

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí



Bakalářská práce

Vliv deforestace na hydrologický režim krajiny

Tomáš Salinger

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Salinger

Územní technická a správní služba

Název práce

Vliv odlesnění na hydrologický režim krajiny

Název anglicky

Influence of deforestation on landscape hydrological regime

Cíle práce

Shrnutí poznatků o vlivu vegetačního pokryvu a následného odlesnění na hydrologický režim krajiny a porovnání výsledků hydrologického monitoringu na experimentálních povodích či plochách kalamitně zasažených lesními škůdci či abiotickými faktory.

Metodika

Práce bude řešena formou literární rešerše a porovná poznatky uvedené v domácí i zahraniční odborné literatuře. Student porovná výsledky měření odtoku z experimentálních povodí u nás i v zahraničí a následně zhodnotí výsledky v diskuzi.

Doporučený rozsah práce

30 stran textu

Klíčová slova

změny odtoku, vegetační pokryv, obnova lesa, povodí

Doporučené zdroje informací

DINGMAN, S. L.: 2002, Physical Hydrology – Second Edition. Prentice Hall, New Jersey, s 646.
HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. 2002: Hydrologie. Skripta LF ČZU Praha, 280 s.
JARAMILLO, D. F., DEKKER, L.W., RITSEMA, C.J., HENDRICKX, J.M.H., 1999, Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates, Journal of Hydrology 231 – 232, 105 – 111.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2015

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv deforestace na hydrologický režim krajiny" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jiřímu Pavláskovi, Ph.D. za odborné vedení a podporu při tvorbě bakalářské práce a za mnoho podnětných informací týkajících se zvolené problematiky.

Vliv deforestace na hydrologický režim krajiny

Abstrakt

Hydrologický cyklus je zásadním procesem ovlivňující celou biosféru na planetě Zemi. Významnou součástí tohoto cyklu je vegetační pokryv na souších. Ten ovlivňuje jednotlivé části koloběhu vody v přírodě, a proto významný zásah do něj, ať je přírodního nebo antropogenního původu, tak zákonitě ovlivní i další návazné procesy. V této práci z rešeršního shrnutí již známých faktů a porovnání úhlů pohledů vzešlo zjištění, že změna vegetačního pokryvu - konkrétně deforestace - má ve většině případů pozorování díky snížení tlumivého efektu vegetace za následek navýšení odtoku vody z povodí. Toto navýšení odtoku je v absolutních hodnotách zpravidla úměrné míře srážek v dané oblasti, v případě obnovy vegetačního pokryvu však opět klesá a nachází novou rovnováhu. Doba obnovy vegetace však nesmí překročit určitou časovou mez, jinak dochází k degradaci půdy a tím k trvalé změně prostředí a vydatnosti odtoku. V této práci dále zaznívá výsledek vyhodnocení absolutních velikostí nárůstu vydatnosti odtoku v poměru ke srážkám. Výstupem je, že sice platí přímá úměra mezi úhrnem srážek a navýšení vydatnosti odtoku, z pohledu významnosti je tomu často naopak – v sušších oblastech tak sice dochází k absolutně nižšímu odtoku, v poměru ke srážkám je ale odtok významně vyšší, než v oblastech s vyšším úhrnem srážek. To jasně hovoří o zranitelnosti suchých oblastí a velkém ekologickém významu vegetace v nich.

Klíčová slova: Změny odtoku, vegetační pokryv, obnova lesa, povodí, hydrologický cyklus, deforestace, odtok, povodí, rovnováha, srážky

Influence of deforestation on landscape hydrological regime

Summary

The hydrological cycle is a crucial process affecting the entire biosphere of planet Earth. An important part of this cycle is the vegetation cover. Vegetation affects different parts of the water cycle in nature, and therefore plays a significant role, whether natural or anthropogenic origin and also inevitably affects other related natural processes.

This paper summarizes already known facts and compares points of view to conclude that the change of vegetation - particularly deforestation - has resulted in a higher water yield from the watershed. This water yield in absolute numbers is generally proportionate to the level of rainfall in the area, but in the case that treatment is allowed, water yield decreases again and creates a new equilibrium.

Treatment of vegetation changes must be completed without exceeding a certain time limit; otherwise it leads to soil degradation and thus permanently changes the environment and yield runoff. The absolute size of the increase in yield is proportionate to rainfall. Additionally, this thesis concludes that although there is a direct proportion between rainfall and increase in the water yield, what is significant is that the opposite result is common. In the drier areas, there is without question lower water yield in relation to rainfall than in areas with higher rainfall, but from the perspective of percentage ratio the water yield is significantly higher in drier areas. Results of this thesis illustrate the vulnerability of dryland and its great ecological impact on vegetation.

Keywords: Runoff changes, vegetation cover, forest treatment, watershed, hydrological cycle, deforestation, runoff, watershed, equilibrium, rainfall

Obsah

1. Úvod	9
2. Hydrologie	10
2.1. Obecný pohled na hydrologii	10
2.2. Hydrologický cyklus	10
2.2.1. Velký hydrologický cyklus	10
2.2.2. Malý hydrologický cyklus	10
2.3. Složky hydrologického cyklu	11
2.3.1. Výpar	11
2.3.2. Srážky	12
2.3.3. Odtok a jeho složky	12
2.3.4. Intercepce.....	13
2.3.5. Retence	14
2.3.6. Infiltrace.....	14
2.4. Hydrologická bilance - kvantifikace hydrologického cyklu	14
2.5. Povodí	15
2.6. Postup a způsob práce při pokusech na povodí.....	17
3. Deforestace	19
3.1. Přirozená	19
3.2. Antropogenního původu	19
4. Proces odlesnění a jeho projevy	21
4.1. Studium vlivu odlesnění na hydrologický režim krajiny.....	21
4.2. Příklady důležitých studií procesu deforestace	21
4.3. Procesy a experimenty se zalesněním a s obnovou vegetačního krytu	22
4.4. Disturbanční procesy a experimenty s odlesněním	24
4.5. Experimenty s přeměnou lesa	28
4.6. Modelování procesů při deforestaci a Zhangovy křivky.....	29
5. Doba odezvy ročního nárůstu vydatnosti odtoku	30
6. Nová rovnováha po holoseči, stáří lesa a jeho vliv na vydatnost odtoku	33
7. Sezónní nárůst vydatnosti odtoku	36
8. Diskuze	39
8.1. Změny v odtoku při změně vegetačního pokryvu – jehličnany a křoviny	39
8.2. Změny v odtoku při změně vegetačního pokryvu – různé typy vegetace.....	41
8.3. Poměr vydatnosti odtoku ke srážkám	42
9. Závěr	46
10. Seznam uvedené literatury:	47

1. Úvod

Voda. Látka, která činí výjimečnou naši planetu Zemi nejen ve sluneční soustavě, ale zřejmě v celém Vesmíru. Látka, která je sice na naší planetě nejrozšířenější, přesto je něčím velmi cenná, možná nejceněnější. Svými vlastnostmi totiž umožnila vznik a trvání něčeho úžasného – života na Zemi.

Ať již byla podle nejrozšířenější teorie od prvopočátku vzniku naší planety postupně donesena na asteroidech s ledem, či vznikla čerpáním vodíku z původních mlhovin, nesporným faktem je, že bez ní by naše planeta nevypadala tak, jak vypadá dnes. Pro tuto práci je důležitým úhlem pohledu chování vody na Zemi a její reakce na změny prostředí, především v rámci hydrologického cyklu, který se za jistých okolností dá přirovnat i ke koloběhu života. Voda je totiž na naší planetě stále přítomná a její množství je v podstatě konstantní, ale svým pohybem, přeměnou skupenství a vlivem na své okolí i ekosystém jako celek, umožňuje trvání velmi dynamických procesů, do kterých jsou zapojeny všechny živé organismy na Zemi. V této práci je vybrán jeden z nich – hydrologický režim krajiny, který je hodnocen v situacích, kdy dochází ke změnám – ať již krátkodobým, či dlouhodobým - ve vegetačním pokryvu vybraného území o různých velikostech.

Úhlů pohledu na tento komplexní proces je jistě mnoho, ale hlavní zaměření této práce je především obecné shrnutí známých faktů, výsledků měření či dlouhodobého pozorování změn v hydrologickém cyklu právě v závislosti na změnách ve vegetaci a jejich následné zhodnocení v souvislosti s vlivem na celý ekologický rámec. Práce se tak pokusí najít odpovědi na otázky, které se přímo nabízí - například jaká může být reakce hydrologického cyklu na změny vegetačního krytu, zda je přípádná reakce jiná v různých oblastech či jaký význam má vegetace v hydrologickém cyklu právě z ekologického úhlu pohledu.

Bakalářská práce by tak mohla být v budoucnu užitečným nástrojem pro obecný úvod do problematiky a jednoduchým vodítkem pro ty, kteří se chtějí v tématu základně zorientovat.

2. Hydrologie

2.1. Obecný pohled na hydrologii

Hydrologie jak ji definují Hrádek a Kuřík (2004), je věda zabývající se zákonitostmi časového i prostorového rozdělení oběhu vody na Zemi včetně jeho fyzikálního, chemického a biologického režimu.

Pokud by se ale měla tato definice rozšířit či převést do dalších souvislostí, tak je hydrologie nauka o vodě - je multidisciplinární vědní disciplínou, která zkoumá hydrosféru s využitím vědních disciplín jako matematiky, chemie, biologie, obecně geovědních disciplín a dalších oborů jako je ekonomie, vodní hospodářství, ale také historie. Konkrétněji můžeme hovořit o hydrologii jako o vědní disciplíně, která se zabývá působením vody v krajině sféře v celé její šíři – ať již zákonitostmi výskytu, cirkulací či vlastnostmi, v neposlední řadě také vzájemnou interakcí vody a lidské společnosti. (Pavelková a Frajer, 2013)

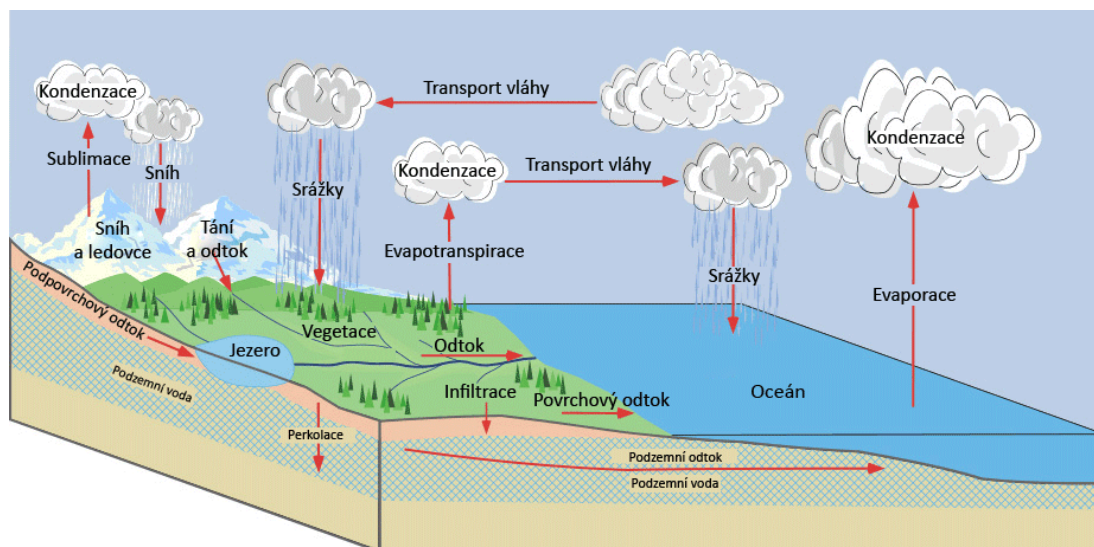
2.2. Hydrologický cyklus

2.2.1. Velký hydrologický cyklus

Jak je uvedeno v Úvodu, změny v absolutním množství vody na planetě jsou natolik malé, že se neuvažují - veškerá voda ovšem neustále koluje v rámci celé hydrosféry a ve své podstatě je tedy nevyčerpatelná, nicméně je nerovnoměrně rozdělena v čase i prostoru. Základním nástrojem popisu tohoto procesu se tak stává hydrologický cyklus – koloběh vody v přírodě. Tento je vyvoláván především sluneční energií a zapříčiňuje tak neustálý pohyb vodních mas díky fyzikálním vlastnostem vody – v oblastech světových oceánů dochází vlivem zvýšení teploty k výparu vody do atmosféry, odkud jsou vodní páry unášeny vzdušnými proudy až nad pevninu, kde dochází ke srážkám, následnému povrchovému i podpovrchovému odtoku a dále opět k vtoku do moří a oceánů. Zároveň ale dochází k zadržení srážek na pevnině a jejich výparu opět do atmosféry a následné další distribuci vodní páry dále nad pevninu či oceány.

2.2.2. Malý hydrologický cyklus

Velký hydrologický cyklus je tedy všeobjímající proces koloběhu vody na Zemi, v souvislosti s ním se ovšem často zmiňuje tzv. malý hydrologický cyklus. Tento se teoreticky děje především nad oceány – kde dochází k výparu a opětovným srážkám bez toho, aby tyto vody byly zapojeny do koloběhu nad pevninou, nebo naopak k některým bezodtokovým oblastem na pevnině, kde dochází k výparu a následným srážkám ve stejné oblasti, jak se děje především v některých částech Íránu či Číny. S nejvyšší pravděpodobností ale stejně některé molekuly vody jsou díky advekci – tj. přemístění díky prouděním v atmosféře, zaneseny mimo danou oblast a tak ve své podstatě malý hydrologický cyklus - jako bezesbytku izolovaný proces neexistuje.



Obr. 1 Hydrologický cyklus – dle International Groundwater Resources Assessment Centre, UNESCO (upraveno).

2.3. Složky hydrologického cyklu

Pro celkové pochopení a porozumění vlivu deforestace na hydrologický režim krajiny, je v této práci zapotřebí shrnout a vysvětlit základní složky celého procesu tak, aby bylo možné dále se v problematice orientovat.

2.3.1. Výpar

Vypařování (evaporace) je fyzikální proces, při kterém voda přechází z kapalného nebo pevného skupenství do plynného (Hrádek a Kuřík, 2004). Výparem se rozumí objem vody vypařené za určitý čas z určité plochy, výsledek výpočtu se tak vyjadřuje v mm. Rozlišujeme výpar z holé vodní hladiny, kdy například výpar z oceánů je největším zdrojem atmosférické vláhly na světě (Pavelková a Frajer, 2013), výpar z holé půdy, výpar ze zarostlé vodní hladiny i výpar ze sněhu a ledu. Pro tuto práci je ovšem velmi důležitá transpirace rostlin, což je fyziologický výpar v průběhu fotosyntézy a dýchání, který společně s fyzikálním výparem – evaporací, tvoří evapotranspiraci - výpar z půdy porostlé vegetací.

Pokud bychom se tedy zaměřili na vztah výparu z půdy a transpiraci rostlin, tento závisí na druhu vegetačního pokryvu, stáří rostlin, klimatických poměrech a vlhkosti půdy. Hrádek a Kuřík (2004) stejně jako další autoři citovaní níže v této práci uvádí, že rostliny v prvních fázích svého vegetačního období díky zvýšené intenzitě fyziologických a fyzikálně chemických procesů vypařují více než v pozdější době, stejně jako ke konci vegetačního období je již transpirace velice nízká. K rozdílům v intenzitě transpirace dochází také v závislosti na druhu vegetace. Evaporace zahrnuje také výpar povrchově zadržené vody intercepcí (viz níže) na vegetaci.

2.3.2. Srážky

Opět Hrádek a Kuřík (2004) definují srážky jako výsledek kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší, na povrchu předmětů a rostlin.

Pokud bychom dělili srážky dle způsobu vzniku, rozlišili bychom srážky *atmosférické* - které vznikají v atmosféře a srážky *horizontální* (stále častěji v literatuře označované jako *usazené*), které vznikají kondenzací vodních par na předmětech či rostlinách. Atmosférické srážky můžeme chápat jako kapalné – tj. déšť a mrholení, smíšené – déšť se sněhem či kroupami a pevné – sníh, sněhové krupky, zmrzlý déšť či kroupy.



Obr. 2 Příkladem způsobu měření srážek je vybavení v prostorách monitorovacího objektu experimentálního povodí Liz – v popředí je automatické měření srážek za časový úsek zn. Fiedler, dále zařízení na měření podkorunových srážek (*throughfall*). V pozadí je také automatická stanice pro měření teploty a vlhkosti vzduchu ve dvou metrech nad zemí a přízemní minimální teploty vzduchu. (Autor, 2017)

2.3.3. Odtok a jeho složky

Odtok hydrologie chápe jako objem vody, který odeče z povodí za jednotku času. Jeho součástí je několik složek, jejichž součet se označuje jako celkový odtok.

Povrchový odtok je odtok, který proudí po povrchu. Projevuje se jako soustředěný - v rámci sítě vodních toků nebo jako nesoustředěný – plošný splach a ron. Hortonovský odtok je ta část odtoku, která vzniká překročením infiltrační kapacity půdy a stéká přímo po povrchu terénu. Dominuje zejména v suchém klimatu nebo při silném narušení člověkem (Blažková a Kolářová, 1994)

Podpovrchový odtok (Hypodermický odtok) je tvořen vodou, která se infiltruje do podloží a během odtoku z povodí nedosáhne hladiny podzemní vody.

Podzemní odtok tvoří infiltrovaná voda, která odtéká z povodí podzemím – oproti dvěma výše zmíněným odtokům je výrazně zpomalený.

Podzemní odtok tvoří tzv. **základní odtok** – tento umožňuje zásobování sítě vodních toků i v období bez srážek. Naopak součet povrchového a podpovrchového odtoku, který probíhá při nebo po srážkách se nazývá **přímý odtok** a má velký vliv na přechodném zvýšení vodnosti řek.

Specifický odtok vyjadřuje, jaké množství vody odtéká za jednotku času z jednotky plochy povodí, udává se v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (litr za sekundu na kilometr čtvereční). (Shaw, 2011)

2.3.4. Intercepce

Intercepce je chápána jako proces, kdy jsou srážky zadrženy na povrchu vegetace či předmětech a které neztečou na povrch půdy, ale odpaří se zpět do atmosféry. Jak uvádí Penka (1985), jedná se o významný výpar především v podmínkách lesních ekosystémů.



Obr. 3. Část srážek dočasně zadržena vegetací, stéká po kmeni stromů (stemflow). Na obrázku je měřicí nádoba na stok umístěná na smrku ztepilém (*Picea Abies* (L.) Karst.) v prostorách monitorovacího objektu experimentálního povodí Liz. (Autor, 2017)

Významná část se vyskytuje v kapalném skupenství v podobě srážek, anebo v pevném skupenství v podobě sněhu a jinovatky.

Intercepce je závislá na délce, intenzitě a druhu srážek, stejně jako na typu vegetace. Například díky větší ploše jehlic proti listům listnatých stromů tak mají dle Pavelkové a Frajera (2013), největší intercepční schopnost jehličnany a v porovnání třeba právě s listnatými lesy, mají jehličnaté lesy schopnost zadržet v korunovém systému více než polovinu z celkového množství srážek.

2.3.5. Retence

Retence znamená schopnost krajiny zadržovat vodu. Srážky mohou vyplnit terénní deprese, dopadnout na hladinu rybníka, jezera a následně se buď odpařit, odtéci nebo infiltrovat do podzemí. Retenční schopnost krajiny je také závislá na typu vegetačního pokryvu, vlastnostech a typech půdy, míře vlhkosti půdy a jejího nasycení, teplotě půdy a široké škále dalších parametrů.

2.3.6. Infiltrace

Infiltrace – neboli vsak je proces převádění povrchové vody do půdního prostředí skrz povrch půdy. Ovlivňuje významně podíl srážek v podpovrchovém, povrchovém a odtoku podzemních vod. Míra a rychlost infiltrace je ovlivněna jak vegetačním krytem, tak vlastnostmi půdy, právě mírou a trváním srážek, množstvím vody v půdním profilu, stejně tak chemickým složením půdy. Za určitých podmínek při vsaku voda proniká až do podzemních vod a doplňuje zásoby podzemních vod.

2.4. Hydrologická bilance - kvantifikace hydrologického cyklu

Hydrologická bilance je základním prostředkem pro hodnocení výskytu a distribuce vody v povodí. Spočívá v kvantitativním rozdělení vody z atmosférických srážek na jednotlivé bilanční složky (Vaculín a Soukalová 2003). Průběh tohoto procesu zásadně ovlivňují klimatické podmínky povodí a naopak.

V literatuře je k dispozici široká škála rovnic, které zahrnují různé proměnné a vyjadřují často specifické situace v rámci hydrologie, nicméně pokud se zaměříme na globální model hydrologického cyklu ve formě rovnic vodní bilance, tak se dá oběh vody na Zemi vyjádřit takto:

$$\begin{aligned}V_p + V_o &= S_o + S_p \\V_o &= S_o + O \\V_{op} &= S_p - O\end{aligned}$$

Kdy:

V_p – výpar z pevniny

V_o – výpar z oceánů

S_p – srážky nad pevninou

S_o – srážky nad oceány

O - celkový odtok z pevniny

Nicméně pokud bychom již uvažovali hydrologický cyklus v rámci nižšího celku, v našem případě právě povodí, a potřebovali bychom vyjádřit skutečně elementární význam lze vyjádřit základní bilanční rovnicí jako vyjádřením poměru vstupů a výstupů a změny zásob v časovém období.

Takovým obdobím se v hydrologii uvažuje typicky tzv. hydrologický rok, který na rozdíl od kalendářního roku začíná 1.11. a končí 31.10. Je tomu tak, protože v daném časovém úseku dochází k nejmenším výkyvům v hydrologickém cyklu, děje nejsou tak dynamické, jako například na jaře a toto období je tak vhodnou dobou pro rozdělení doby bilancování.

$$S = O + V + \Delta W$$

Kdy:

S – Srážky

O – Odtok

V – výpar

ΔW – Změna zásob v čase

2.5. Povodí

Pro konkrétní zjišťování a zkoumání procesů v hydrologickém cyklu tak nejlépe poslouží experimentální pozorování. Stále větší roli hraje ve vědeckém zkoumání, predikci či hospodářském plánování také modelování, nicméně hydrologický cyklus je natolik komplexní děj, že i sebelepší modely v současné době mohou jen obtížně dosáhnout vysoce přesných výsledků.

Pro validní zkoumání těchto jevů na základní úrovni proto nejlépe poslouží území, ve kterém dochází ke všem sledovaným jevům v plném rozsahu – a takovým územím rozumíme povodí. Povodí můžeme z širšího pohledu chápat jako základní prostorovou jednotku hydrologie a pro naše potřeby jako území, ze kterého odtéká voda z dané oblasti. Toto území je vymezeno hranicí mezi sousedními povodími, která se nazývá rozvodnice. Rozvodnice rozlišujeme jako **orografickou** – to je typicky spojnice mezi nejvyššími body povodí až k závěrnému profilu – místu, kde dochází k odtoku vody z povodí (viz Obr. 4). Naproti tomu rozvodnice **hydrogeologická** se sice může překrývat s orografickou rozvodnicí, v některých případech specifického geologického složení může docházet k vsaku srážek mimo hranice povodí a posléze k jejich transportu geologickými vrstvami do povodí vedlejšího.

Dalšími důležitými parametry povodí je jeho tvar - rozlišujeme například protáhlý, přechodný a vějířovitý; plocha povodí – ta se vyjadřuje buď v km², nebo v hektarech, přitom v praxi je vždy větší než na mapovém podkladu – díky členitosti povodí. (Pavelková a Frajer, 2013)

Dále hrají velkou roli sklon svahů a spádová křivka, které se vypočítají buď zjednodušeným vzorcem tzv. náhradní sklon:

$$I = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{P}} \cdot 1000(\text{‰})$$

nebo přesněji dle Herbsta:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n e_i l_i}{P}$$

Kdy:

H_{\max} – maximální nadmořská výška v povodí (m.n.m.)

H_{\min} – minimální nadmořská výška v povodí (m.n.m.)

H – výškový interval vrstevnic (m)

l_i – délka dané vrstevnice v povodí (m)

P – plocha povodí (m²)

N – počet vrstevnic,

e - interval mezi vrstevnicemi

Pro tuto práci je důležité uvést i další proměnnou - tzv. index lesnatosti (K_L), což je údaj, který udává v procentech zastoupení plochy lesů na celkové ploše povodí.

$$K_L = \frac{\sum P_L}{P} \cdot 100(\%)$$

Kdy:

K_L - index lesnatosti

PL – plocha lesů v povodí (km²)

P – plocha povodí (km²)

Mezi další entity řadíme výškopisné poměry povodí, zeměpisnou polohu a podnebí, orientaci povodí v terénu, složení a typ půdy, typ vegetačního pokryvu.

Pro předmět zájmu této práce tedy musíme uvažovat míru zásahů člověka do povodí, způsob využití krajiny v povodí a mnohé další.

Pokud se tedy vrátíme k hlavnímu nosnému tématu této práce, která se zabývá vlivem deforestace na hydrologický režim krajiny, zaměříme se na zkoumání těchto procesů přímo v praxi. K takovým pozorováním pak může docházet na povodích, která nejsou prvoplánově využita pro vědecké pozorování, nicméně nejkompaktnější výsledky se obvykle dosahují právě při pozorování na tzv. experimentálních povodích a ještě lépe párových povodích, jejichž funkce je popsána níže.

Výsledky dosažené pozorováním a měřeními také mohou být dále využity k predikci směřování podobných jevů při zásazích do vegetačního porostu v dalších povodích.

Tyto předpovědi musí být založeny na správných údajích a dobrém porozumění procesům ovlivněných změnou vegetace.

2.6. Postup a způsob práce při pokusech na povodí

Stěžejním úkolem v praktickém výzkumu je kromě nalezení vhodného povodí také stanovení nejvýhodnější *velikosti* daného povodí tak, aby bylo možné provést přesná měření, či vhodně zasadit do kontextu získané výsledky. Toto zmiňují právě Hewlett a Bosch (1982), kteří poukazují na těžkosti, které hrozí při měření v příliš velkém povodí – v tomto případě výrazně rostou nároky na přesný odhad velikosti srážek a přesně změřenou velikost odtoku.

Bosch a Hewlett (1982) dále uvádějí poznámku z praxe, který zmiňuje situaci, kdy se detailní měření díky zvětšení velikosti povodí stane příliš nákladným, vychází se při výpočtu míry odtoku především z již existujících dat tak, aby se dal snáze určit vývoj trendu v čase, což znamená, že čím je povodí větší, tím je jeho hydrologickou bilanci vhodnější zasadit do delšího časového horizontu.

Naopak v případě příliš *malého* povodí přirozeně roste možnost chybného výsledku a jeho zasazení do širšího kontextu by mohlo podstatně zkreslit výsledky a další práci s nimi. V práci Bosche a Hewletta (1982) tak můžeme najít 94 zkoumaných párových povodí v rozloze od 1 do 2500 ha. V závislosti na topografii, podnebí a půdě, nejčastěji zkoumaná povodí jsou o rozloze 50-100 ha, stejně tak se tato rozloha jeví jako nejvýhodnější z hlediska poměrů vstupu a výstupu objemů vody do hydrologického cyklu.

Jak již bylo zmíněno, velmi výhodnou formou je zkoumání za pomoci párových povodí - to totiž v sobě obnáší srovnání dvou povodí s podobnými charakteristikami, které jsou uvedeny výše tak, aby spolu ideálně se vzájemnou bezprostřední blízkostí přinášely co nejpodobnější podmínky - pro naše účely právě jako prostředek k určení velikosti změn ve vydatnosti odtoku v důsledku změn ve vegetaci.

Proto se při zahájení výzkumu v povodí pracuje s tzv. kalibračním obdobím, během kterého jsou monitorována obě povodí pro poznání a popsání veškerých pozorovaných procesů. Poté se jedno z povodí podrobí přímému výzkumu, typicky ve formě provedení změn ve vegetaci a druhé povodí zůstává jako kontrola. To umožňuje pozorovat, nakolik je závislá vydatnost odtoku na změnách vegetačního pokryvu. Tato strategie také umožňuje lépe oddělit skutečné následky vlivu změny vegetačního pokryvu od klimatické změny, která se může právě vyskytnout v době experimentu, například může dojít k cyklickému období sucha, které by poté ovlivnilo prezentaci výsledků měření.



Obr. 4 – Závěrný profil experimentálního povodí Liz – tento je řešen Thomsonovým pravouhlým přelivem, který je kombinován s Cipolettioho lichoběžníkovým přelivem. Součástí profilu jsou také sondy na měření fyzikálně-chemických parametrů, jako jsou pH, Eh, teplota, konduktivita a obsah rozpuštěného O₂. V konstrukci nad hladinou je také umístěn ultrazvukový elektronický průtokoměr. (Autor, 2017)

Při předpovídání zákonitostí v nárůstu vydatnosti odtoku, kde se snažíme popsat a zachytit skutečný rozdíl v nárůstu vydatnosti odtoku způsobený změnou ve vegetačním pokryvu a nikoliv ve výkyvu klimatu, se tak využívá typicky ročních údajů, někdy ale také měsíčních údajů a okamžitý průtok a složky základního odtoku (Bari a kol., 1996).

Využití sezónních a měsíčních hodnot odtoků je možné v případě, že z nějakého důvodu nejsou k dispozici roční údaje, což s sebou přináší ovšem i jistá omezení. V případě, že v naměřených hodnotách dochází díky sezónním výkyvům (léto vs. zima) k velkým rozdílům v naměřených hodnotách – nemohou se tak přirozeně považovat jako -násobné navýšení dat oproti ročním bilancím.

3. Deforestace

3.1. Přírozená

Deforestace neboli odlesňování je proces přeměny vegetačního pokryvu, který má mnoho podob, úrovní a příčin. Stejně tak její vliv na blízké okolí se dá vnímat, hodnotit a chápat z různých úhlů pohledu. V této práci je cílem zaměřit se na ekologický rámec, který zkoumá úroveň změn v procesu hydrologického cyklu v návaznosti na míru či druh změny vegetačního pokryvu.

Proces odlesnění byl na naší planetě přítomen již od samého prvopočátku, od dob kdy vegetace dosahovala parametrů vzrostlých stromů, a vegetační pokryv byl kompaktní a byl již zapojen do cyklu života na Zemi. Příčiny vlivu odlesnění totiž měly vždy především přírozený původ, s rozvojem lidského druhu a vývoje civilizace ovšem nabíral na významu právě vliv člověka – antropogenní vliv.

Pokud se ale vrátíme k popisu deforestace a lesní degradace přírozeného původu, mohou se jako typické uvažovat jevy jako jsou přírodní požáry, povodně, sesuvy půdy nebo vulkanická činnost. Velkou roli také v procesu odlesnění mohou také hrát plísňe nebo škůdci a větrné polomy - jak je tomu nejtypičtěji v našich zeměpisných šířkách. Výše uvedené příklady jsou pro člověka snadno v čase pozorovatelnými jevy, neméně důležitou úlohu ovšem hraje, z dlouhodobého hlediska, třeba změna klimatických podmínek, desertifikace či kombinace vlivů výše uvedeného. Jako příklad se nabízí vulkanická činnost, která způsobí požáry, v kombinaci se spadem sopečného popela způsobí změnu chemického složení půdy, které bude daleko více svědčit jiným druhům vegetačního pokryvu atd.

3.2. Antropogenního původu

Jak je opět uvedeno výše, s nástupem lidského druhu a rozvojem civilizace dochází z dlouhodobého hlediska k rychlé a radikální přeměně. Hlavním tahounem změn ve vegetačním pokryvu je především zemědělství se svou potřebou velkých ploch. Od panenské krajiny se přes původní postupy žďáření a kácení, lidstvo dostalo vývojem až na podíl 39,475% zemědělské půdy a pastvin z celkové rozlohy povrchu v roce 1991 (The World Bank, 2013).

Dalším významným motivem pro vzrůstající trend deforestace byla potřeba stavebního hospodářského využití dřeva, stavba sídel, komunikací, zřizování plantáží průmyslově využívaných dřevin, těžba nerostných surovin, deforestace či lesní degradace způsobená průmyslovým znečištěním a mnohé další.

Pro doplnění tohoto výčtu je třeba ještě uvést kombinované vlivy, jakými je například prvotní impuls oslabení vegetačního pokryvu způsobený člověkem – například právě zvýšená míra znečištění prostředí a následná kalamita škůdců, která přináší výraznou degradaci lesního porostu, ve zdravém lese by však nikdy k nastartování tohoto procesu nedošlo.

V konečném souhrnu je nicméně deforestace významný a z větší části negativní proces, který si zaslouží velkou pozornost již z titulu udržitelnosti rozvoje a zachování přírodní rovnováhy. Tesař a kol., (2004) dokonce hovoří o reálném riziku dosažení tak významného poškození životního prostředí, se kterým by si příroda už sama nemusela poradit a tak jednou z možností nápravy je aktivní obnova vegetačního krytu člověkem.

4. Proces odlesnění a jeho projevy

4.1. Studium vlivu odlesnění na hydrologický režim krajiny

Při posuzování vlivu deforestace na hydrologický režim krajiny bylo postupováno hierarchicky z globální roviny po lokální situaci. Základem tak byly uznávané práce, které se zaměřovaly na studium povodí na všech kontinentech s výjimkou Arktidy a Antarktidy a ve většině klimatických pásem.

V průřezu se tak dá říci, že velkou historii mají kromě evropských povodí také studie v USA, Austrálii, Jižní Africe, Keni, Rusku či Číně. Samostatnou kapitolou jsou pak velké výzkumy v Jižní Americe, v oblasti deštných pralesů. (Coe a kol., 2009) nebo (D'Almeida a kol., 2007)

Pro celkové pochopení těchto procesů je přehled o světových experimentech jistě podstatný, velmi zajímavá se jeví možnost srovnat tato pozorování s výsledky podobných experimentů v České republice. Pro základní orientaci tak posloužil seznam nejvýznamnějších experimentálních povodí v ČR. Jejich seznam se v průběhu času měnil a měnit bude, obecně však platí, že čím je delší doba pozorování, tím je to z vědeckého hlediska výhodnější.

Mezi významná tak patří nejstarší experimentální povodí v oblasti Šumavy, konkrétně experimentální povodí Volyňka, Albeřice a Liz, která jsou zároveň i v oblasti CHKO Šumava. Dále se v oblasti nachází významné experimentální povodí Modrava I, II, III – na jejichž založení se podílela i Česká zemědělská univerzita. Velmi důležitými plochami jsou také experimentální povodí v Jizerských horách, na jejichž založení se podílel Český hydrometeorologický ústav v reakci na výrazně zhoršené životní prostředí v oblasti „černého trojúhelníku“, jak se také této oblasti říká. Díky vhodným podmínkám tak bylo možné poměrně rozsáhlé a užitečné pozorování v sedmi dílčích povodích – Smědavě I a II, Uhlířské, Jizerce, Blatném rybníce, Kristiánově a Jezdecké. V Beskydech jsou významné Malá Ráztoka a Červík a povodí Kopaninského, Cerhovického a Němčického potoka, stejně jako Dehtáře a Žejbro. Dále v Krušných horách Zlatý a Slatinný potok a Bystřice. Také je důležité zmínit povodí v rámci sítě malých lesních povodí GEOMON, která jsou rozmístěna v rámci celé České republiky.

4.2. Příklady důležitých studií procesu deforestace

V této části práce dojde k zaměření na konkrétní pokusy s odlesněním. Uváděné změny ve vegetačním pokryvu mají jak přirozený, tak antropogenní původ - ten ovšem výrazně dominuje. Velmi přínosnými pracemi pro orientaci v problematice jsou pak kromě české literatury především práce Bosche s Hewlitem (1982) a A. E. Brownové (2005). Ta rozšířila toto množství studií z původních 94 na celkových 166. Tyto práce totiž jako jedny z prvních podaly komplexní a dostatečně podrobný přehled těchto jevů.

Kromě zmíněné A. E. Brownové (2005) se ve světové literatuře kromě Bosche a Hewletta (1982) mezi důležité práce také řadí dlouhodobý výzkum dopadu změny vegetačního krytu na nárůst vydatnosti odtoku v USA od Hornbecka a kol. (1993), zkoumání vlivů lesního hospodářství od Stednicka (1996) a vliv zalesnění a odlesnění na nárůst vydatnosti odtoku od Sahina a Halla (1996) – tyto práce jsou zaměřeny více na povodí, která nejsou prvoplánově experimentální. Naopak Vertessy (1999 a 2000) rozšířil dostupnou literaturu o studie párových povodí ve vztahu k hospodářskému lesnictví a změnám v odtoku.

V Čechách patří mezi významné autory zabývající se tímto tématem Kuřík, Hrádek, Chlebek, Jařabáč a Kulasová.

Již při popisu vlastního procesu odlesnění a jeho vlivu na hydrologický cyklus je zapotřebí uvažovat širokou škálu vlivů a proměnných, jakými jsou právě zeměpisná poloha, velikost povodí, klimatické podmínky, intenzita srážek, typ a míra vegetačního pokryvu a mnohé další.

Důležitými prvky v tomto tématu jsou ale samozřejmě rychlost a způsob změny vegetačního pokryvu. Dá se předpokládat jiná míra reakce u úplného smýcení lesa pro například hospodářské účely a jiná reakce při dlouhodobé změně vegetace.

Na výstupu je ale především vhodné sledovat posouzení dopadů změn vegetace na vydatnost odtoku i průtok v závislosti na čase, ročním odtoku, čar překročení a doby odezvy.

Tuto otázku pro potřeby této práce nejvíce logicky řeší právě A. E. Brownová (2005) ve své studii, která je brána jako etalon prací zabývajících se touto problematikou právě pro svůj široký záběr, jak je uvedeno výše.

Pracuje zde hlavně s dělením zkoumaných studií dle typu změny vegetačního pokryvu na:

- 1. Experimenty se zalesněním**
- 2. Experimenty s obnovením vegetačního pokryvu**
- 3. Experimenty s odlesněním**
- 4. Experimenty s přeměnou lesa**

V průběhu studia této problematiky bylo nahlíženo na téma z velkého množství úhlů pohledu. I v případě využití české literatury pro potřeby této rešerše bylo shledáno toto základní dělení jako nejvíce vyhovující potřebám této práce. Proto bylo po dílčích úpravách a rozšíření, toto dělení v podstatě zachováno i pro srovnání podobných pozorování i v jiných částech světa, než které uvádí jen tato studie.

4.3. Procesy a experimenty se zalesněním a s obnovou vegetačního krytu

V přírodě se proces zalesnění obvykle pojí například s dlouhodobým procesem změny klimatu, kdy je nelesní vegetace nahrazována lesní či jako obnovení původního lesního pokryvu například po velkoplošné disturbanci. Naopak experimenty s obnovou vegetačního krytu tvoří většinu studií párových povodí po celém světě a dle definice Stednicka (1996) se jedná o odstranění vegetačního

pokryvu jako vliv cíleného lesního hospodářství na určené části povodí následovaný opětovným růstem stejného typu vegetace tam, kde je to umožněno.

Nicméně ve své podstatě se jedná o velmi podobné procesy, které se liší účelem, a například délkou kalibračního období. Oba druhy změn jsou však velmi obdobným úsekem biologického cyklu a tak jsou dále uváděny v jedné kapitole.

Při zaměření se již na cílené pokusy se zalesněním, mezi často zmiňované v literatuře patří experimenty konkrétně s přeměnou nízké nelesní vegetace (např. právě pastviny) na les. Hodně těchto studií je k dispozici z Jižní Afriky například (Scott a kol., 2000), ve Velké Británii je to např. kniha od Kirby a kol., (1991), zpráva o experimentu v Balquhidder (Johnson, 1991). Jak je zmíněno v úvodu kapitoly, za pokusy se zalesněním se dají považovat i oblasti, kde se po deforestaci pozoruje obnova původního vegetačního pokryvu. Jednou z nejvýznamnějších prací je právě pozorování párových povodí od Bosche a Hewletta (1982), dále již citovaní Sahin a Hall (1996), Stednick (1996), či článek od Whiteheada a Robinsona (1993) a v této práci často citovaná A. Brownová (2005).

Pokud bychom tedy do skupiny s obnovou zalesnění v rámci antropogenního vlivu zahrnuli i některé příklady z našeho území, museli bychom zmínit proces zalesnění, ke kterému dochází ve zvýšené míře v posledních sto letech - nejvíce však v období po druhé světové válce především v oblasti Sudet a v částech Orlických hor, jako důsledek nedostatku lidských zdrojů pro obdělávání zemědělské půdy či „less favoured areas“ - méně příznivých oblastí pro zemědělskou produkci, jako pastviny, travní porosty, atd. (Hatlapatková, 2011)

Při vyjádření vlivu změn ve vegetaci a v tomto případě aforestace na hydrologický režim krajiny, se především zaměříme na změny ve vydatnosti v odtoku, které jsou snadno měřitelné a dávají dobrý přehled vlivu vegetace na procesy v krajině. Při shrnutí výsledků lze začít právě u Bosche a Hewletta (1982), kteří ve své rozsáhlé revizi párových povodí zahrnuli ty pokusy, u kterých předpokládali, že maximální pokles v nárůstu odtoku vody byl analogický k maximálnímu zvýšení výnosu vody během prvních 5 let po obnově vegetačního pokryvu.

To jim umožnilo vyvodit první obecné závěry o vlivu lesního porostu na vydatnosti odtoku. Tento výsledek lze totiž chápat jako reakci povodí na deforestaci po smýcení, kdy není voda v povodí zadržována vegetací a během postupné obnovy vegetačního pokryvu lze následné snižování odtoku chápat jako reakci na zvýšenou potřebu vody při fyziologických procesech vegetace v období jejího opětovného růstu.

Časovému hledisku je tedy věnována vlastní kapitola, nicméně se hodí již nyní uvést, že sami autoři dále uvádí, že je třeba dbát zvýšené opatrnosti při posuzování prvních 5 let po ukončení obnovy vegetace. Pozorované zvýšení vydatnosti odtoku v této době totiž může být ovlivněno variabilitou klimatu, zvláště za předpokladu, že k návratu vydatnosti odtoku do původních hodnot převážně dochází v době kratší než 5 let.

Hlavní závěry ale jsou následující:

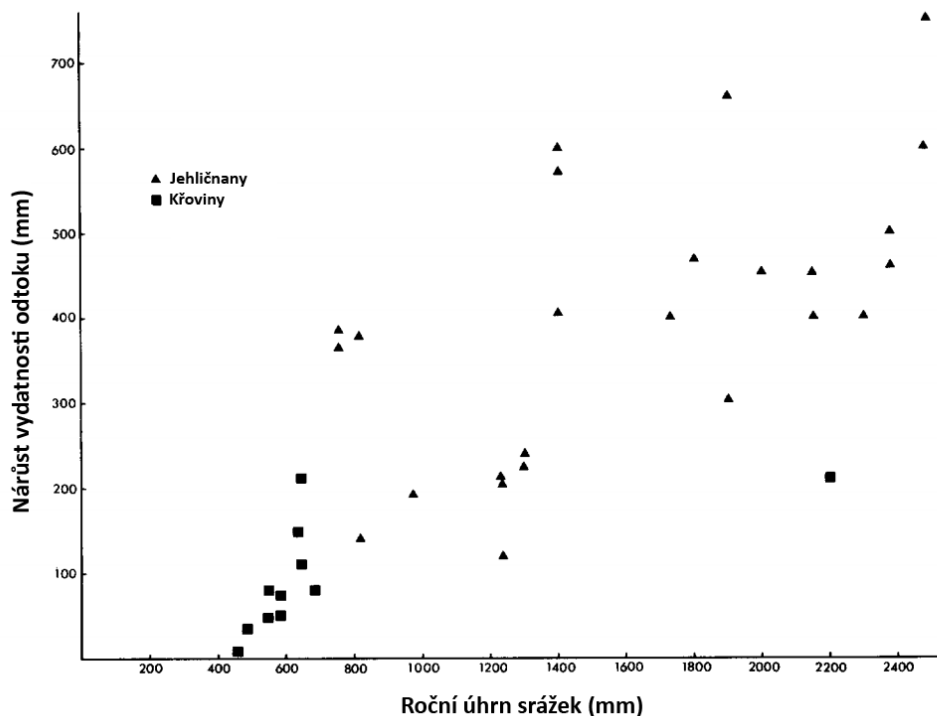
- 1) redukce lesního porostu způsobí nárůst vydatnosti odtoku
- 2) nárůst lesního porostu způsobuje snížení vydatnosti odtoku
- 3) změny v odtoku při redukcí lesa nižší než 20% jsou prakticky nezjistitelné – stejného výsledku dosáhli i Stednick (1996) a Sahin a Hall (1996)
- 4) opadavé listnaté lesy jsou spojeny se změnou přibližně 25 mm v ročním výnosu vody na 10 % změny v ploše vegetačním pokryvu tzn. na každých 10 % poklesu plochy porostu připadá nárůst 25mm v ročním odtoku.
- 5) křoviny a pastviny jsou spojeny se změnou přibližně 10 mm v ročním výnosu vody na 10 % změny ve vegetačním pokryvu
- 6) jehličnany a blahovičnický zastupovaly druhy, které způsobují změnu přibližně 40 mm v ročním výnosu vody na 10 % změny ve vegetačním pokryvu
- 7) reakce odtoku na odlesňování závisí jak na průměrných ročních srážkách v povodí, tak na ročním úhrnu srážek v letech probíhající obnovy vegetačního pokryvu

Forma a parametry reakce ekosystému na opětovné zalesnění takto změněných ploch je ale vysoce rozličná a většinou nepředvídatelná, jak uvádí Hibbert (1967)

4.4. Disturbanční procesy a experimenty s odlesněním

Nejtypičtější příklad deforestace – při přírodních procesech je možné uvést jako příklad požáry, větrné polomy a škůdce, při popisu antropogenních zde se pojednává o přeměně hustě zalesněných oblastí na oblasti s nelesní vegetací, například pastviny, sídla, či hospodářské využití lesa bez možnosti další obnovy lesa.

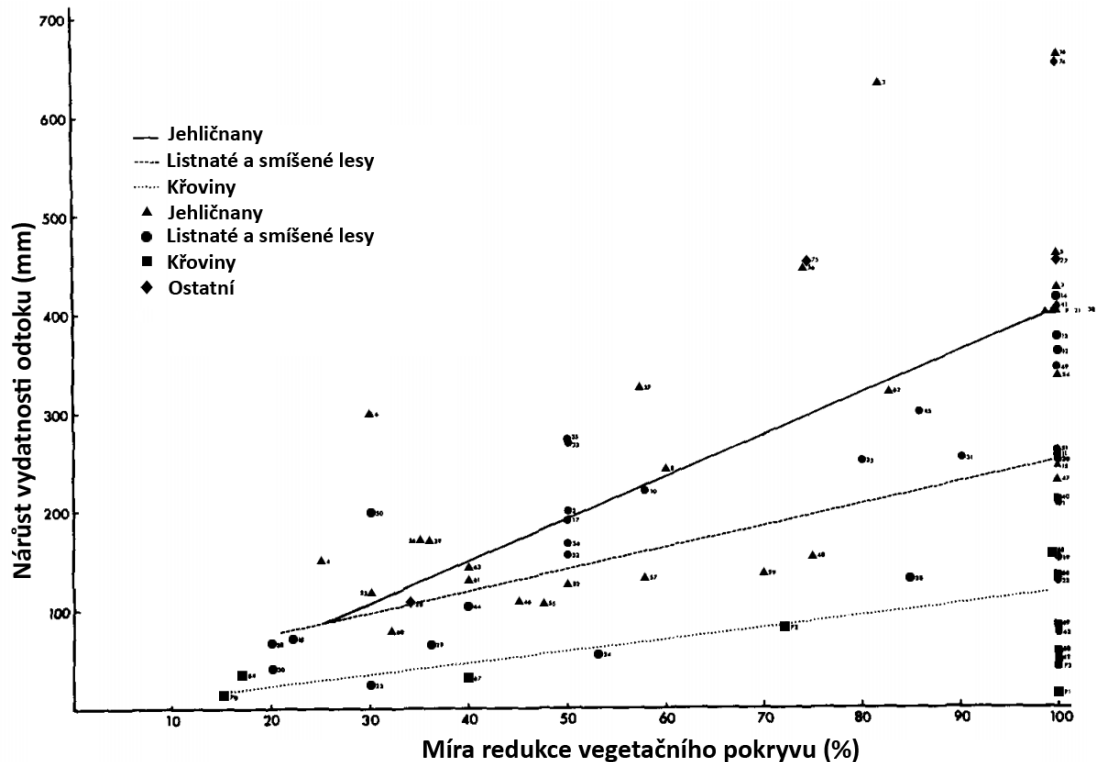
Jako základní přehled o těchto procesech jsem opět použil práci Bosche a Hewletta (1982), kteří shrnuli studie do velmi často citovaného grafu. Ten uvádí do poměru navýšení odtoku v závislosti na míře odlesnění a autoři vyvozují vztah, který ukazuje na zvýšení odtoku při odlesnění. Sami autoři ale uvádí, že aby se získaly lepší a hodnotnější výsledky z experimentálního měření, je zapotřebí ještě více a rovnoměrněji rozložené pozorování. Hibbert (1967) sice v případě holosečí ve zkoumané oblasti naměřil mnoho nárůstů vydatnosti odtoku od 25 mm do 400mm - změřil tedy prokazatelně vliv, byl ale ve vyjádření také opatrný. Dle autora navíc není snadné predikovat vývoj, což v podstatě platí dodnes. Jsou tedy vyzorovány následky, jsou změřeny, ale těžko se předpovídají.



Obr. 5: Nárůst vydatnosti odtoku z povodí po holoseči - pro jehličnany a křoviny. Bosch a Hewlett (1982, upraveno)

Grafické vyjádření procesu nárůstu vydatnosti objemu v závislosti na deforestaci je dobře vyjádřeno právě v Bosch a Hewlett (1982) – zde obr. 5. Zde autoři vybrali ta povodí, kde došlo ke stoprocentnímu smýcení. Jsou zde vybrány skupiny jehličnanů a křovin a kupříkladu právě jehličnany by mohly být užitečné pro porovnání s oblastmi v ČR. Protože v tomto grafu jsou jehličnany cca v oblastech s ročním úhrnem srážek od 750 do 2400 mm, hledání anachronie s oblastmi v ČR je omezené, průměrné srážky v ČR totiž dosahují 693 mm.

Stejně tak křoviny jsou nejvíce v rozsahu cca 450 mm – 800 mm (extrémní hodnota je 2200 mm) a v těchto oblastech v ČR většinou křoviny tvoří dominantní vegetační pokryv. I tak je ale grafické vyjádření autorů pro základní představu velmi užitečné, je zde totiž jasně patrný vztah nárůstu odtoku přímo úměrný s nárůstem ročního úhrnu srážek. Protože většina autorů pracuje s hodnotami absolutními, je vhodné vyjádřit i vztah poměrný. Tato situace je více rozebrána v diskuzi.



Obr. 6: Nárůst vydatnosti odtoku z povodí v návaznosti na míře vegetačního pokryvu. Bosch a Hewlett (1982, upraveno)

Podobná situace nastává i v dalším zásadním grafickém vyjádření závislosti zvýšení odtoku na redukci vegetačního pokryvu – na obr. 6. Vyjadřuje ale přímou úměru nárůstu vydatnosti odtoku v závislosti na míře odstranění vegetačního pokryvu. To v praxi znamená, že čím větší plocha (poměrná část) povodí je zredukována, tím větší nárůst vydatnosti odtoku je zaznamenán. Vyjádření je pro povodí s dominancí jehličnanů, listnatých a smíšených lesů, křovin a ostatních. Díky znázorněné regresi tak můžeme snadno pozorovat zmíněný vztah, který se liší právě v návaznosti na druh vegetace, vzestupnou tendenci mají ale všechny skupiny.

Pro ilustraci variability reakcí prostředí na změnu vegetačního krytu je ale zajímavé uvést závěr z výzkumu v Beskydech od Chlebka a Jařabáče (1988): „Výzkum srážkově odtokových vztahů v beskydských experimentálních povodích poskytl poznatek, že postupné obnovní zásahy na méně jak 50 % plochy povodí roční odtoková množství neovlivnily. Teprve při překročení této plochy je možné pozorovat tendenci k mírnému zvýšení odtoků.“

Velmi důležitým momentem reakce celého ekosystému je doba trvání takové změny vegetačního pokryvu. Tomu je věnována celá kapitola níže, nicméně je nyní vhodné zmínit práci Bruijnzeela (1988), který studoval nárůst vydatnosti odtoku v závislosti na změnách tropické vegetace zvláště v období sucha.

V této práci, dospěl k závěru, že:

- 1) Povrchový vsak a evapotranspirace spojené s reprezentativními typy vegetace hrají klíčovou roli při určování toho, co se stane s režimem toku po přeměně lesů
- 2) Pokud jsou zachovány charakteristiky povrchového odtoku, následek snížení evapotranspirace po smýcení lesa se projeví jako zvýšení základního odtoku
- 3) Úspěšnost a projev opětovného zalesnění je ale závislý nejen na změnách v evapotranspiraci a vsaku, ale také na schopnosti retence vody v půdě.

Prezenci těchto závěrů lze proto chápat tak, že záleží na typu rostlin, půdních podmínkách i úrovni evapotranspirace – tyto faktory hrají klíčovou roli ve výsledné podobě celého procesu, stejně jako když dojde k přesušení povrchu, voda z něj snadněji a rychleji odtéká, tzn., dojde i ke snížení výparu a tím pádem k navýšení odtoku. Schopnost retence půdy je tak dalším z klíčových faktorů procesu změn vegetačního krytu

Pokud bychom zkusili dohledat analogii k těmto závěrům v našem prostředí, jako příklad by mohly posloužit studie vlivu krajinného pokryvu na povodí Modrava, které prováděli např. Tesař, Šír a Zelenková (2004), stejně jako Pavlásek, Máca a Ředinová (2006). V závěrech obou prací tvrdí, že masivní odumírání lesů v pramenných oblastech vede ke snížení retenčních schopností krajiny a k výrazným změnám v hydrologické bilanci povodí.

Zde je ale velmi vhodné tyto závěry doplnit o výsledek studie Hrušky, Lamačové a Chumana (2006), která naopak hovoří o tom, že pokud jako v povodí Modravského potoka o rozloze cca 100 km² zůstane cca 1/3 rozlohy nezměněna, nejsou pak změny v hydrologickém režimu jako například sucha či povodně tolik výrazné a jsou více spjaté s množstvím a distribucí srážek. Případné ponechání přirozenému vývoji, se kterým je spojeno i odumírání určitých částí lesa například působením kůrovce, nepovede v dlouhodobém hledisku k ohrožení hydrologické stability.

K podobnému závěru dospěli i Tesař M., Šír M. a Dvořák I. J. (2004). Uvádí, že protože hlavním mechanismem, který udržuje rovnováhu v prostředí, je transpirace rostlin ve vegetační sezóně, tak v podmínkách, kdy se nemění plocha transpirující vegetace, se nemění ani vodní režim povodí. Zmiňují, že pokud na odlesněných plochách naroste náhradní bylinná a keřová vegetace, ta velmi často přebere funkci mrtvých či vytěžených stromů a to autoři považují za možný důkaz o tom, proč ani velkoplošné kalamitní odlesnění hraničních hor ČR nezpůsobilo vodohospodářskou katastrofu.

V České republice ale nesmí ve výčtu antropogenních vlivů na lesní porosty díky své hustotě chybět ani lesní komunikace, či otázka transportu dřeva při hospodaření v lese. Na toto téma existuje například zajímavá práce Novák a Slodičák (2006) hodnotící vliv hustoty transportní sítě na odtok. Autoři uvádí, že navýšení povodňového odtoku dochází již od hodnoty 40 m/ha. Základní význam pro tvorbu povrchového odtoku má také i její uspořádání a propojení se sítí hydrografickou. Při pohledu na světové statistiky si tak lze odvodit, že například v Rakousku je v tomto směru již hustota lesní dopravní sítě hraniční (35,4 m/ha) a ve Švýcarsku

v některých regionech s až 58,1 m/ha (Bystrický, Sirota, 2013) Tato skutečnost může mít velký vliv na zvýšený odtok z oblasti.

O velikosti povrchového odtoku z lesních porostů rozhoduje také druh využití technologie transportu, kdy nejméně šetrná je traktorová technologie, která zvyšuje povrchový odtok 5x a využití tažných zvířat 2x více, než použití lanovky (Novák, Sladičák, 2006).

4.5. Experimenty s přeměnou lesa

Tento typ pokusů pracuje s nahrazením jednoho typu lesa jiným. U experimentů s přeměnou lesa jsou zajímavé výsledky závěrů Vertessyho (2001). Ten v první řadě upozorňuje na vyhodnocování procesu obnovy lesa, který se děje v krátkodobém horizontu. Tento proces tak má patrný vliv především na úroveň nárůstu vydatnosti odtoku, v případě posuzování změn z dlouhodobého hlediska budou mít tyto změny také vliv na další entity v ekologické rovině, jakými je kvalita půdy, salinita či zabezpečení vodních zdrojů v oblasti.

Vertessy (2001) ve svých pokusech využíval jen několik prvních let po zásahu a změně z toho důvodu, protože dle něj v těchto letech skutečně docházelo k reakci povodí na přeměnu lesa, díky čemuž mohl posoudit vliv tohoto procesu. V dalších letech se již podle něj více projevil vliv nového typu vegetace. Nicméně i tak dokázal vyzdvihnout tyto tři hlavní hypotézy:

- 1) Trvá poměrně dlouhou dobu, než se projeví změna vegetace v procesech fungování povodí.
- 2) Zhutnění půdy či naopak její rozrušení v důsledku těžby, stejně jako požárová dynamika může dočasně zvýšit plošný odtok a změnit strukturu odtoku.
- 3) Při modelování lineárních vztahů předpovídajících vydatnost odtoku je nutné použít dostatečné množství dat. V opačném případě díky přírodní rozmanitosti a s tím související velké rozmanitosti v nárůstu vydatnosti odtoku a klimatické rozmanitosti nemusí být výsledky jednoznačné.

Autor ovšem uvádí, že v některých jiných částech světa s křovinatým porostem nebo tvrdolistými lesy, které jsou adaptovány na sušší oblasti, vyžadují výrazně opatrnější závěry při snaze o predikci dalšího vlivu odlesnění na zvýšení odtoku. Změny ve vydatnosti odtoku z povodí v sušších oblastech jsou totiž prokazatelné, nicméně dosahují větší setrvačnosti díky pomalejšímu nárůstu vegetačního porostu, stejně jako dochází k velké variabilitě v závislosti na srážkové vydatnosti v průběhu konkrétního roku. Díky velkým rozdílům ve srážkách ovšem autoři vyslovují potřebu dalšího dlouholetého kalibrování daných oblastí pro dosažení přesnějšího měření, které by oddělilo jednotlivé „suché roky“ od stálejšího klimatického projevu.

Z výsledků také plyne, že k čím větší rychlosti růstu lesa dochází, tím rychleji klesá odtok, zatímco nárůst vydatnosti odtoku klesá v poměru k rychlosti obnovy vegetace.

V celé řadě prací tak zaznívá výsledek, že v případě kácení výběrným způsobem dochází sice k navýšení odtoku, to ale daleko nejvíc ovlivňují místní podmínky. Naproti tomu při holosečném způsobu kácení se snáze predikuje efekt deforestrace na celém území.

Již v roce 1967 Hibbert dospěl s výše uvedenými autory prakticky ke shodným závěrům, když dal do souvislosti snížení vydatnosti odtoku při procesu nárůstu lesní vegetace na plochách s řídkou vegetací. Shrnul 31 těchto experimentů s tímto výsledkem:

- 1) Redukce lesního porostu zvyšuje vydatnost odtoku z povodí**
- 2) Přeměna řídké vegetace na lesní porost sníží vydatnost odtoku z povodí**
- 3) Reakce na opětovné zalesnění je vysoce proměnlivá, a pro většinu případů nepředvídatelná**

Zároveň ale vyzývá k opatrnosti při vyvozování jednoznačných závěrů v případě, že studie trvá kratší dobu než pět let, protože se domnívá, že změna v nárůstu vydatnosti odtoku může být způsobena variabilitou klimatu a nikoli výhradně v reakci na změnu vegetačního krytu. Zajímavé ale jistě je, že podobně jako Bosch a Hewlett (1982) i Hibbert (1967) uvádí, že redukce vegetačního krytu zvyšuje odtok.

4.6. Modelování procesů při deforestaci a Zhangovy křivky

Předvídání vývoje přírodních procesů, či popsání následků daných zásahů do vegetace je velmi důležité pro celkové vnímání vlivu deforestrace na hydrologický režim krajiny. K tomu se využívá široká škála hydrologických modelů, které jsou založeny na různých typech vstupních dat. Konkrétně k předpovědi dopadů trvalých změn ve vegetačním pokryvu v závislosti na evapotranspiraci a vydatnost odtoku se jako příklad mohou uvést tzv. Kuczery křivky (Kuczera, 1987). Ty popisují vztah mezi stářím lesa a roční výnosem vody a jsou specifická pro jeřábové porosty v Austrálii.

Velmi důležitým modelem jsou ale tzv. Zhangovy křivky (Zhang a kol, 1999). Tyto jsou pojmenované podle svého autora Lu Zhanga, a jsou ročním modelem odtokové bilance. Pro jejich tvorbu jsou použity výsledky jak z průměrných ročních výnosů vody, tak z párových povodí. Díky tomu dokážeme popsat rozdíly mezi trvalou a přechodnou změnou porostu. Zmíněné metody předpovědí se již v praxi osvědčily tak, že dnes umožňují předvídat změny v nárůstu vydatnosti odtoku v ročním časovém měřítku.

Velmi zajímavá práce zabývající se modelováním vlivu změn vegetačního pokryvu na klima západního středomoří je Gaertner a kol. (2001).

Problematika modelace predikování vývoje hydrologického režimu v návaznosti na změnu typu „land use“ je také velmi podrobně řešena v práci Karvonen a kol., (1999)

5. Doba odezvy ročního nárůstu vydatnosti odtoku

Jak bylo uvedeno v předešlých kapitolách, většina předchozích studií došla k závěru, že pokud dojde ke změně ve vegetaci, toto se projeví ve vodní bilanci. Zde ovšem záleží například na velikosti a typu zásahu do vegetace, typu a stáří vegetace stejně jako například na geomorfologickém složení či způsobu hospodaření na něm.

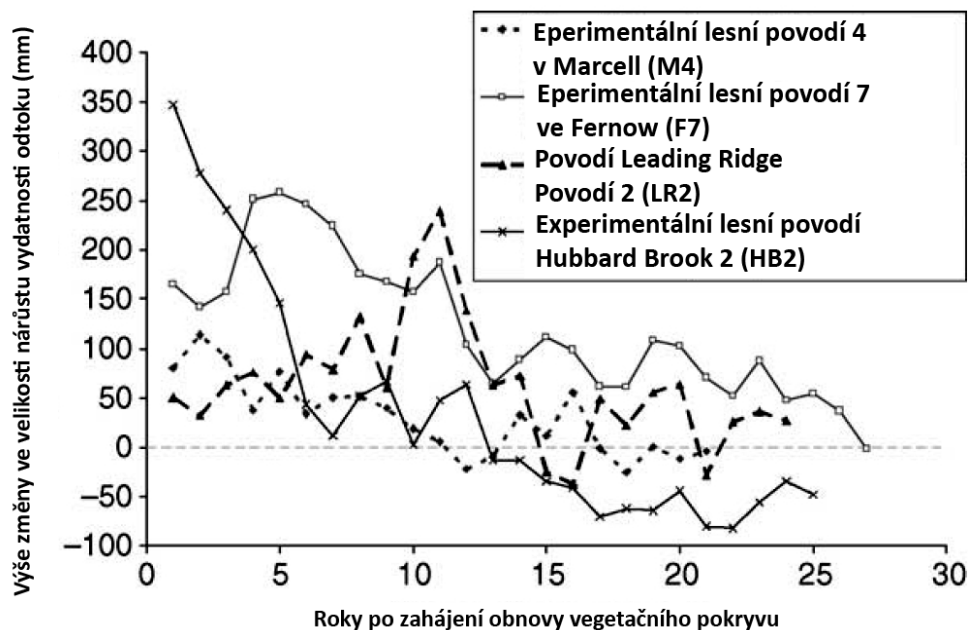
Brownová (2005) proto uvádí, že pokud k těmto změnám dochází, snadněji pozorujeme změny spojené s deforestací než s aforestací - konkrétním případem by tak mohla být disturbance jako požár či smýcení, které se v nárůstu vydatnosti odtoku projeví v řádu dnů či týdnů, zatímco změny spojené s obnovou vegetačního krytu jsou z logiky věci pozorovatelné v řádu let.

Hornbeck a kol. (1993) pracoval s párovými povodími v USA, kde se zaměřil na dlouhodobé účinky obnovy vegetačního pokryvu na nárůst vydatnosti odtoku v různých klimatických podmínkách. Vyzdvihl následující závěry:

1. Počáteční zvýšení odtoku se projevuje okamžitě po smýcení
2. Zvýšení vydatnosti odtoku by mohlo být prodlouženo snižováním opětovného zalesnění (analogické s trvalou změnu vegetace) - když se totiž v oblasti umožnilo opětovné zalesnění, vzestup vydatnosti nárůstu odtoku poklesl rapidně během zhruba 3-10 let.
3. Malé zvýšení nebo snížení vydatnosti nárůstu odtoku mohou přetrvávat po dobu nejméně deseti let.

To ve shrnutí opět potvrzuje tezi, že pokud dojde k razantní změně vegetačního pokryvu jako je smýcení, dojde k rychlé reakci a nárůstu odtoku. Pokud poté dojde k opětovnému zalesnění, během 3-10 let dochází ke snížení nárůstu vydatnosti odtoku. Malé změny v odtoku trvají ještě nejméně 10 let.

Na obr. 7 tak můžeme zřetelně pozorovat průběh těchto změn. V případě experimentálního lesního povodí Hubbard Brook (HB2) v USA došlo ke stoprocentnímu smýcení a poté tam byla umožněna přirozená obnova původního vegetačního porostu. V důsledku snížení intercepce a transpirace lze pozorovat počáteční nárůst vydatnosti odtoku a posléze při opětovném nárůstu biomasy a obnově vegetačního pokryvu i následné snížení vydatnosti odtoku.



Obr. 7 – Časové hledisko změny nárůstu vydatnosti odtoku ve čtyřech párových povodích v USA. Marcell (M4) - 100% smýcení na základní ploše; Fernow (F7) - Holoseč na horní polovině povodí (rok 0), herbicidy na horní polovině povodí (roky 2-7), holoseč na dolní polovině povodí (rok 4), herbicid na celém povodí (roky 5-7); Leading Ridge (LR2)- 24% holoseč v dolní části (rok 0), střední svah 27% holoseč (roky 4-5), herbicid na nižší a střední svah (rok 7) 40% Horní svah holoseč (rok 8-9), herbicid na všech povodích (rok 10); Hubbard Brook2 (HB2) 100% holoseč (rok 0), herbicid na celém povodí (roky 2-4). (Brownová, 2005, upraveno).

K podobnému závěru dospěli Vertessy a kol., (2001), ten ale popsal jako hlavní důvod zvýšenou intercepce a transpiraci starého lesa v porovnání s rostoucím, jak je zmíněno níže v práci.

Po zhruba 12 až 15 letech se tak vegetační pokryv dostává na úroveň původního lesa. Pokusy v lesním povodí Marcell (M4) vykazaly podobné trendy – po počátečním nárůstu následoval pokles na úroveň odtoku před procesem opětovného zalesnění.

Rozdílnou křivku vývoje ale vykazuje pokus v pokusném lesním povodí Fernow. Zde byl vegetační pokryv upraven ve dvou fázích – výše položená část povodí byla smýcena na počátku pokusu a níže položená část až čtyři roky poté. Aby se zabránilo obnově porostů a opětovné obnově vegetačního pokryvu, byly na smýcených částech území aplikovány herbicidy až do sedmého roku od zahájení pokusu.

Díky absenci vegetačního pokryvu tak po celou dobu aplikace postřiku mohlo zvýšení nárůstu vydatnosti odtoku trvat, a k tomu také došlo. Od sedmého roku se dá ale jasně pozorovat snížení nárůstu vydatnosti odtoku v reakci na nárůst vegetačního pokryvu. Po tomto výkyvu, který je způsoben zvýšenou spotřebou vody právě v době růstu vegetace, se po ustálení vrací celý proces k původním hodnotám.

Podobná situace také nastává v lesním povodí v Leading Ridge (LR2). Zde je ovšem reakce zřetelnější a jsou patrné jednotlivé stupně fázi zásahu a opětovné obnovy. Tyto jsou tak více stupňovité až do devátého roku, kdy je celé povodí smýceno, desátý rok je aplikován herbicid a následně ponechána obnova vegetačního krytu přirozenému procesu. Hodnoty se následně vrací do normálu.

Ve shrnutí se tedy dá říci, že tyto pokusy přináší dobré podklady pro představu výše počátečního zvýšení nárůstu vydatnosti odtoku a přibližného času potřebného k návratu do hodnot před změnami ve vegetačním pokryvu, nicméně poskytují jen velmi omezené informace o dlouhodobém vlivu změn ve vegetaci – které mohou nastat při odlesňování či zalesňování a jejichž následkem nedojde k navrácení podmínek do původní úrovně.

6. Nová rovnováha po holoseči, stáří lesa a jeho vliv na vydatnost odtoku

Pokud budeme vnímat hydrologický cyklus jako nekonečně se opakující proces, velkou roli v něm tedy po změnách bude hrát doba a způsob dosažení nové rovnováhy. Tato je opět ovlivněna velkou řadou vnějších faktorů, rozhodujícím je forma obnovy vegetace. Na pokusech v povodí v Austrálii byly provedeny pokusy s různými formami této obnovy.

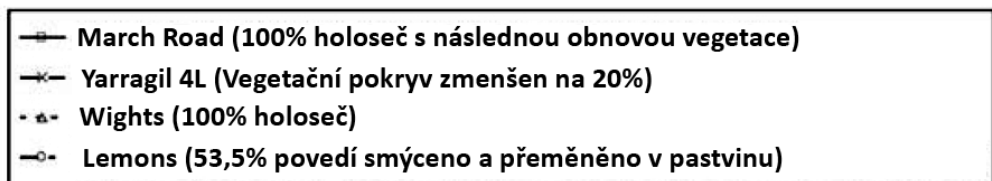
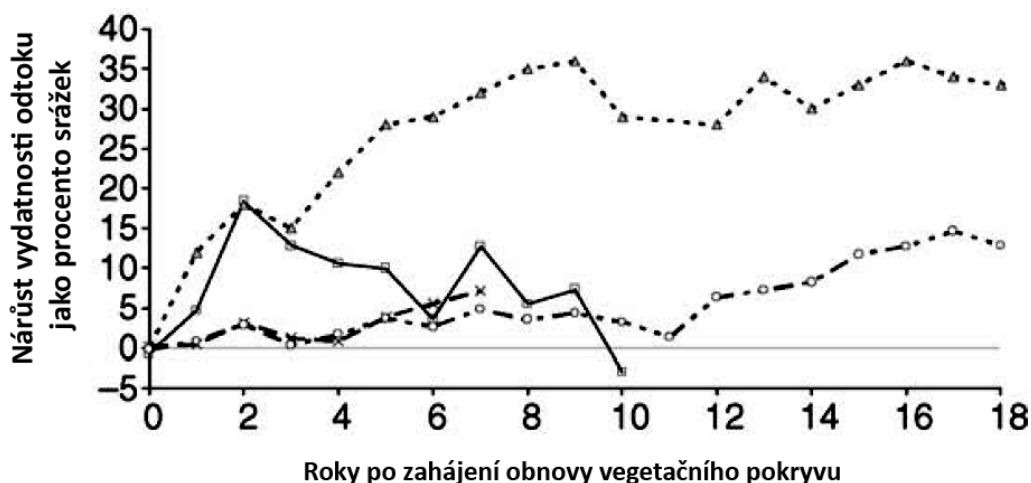
Na nich poukazuje Brownová (2005) na zajímavou situaci, která nastává v křivce vývoje po holoseči v povodí Wights. Zde díky úplnému smýcení dochází k výraznému nárůstu vydatnosti odtoku, který díky trvajícím snížení intercepce a evapotranspirace vykazuje rostoucí tendenci do bodu, ve kterém je dosaženo nové rovnováhy.

Poté je vidět počínající pokles, který bude jistě zajímavé sledovat dále. U dalších povodí, konkrétně Lemon a Yarragil, které byly pouze částečně smýceny a nevykazují počáteční nárůst vydatnosti odtoku, dochází k nárůstu trvalému v průběhu měřeného období. Na základě nedostatečné délky trvání pokusu tak autoři nedovedou stanovit vznik nového rovnovážného stavu.

Naproti tomu ke shodě v projevu obnovy vegetačního krytu dochází dle autorů v povodí Hubbard Brook, které je na obr 8. a v povodí March Road, které je opět na obr 8. – jedná se o holoseče s následnou obnovou vegetačního krytu a v obou případech dochází po počátečním nárůstu vydatnosti odtoku vody v prvních dvou letech „obnovy vegetace“ k jeho opětovnému návratu do původních hodnot okolo desátého roku po zásahu.

Jak tedy opět autoři uvádí, tyto výsledky s obnovou vegetačního krytu lze obtížně použít pro předpovědi dlouhodobých účinků trvalých změn vegetace, protože je zapotřebí dlouhých let k dosahování nových rovnovážných stavů.

Velmi důležitou proměnnou je v tomto tématu stáří lesa. Jak se zmiňuje v práci Vertessy a kol., (2001), pokusy s obnovou vegetačního pokryvu mají kromě jiného velký potenciál na výzkum právě vlivu stáří lesa na změny v evapotranspiraci. Při pokusech totiž byl pozorován efekt, že pokud dojde ke smýcení a následné obnově vegetačního pokryvu, v průběhu tohoto procesu výrazně klesá odtok. Je tomu právě z toho důvodu, že rostoucí biomasa má v procesu růstu větší fyziologickou potřebu vody a výrazně větší transpiraci, než starý a stabilizovaný les.



Obr. 8 Grafické vyjádření průběhu a doby trvání hledání nové rovnováhy vydatnosti odtoku po změně vegetačního pokryvu. Zobrazeny výsledky čtyř různých párových povodí v Colie Western Basin v západní Austrálii. Průměrné roční srážky v povodí jsou v rozmezí od 600 do 1400 mm. (Brownová, 2005, upraveno).

V rámci našeho prostředí se hodí uvést výsledky pozorování v povodí Deštné v Orlických horách, kde se Kantor a kol. (2005) zabývali výzkumem evapotranspirace z různě starých listnatých a jehličnatých lesních porostů. Ti dospěli k závěru, že v mladém a dospělém jehličnatém lese je evaporace z půdy srovnatelná.

Užitečná studie je právě uvedena ve Vertessy a kol., (2001), kde je využito výše zmíněných Kuczerových křivek k popsání vztahu mezi stářím lesa a ročním výnosem vody. Autoři zde uvádí tyto výsledky:

1. Průměrný roční odtok z velkých povodí, která jsou pokryta stabilizovanými jeřáby (Ø 200 let starými) dosáhl hodnot 1195 mm pro oblasti, kde průměrný roční úhrn srážek je 1800 mm;
2. Po vypálení a úplné regeneraci se nárůst vydatnosti odtoku vody snižuje na 580 mm ve věku 27 let po úplné regeneraci;
3. Po 27 letech obnovy vegetace se průměrný roční odtok vrátí na úroveň před zásahem, přičemž trvá cca 150 let, než se dosáhne plného zotavení.

Další zmínka ve stejné práci naznačuje, že to může být obecnější chování i pro blahovičnickové lesy v Austrálii a nevztahuje se pouze na lesy s jeřábem. Toto může být vnímáno jako velmi nosné téma i ve vztahu k lesům České republiky, které sice v posledních dekádách doznaly většího rozšíření, s tím ale souvisí i proces stárnutí a s tím související změny.

Jiným příkladem využití modelů pro modelaci těchto jevů je práce Scotta a Smithe (1997), kteří využili data z jihoafrických experimentů se zalesněním. Vytvořili tak řadu všeobecných křivek předpovídající dopady zalesňování na ročních celkových odtocích a minima průtoků v závislosti na věku vegetace, druhové skladbě a místních podmínkách. Zde je ovšem dobré upozornit, že zatímco Kuczerova křivka je specifická pro jeřábové porosty, Scotova a Smithova křivka je specifická pro jižní Afriku. Díky těmto rozdílům bylo možné dojít k rozdílným výsledkům, kdy zatímco v Austrálii spotřebovaly borovice více vody než blahovičnický, v Jižní Africe tomu bylo naopak.

Pokusy se zalesňováním a odlesňováním ukazují, že zatímco podobná změna nárůstu vydatnosti odtoku je pozorována v dlouhodobém horizontu, čas potřebný k dosažení této rovnováhy je závislý na způsobu obnovy vegetace, obecně ale platí, že k nalezení nové rovnováhy dojde dříve po odlesnění, než po zalesnění. Zde je ovšem třeba upozornit na dobu trvání těchto i výše uvedených pozorování, které dle všeho neuvádí skutečně dlouhodobé změny a tak vyvozování výsledků je tak v dlouhodobých časových úsecích třeba chápat jako omezené.

7. Sezónní nárůst vydatnosti odtoku

Při shrnutí dosavadních důležitých informací se dá říci, že v současné době je naše chápání dopadů změny vegetace na roční nárůst vydatnosti odtoku na základě průměrné roční bilance na natolik vysoké úrovni, že umožňuje vytváření modelů predikce tak, jak to učinil Zhang (1999), Kuczera (1987) či Scott a Smith (1997).

Do jiné situace se ale dostáváme v případě, že uvažujeme i nižší jednotky odtoku, než roční průměrná bilance. V podstatě se jedná o skutečnost, že díky rozdílným klimatickým podmínkám, je v průběhu roku velký rozdíl mezi jednotlivými povodími právě v průběhu jednotlivých srážek. Brownová (2005) například opět hovoří o problému, kterým je již nižší úroveň poznání v rámci sezónních, měsíčních či dokonce denních průtoků, jejichž průběh může roční bilanci na výstupu poměrně ovlivňovat.

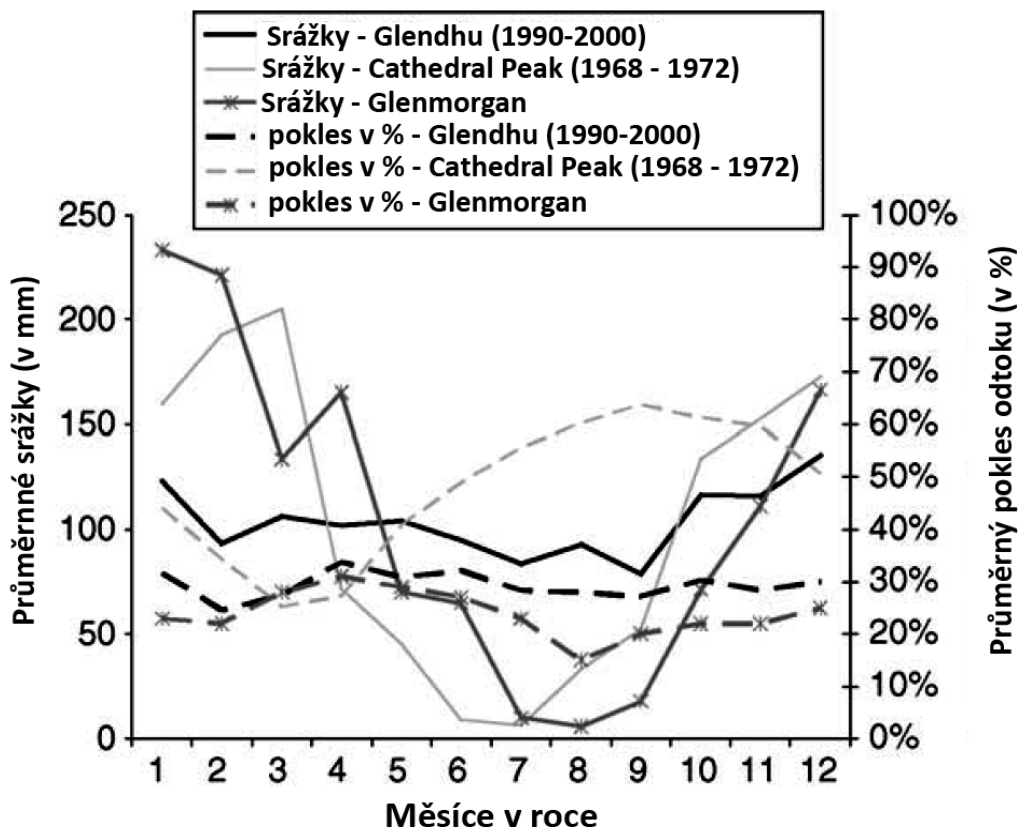
To přímo Hibbert (1969), Hornbeck a kol. (1987) se již snažili využívat měření v nižších řádech (měsíční) pro výpočet roční bilance, což umožnilo posoudit právě i vliv změny vegetačního pokryvu jak na roční, tak sezónní výnosy. Proto se dají dělit povodí na základě sezónnosti srážek, nikoli k dělení podle typu změny vegetačního pokryvu nebo dokonce typu vegetace. Dělení by tedy bylo následující:

- **Povodí s převážně letními srážkami**
- **Povodí ovlivněné sněhovými srážkami**
- **Povodí na pomezí zimních srážek**
- **Povodí s rovnoměrnými srážkami**

Dobrou představu o vztahu mezi neovlivněnými sezónními změnami odtoku (přirozená roční variabilita odtoku) a sezónními změnami odtoku způsobenými změnou vegetačního pokryvu přináší také Tabulka 1. Změny odtoku po změně vegetačního krytu jsou vyjádřeny poměrem k odtoku před změnou.

Sezónní změny odtoku		
Klima	před změnou vegetace	poměrná změna po změně vegetace
Povodí převážně s letními srážkami	Větší odtok v letních měsících, když jsou srážky vyšší než měsíční průměr	Pozorovány dva typy změn: 1) Podobné změny během všech měsíců; 2) Větší změny v zimních měsících, když jsou srážky pod měsíčním průměrem
Povodí s převahou zimních srážek	Větší odtok v období tání	Větší změny v letním vegetačním období
Povodí na pomezí zimních srážek	Větší odtok v zimních měsících když jsou srážky nad měsíčním průměrem	Větší změny v letních měsících když jsou srážky pod měsíčním průměrem
Povodí s rovnoměrnými srážkami	Rovnoměrný odtok v průběhu celého roku	Listnatá vegetace vykazuje vyšší změny v průběhu jarních měsíců, stálezelená vegetace vykazuje rovnoměrnější změny v průběhu roku

Tab 1. Přehled pozorovaných sezónních změn v odtoku v období bez změny vegetace a po změně vegetace. (Brownová, 2005, upraveno).



Obr 9. Průměrné měsíční změny ve vydatnosti odtoku v povodí Glendhu v Indii, Cathedral Peak v Jižní Africe a Glenmorgan v Indii (Brownová, 2005, upraveno). Na ose „Měsíce v roce“ jsou v hodnotách 1-12 reprezentovány měsíce leden až prosinec pro jižní polokouli a měsíce červenec až červen pro severní polokouli.

Pokud se tedy zaměříme na obsah tabulky z Brownová (2005), můžeme si povšimnout rozdílu na povodích s převahou letních srážek - rozdíly se mohou lišit od stejnoměrných změn v průběhu roku, po velké změny v období sucha.

Dále se uvádí, že tyto změny mohou být dobře pozorovány v pokusném povodí Glenmorgan v Indii a v povodí Cathedral Peak v Jižní Africe. Obě tato povodí mají převahu letních srážek a byly zalesněné, přesto jsou rozdíly v nárůstu vydatnosti odtoku výrazně odlišné. Rozdíl v reakcích pozorovaných na povodích s dominancí letních srážek, prochází podobnými změnami ve vegetaci, což upozorňuje na obtíže spojené zobecněním sezónních vlivů na vydatnosti.

Při uvedení příkladů z České republiky se dá uvést článek Švihly kol. (2016) o velkoplošných holosečích v povodí Červík, Malá Ráztoka a Deštenská stráň a kalamitní ploše v povodí Vydry. V těchto místech se v rámci studie pozorovaly nárůsty vydatnosti odtoků v průběhu vegetačních období, což ukazuje na pokles výparu, sycení podzemních vod i vzestup povodňových průtoků.

Výsledky z jednotlivých povodí byly poměrně rozdílné, avšak dobře patrné. Na povodí Vydry i povodí Malá Ráztoka došlo k nárůstu vydatnosti odtoku z holin oproti původnímu vzrostlému lesu o 8-12%, což se dá hodnotit jako významný nárůst. Při

srovnání s nárůsty odtoku v povodí Červík a elementárních odtokových ploch na Dešenské stráni, kde byl nárůst pouze 2-7%, což se dá opět vyložit v tom závěru, že odtok z holin je vyšší, než odtok z holin a mlazin. Jak uvádí autoři, ke zvýšení vegetačních odtoků po těžbách došlo i v povodí Červík.

Další prací, která řeší sezónní nárůsty v odtoku je Šimková a Bažantová (2013). Ty posuzovaly změny v rozložení odtoku během roku na základě procentuálního zastoupení průměrných průtoků v jednotlivých měsících a ročních obdobích vzhledem k průměrnému ročnímu průtoku.

Zde prokázaly výpočtem na povodí Lomnice (profil Ostrovec) z 37 hydrologických let typický trend, což je úbytek odtoku v zimním a letním období, naopak na jaře a na podzim podíl odtoku roste. Při jejich srovnání s analýzou v pramenných oblastech Otavy dle Klimenta (2008) je situace v povodí Lomnice zcela odlišná. Měsíční průtoky jsou ovlivňovány zejména klimatickými charakteristikami (především srážkami a teplotou), které mají pravidelnější a dlouhodobější působnost. Také způsobují postupné hromadění a tání sněhové pokrývky, což největší měrou ovlivňuje průtoky v jarních měsících.

Jak uvedl Vertessy (1999), informace o sezónních výkyvech v nárůstu vydatnosti odtoku jsou omezené a někdy dochází k matoucím a protichůdným výsledkům - je tedy těžké zobecnit mezi výsledky různých studií. Zatímco výroční výsledky z párových povodí se dají snadno zobecnit podle typu vegetace, což ale dle všeho není případ sezónních dat.

8. Diskuze

V rámci diskuze je cílem shrnutí, rozšíření a konfrontování dosažených zjištění, případně jejich uvedení v nových souvislostech tak, aby takto sestavená data umožnila nahlédnout na problematiku v jiném světle.

Stěžejním tématem pro tuto práci je zkoumání vlivem deforestace na hydrologický režim krajiny. V celé práci byla použita velká řada studií. Pro snazší pochopení všech procesů a celé problematiky došlo k rozhodnutí využití všech dat publikovaných Boschem a Hewlitem (1982), jejich vyhodnocení v nových souvislostech a jejich další srovnání s výsledky českých autorů.

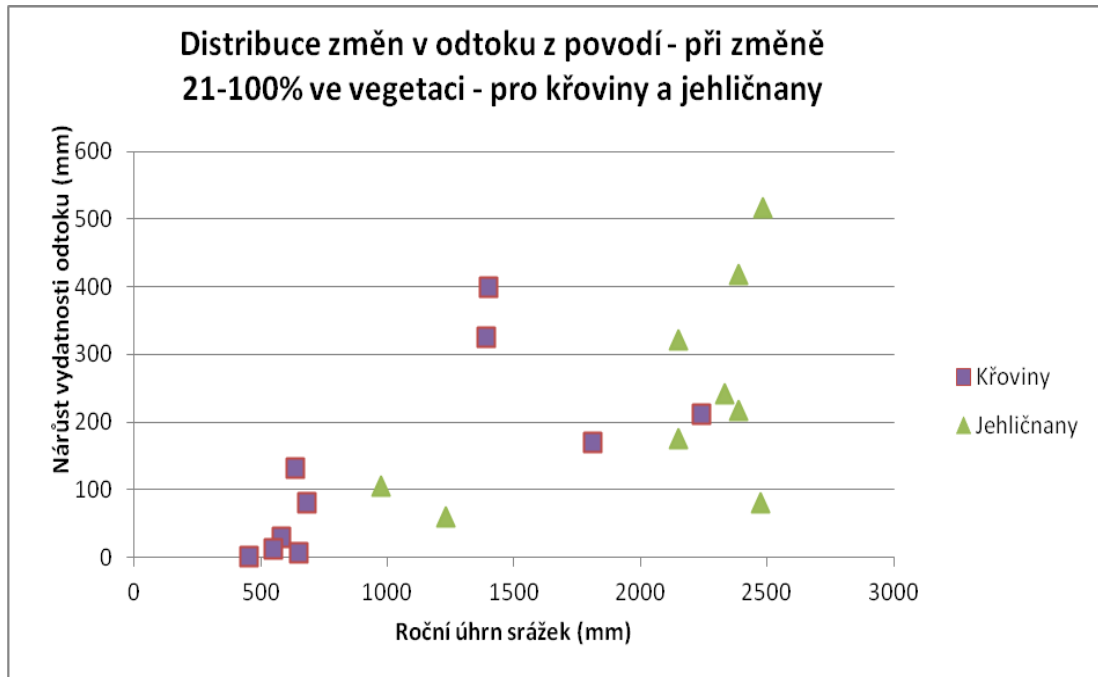
Pro porovnání byla sestavena tabulka s číslem pokusu, povodím, typem vegetace, ročním úhrnem srážek, ročním odtokem, mírou odstranění vegetačního pokryvu, nárůstem vydatnosti odtoku a nárůstem vydatnosti odtoku v prvních pěti letech pozorování, pokud byly k dispozici. Tato data posloužila již ke grafickému vyjádření zkoumaných jevů.

8.1. Změny v odtoku při změně vegetačního pokryvu – jehličnany a křoviny

V průběhu práce s daty se tak stejně jako u autorů omezila množina povodí na ta, ve kterých proběhla holoseč – 100% smýcení povrchu, a dále došlo k omezení pozorované skupiny na jehličnany a křoviny.

Zde došlo k dosažení podobného výsledku, který se ale lišil v počtu zobrazených bodů – povodí. Jejich počet byl nižší, což se dá přisoudit rozdílnému zařazení některých povodí do jiných skupin díky neúplnosti podkladů od autorů, zřejmě překladu a postupu při počítání s ročními odtoky v pětiletém období – pro vlastní zkoumání se počítalo s průměrnou hodnotou, způsob práce s těmito daty u autorů není znám. Takto dosažený výsledek sice poukazuje na podobný výsledek, nízkou četností zobrazovaných bodů však může ovlivnit celkové chápání souvislostí projevů vlivu změny vegetačního pokryvu na vydatnost odtoku.

Protože za deforestaci se ale dá považovat výrazná změna vegetačního pokryvu a nejen 100% smýcení, byla následně zahrnuta do grafu i ta povodí, kde nedošlo k úplné holoseči, ale pro demonstraci vlivu změny vegetačního pokryvu velikost změny přináší svůj efekt. Velikost nejnižšího limitu velikosti deforestace byla 20%, na základě závěrů a premisy autorů původní studie.



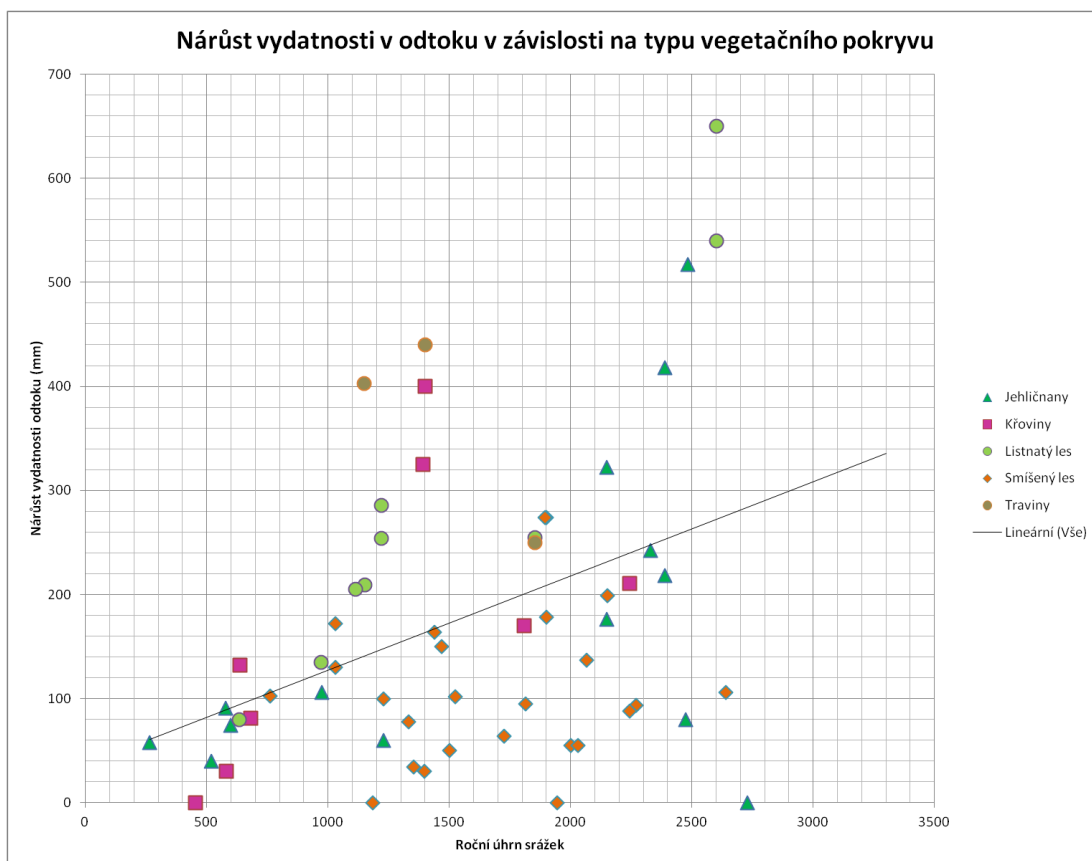
Obr. 10 – Distribuce změn v odtoku z povodí při velikosti změny vegetačního krytu v rozsahu 20-100% Sestaveno na základě dat dle Hewlett a Bosch (1982)

V grafu je tak vyjádřen nárůst vydatnosti odtoku v závislosti na ročním úhrnu srážek pro povodí výlučně s jehličnany a s křovinami.

Zřetelně je i patrný trend výskytu jednotlivých typů vegetace – křoviny se nacházejí v sušších oblastech s nižším výskytem srážek, naopak jehličnany jsou zde nejpočetněji zastoupeny v srážkových oblastech mezi 2100-2500mm. S tím souvisí i logický základ prezentovaných výsledků – v oblastech s nižším srážkovým úhrnem sice dojde k nárůstu odtoku, nedosahuje ale vysokých hodnot, naopak v oblastech s vysokým srážkovým úhrnem dochází také k navýšení odtoku v absolutních číslech.

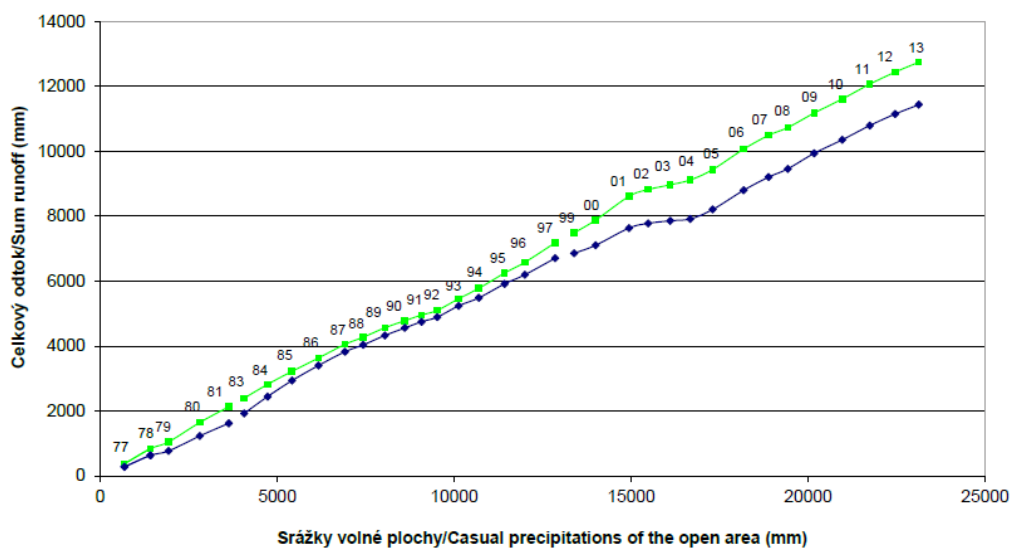
8.2. Změny v odtoku při změně vegetačního pokryvu – různé typy vegetace

Obdobná situace nastává také při využití všech typů vegetace naráz. Opět bylo využito všech dostupných dat ze studie Bosche a Hewletta (1982) a bylo využito korelačního koeficientu pro vyjádření trendu reakce nárůstu vydatnosti odtoku v závislosti na výši ročních úhrnu srážek. Trend rostoucího nárůstu odtoku v závislosti na zvyšování ročního úhrnu srážek je tak opět jasně patrný.



Obr. 11 – Distribuce změn v odtoku z povodí v závislosti na typu vegetace dle Bosch a Hewlett (1982) – s využitím korelačního koeficientu pro všechny typy vegetace současně.

Pokud bychom ale chtěli získat stejná data i pro situaci v České republice, nejčastěji bychom se setkali s překážkou ve formě jiného způsobu měření. Vlastní metodika je vždy mírně odlišná a velmi často také nejsou k dispozici data z čistě párových povodí. Například Chlebek s Jařabáčem (1988) se podobné problematice věnují dlouhodobě, vždy ale spíše se zaměřením na extrémní odtoky během povodní.



Obr. 12 Dvojitě součtové čáry (DSC) na odtokové ploše Deštenská stráň: Sm (modrý) & Bk (zelený); 1977–1981 kmenovina, 1981–2013 holá seč → tyčovina (Sm 2005–2006 sněholom). Významný lomový bod: po holosečném zmýcení dospělého smrkového porost v r. 1982 (Šach a Černohous, 2016)

Dobrou představu ale přináší kromě jiných i pozorování z Beskyd a Orlických hor od Šacha a Černohouse (2016), kteří konstatovali, že navýšení odtoku po holosečné těžbě na experimentálních odtokových a bilančních plochách existuje, průběh reakce odtoku na zásahy do vegetačního krytu ukazuje obr. 12. Pro ucelení složitosti celého procesu je ale dobré uvést i jeden z jejich závěrů, tj. že při holoseči v povodí Červík k navýšení vydatnosti odtoku nedošlo.

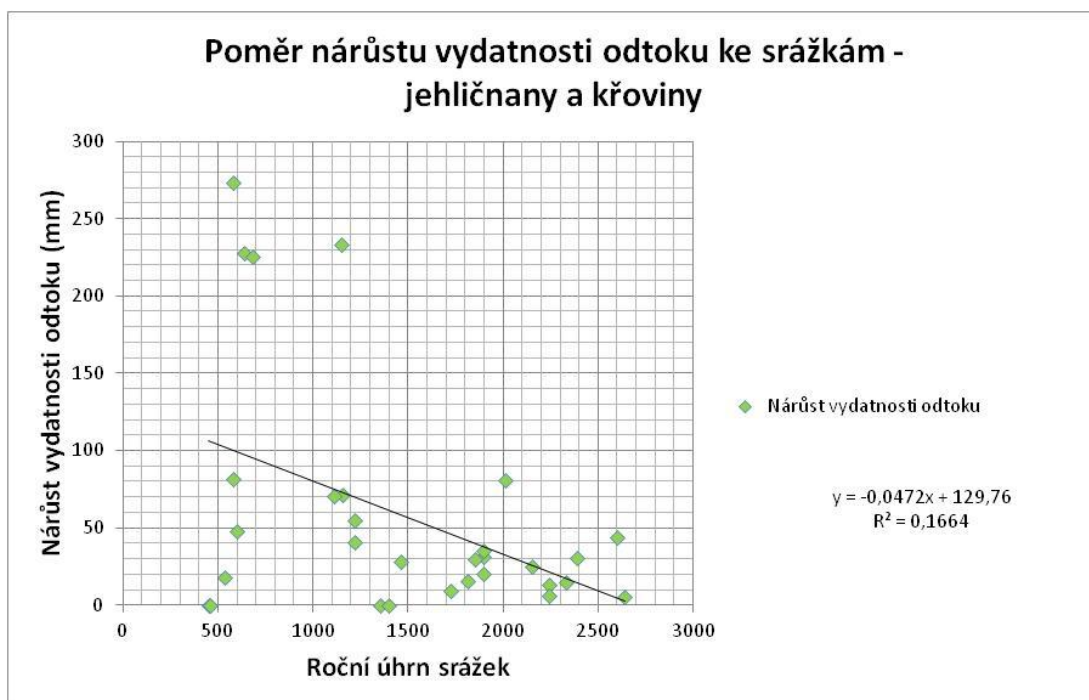
8.3. Poměr vydatnosti odtoku ke srážkám

Vztah mezi odstraněním vegetačního pokryvu a navýšením odtoku ale nehovořil o roli a míře *poměrného* ovlivnění hydrologického cyklu podle druhu vegetace. Protože tato otázka v práci Bosche a Hewletta (1982) nebyla nijak probírána, bylo vhodné rozšířit jejich výzkum právě o tuto část.

Byl tedy propočten procentuální poměr nárůstu vydatnosti ve vztahu ke srážkám a typu vegetace – data na výstupu tak vyjadřují, o kolik procent se zvýšila vydatnost odtoku po smýcení – při srovnání křovin a jehličnanů. Výsledek je překvapivý, protože i když absolutní odtok po smýcení jehličnanů dosahoval řádově vyšších hodnot než po smýcení křovin, při procentuálním vyjádření tomu bylo právě naopak viz Obr. 13.

To znamená, že třebaže při smýcení jehličnanů, které rostou v oblastech s vyšším úhrnem srážek, deforestrace v této oblasti je poměrně méně dramatická, než v sušších oblastech s výskytem křovin. Pokud tedy dojde ke smýcení křovin v místech, která jsou sice sušší, a mohlo by se zdát, že jejich odstranění nebude mít dramatický vliv, tak jejich nepřítomnost dramaticky ovlivní odtok v poměru k úhrnu

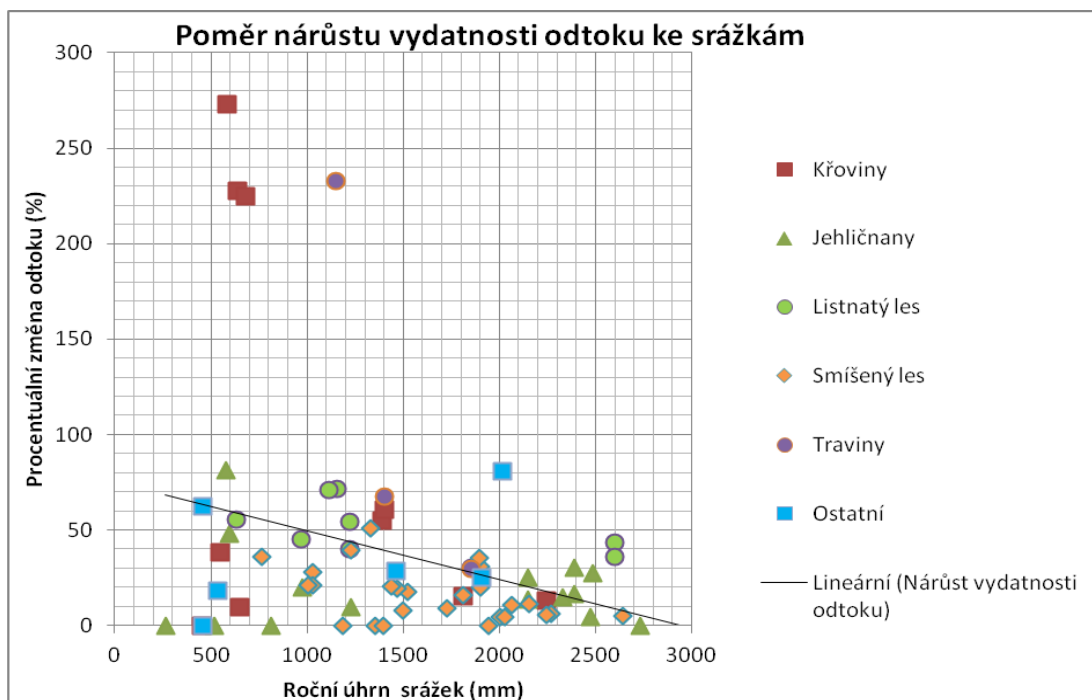
srážek. Toto zjištění se tedy dá brát jako potvrzení a zprávu o důležité roli vegetace v hydrologickém cyklu.



Obr. 13 – nárůst vydatnosti odtoku v procentuálním poměru ke srážkám – jehličnany a křoviny

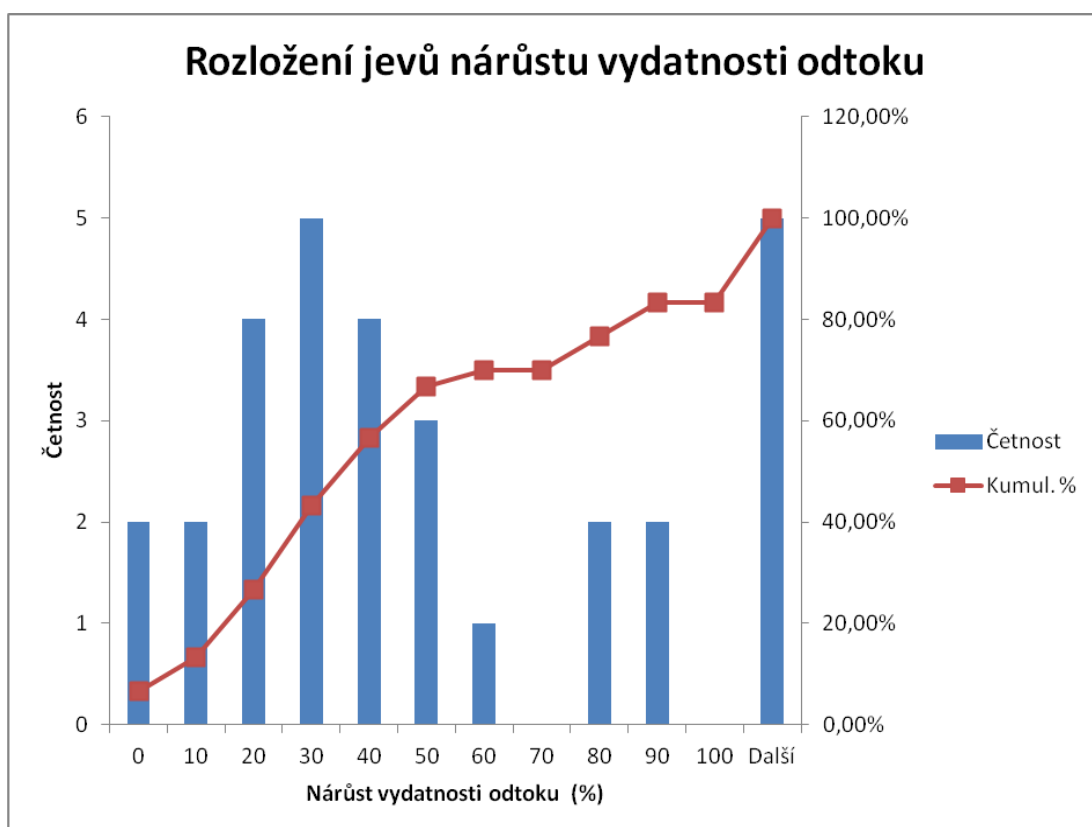
Protože by bylo vhodné rozšířit zkoumání Bosche a Hewletta (1982) i dále, využila se veškerá zbývající data tak, aby poskytla ucelený přehled o reakci hydrologického cyklu na změnu jednotlivých typů vegetačního pokryvu.

Do tabulky byla zahrnuta všechna dostupná data z práce – jehličnany, listnatý les, smíšený les, křoviny, trávu a ostatní. Při jednotlivých pokusech s vyjádřením výsledků a vycházejí z premisy samotných autorů, že se těžko posuzují změny odtoku pod 20% změny vegetace, byly zobrazeny změny vegetace mezi 21%-100% změny.



Obr. 14 – nárůst vydatnosti odtoku v procentuálním poměru ke srážkám – „všechna vegetace“

Z těchto údajů tak tedy ještě jasněji plyne důležitost vegetačního pokryvu v sušších oblastech a případný negativní vliv deforestrace jako prostředku omezující udržení vody v krajině.



Obr. 15 – Rozložení jevů nárůstu vydatnosti odtoku

Zajímavým ukazatelem je i jistě vyjádření rozložení nárůstu vydatnosti odtoku. Formou histogramu je zde vyjádřeno, v jakých rozmezích a četnostech se pohybovaly jednotlivé výsledky pokusů s nárůstem vydatnosti odtoku. Graf ukazuje, že k nejčastějšímu poměru nárůstu vydatnosti odtoku docházelo ve výši 30%, dále byly časté nárůsty vydatnosti odtoku o 20% a 40%.

Četným případem, jak ukazuje histogram, bylo ale extrémní navýšení odtoku o více než 100%. Zajímavé je ale jistě zjištění, že nejčastěji docházelo k tak velkým nárůstům poměrného odtoku právě v oblastech s relativně nízkým úhrnem srážek.

9. Závěr

Deforestace a změny vegetačního pokryvu jsou významnými prvky hydrologického režimu krajiny. Ve svých přirozených formách byly přítomny od vzniku první vegetace, s příchodem člověka ale díky jeho hospodářské činnosti tyto změny nabraly na takové intenzitě, že začíná být reálné riziko nenapravitelnosti těchto změn.

V odpovědi na otázku z úvodu této práce – jaká může být reakce hydrologického cyklu na změny vegetačního pokryvu, tak můžeme říci, že experimentálními studii i dlouhodobým pozorováním bylo prokázáno, že deforestace má vliv na nárůst vydatnosti odtoku z povodí. V zasazení těchto výsledků do širšího kontextu ovšem vyplývá, že míra těchto změn je úzce spjata s podmínkami, jako jsou velikost či geografické parametry povodí, biologické parametry vegetačního krytu, míra, typ a doba trvání změny vegetačního krytu, typ a retenční schopnosti půdy a další, velmi široká škála proměnných. Tyto jevy dnes dokážeme pozorovat a kvantifikovat, v omezené míře i modelovat a předvídat. Pro svou komplexnost a složitost v širším měřítku však stále nedokážeme detailně predikovat detailní a především dlouhodobý vývoj.

Pokud ale tyto procesy přeci jen upřesníme, dojdeme k závěru, že při významné vegetační změně dojde k nárůstu vydatnosti v odtoku a k následnému hledání nové rovnováhy. V žádném z uvedených pozorování totiž nebyl po deforestaci pozorován pokles vydatnosti odtoku, naopak u všech došlo k navýšení odtoku z povodí nebo změna nebyla pozorována.

Následně ale během obnovy vegetačního krytu dochází k poklesu nárůstu vydatnosti odtoku přímo úměrně s intenzitou obnovy vegetace, protože rostoucí vegetační pokryv má fyziologicky větší potřebu vody než stabilizovaná vegetace. V případě krátkodobých změn ve vegetaci tak rostoucí vegetace nahradí evapotranspiraci stabilizované vegetace a nedochází v krátkodobém hledisku k výraznému zásahu do hydrologického cyklu.

Proces obnovy vegetace a nárůst vydatnosti odtoku je ale úzce spjat s kvalitou a retenční schopností půdy – tato má jistou setrvačnost, která dokáže tlumit výkyvy kvality vegetace v čase. Pokud obnova vegetačního krytu ale není umožněna, dochází tedy zpravidla k degradaci půdního podkladu a s tím související zhoršení kvality půdy a změně vegetace. Následně ke snížení intercepce i evaporace a následné hledání nové rovnováhy v podmínkách změněného hydrologického cyklu. V širším měřítku tak dochází ke zhoršení biologické kvality prostředí.

Při pohledu na významnost těchto změn, tato je paradoxně vyšší v sušších oblastech, kde je nárůst odtoku po odlesnění v poměru ke srážkám vyšší, než v oblastech s vyšším úhrnem srážek, kde je nárůst vydatnosti v absolutních číslech sice vyšší, v poměru ke srážkám ale k dramatickému nárůstu nedochází. Výsledky v diskuzi tedy ukazují na vysokou důležitost vegetace nejen v oblastech s nižším výskytem vláhy, kde je hydrologický cyklus zranitelnější, ale z pohledu ekologie i na důležitost vegetačního krytu jako takového.

10. Seznam uvedené literatury:

BARI, M.A., SMITH, N., RUPRECHT, J.K., BOYD, B.W., 1996. Changes in streamflow components following logging and regeneration in the southern forest of Western Australia. *Hydrological Processes* 10 (3), 447–461.

BLAŽKOVÁ Šárka a KOLÁŘOVÁ Světlana. Vliv odlesnění na hydrologický režim v oblasti Jizerských hor. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 1994. ISBN 80-901-1819-4.

BOSCH, J. M. a J. D. HEWLETT. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of hydrology*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982, 55(1-4), 3-23.

BROWN, Alice E., Lu ZHANG, Thomas A. MCMAHON, Andrew W. WESTERN a Robert A. VERTESSY. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*. Melbourne, 2005, (2005)(310), 28–61.

BRUIJNZEEL, L.A. (DE)FORESTATION AND DRY SEASON FLOW IN THE TROPICS: A CLOSER LOOK. *Journal of Tropical Forest Science* 1 (3): 229 - 243. Amsterdam: Vrije Universiteit, 1988, 1(3), 229 - 243. Dostupné z: <https://www.frim.gov.my/v1/JTFSONline/jtfs/v1n3/229-243.pdf>

BYSTRICKÝ, Roman a Ivan SIROTA. Lesní dopravní síť v ČR stav a budoucnost. *Lesnická práce: Časopis pro lesnickou vědu a praxi*. 2013, 92(1/13).

COE, Michael T., Marcos H. COSTA a Britaldo S. SOARES-FILHOC. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River: Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*. 2009, (Volume 369, Issues 1–2.), 165–174.

D'ALMEIDA, Cassiano, Charles J. VÖRÖSMARTY, George C. HURTT, José A. MARENGO, S. Lawrence DINGMAN a Barry D. KEIM. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. *International Journal of Climatology*. 2007, 27(5), 633-647. DOI: 10.1002/joc.1475. ISSN 08998418. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1475>

GAERTNER, M. A., O. B. CHRISTENSEN, J. A. PREGO, J. POLCHER, C. GALLARDO a M. CASTRO. The impact of deforestation on the hydrological cycle in the western Mediterranean: an ensemble study with two regional climate models. *Climate Dynamics*. 2001-8-1, 17(11), 857-873. DOI: 10.1007/s003820100151. ISSN 0930-7575. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s003820100151>

HATLAPATKOVÁ, Lenka. Rychlost obnovy lesního prostředí po zalesnění marginálních zemědělských pozemků. ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE, 2011. Doktorská disertační práce.

HAVLÍK - Základy hydrologie [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra hydrauliky a hydrologie, 2013 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Hydrologie.pdf

HIBBERT, A.R., 1967. Forest Treatment effects on water yield, Reprint from Proceedings of International Symposium on Forest Hydrology, Penn State University 1965 527–543. Pergamon Press, New York. 1967. Dostupné z: <http://coweeta.uga.edu/publications/842.pdf>

HIBBERT, A. R. Water Yield Changes after Converting a Forested Catchment to Grass. Water Resources Research. 1969, 5(3), 634-640. DOI: 10.1029/WR005i003p00634. ISSN 00431397.

HORNBECK, J. W.; MARTIN, C. W.; PIERCE, R. S.; BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E.; EATON, J. S. The Northern hardwood forest ecosystem: ten years of recovery from clearcutting. NE-RP-596. Broomall, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station; 1987 30 p. Dostupné z: https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp596.pdf

HORNBECK, J.W., ADAMS, M.B., CORBETT, E.S., VERRY, E.S., LYNCH, J.A., 1993. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. Journal of Hydrology 150 (2/4), 323–344.

HRÁDEK, František a Petr KUŘÍK. Hydrologie. Praha: Credit, 2004. ISBN 80-213-0950-4.

HRUŠKA, Jakub, Anna LAMAČOVÁ a Tomáš CHUMAN. Bezzásahový režim nemá zásadní vliv na hydrologii šumavských povodí. Ochrana přírody: Výzkum a dokumentace. 2006, 2006(1), 35-38.

CHLEBEK A., JAŘABÁČ M. 1988: Důsledky porostních obnov na odtok vody z beskydských experimentálních povodí. Zprávy lesnického výzkumu 4: 7–12.

JOHNSON., R.C. Effects of upland afforestation on water resources: the Balquhider experiment 1981-1991. Wallingford, England: Institute of Hydrology, 1991. ISBN 09-485-4029-X.

KANTOR, P., F. ŠACH, KARL, Z. Analýza evaporace mladého smrkového a bukového porostu na volné ploše v bezsrážkových obdobích na stacionáru Deštné v Orlických horách. In Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2006, s. 387--397. ISBN 80-86461-71-8.

KARVONEN, T., H. KOIVUSALO, M. JAUHAINEN, J. PALKO a K. WEPPLING. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of Hydrology*. 1999, 217(3-4), 253-265.

KIRBY, Celia., Malcolm David. NEWSON a Kevin. GILMAN. Plynlimon research: the first two decades. Wallingford, Oxfordshire: Institute of Hydrology, c1991. Report (Institute of Hydrology (Great Britain)), číslo. 109. ISBN 09-485-4027-3.

KLIMENT Z., Matoušková M. (2008): Long-term Trends of Rainfall and Runoff Regime in Upper Otava River Basin. *Journal of Soil and Water Research*, 3: 155-167.

KUCZERA, George. Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalypt forest. *Journal of Hydrology*. 1987, 94(3-4), 215-236. DOI: 10.1016/0022-1694(87)90054-0. ISSN 00221694.

NOVÁK, Jiří a Marian SLODIČÁK. Pěstování lesa v Orlických horách: Sborník přednášek odborného semináře. Polom: VÝZKUMNÝ ÚSTAV LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A MYSLIVOSTI, V.V.I. VÝZKUMNÁ STANICE OPOČNO, 2009.

Odtok: Specifický odtok. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Odtok>

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, Renata a Jindřich FRAJER. Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3843-6.

PAVLÁSEK, J. – MÁČA, P. – ŘEDINOVÁ, J. Analýza hydrologických dat z Modravských povodí. *Journal of Hydrology and hydromechanics*, Bratislava: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i. a Ústav hydrologie SAV, 2006, roč. 54, č. 0, s. 207 - 216. ISSN: 0042-790X.

PENKA, M. (1985): Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha, 250 s.

SAHIN, V., HALL, M.J., 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology* 178 (1/4), 293–309.

SCOTT, D.F., SMITH , R.E., 1997. Preliminary empirical models to predict reductions in total and low flows resulting from afforestation. *Water S.A.* 23 (2), 135–140. Dostupné z: http://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/10204/2112/3/scott_1_1997.pdf

SCOTT, D.F., PRINSLOO, F.W., MOSES, G., MEHLOMAKULU, M., SIMMERS, A.D.A., 2000. A re-analysis of the South African catchment afforestation experimental data: report to the Water Research Commission. Pretoria: WRC, 2000. ISBN 18-684-5672-2.

SHAW, Elizabeth M. *Hydrology in practice*. 4th ed. New York: Spon, 2011. ISBN 978-0-415-37041-7.

STEDNICK, J.D., 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology* 176 (1/4), 79–95.

ŠACH, František a Vladimír ČERNOHOUS. LESNÍ ODTOKOVÉ PLOCHY A MALÁ POVODÍ S EXPERIMENTY TĚŽBY DŘEVA VE VAZBĚ NA JEJICH VODNOST. *Zprávy lesnického výzkumu*. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016, 2016(61), 54-65.

ŠIMKOVÁ T. BAŽANTOVÁ, Ovlivňují antropogenní zásahy odtokový režim povodí IN ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, ed. *Voda, půda a rostliny: sborník abstraktů a CD s příspěvky z mezinárodní konference : Křtiny 29.6.-30.6.2013*. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2013. ISBN 978-80-87577-17-2.

ŠVIHLA, Vladimír, František ŠACH a Vladimír ČERNOHOUS. Vliv holých sečí či rychlého velkoplošného rozpadu lesa na celkový odtok za vegetační období. *Zprávy lesnického výzkumu*. Opočno: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016, 61(2), 138-144. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/445.pdf>

TESAŘ M., ŠÍR M., DVOŘÁK I. J. 2004: Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: ŠTURSA J., MAZURSKI K. R., PALUCKI A. & POTOCKA J. (eds.), *Geoekologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. Opera Corcontica, 41: 30–37.

TESAŘ M., ŠÍR M., ZELENKOVÁ E. (2004). Vliv vegetace na vodní a teplotní režim tří povodí ve vrcholovém pásmu Šumavy. *Aktuality šumavského výzkumu II*, Srní: 84 – 88.

VACULÍN O., SOUKALOVÁ E., 2003: Režim podzemní vody a použití hydrologického bilančního modelu v infiltrační oblasti jímacího území brněnského vodovodu. 5. Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí.

VERTESSY, R.A., BESSARD, Y., 1999. Anticipation the negative hydrological effects of plantation expansion: results from GISbased analysis on the Murrumbidgee Basin, in: Croke, J., Lane, P. (Eds.), *Forest Management for the Protection of Water Quality and Quantity Proceedings of the Second Erosion in Forests Meeting*, Warburton, 4–6 May 1999, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Report 99/6, str. 69–74.

VERTESSY, R.A., 2000. Impacts of plantation forestry on catchment runoff, in: Sadanandan Nabia, *Farm Forestry and Water Proceedings of a National Workshop*, 20–21 July, Melbourne, str. 9–19.

VERTESSY, Robert A., Fred G.R. WATSON a Sharon K. O'SULLIVAN. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management*. Elsevier, 2001, 143(1-3), 13-26. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00501-6. ISSN 03781127.

WHITEHEAD, P.G. a M. ROBINSON. Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*. 1993, 145(3-4), 217-230. DOI: 10.1016/0022-1694(93)90055-E. ISSN 00221694.

The World Bank [online]. 1818 H Street, NW Washington, DC 20433, 2013 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.ZS?end=2013&start=1961&view=chart>

ZHANG, L., DAWES, W.R., WALKER, G.R., 1999. Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. CRC for Catchment Hydrology, Technical Report 99/12. Monash University, Victoria, Australia. Dostupné z: <http://www.ewater.org.au/archive/crcch/archive/pubs/pdfs/technical199912.pdf>