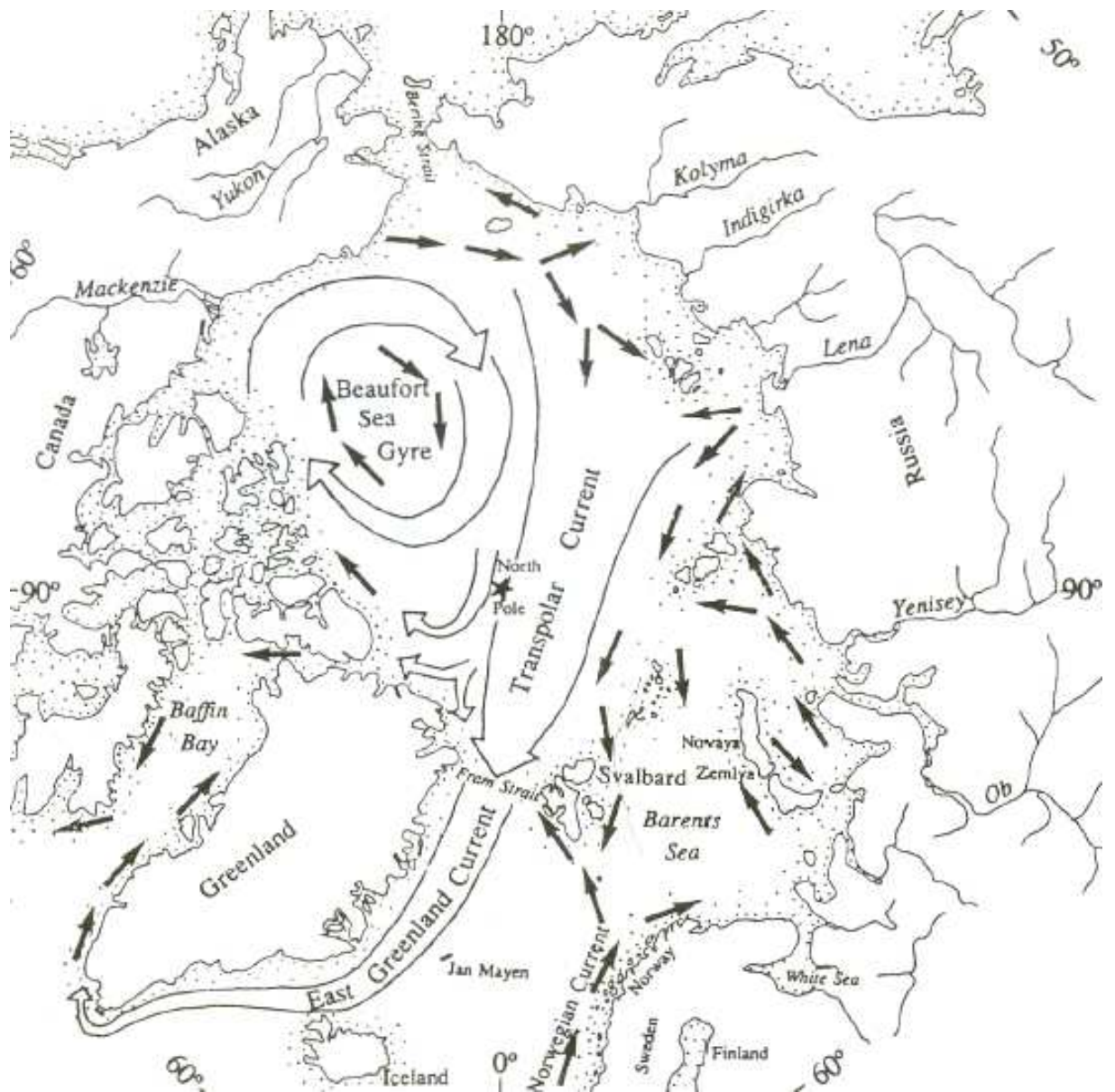
Podle Schweingruber (1996) probíhá výzkum zejména na pobřeží severních moří na severní polokouli. Výskyt naplavených kusů dřeva je častý na pobřeží boreální zóny a tundry. Kromě oceánských proudů můžeme použít letokruhové sekvence i k dendroklimatologickým výzkumům. Dřevo bývá po velkou část své cesty zamrznuté v plovoucím ledu. Häggblom (1982) ve své studii tvrdí, že pokud dřevo pluje nezamrzlé samo ve vodě, po 6 až 17 měsících se nasytí vodou a potopí. Naproti tomu v jiné studii Eggertsson (1993) uvádí, že obvyklá doba potřebná pro uražení tak dlouhé cesty je minimálně šest let.

Již v 19. století probíhaly diskuse o původu a stáří naplaveného dřeva. Už tehdy bylo zjištěno, že jsou kmeny unášeny na sever a poté jsou transportovány oceánskými proudy stovky a tisíce kilometrů.

Pouhá identifikace dřeva nám většinou mnoho informací neposkytne, protože často nacházené kmeny rodu *Larix*, *Picea* či *Pinus* jsou po světě velmi rozšířené. Věk stromů ale může být poměrně spolehlivě zjištěn. Pomoci mohou i jiné nalezené předměty antropogenního původu (např. Häggblom 1982).

Arktické proudy transportují obrovské masy dřeva a vyplavují je na různá místa. Hlavními proudy jsou Transpolární a Východní Grónský proud, které přepravují ledové kry

z pobřeží Sibiře k Baffinovu ostrovu. Led a dřevo unášené řekou Mackenzie je unášené cyklickým proudem „Beaufort Sea Gyre“ (Schweingruber 1996).



Obrázek 20. Systém proudů v severní polární oblasti

převzato z: Eggertsson (1993)

5. Metody

Cílem meta-analýzy bylo najít výzkumné články týkající se všech jevů, kterými se tato práce zabývala. Nalezení většího počtu studií bylo umožněno díky přístupem do placených elektronických databází z počítačových účtů Univerzity Karlovy v Praze. Díla byla vyhledávána převážně s pomocí internetu přes Web of Knowledge či Google Scholar. V dnešní době lze odborné články nalézt i běžným internetovým vyhledávačem, jako je Google. Klíčová slova, která byla zadávána do vyhledávače, byla pochopitelně v drtivé většině případů v angličtině. Téměř při každém vyhledávání bylo zadáno slovo „dendrochronology“ nebo „tree-ring“, kterými byly z výsledků odstraněny práce týkající se sice výzkumu požadovaného jevu, ale na jiné než dendrochronologické bázi. K těmto heslům byla poté připojena další hesla podle toho, který jev zrovna bylo potřeba vyhledat: pro povodně – „floods“, pro podzemní vodu buď „groundwater“, nebo „water table“, pro oceánské proudění – „ocean currents“, popřípadě „driftwood“ a pro vyhledávání vývoje koryta bylo používáno více hesel, např. „fluvial geomorphology“, „sediment“ či „erosion“. Bibliografický seznam českých dendrochronologických publikací (2012), který je dostupný na internetu, byl nápomocen při hledání tuzemských studií, přestože není zcela kompletní. Články byly stahovány například ze stránek jstor.org, sciencedirect.com (/Scopus), ResearchGate.net, onlinelibrary.wiley.com a dalších. Na mnohé je potřeba být registrovaným členem. Služby bývají placené, zdarma je obvykle k dispozici pouze abstrakt, proto je při hledání velkou výhodou být přihlášen přes instituci, která platí licenci u těchto databází. Přibližně 20 % nalezených článků pak pochází z tištěných zdrojů, u kterých musím podotknout, že je oproti textu v elektronické podobě trochu znesnadněno vyhledávání v textu, přesto má práce s tištěnou knihou stále své přednosti a v případě kratších prací ji osobně považuji za příjemnější.

Z nalezeného odborného článku pak byly vypisovány základní charakteristiky do tabulky, aby byl seznam přehledný. Jednalo se o základní údaje, jako je citace článku, lokalita, na které byl výzkum proveden, hydrologický jev, analyzované druhy dřevin, metodika odběru vzorků, sledované indikátory disturbance, časové období, a časové rozlišení výsledků.

6. Výsledky meta-analýzy

Meta-analýzou dendrohydrologické literatury bylo vyhodnoceno dohromady 40 odborných článků, z toho pouze 4 z českého prostředí. Z tohoto celkového počtu se jich 8 (0 českých) zaměřuje na povodně, 8 (3) na fluviální geomorfologii, 12 (0) na výšku hladiny podzemní vody či jezera, 6 (0) na mořské (nebo s ním spojené atmosférické) proudění a 6 (1) se zaměřuje na různé komplexnější jevy spojené s hydrologií. Základní parametry studií jsou uvedeny v tabulce.

Období, kterým se studie zabývá, je spíše orientační, u velké části studií toto období není uvedeno a bylo odvozeno ze stárí zkoumaných stromů. Nejedná se tedy ve většině případů o souvislou chronologii, nýbrž o celkový rozsah zkoumaného období. Většina prací byla prováděna s ročním rozlišením, u některých bylo kombinováno více metod výzkumu a bylo tak dosahováno přesnějších výsledků.

Nejvyšší druhové zastoupení v nalezených studiích měl rod *Picea*, na druhém místě pak *Pinus*. To odpovídá faktu, že jsou pro dendrochronologické datování častěji využívány jehličnaté stromy. Z listnatých byly zastoupeny nejvíce rody *Quercus*, *Alnus* a *Populus*, ovšem ve výrazně menší míře než zmiňované jehličnany.

V případě povodní byly nejčastěji sledovanými indikátory růstové jizvy a růstové změny. U hladiny podzemní vody jednoznačně převažují náhlé růstové změny. Vývoj koryta toku je zpravidla zkoumán za pomoci datování exhumovaných kořenů a růstových jizev. Práce zabývající se mořskými proudy jsou založeny vždy na srovnávání chronologií nalezeného náplavového dřeva s chronologiemi na potencionálních místech původu. (Zkoumané jevy uvedené v tabulce u mořského a atmosférického proudění jsou spíše doplňkem výzkumu.)

Meta-analýza dendrohydrologické literatury

Citace studie	Lokalita	Hydrologický jev	Analyzované druhy	Metodika odběru	Sledované indikátory	Časové rozpětí	Přesnost
ZIELONKA ET AL. 2008	Tatry (Polsko)	povodně	48 <i>Picea abies</i>	vývrt příčný řez	jizvy	1928–2005	rok
PEREZ-VALDIVIA, SAUCHYN 2011	Alberta (Kanada)	hladina podzemní vody	<i>Pseudotsuga menziesii</i> <i>Pinus banksiana</i>	není uvedeno	není uvedeno	1341–2004	rok
LEPAGE, BÉGIN 1996	jezero Bienville, Québec (Kanada)	extrémní hladina jezera	<i>Alnus crispa</i> <i>Picea mariana</i>	příčný řez	jizvy reakční dřevo věková strukt.	1881–1979	rok
STOCK ET AL. 2012	jihozápadní Austrálie	hladina podzemní vody	6 <i>Pinus pinaster</i>	příčný řez	růstové změny	1965–2003	rok
PAYETTE, DELWAIDE 1991	povodí řeky Boniface, Québec (Kanada)	hladina podzemní vody	<i>Picea mariana</i>	příčný řez	reakční dřevo růstové změny věková strukt.	16. st.–1987	rok
AMOS 2006	jezera Grand Lake a Verret, Louisiana (USA)	hladina jezera a bažiny	62 <i>Taxodium distichum</i>	vývrt	růstové změny	1877–2005	rok
YANG ET AL. 2011	povodí řeky Hei He (Čína)	rekonstrukce ročního odtoku	92 <i>Qilian juniper</i>	217 vzorků (konkrétně není uvedeno)	růstové změny	575–2006	rok
EDVARDSSON ET AL. 2012	jižní Švédsko	paleohydrologická rekonstrukce	<i>Pinus sylvestris</i>	155 příčný řez	rok klíčení rok úmrtí růstové změny	5284–4559 př. n. l.	rok
BOLLATI ET AL. 2012	jižní Toskánsko (Itálie)	vodní eroze	45 <i>Pinus pinea</i>	vývrt příčný řez	růstové změny reakční dřevo exhum. kořeny jizvy	1994–2009	rok

Tabulka 1. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou

MALIK, MATYJA 2008	řeka Bílá Opava (ČR)	vodní eroze	23 <i>Picea abies</i>	60 příčný řez	exhum. kořeny	1994–2004	rok
MALIK 2008	jižní Polsko	vodní eroze	28 <i>Fagus sylvatica</i>	53 příčný řez	exhum. kořeny jizvy růstové změny	1949–2003/05	rok
WROŃSKA- WAEACH 2009	Karpaty (Polsko)	vodní eroze	<i>Picea abies</i>	42 příčný řez	exhum. kořeny TRD jizvy	1944–2007	rok
LIU ET AL. 2007	řeka Hei He (Mongolsko)	odezva hydrologického režimu	<i>Populus euphratica</i>	188 výtvt	růstové změny	1954–1999	měsíc (korelace s odtokem)
DUFOUR, PIÉGAY 2008	řeka Ain (Francie)	povodně/ sedimentace	195 <i>Fraxinus excelsior</i>	195 výtvt	růstové změny	1959–2002	rok
HEUZÉ ET AL. 2009	řeka Rýn (Francie)	odezva hydrologického režimu	117 <i>Hedera helix</i>	234 výtvt	růstové změny	1950–2004	rok (měsíc - korelace)
MOIR ET AL. 2010	severní Skotsko	hladina podzemní vody	<i>Pinus sylvestris</i>	49 vzorků	rozšíř. porostu vymírání růstové změny	cca 3200–3000 př. n. l.	rok
LAMBS ET AL. 2006	jihovýchodní Francie	hladina podzemní vody	<i>Populus nigra</i>	výtvt příčný řez	průtoky mízy vodivost xylému růstové změny šířka běle	1960–2004	rok
BÉGIN 2001	jezera Cleanwater a Bienville, Québec (Kanada)	extrémní hladina jezera	není uvedeno	příčný řez	jizvy reakční dřevo	1840–1996	část vegetační sezony

Tabulka 1, pokračování. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou

TREMBLAY, MYSAK 1997	S. L. oceán	atmosférické proudění	<i>Pinus, Picea, Larix, Tsuga, Salix, Betula, Populus</i>	299 vzorků náplav. dřeva	morfolog. buňky	6900 př. n. l. – 1997	není uvedeno
HÄGGBLUM 1982	okolí Svalbard	mořské proudění	<i>Larix, Picea, Pinus</i>	náplavové dřevo	pouze srovnání chronologií	7500 př. n. l. – 1980	není uvedeno
JOHANSEN 1999	Barentsovo moře	mořské proudění	<i>Pinus, Picea, Larix</i> 447 kousků, 34 kmenů	vývrt příčný řez z náplav. dřeva	anatomie dřeva	převážně 1940–1970	rok
FOSTER, BROOKS 2001	Florida (USA)	hladina podzemní vody	28 <i>Pinus elliotii</i> 21 <i>Pinus palustris</i>	49 vývrt	růstové změny	1941–1997	rok (měsíc – korelace)
TARDIF, BERGERON 1999	jezero Duparquet, Québec (Kanada)	povodně	153 <i>Fraxinus nigra</i>	vývrt příčný řez	supprese růst. uvolnění počet sazenic růstové změny	1670–1989	rok
TATARINOV ET AL. 2005	okolí města Peno (Rusko)	hladina podzemní vody	<i>Picea abies</i> <i>Populus tremula</i> <i>Betula alba</i> <i>Alnus incana</i> <i>Sorbus aucuparia</i>	vývrt	obvod kmene růstové změny	1999–2002	dva týdny *
SCHÖNGART ET AL. 2005	rezervace Mamiraua a Amana (Brazílie)	povodně (periodické)	20 <i>Macaranga acaciifolium</i>	40 vývrt	struktura a hustota dřeva růstové změny	cca 1600–2000	rok
STRAVINSKIENE, STASYTYTE 2005	jezera Kreivasis a Duobulis (Litva)	hladina jezera	<i>Pinus sylvestris</i>	110 vývrt	růstové změny	1919–2002	rok
TARDIF ET AL. 2010	jezero Duparquet, Québec (Kanada)	hladina jezera	81 <i>Thuja occidentalis</i> 20 <i>Fraxinus nigra</i>	253 příčný řez	jizvy cévy	1655–1990	rok

* měření obvodů probíhala od dubna do října jednou za dva týdny

Tabulka 1, pokračování. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou

BALLESTEROS ET AL. 2010	pohoří Gredos (Španělsko)	bleskové povodně	<i>Alnus glutinosa</i> <i>Fraxinus angustifolia</i> <i>Quercus pyrenaica</i>	54 klínový a příčný řez	jizvy anatomie dřeva	není uvedeno (výskyt povodní 1981–2005)	rok
GOTTESFELD 1996	řeka Skeena, Britská Kolumbie (Kanada)	povodně	3 <i>Thuja plicata</i> 12 <i>Alnus incana</i> 3 <i>Populus tremuloides</i> 2 <i>Populus trichocarpa</i> 7 ostatní	není uvedeno	jizvy	není uvedeno	rok
MALIK 2006a	řeka Mala Panew (Polsko)	vývoj koryta	<i>Pinus silvestris</i> <i>Alnus glutinosa</i>	vývrt příčný řez	nesouměr. růst exhum. kořeny	1883–2000	rok
ANDERSON, MITSCH 2008	řeka Olentangy, Ohio (USA)	povodně	19 <i>Acer negundo</i> 14 <i>Aesculus glabra</i> 10 <i>Acer saccharinum</i> 30 ostatní	vývrt	růstové změny	1991–2004	rok
WILLMS ET AL. 1998	jižní Alberta (Kanada)	hladina podzemní vody	<i>Populus angustifolia</i> <i>Populus balsamifera</i> <i>Populus deltoides</i>	vývrt	růstové změny	1983–1992	rok
JOHANSEN 1998	Jan Mayen (Norsko)	mořské proudění	<i>Pinus</i> <i>Picea</i> <i>Larix sibirica</i>	příčný řez vývrt z 356 vzorků náplav. dřeva	anatomie dřeva	1739–1979	rok
EGGERTSSON 1994	oblast mezi Beaufortovým m. a Grónskem	mořské proudění	<i>Picea glauca</i>	vývrt příčný řez z 206 vzorků náplav. dřeva	pouze srovnání chronologií	1600–1989	rok
BÉGIN ET AL. 2010	La Grande, Québec (Kanada)	vliv umělé vodní nádrže	<i>Picea mariana</i>	vývrt	růstové změny TRD reakční dřevo	převážně 1980–1996	rok
ST. GEORGE 2010	řeka Red River (Kanada)	povodně	<i>Quercus macrocarpa</i>	není uvedeno	cévy obsah Mg,Mn,Sr	1648– počátek 21. stol	není uvedeno

** k dispozici byl pouze abstrakt a úvod článku

Tabulka 1, pokračování. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou

TREML, ČERMÁK 2008	Jelení potok (ČR)	vývoj koryta	<i>Alnus glutinosa</i> <i>Acer platanoides</i>	vývrt příčný řez	exhum. kořeny pohřbený kmen jizvy růstové změny reakční dřevo struktura dřeva	1919–2002	rok
TREML 2007	řeka Blanice (ČR)	vývoj koryta	<i>Picea abies</i>	vývrt	exhum. kořeny jizvy růstové změny	cca 1891–2004	rok
KOLÁŘ, RYBNÍČEK 2011 **	řeka Morava (ČR)	říční sedimentace	37 <i>Quercus</i>	–	–	kolem 1660 př. n. l.; 560 n. l.	–
RYBNÍČEK ET AL. 2006	jižní Morava (ČR)	vodní režim	<i>Quercus robur</i> <i>Quercus petraea</i>	vývrt	počet letokruhů v běli	cca 1985–2005	rok

Tabulka 1, pokračování. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou

7. Diskuze

Dendrohydrologický výzkum je dle mého názoru geograficky rozmístěn dosti nerovnoměrně. V případě dendrochronologie může být hlavním omezením nevhodné složení dřevin v dané lokalitě nebo jejich úplná absence. V případě rovníkových oblastí může být problémem nevýraznost letokruhů, případně zcela nerozeznatelné sezónní rozdíly ve struktuře dřeva. Na základě nalezených studií a prohledaných nejrozličnějších tematicky souvisejících materiálů však usuzuji, že zmíněná nerovnoměrnost nepramení z nevhodnosti aplikace dendrochronologických metod v dané oblasti, ani z absence hydrologických jevů, které je možno dendrochronologicky zkoumat. Spíše se domnívám, že jde o metodu, která teprve dosáhne globálního rozšíření a pronikne i do dalších koutů světa. Příkladem může být právě Česká republika, jejíž dendrohydrologické práce čítají opravdu jen několik málo exemplářů. Při hledání odborných článků na toto téma jsem narazil na řadu dendrogeomorfologických studií, které jsou zřejmě ve spektru dendrochronologické literatury zastoupeny častěji. To platí i pro území České republiky. Podle informací z bibliografického seznamu českých dendrochronologických publikací (2012) však u nás převládá využití letokruhových chronologií v archeologii a dataci starožitností a historických staveb.

Dendrochronologické metody aplikované na hydrologické jevy a fluvialní geomorfologii využívá v českém prostředí jen několik autorů (např. Tremli 2007, Tremli, Čemák 2008, Rybníček et al. 2006, Kolář, Rybníček 2011). V předchozích kapitolách již byly jasně nastíněny základní důvody, proč zkoumat hydrologické jevy, v první řadě ty, které mohou mít katastrofický průběh. Považuji proto za vhodné rozšiřovat výzkum zejména povodní a říční eroze i na území České republiky. Dendrochronologie je pouze jednou z metod průzkumu těchto jevů, osobně ji však považuji za velice zajímavou a poměrně efektivní a přesnou.

Naopak poměrně hojný výskyt dendrohydrologických prací je v Severní Americe. Často jsou zkoumány výkyvy hladin kanadských jezer (Lepage, Bégin 1996, Bégin 2001), nebo podzemní voda (Payette, Delwaide 1991, Perez-Valdivia, Sauchyn 2011, Willms et al. 1998). Vysoké hladiny jezera bývají datovány např. sledováním *suppresse*, růstového uvolnění či jiných růstových výkyvů (Tardif, Bergeron 1999) nebo pomocí růstových jizev a reakčního dřeva způsobeného březní (vlnovou) erozí (Tardif et al. 2010). Vývoj hladiny podzemní vody byl sledován i v Austrálii (Stock et al. 2012), Rusku (Tatarinov et al. 2005), na Floridě (Foster,

Brooks 2001) či ve Skotsku (Moir et al. 2010). Nejčastějším indikátorem byly prudké růstové změny.

Specifickým jevem je pak oceánské (mořské) proudění, jehož dendrochronologický výzkum se od ostatních odlišuje. Je zkoumáno pouze mrtvé náplavové dřevo, jehož letokruhové chronologie se následně srovnávají s chronologiemi z oblastí, které by mohly odpovídat místu původu dřevin. Tyto práce bývají zaměřeny na severní polární oblast. Mrtvé dřevo sice často není ve stavu ideálním pro dendrochronologické datování, výhodou však je možnost odebírání přírůstkových kotoučů, které se laboratorně analyzují poněkud snadněji a mohou poskytovat více informací než pouhé vývrty. Díky velkému množství vyplaveného dřeva na pobřeží je snazší odebrat vyšší množství vzorků (např. Johansen 1998, Eggertsson 1994) než je běžné u prací zabývajících se jinými hydrologickými jevy. Kromě srovnávání letokruhových chronologií se výzkum může zabývat i anatomií vyplaveného dřeva (Johansen 1998) a samozřejmě vždy i druhovým složením nasbíraného materiálu.

Se studii zabývajícími se vývojem říčního koryta a strží jsem se setkal zejména v Evropě, a to jak v jižní (Bollati et al. 2012), tak především ve střední Evropě. Nejvíce z nalezených prací na toto téma se zabývá územím Polska (např. Wronska-Walach 2009, Malik 2008) a také České republiky. Tento fakt částečně příkládám i snaze nalézt dendrohydrologické práce právě z našeho území. Dendrochronologické metody výzkumu fluvialně-geomorfologických jevů jsou převážně založeny na dataci exhumovaných kořenů s nimi spojenými růstovými změnami, které se mohou při masivním zásahu projevit i v nadzemních částech stromu. Velice často dochází během eroze k poškození kořenového systému a tvorbě růstových jizev, kterých pak autoři ve většině případů také využívají. Dominantním způsobem odběru vzorků z kořenů je příčný řez, neboť poškození části kořene pro strom nemá destruktivní charakter.

Povodně jsou zkoumány autory z nejrůznějších koutů světa počínaje v Evropě opět Polskem (Zielonka et al. 2008), jejich studium za pomoci dendrochronologie probíhá také ve Francii (Dufour, Piégay 2008) a Španělsku (Ballesteros et al. 2010), dále můžeme nalézt několik výzkumů v Kanadě (St. George 2010, Gottesfeld 1996, Tardif, Bergeron 1999) či na území Spojených států amerických (Anderson, Mitsch 2008). Jediná nalezená práce z území Jižní Ameriky se zabývá periodickými povodněmi v oblasti Amazonky (Schöngart et al. 2005). Snad bez výjimky je hlavním indikátorem povodňových událostí zranění kmene stromu

způsobující tvorbu růstové jizvy. V případě periodických záplav v Amazonii tomu tak není, tam se autoři zabývali pouze vlastnostmi dřeva a růstovými změnami.

Úplnou absenci studií z území Afriky si vysvětluji především technickou zaostalostí většiny států, které se v současnosti zabývají zřejmě úplně jinými záležitostmi, než je dendrohydrologický výzkum.

Na základě provedené meta-analýzy jsem si všiml zajímavého faktu, že v rámci daného státu nebo území převažují obvykle práce jednoho nebo jen několika málo „dominantních“ autorů. Tuto skutečnost přikládám nízkému počtu vědců v tomto oboru. Vezmeme-li k tomu v úvahu užitečnost dendrochronologických metod, dá se předpokládat, že tato disciplína teprve dosáhne svého maximálního uplatnění na poli fyzicko-geografických disciplín.

8. Závěr

Dendrochronologie může využít celé řady růstových reakcí a anatomických změn dřevin postižených povodněmi, vodní erozí, sedimentací, proměnami ve výšce hladiny podzemní vody, nebo sledovat letokruhové chronologie naplaveného dřeva pro sledování pohybu vodních mas v mořích a oceánech. Může tak poskytnout cenné informace například i pro orgány územního plánování, nebo v budoucnu pomoci v ochraně přírody.

Použitelnost jednotlivých indikátorů se značně liší v závislosti na charakteru studovaného hydrologického jevu. Rozdíly nejsou vždy jen ve zkoumaných indikátorech, ale například i převažujícím způsobem odběru vzorků a jejich kvantitě. Toto se může lišit například dle podílu mrtvého dřeva a živých stromů.

Rozdíly jsou i v rozsahu zkoumaného období. Povodně, vývoj koryta toku a změny hladiny podzemní vody zkoumané na základě vzorků z živých stromů jsou obvykle zkoumány řádově v rozmezí desítek, nanejvýš několika stovek let. Výzkum na základě fosilního dřeva pak za pomoci křížového datování přináší výsledky i v rozsahu několika tisíců let.

Přestože se dendrochronologie jeví jako užitečná a široce aplikovatelná metoda nejen v souvislosti s hydrologií, ale i s klimatologií či svahovými pochody, je její využívání vědci poměrně nerovnoměrně geograficky rozmístěné. Z provedené meta-analýzy se jeví jako nejčastěji zkoumaná oblast Severní Ameriky, zejména Kanady, a samozřejmě Evropy. Objevují se i práce z Austrálie, Ruska, Brazílie nebo Číny. V meta-analýze se však nevyskytuje žádný výzkum z oblasti Afriky (a pochopitelně ani Antarktidy). Výjimkou je výzkum oceánských proudů, který je zaměřen na severní polární oblast, kde nacházíme obrovská kvanta datovatelných kusů dřeva, které čeká na budoucí prozkoumání.

Dendrochronologie zažívá v posledních desetiletích velký rozmach. Její uplatnění je možné po téměř celém světě tam, kde rostou dřeviny tvořící letokruhy. Z vyhledaných studií jsem se ujistil, že díky své přesnosti často při datování přírodních pochodů předčí sedimentologii či datování na základě obsahu radioaktivních izotopů.

Seznam použité literatury a zdrojů

- AMOS, J. B. (2006): Dendrochronological analysis of productivity and hydrology in two Louisiana swamps. Louisiana State University, Louisiana, 92 s.
- ANDERSON, CH. J., MITSCH, W. J. (2008): Tree basal growth response to flooding in a bottom land hardwood forest in central Ohio. *JAWRA*, 44, č. 6, s. 1512–1520.
- BANNAN, M. W. (1941): Variability in wood structure in roots of native Ontario conifers. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 68, č. 3, s. 173–194.
- BAKER, V. R., COSTA, J. E. (1987): Flood power. In: Mayer L., Nash D. (eds.): *Catastrophic Flooding*. Allen & Unwin, London, s. 1–21.
- BAKER, V. R., KOCHER, R. C., PATTON, P. C. (1988): *Flood Geomorphology*. Wiley, New York, 503 s.
- BALLESTEROS, J. A., STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M., BODOQUE, J. M., DÍEZ-HERRERO, A. (2010): Flash-flood impacts cause changes in wood anatomy of *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia* and *Quercus pyrenaica*. *Tree Physiology*, 30, č. 6, s. 773–781.
- BAYARD, M., SCHWEINGRUBER, F. H. (1989): Ein Baumgrenzstandort: Das Wildwasserbett der Maggia im Tessin, Schweiz. Eine dendroökologische Studie. *Botanica helvetica*, 101, č. 1, s. 9–28.
- BÉGIN, Y. (2001): Tree-Ring Dating of Extreme Lake Levels at the Subarctic–Boreal Interface. *Quaternary Research*, 55, č. 2, s. 133–139.
- BÉGIN, Y., PAYETTE, S. (1988): Dendroecological evidence of subarctic lake-level changes during the last three centuries in subarctic Quebec. *Quaternary Research*, 30, č. 2, s. 210–220.
- BÉGIN, Y., SIROIS, L., MEUNIER, C. (2010): The Effects of Hydroelectric Flooding on a Reservoir's Peripheral Forests and Newly Created Forested Islands. In: Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., Luckman, B. H. (eds.): *Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art*. Springer, Berlin, s. 241–256.
- Bibliografický seznam českých dendrochronologických publikací (2012): Dendrochronologická společnost, <http://dendrochronologie.cz> (3. 5. 2013).
- BODOQUE, J. M., DÍEZ-HERRERO, A., MARTÍN-DUQUE, J. F., RUBIALES, J. M., GODFREY, A., PEDRAZA, J., CARRASCO, R. M., SANZ, M. A. (2005): Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: Two examples from Central Spain. *Catena*, 64, č. 1, s. 81–102.
- BOLLATI, I., DELLA SETA, M., PELFINI, M., DEL MONTE, M., FREDI, P., PALMIERI, E. L. (2012): Dendrochronological and geomorphological investigations to assess water erosion and mass wasting processes in the Apennines of Southern Tuscany (Italy). *Catena*, 90, s. 1–17.
- BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., SCHNEUWLY, D. M. (2008): Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches. *Catena*, 72, č. 1, s. 67–78.
- BURDA, J. (2010): Dendrogeomorfologická analýza dynamiky svahových pohybů v lokalitě Jezeří. *Geografie*, 115, č. 4, s. 440–460.
- CASTELLER, A., STÖCKLI, V., VILLALBA, R., MAYER, A. C. (2007): An Evaluation of Dendroecological Indicators of Snow Avalanches in the Swiss Alps. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 39, č. 2, s. 218–228.
- COOK, E., KAIRIUKSTIS, L. (1992): *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 393 s.

- COROMINAS, J., MOYA, J. (1999): Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in Llobregat river basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30, č. 1, s. 79–93.
- COSTA, J. E., O'CONNOR, J. E. (1995): Geomorphically effective floods. *Geophysical Monograph Series*, 89, s. 45–56.
- DUFOUR, S., PIÉGAY, H. (2008): Geomorphological controls of *Fraxinus excelsior* growth and regeneration in floodplain forests. *Ecology*, 89, č. 1, s. 205–215.
- ECKSTEIN, D. (1972): Tree-ring research in Europe. *Tree-ring bulletin*, 32, s. 1–18.
- EDVARDSSON, J., LINDERSON, H., RUNDGREN, M., HAMMARLUND, D. (2012): Holocene peatland development and hydrological variability inferred from bog-pine dendrochronology and peat stratigraphy – a case study from southern Sweden. *Journal of Quaternary Science*, 27, č. 6, s. 553–563.
- EGGERTSON, O. (1994): Mackenzie River Driftwood – A Dendrochronological Study. *Arctic* 47, č. 2, s. 128–136.
- EGGERTSON, O. (1993): Origin of the driftwood in the coasts of Iceland, a dendrochronological study. *Jökull*, 43, s. 15–32.
- FANTUCCI, R., SORRISO-VALVO, M. (1999): Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy). *Geomorphology*, 30, č. 1, s. 165–174.
- FRIEDMAN, J. M., VINCENT, K. R., SHAFROTH, P. B. (2005): Dating floodplain sediments using treering response to Burian. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, č. 9, s. 1077–1091.
- GÄRTNER, H. (2007): Glacial landforms, tree rings – Dendrogeomorphology. In: Elias, S., A.: *Encyclopedia of Quaternary Science*. University of London, s. 979–988.
- GÄRTNER, H., SCHWEINGRUBER, F. H., DIKAU, R. (2001): Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19, č. 1, s. 81–91.
- GIDDINGS, J. L. (1952): Driftwood and problems of Arctic sea currents. *Proceedings of the American Philosophical society*, 96, č. 2, s. 129–142.
- GOTTESFELD, A. S. (1996): British Columbia flood scars: maximum flood-stage indicators. *Geomorphology*, 14, č. 4, s. 319–325.
- GOTTESFELD, A. S., GOTTESFELD, L. D. (1990): Floodplain dynamics of a wandering river, dendrochronology of the Morice river, British Columbia, Canada. *Geomorphology*, 3, č. 2, s. 159–179.
- GRIFFIN, D. (2013): Laboratory of Tree-Ring Research to Debut New Home to Community, <http://uanews.org/story/laboratory-of-tree-ring-research-to-debut-new-home-to-community> (9. 5. 2013).
- HÄGGBLUM, A. (1982): Driftwood in Svalbard as an indicator of sea ice conditions. *Geografiska Annaler*, 64, č. 1/2, s. 81–94.
- HEUZÉ, P., DUPOUEY, J.-L., SCHNITZLER, A. (2009): Radial growth response of *Hedera helix* to hydrological changes and climatic variability in the Rhine floodplain. *River Research and Applications*, 25, č. 4, s. 393–404.
- HITZ, O. M., GÄRTNER, H., HEINRICH, I., MONBARON, M. (2008): Wood anatomical changes in roots of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) after exposure. *Dendrochronologia*, 25, č. 3, s. 145–152.
- HLADNÝ, J. (2007): Fakta a mýty o povodních. In: Langhammer, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, s. 41–50.

- HOLUŠKA, J., TURČÁNI, M., VEJPUŠKOVÁ, M. (2007): Využití dendrochronologie v ochraně lesa. Zpravodaj ochrany lesa, 14, s. 46–50.
- HORTON, J. L., KOLB, T. E., HART, S. C. (2001): Physiological response to groundwater depth varies among species and with river flow regulation. *Ecological Applications*, 11, č. 4, s. 1046–1059.
- HUPP, C. R., OSTERKAMP, W. R., THORNTON, J. L. (1987): Dendrogeomorphic evidence and dating of recent debris flows on Mount Shasta, northern California. *Environmental Geology and Water Sciences*, 6, č. 2, s. 121–128.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working Group, <http://www.slvwd.com/agendas/Full/2007/06-07-07/Item%2010b.pdf> (23. 4. 2013).
- JANSKÝ, B. (1992): *Geografie moří a oceánů*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 138 s.
- JOHANSEN, S (1999): Origin of driftwood in north Norway and its relevance for transport routes of drift ice and pollution to the Barents Sea. *The Science of the Total Environment*, 231, č. 2, s. 201–225.
- JOHANSEN, S (1998): The origin and age of driftwood on Jan Mayen. *Polar Research*, 17, č. 2, s. 125–146.
- JONKMAN, S. N. (2005): Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural hazards*, 34, č. 2, s. 151–175.
- KENT, M., OWEN, N. W., DALE, P., NEWNHAM, R. M., GILES, T. M. (2001): Studies of vegetation burial: a focus for biogeography and biogeomorphology?. *Progress in Physical Geography*, 25, č. 4, s. 455–482.
- KLEMEŠ, V. (1989): The improbable probabilities of extreme floods and droughts. In: Starosolszky, O., Melder, O. M. (eds.): *Hydrology of disasters*. James and James, London, s. 43–51.
- KOLÁŘ, T., RYBNÍČEK, M. (2011): Dendrochronological and radiocarbon dating of subfossil wood from the Morava river basin. *Geochronometria*, 38, č. 2, s. 155–161.
- KOTRBA, Š. (2002): *Povodeň v Čechách*, <http://www.blisty.cz> (12. 5. 2013).
- KOZŁOWSKI, T. T., PALLARDY, S. G. (1997): *Physiology of woody plants*. Academic Press, San Diego, 411 s.
- LAMBS, L., LOUBIAT, M., GIREL, J., TISSIER, J., PELTIER, J.-P., MARIGO, G. (2006): Survival and acclimatation of *Populus nigra* to drier conditions after damming of an alpine river, southeast France. *Annals of forest science*, 63, č. 4, s. 377–385.
- LANGHAMMER, J. (ed.) (2007): *Povodně a změny v krajině*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 367 s.
- LARTER, R. (2012): *The Power of Words*, <http://raimalarter.blogspot.cz> (9. 5. 2013).
- LEPAGE, H., BÉGIN, Y. (1996): Tree-ring Dating of Extreme Water Level Events at Lake Bienville, Subarctic, Québec, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 28, č. 1, s. 77–84.
- LIU, P.-X., PENG, J.-F., CHEN, F.-H. (2007): Hydrological Response of *Populus euphratica* Olve. radial Growth in Ejinaa Banner, Inner Mongolia. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, č. 2, s. 150–156.
- MAHONEY, J. M., ROOD, S. B. (1992): Response of hybrid poplar to water table decline in different substrates. *Forest Ecology and Management*, 54, č. 1, s. 141–156.
- MALIK, I. (2006a): Contribution to understanding the historical evolution of meandering rivers using dendrochronological methods: example of the MaLa Panew River in southern Poland. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, č. 10, s. 1227–1245.

- MALIK, I. (2006b): Gully erosion dating by means of anatomical changes in exposed roots (Proboszczowicka plateau, southern Poland). *Geochronometria*, 25, s. 57–66.
- MALIK, I. (2008): Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland). *Geomorphology*, 93, č. 3, s. 421–436.
- MALIK, I., MATYJA, M. (2008): Bank erosion history of a mountain stream determined by means of anatomical changes in exposed tree roots over the last 100 years (Bílá Opava River - Czech Republic). *Geomorphology*, 98, č. 1, s. 126–142.
- MALIK, I., OWCZAREK, P. (2009): Dendrochronological records of debris flow and avalanche activity in a midmountain forest zone (Eastern Sudetes – Central Europe). *Geochronometria*, 34, č. 1, s. 57–66.
- MCCARTHY, D. P., LUCKMAN, B. H. (1993): Estimating ecesis for tree-ring dating of moraines: a comparative study from the Canadian Cordillera. *Arctic and Alpine Research*, 25, č. 1, s. 63–68.
- MCCARTHY, D. P., LUCKMANN, B. H., KELLY, P. E. (1991): Sampling height–age error correction for spruce seedlings in glacial forefields, Canadian Cordillera. *Arctic and Alpine Research*, 23, č. 4, s. 451–455.
- MCCORD, V. A. S. (1996): Fluvial process dendrogeomorphology: reconstruction of flood events from the southwestern United States using flood scarred trees. In: Dean, J. S., Meko, D. M., Swetnam, T. W. (eds.): *Tree Rings, Environment, and Humanity: Proceedings of the International Conference*. Radiocarbon, Tuscon, s. 689–699.
- MOIR, A. K., LEROY, S. A. G., BROWN, D., COLLINS, P. E. F. (2010): Dendrochronological evidence for a lower water-table on peatland around 3200–3000 BC from subfossil pine in northern Scotland. *The Holocene*, 20, č. 6, s. 931–942.
- MOYA, J., COROMINAS, J. (1996): Determination of the spatial and temporal activity of landslides based on tree-ring analysis. In: Senneset, K. (ed.): *Landslides (Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides, Trondheim)*. Balkema, Rotterdam, s. 321–326.
- PAYETTE, S., DELWAIDE, A. (1991): Variations séculaires du niveau d'eau dans le bassin de la rivière Boniface (Québec nordique) : une analyse dendroécologique. *Géographie physique et Quaternaire*, 45, č. 1, s. 59–67.
- PEREZ-VALDIVIA, C., SAUCHYN, D. (2011): Tree-ring reconstruction of groundwater levels in Alberta, Canada: Long term hydroclimatic variability. *Dendrochronologia*, 29, č. 1, s. 41–47.
- PIERSON, T. C. (2007): Dating young geomorphic surfaces using age of colonizing Douglas fir in southwestern Washington and northwestern Oregon, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, č. 6, s. 811–831.
- RYBNÍČEK, M., VAVRČÍK, H., HUBENÝ, R. (2006): Determination of the number of sapwood annual rings in oak in the region of southern Moravia. *Journal of Forest Science*, 52, č. 3, s. 141–146.
- ŘEŽÁČOVÁ, D. (2003): Posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 79 s.
- SAHLING, I., SCHMIDT, K. H., GÄRTNER H. (2003): Dendrogeomorphological analysis of the enlargement of cracks at the Wellenkalk-scarp in the southern Thuringia Basin. *Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, 1, s. 125–130.

- SHRODER, J. F. (1978): Dendrogeomorphological Analysis of Mass Movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary research*, 9, č. 2, s. 168–185.
- SCHÖNGART, J., PIEDADE, M. T. F., WITTMANN, F., JUNK, W. J., WORBES, M. (2005): Wood growth patterns of *Macaranga acaciifolia* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. *Oecologia*, 145, č. 3, s. 454–461.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (2001): *Dendroökologische Holzanatomie*. Paul Haupt, Bern, 472 s.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1996): *Tree rings and Environment - Dendroecology*. Paul Haupt, Bern, 609 s.
- SPEER, J. H. (2010): *Fundamentals of tree-ring research*. The University of Arizona Press, Tuscon, 333 s.
- ST. GEORGE, S., NIELSEN, E. (2003): Palaeoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring signatures. *Holocene*, 13, č. 4, s. 547–555.
- ST. GEORGE (2010): Dendrohydrology and extreme floods along the Red River, Canada. In: Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., Luckman, B. H. (eds.): *Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art*. Springer, Berlin, s. 277–279.
- STOCK, W. D., BOURKE, L., FROEND, R. H. (2012): Dendroecological indicators of historical responses of pines to water and nutrient availability on a superficial aquifer in south-western Australia. *Forest Ecology and Management*, 264, s. 108–114.
- STOFFEL, M. (2008): Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia*, 26, č. 1, s. 53–60.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2008): Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, č. 2, s. 187–202.
- STOFFEL, M., BOLLSCHWEILER, M. (2009): What Tree Rings Can Tell About Earth-Surface Processes: Teaching the Principles of Dendrogeomorphology. *Geography Compass*, 3, č. 3, s. 1013–1037.
- STOFFEL, M., PERRET, S. (2006): Reconstructing past rockfall activity with tree rings: Some methodological considerations. *Dendrochronologia*, 24, č. 1, s. 1–15.
- STRAVINSKIENE, V., STASYTYTE, I. (2005): Dynamics of annual radial increment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in forest ecosystems on the shores of lakes. *Ekológia*, 24, č. 2, s. 138–146.
- STRUNK, H. (1997): Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31, č. 1–2, s. 137–151.
- STRUNK, H. (1995): *Dendrogeomorphologische Methoden zur Ermittlung der Murfrequenz und Beispiele ihrer Anwendung*. Roderer, Regensburg, 196 s.
- SWISSRE (2009): *Natural catastrophes and man-made disasters in 2008*. Swiss Reinsurance Company Ltd., Economic Research and Consulting, Zurich, 43 s.
- SZYMCZAK, S., BOLLSCHWEILER, M., STOFFEL, M., DIKAU, R. (2010): Debris-flow activity and snow avalanches in a steep watershed of the Valais Alps (Switzerland): Dendrogeomorphic event reconstruction and identification of triggers. *Geomorphology*, 116, č. 1, s. 107–114.
- TARDIF, J., BERGERON, Y. (1997): Ice flood history reconstructed with tree-rings from the southern boreal forest limit, western Quebec. *Holocene*, 7, č. 3, s. 291–300.
- TARDIF, J., BERGERON, Y. (1999): Population Dynamics of *Fraxinus nigra* in Response to Flood-Level Variations, in Northwestern Quebec. *Ecological Monographs*, 69, č. 1, s. 107–125.
- TARDIF, J., KAMES, S., BERGERON, Y. (2010): Spring water levels reconstructed from ice-scared trees and cross-sectional area of earlywood vessels in tree rings from eastern

- boreal Canada. In: Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., Luckman, B. H. (eds.): Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art. Springer, Berlin, s. 257–261.
- TATARINOV, F., BOCHKAREV, Y., OLTCHEV, A., NADEZHINA, N., CERMAK, P. (2005): Effect of contrasting water supply on the diameter growth of Norway spruce and aspen in mixed stands: a case study from the southern Russian taiga. *Annals of forest science*, 62, č. 8, s. 1–10.
- THODY, P. (2009): Happy Birthday Oregon, <http://www.roadtripamerica.com> (1. 5. 2013).
- TREMBLAY, L. - B., MYSAK, L. A. (1997): Evidence from driftwood records for century-to-millennial scale variations of the Arctic and northern North Atlantic atmospheric circulation during the Holocene. *Geophysical Research Letters*, 24, č. 16, 2027–2030.
- TREML, V. (2007): Možnosti dendrochronologie při určení změn reliéfu vyvolaných povodněmi, případová studie Babí potok. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, s. 187–196.
- TREML, V., ČERMÁK, P. (2008): Past and recent evolution of the Jelení potok floodplain (Opava catchment, Czech republic). *Acta Universitatis Carolinae Geographica* 1–2, s. 183–198.
- TROUET, V., HANECA, K., COPPIN, P., BEECKMAN, H. (2001): Tree ring analysis of *Brachystegia spiciformis* and *Isobertinia tomentosa*: Evaluation of the ENSO-signal in the miombo woodland of eastern Africa. *Iawa Journal*, 22, č. 4, s. 385–399.
- VANDEKERCKHOVE, L., MUYS, B., POESEN, J., DE WEERDT, B., COPPÉ, N. (2001): A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena*, 45, č. 2, s. 123–161.
- VILÍMEK, V. (2007): Vliv extrémních povodní na reliéf krajiny. In: Langhammer, J. (ed.): Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, s. 199–207.
- VOTRUBOVÁ, O. (2001): Anatomie rostlin. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze, Karolinum, Praha, 89 s.
- WEIJERS, S., BROEKMAN, R., ROZEMA, J. (2010): Dendrochronology in the High Arctic: July air temperatures reconstructed from annual shoot length growth of the circumarctic dwarf shrub *Cassiope tetragona*. *Quaternary Science Reviews*, 29, č. 27, s. 3831–3842.
- WILES, G. C., CALKIN, P. E., JACOBY, G. C. (1996): Tree-ring analysis and Quaternary geology: Principles and recent applications. *Geomorphology*, 16, č. 3, s. 259–272.
- WILLMS, J., ROOD, S. B., WILLMS, W., TYREE, M. (1998): Branch growth of riparian cottonwoods: a hydrologically sensitive dendrochronological tool. *Trees*, 12, č. 4, s. 215–223.
- WINTER, L. E., BRUBAKER, L. B., FRANKLIN, J. F., MILLER, E. A., DEWITT, D. Q. (2002): Initiation of an old-growth Douglas fir stand in the Pacific Northwest: a reconstruction from tree-ring records. *Canadian Journal of Forest Research*, 32, č. 6, s. 1039–1056.
- WORBES, M. (1995): How to measure growth dynamics in tropical trees - A review. *Iawa Journal*, 16, č. 4, s. 337–351.
- WROŇSKA-WAŁEACH, D. (2009): Dendrogeomorphological analysis of headwater area in the Gorce Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 43, s. 97–114.
- YANG, B., QIN, CH., SHI, F., SONECHKIN, D. M. (2011): Tree ring-based annual streamflow reconstruction for the Heihe River in arid northwestern China from AD 575 and its implications for water resource management. *The Holocene*, 22, č. 7, s. 773–784.

- YANOVSKY, T. M. (1983): Evidence of floods on the Potomac River from anatomical abnormalities in the wood of flood-plain trees. US Geological Survey Professional Paper 1296, 42 s.
- YANOVSKY, T. M., JARRETT, R. D. (2002): Dendrochronologic evidence for the frequency and magnitude of paleofloods. In: House, P. K., Levish, D. R., Webb, R. H., Baker, V. R. (eds.): Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. American Geophysical union Monograph, Washington, DC, s. 77–89.
- YOSHIDA, K., KIKUCHI, S., NAKAMURA, F., NODA, M. (1997): Dendrochronological analysis of debris flow disturbance on Rishiri Island. *Geomorphology*, 20, č. 1, s. 135–145.
- ZIELONKA, T., HOLEKSA, J., CIAPALA, S. (2008): A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia*, 26, č. 3, s. 173–183.
- ZIELONKA, T., HOLEKSA, J., CIAPALA, S. (2010): A 100-year history of floods determined from tree rings in a small mountain stream in the Tatra Mountains, Poland. In: Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., Luckman, B. H. (eds.): Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art. Springer, Berlin, s. 263–275.
- ZEIDLER, A. (2011): Lexikon vad dřeva, <http://fld.czu.cz> (9. 5. 2013).

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1. Struktura dřeva jehličnanů	10
Obrázek 2. Struktura dřeva listnáčů	11
Obrázek 3. Pórovitost dřeva	11
Obrázek 4. Dřevo s vylišenou jádrovou a bělovou částí	13
Obrázek 5. Kolísání ročního růstu dřeva vlivem proměnné hladiny podzemní vody	15
Obrázek 6. Prskyřičné kanálky	16
Obrázek 7. Tvorba širších letokruhů po (pozvolné) expozici (<i>Abies alba</i>)	18
Obrázek 8. Zjištění původní úrovně povrchu půdy	19
Obrázek 9. Masivní odplavení půdy z břehu	20
Obrázek 10. Náhlý pokles růstu po pohřbení kořene (<i>Castanea sativa</i>)	21
Obrázek 11. Nalezení prvních změn před tvorbou adventivního kořene (<i>Alnus incana</i>)	22
Obrázek 12. Vrstvy adventivních kořenů (<i>Populus deltoides</i>)	22
Obrázek 13. Poškozený kmen	23
Obrázek 14. Tvorba nepravidelných parenchymatických buněk	24
Obrázek 15. Jizva na kmeni stromu (<i>Larix decidua</i>)	24
Obrázek 16. Zaplavené dřeviny na rozsáhlém území při povodni na Vltavě	28
Obrázek 17. Vývoj porostu v okolí koryta toku	32
Obrázek 18. Růstová uvolnění po opakovaném odvodňování rašeliniště	33
Obrázek 19. Náplavové dřevo	34
Obrázek 20. Systém proudů v severní polární oblasti	35

Seznam tabulek

Tabulka 1. Výzkumné články s dendrohydrologickou tematikou	38
--	----