

# VLIV HOLÝCH SEČÍ ČI RYCHLÉHO VELKOPLOŠNÉHO ROZPADU LESA NA CELKOVÝ ODTOK ZA VEGETAČNÍ OBDOBÍ

## INFLUENCE OF CLEARCUTTINGS OR IMPACT OF RAPID BROAD DISINTEGRATION OF A FOREST ON TOTAL RUN-OFF BY GROWING SEASONS

VLADIMÍR ŠVIHLA<sup>1)</sup> - FRANTIŠEK ŠACH<sup>2)</sup> ✉ - VLADIMÍR ČERNOHOUS<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Fügenerova 809, CZ - 266 01 Beroun, Czech Republic

<sup>2)</sup>Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno, Na Olivě 550, CZ - 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ e-mail: sach@vulhmop.cz

### ABSTRACT

Increase of run-off volume in forest catchments after vast timber harvest poses a permanent problem for forest hydrology investigation. Submitted analysis brings a new approach to solve the problem, considering the harvested area to be a complex of the full-grown forest remains, young plantation with advanced growth, and weed-infested cutovers with differentiated run-off. To study the problem, three methods were developed. The first method is based on double sum curve (DSC) model. It determines ratio of sum of run-offs from harvested areas as a complex of full-grown forest remains, young plantation with advanced growth, and clearcuts to run-off from original full-grown forest on the same territory. The second method is based on taking weights of logging into consideration. It determines ratio of run-offs from complex of young plantation with advanced growth and clearcuts to run-off from original full-grown forest. The third method is the method of separation. It solves ratio of run-offs like the second method and moreover it determines ratio of run-offs from full-grown forest to weed-infested cutovers. It was proved correctness of the theory concerning the increase of run-off from a forest after clearcutting. It is in accordance with literature cited in references. Total run-offs increased after vast clearcutting by 1.0–9.6%. Run-off from weed-infested cutovers increased, contrary to that from original full-grown forest stand, by 8–12%. In the Červík catchment the DSC model of continuous representation brought non-uniform outcome of the analysis. For explanation of the whole effect there is a lack of more detailed data, particularly of those concerning forest soil water content. Run-off from full-grown forest during dry periods was always greater than from cutovers.

**Klíčová slova:** lesní porost, holoseč, srážky, celkový odtok, územní výpar, hydrologická bilance, dvojitá součtová čára

**Key words:** forest stand, clearcutting, precipitations, total run-off, sum vaporization, hydrologic budget, double mass curve, mountains, Czech Republic

### ÚVOD

Les jako významný krajinný prvek a nenahraditelná složka životního prostředí má nezastupitelnou úlohu ve vodním hospodářství krajiny. Jeho hydrologické funkce popisuje podrobně certifikovaná metodika Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině (ŠVIHLA et al. 2014). Zájmem se stává vliv obnovovaných holosečí a kalamitních holin (obr. 1 a 2) na celkový odtok z lesa. Materiál ke studiu otázky celkových odtoků z lesa se skládá z ovzdušných srážek a jim odpovídajících odtoků. Ke sledování jejich vazeb byly využity experimentální objekty v Orlických horách a Beskydech a monitorovaný objekt na Šumavě. U něho však neexistují podrobnější hydrologická data k celému procesu tvorby odtoku. Ke studiu problematiky bylo zvoleno vegetační období, protože u něho odpadá problematičnost vztahu srážek a odtoků v zimním období. Výše uvedeným pojetím je dána přesnost získaných výsledků, které lze považovat za vstup ke komplexnímu řešení celé problematiky.

Znamé výsledky lesnicko-hydrologické literatury vesměs potvrzují závěr, že po velkoplošné holosečné těžbě dochází zpravidla k dočasnému zvýšení odtoků ze zmýcených porostů (BOSCH, HEWLETT 1982; EISENBIES et al. 2007). Předkládaná analýza se nastíněné problematice věnuje nejen z hlediska holosečné těžby, ale i z hlediska kůrovcových kalamitních ploch s odumřelými porosty a s následnými výsadbami či nárosty vytvořenými před odumřením smrkových porostů. Na lesních pozemcích je koloběh vody aktuálně také důležitým ukazatelem pro hospodaření s dusíkem, které umožňuje zlepšovat kvalitu vod odtékajících z lesa (PETERJOHN et al. 1999). Management dusíku dále souvisí s huminovými látkami rozpuštěnými v povrchových vodách – huminovými kyselinami a fulvokyselinami, které vznikají především mikrobiálním rozkladem odumřelého rostlinného materiálu, zvláště rašelinicích mokřadů. Nízkomolekulární fulvokyseliny jsou pak většinou úpravárenských procesů z vody obtížně odstranitelné (PIVOKONSKÝ et al. 2010).

## MATERIÁL A METODIKA

Analýza zahrnuje rozbor čtyř případů, kdy došlo ke změně vzrostlého lesního porostu na zatravněnou holinu nebo na kombinaci zatravnělé holiny a mlazin odrostlých z výsadeb a nárostů. Prvým případem se týkal lesního porostu smrku na elementární odtokové ploše (EOP v Orlických horách o výměře 1 200 m<sup>2</sup>) zmýceného jednorázově (KANTOR 1996). Analýza byla dále zaměřena na rozbor postupujících těžeb a obnovy lesních porostů pruhovými holosečemi na povodí Malá Ráztoka (2,076 km<sup>2</sup>) a Červík (1,850 km<sup>2</sup>) v Beskydech (JAŘABÁČ 1984). Podrobný popis stanovištních, porostních, klimatických, hydrologických poměrů a vývoje hospodaření uvádějí ŠACH, ČERNOHOUS (2016). Je účelné připomenout, že experimentální plochy a povodí v Orlických horách a Beskydech se nacházejí v chráněných oblastech přírodní akumulace vod (CHOPAV) a v chráněných krajinných oblastech (CHKO).

Nakonec byl proveden rozbor stavu porostních poměrů Vydry po profilu Modrava (Modravský potok: 90,4 km<sup>2</sup>) na Šumavě z dat Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) v Českých Budějovicích (2015). Vývoj odtoků zde byl srovnáván ve vztahu ke kalambitnímu velkoplošnému rozpadu vyspělých porostů hraničního hřebene s Bavorským národním parkem a Modravských plání ve vegetačním pásmu smrčin pramenné části povodí řeky Vydry. V uvedeném území se již 30 let úmyslné mýtní těžby neprováděly. Lesní pozemky v povodí Vydry byly po kůrovcových kalamitách:

- zalesňovány bez vyklizení vytěženého dřeva,
- zalesňovány po odvozu vytěženého dřeva,
- ponechány bez zalesnění spolu se stojícími suchými stromy,
- ponechány bez zalesnění spolu s pokácenými stromy odkorněnými na místě,
- ponechány po vývrtech při bouři Kyrill bez asanace, a tudíž nepospas kůrovcové kalamitě.

Konečný stav v roce 2015 podle údajů pobočky ÚHÚL v Českých Budějovicích a Sdružení vlastníků obecních a soukromých lesů v ČR (SVOL) vykazoval v povodí Vydry:

– 29 % vzrostlých lesních porostů jako zbytek po kalamitách,

– 23 % obnovených porostů s mlazinami,

– 48/ % zaručených ploch se zbytky stojících suchých stromů.

Pro základní informaci o objektech výzkumu bylo vhodné doplnit stanovištní a porostní poměry a vývoj hospodářského zaměření (kategorizaci) objektů výzkumu především u tak rozsáhlé oblasti, jakou je povodí Vydry stupeň Modrava.

Na základě místní znalosti byly u Vydry a jejich pramenných potoků po stupeň Modrava doplněny tyto informace (VOVESNÝ 2016 – osobní písemné sdělení):

Stanoviště (nadmořská výška od 980 do 1370 m)

Klimatické smrčiny ..... 1/3

Rašelinné a podmačené smrčiny ..... 1/3 Modravské slatě (z toho vrchovištní kleč ca 500 ha)

Sutové terény ..... 1/3 Hřebeny hor

Aktuální porostní poměry – zcela dominuje smrk s výjimkou vrchovištní kleče.

Podle nařízení vlády č. 40 /1978 Sb. je Šumava vyhlášena chráněnou oblastí přírodní akumulace vod.

Nařízením vlády č. 163/1991 Sb. byl zřízen národní park Šumava (NPŠ). Předmětná oblast zkoumání je nejen jeho součástí, ale jádrovým územím. Teprve v historii NPŠ byla plocha postižena velkoplošným rozpadem nejvyššího stromového patra na ploše více jak 2/3 oblasti výzkumu.

Oblast výzkumu je více jak z 60 % dle §7 zákona o lesích č.289/95 Sb. lesy ochrannými a dle §36 odst. 2 lesního zákona je zde stanovena povinnost přednostního zajištění ochranné funkce.

Cílem analýzy bylo posouzení vlivu změn lesních porostů vyvolaných obnovními těžbami či kalamitami na změny velikosti odtoků Q ve vegetačních obdobích (dále jen vegetačních odtoků). Podrobné údaje o zpracovávaných experimentálních datech jsou v citované literatuře (KANTOR 1996; KREČMER et al. 2003; PUHLMANN et al. 2007; SCHWARZE, BEUDERT 2009; ŠVIHLA et al. 2014). Základní informace obsahuje tab. 1, výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 2. Eventuální přesahy průtoků oproti termínům srážek v koncích výpočtových intervalů byly vzaty v úvahu.



**Obr. 1.** Povodí Vydry se závěrečným profilem Modrava na Šumavě. Komplex holin a výsadeb s nárosty

**Fig. 1.** Vydra catchment with closing profile Modrava (Šumava Mts). Clearcuts and young plantation with advanced growth complex



**Obr. 2.** Povodí Vydry se závěrečným profilem Modrava na Šumavě. Skladba holin a výsadeb s nárosty

**Fig. 2.** Vydra catchment with closing profile Modrava (Šumava Mts). Clearcuts and young plantation with advanced growth complex

**Tab. 1.**

Základní parametry analýzy  
Basic parameters of analysis

Název lokality/ Name of the locality	Velikost odtokové plochy <sup>1</sup>	Nadmořská výška/ Altitude	Průměrná výměra/Average area		Porovnávaná období/ Periods compared
	km <sup>2</sup>	m	lesa/forest ha	holosečí a kultur <sup>2</sup> ha	
Deštenská stráň (Orlické hory)	0,0012	890	0,12	0,12	1977–1981 1983–1987
Malá Ráztoka (Beskydy)	2,076	962	100,48	107,12	1956–1965 1966–1975
Červík (Beskydy)	1,850	900	79,55	105,45	1956–1965 1966–1975
Vydra (Šumava)	87,5187	1114	2538,04	6213,83	1987–1991 2010–2014

<sup>1</sup>Size of run-off area; <sup>2</sup>Clearcuts and young plantations

**Tab. 2.**

Přehled výsledků analýzy  
Review of analysis outcomes

Metoda/Method	Lokalita/Locality			
	Vydra Šumava	Červík Beskydy	Malá Ráztoka Beskydy	Deštenská stráň Orlické hory
Významnost rozdílů porovnávaných souborů <sup>1</sup> Q, H				
F-test	N	N	N	N
t-test	N	N	N	N
X-test	N	N	N	N
Model DSC: r součtových čar $\Sigma Q = f[\Sigma H(o)]^2$	r(l)=0,999-VV r(l,vn,h)=0,999-VV	r(l)=0,994-VV r(o)=0,876-V	r(l)=0,996-VV r(o)=0,999-VV	r(l)=0,998-VV r(o)=0,999-VV
T-testy rozdílů lesa dle DSC a mýtin dle experimentů (t-test neparametrický) <sup>3</sup>	VV	N	VV	N
Zvýšení-snížení Q dle modelu DSC po těžbách <sup>4</sup>	Souvislé zobrazení <sup>9</sup> Q(l,vn,h)/Q(l)=1,059	Souvislé zobrazení Q(l,vn,h)/Q(l)=0,994	Souvislé zobrazení Q(l,vn,h)/Q(l)=1,010	Souvislé zobrazení Q(l,vn,h)/Q(l)=1,096
Model vztahu Q lesa a mýtin dle váhy těžeb, zvýšení Q dle modelu <sup>5</sup>	-	Q(vn,h)/Q(l)=1,018	Q(vn,h)/Q(l)=1,086	-
Metoda separace Q zvýšení Q <sup>6</sup>	Q(vn,h)/Q(l)=1,078 Q(h)/Q(l)=1,092	Q(vn,h)/Q(l)=1,032 Q(h)/Q(l)=1,083	Q(vn,h)/Q(l)=1,076 Q(h)/Q(l)=1,115	
Výměra porovnávaných ploch (km <sup>2</sup> ) <sup>7</sup>	87,519	1,850	2,076	0,0012
Rozsah těžeb v % plochy porostní zásoby <sup>8</sup>	71,0* -	57,4 41,1	51,6 42,2	100,0 100,0

<sup>1</sup>Difference significance of compared files; <sup>2</sup>Model of DSC; <sup>3</sup>"r" of sum curves; <sup>4</sup>T-tests of differences of forest by DSC and cutovers by experiments (t-test nonparametric);

<sup>5</sup>Increase – decrease of Q by DSC model after timber harvesting; <sup>6</sup>Model of relation of Q from forest and cutovers by weights of logging, increase of Q by model; <sup>7</sup>Method of Q separation, increase of Q; <sup>8</sup>Size of compared areas; <sup>9</sup>Logging volume in percentage of area and standing volume; <sup>9</sup>Continuous represent

\*Rozsah evidovaných kalami dle UHÚL České Budějovice/Range of registered disasters by the Forest Management Institute

Vysvětlivky/Captions:

Q – odtok/run-off

H(o) – ovzdušné srážky/atmospheric precipitation

N – statisticky nevýznamný rozdíl/nonsignificant difference

r – korelační koeficient +/correlation coefficient

V, VV – významný, resp. vysoce významný rozdíl/significant and high significant difference, respectively

l – les/forest

vn – výsadba s nárstem odrůstající do mlaziny/plantation with advanced growth growing up into young growth

h – holina/clearcut, cutover

Q(l,vn,h) – odtok ze vzrostlého lesa, výsadby s nárstem a holiny dohromady/  
run-off from full-grown forest, plantation with advanced growth and clearcut,  
in total

Q(vn,h) – odtok z výsadby s nárstem a holiny dohromady/run-off from plantation  
with advanced growth and clearcut, in total

Q(h) – odtok z holiny/run-off from clearcut

Q(l) – odtok z dospělého porostu/run-off from mature forest stand

Pozn: % snížení nebo zvýšení odtoku se dostane odečtením 1 a násobením 100 uvedených čísel.

Note: percentage of run-off decrease or increase is gained by subtraction of „1“ and by multiplication by „100“ of used numbers.

Základem analýzy je porovnání srovnatelnosti posuzovaných ploch. Statistickými testy F, t a X (MYSLIVEC 1957; WAERDEN 1957; ŠKRÁŠEK, TICHÝ 1990) byla potvrzena homogenita porovnávaných souborů se statisticky nevýznamnými hodnotami rozdílů sledovaných parametrů odtoků a srážek (tab. 2, 1. odstavec). Sledovány byly změny odtoků z ploch po těžbách a obnově, v povodí Vydry na Šumavě pak po těžbách, dílčí obnově a vzniku kůrovcových holin. Tyto plochy byly použity k vytvoření poměru ploch původního vzrostlého lesa vcelku ku plochám s holinami, s výsadbami a nárosty a se zbytky vzrostlého lesa. Jde tedy o poměr odtoku ze vzrostlého lesa ku odtoku z komplexu holin, výsadeb a nárostů a zbylé části vzrostlého lesa. Zde je třeba zdůraznit, že dosud prováděné analýzy nepřihlížely ke skutečnosti, že odtok z povodí po velkých obnovních těžbách a na velkých holinách po kůrovcových kalamitách je komplexem působení tří složek – holin, mlazin z jejich obnovy a zbytků plochy povodí s netěženým lesem.

Pro nový postup respektující skladbu výše uvedených složek byl sestaven model DSC (double sum curve), který vychází z korelační analýzy sumy odtoků a sumy srážek a formuluje vztah pro lesní porost

$$\sum Q = f(\sum HS(o)),$$

kde Q – odtok; HS(o) – ovzdušné srážky.

Pomocí modelu je srovnáván stav po velkoplošné obnovní těžbě, eventuálně na ploše po kůrovcové kalamitě, definovaný experimentálně zjištěnými  $\sum Q$ , se stavem definovaným modelem pro stejné období, tj. zavádí se předpoklad pokračování lesa i po kalibračním období podle modelu DSC. Analýza byla provedena pro souvislé zobrazení, tj. klasickou dvojitou součtovou čarou.

Výsledkem výpočtu je posouzení odtoků z kalibračního období a odtoků po něm, tj. změna odtoků původních ze vzrostlého lesa a odtoků po změnách stavu lesních porostů. Výsledky rozdílů odtoků byly testovány párovým t-testem nevyžadujícím předpoklad normálního rozdělení základních souborů (ŠKRÁŠEK, TICHÝ 1990). Výsledky modelu jsou v tab. 2, 2. odstavec.

K prohloubení analýzy byl odvozen další způsob studia našeho problému, tj. model založený na základě vložení do výpočtů váhy těžeb a jejich časového průběhu. Ukázalo se jasně, že holé plochy s buření zaujmají maximálně 10–20% těžené plochy povodí Malé Ráztoky a Červíku v Beskydech a 48% ploch dílčího povodí Modravský potok na Vydře na Šumavě. Tato analýza dává nový pohled na proces tvorby odtoku z vytěžených ploch. Umožňuje separaci odtoků z ploch s výsadbami a nárosty, ze zabařených holin a odtoku ze vzrostlého lesa. Výsledky jsou v tab. 2, 3. odstavec.

Metoda separace je založena na bilančním přístupu s uvažováním ploch komponent odtoku. Zvlášť jsou vypočteny poměry odtoků ze skladby mlazin a zabařených holin se vzrostlým lesem. Navíc jsou stanoveny poměry odtoků ze zabařených holin a vzrostlého lesa. Výsledky jsou v tab. 2, 4. odstavec. Analýza je provedena na základě objemových součinitelů odtoku C. Metoda separace je zřejmě z odvozených metod nejpřesnější.

Z poměrů

$$\frac{\frac{C(\text{holina, výsadba s nárostem})}{C(\text{les})}}{\frac{C(\text{holina})}{C(\text{les})}} = \frac{C(\text{holina, výsadba s nárostem})}{C(\text{holina})}$$

vyplývá, že tento poměr je na Vydře 0,98, na Červíku 0,95 a v Malé Ráztocce 0,93. Současně to vypovídá, jak důležitá je odtoková funkce mlazin na obnovovaných plochách.

Dále poměr

$$\frac{Q(\text{les, výsadba s nárostem, holina})}{Q(\text{holina})}$$

je na Vydře 0,97, na Červíku 0,92 a na Malé Ráztocce 0,91, v průměru 0,93.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky z EOP Dešenská stráň, z povodí Malé Ráztoky a z povodí Vydry vykazují logický sled výsledků – souhrnný odtok z těžných a obnovovaných ploch a kalamitních holin celkem je vždy vyšší než odtok z lesního porostu. Problémem zůstává výsledek analýzy v povodí Červík. Model souvislého zobrazení ukazuje na nižší odtok z obnovovaného lesa než z lesa bez obnovních těžeb, avšak v rozporu s dalšími výsledky. Může jít o nepřesnosti v měření průtoků nebo o velké rozdílnosti poměrů prostředí v období kalibrace a při obnovních těžbách. Promítnutí vývoje lesa z kalibračního období do vývoje lesa při obnovních těžbách předpokládá, že poměry prostředí se v obou časových obdobích podstatně nelišily. To zřejmě na Červíku nebylo splněno. Nezbyvá než konstatovat, že k vysvětlení procesu odtoku vody z povodí Červík v období 1956–1975 nám chybí řada dat, charakterizujících komplexně celý jev. Např. údaje o vlhkosti půdy chybí. Jisté však je, že jde o skládání hydrogramů z podpovodí A (90% vytěženo a obnoveno) a z podpovodí B (netěženo). V době sucha odtéká ze vzrostlého lesa totiž vždy více vody než z holin.

Poprvé byl v analýze vyvinut postup separující odtokové oblasti na obnovovaných plochách. Výsledek výpočtů je v odstavci 4 tab. 2 a názorně ukazuje, že nejvyšší odtoky jsou ze zabařených holin (zvýšení proti vzrostlému lesu o 8–12%). Mýtiny s mlazinami pak vykazují dočasné zvýšení odtoku oproti vzrostlému lesu o 2–9%. Odtok z ploch s mlazinami je tlumen. Výsledky analýzy jsou přímo srovnatelné s výsledky z poslední doby, publikovanými v práci autorů SCHWARZE, BEUDERT (2009) z Bavorského lesa. Odpovídají plně i dřívějším publikacím (DILS 1957; HEWLETT 1970; BOSCH, HEWLETT 1982; FLAWELL 1982; PULHMANN et al. 2007; KREČMER et al. 2003) a nesčetným výsledkům vědeckých projektů na mnoha kontinentech. Sled výsledků je logický a dokládá správnost použitých metod analýzy.

K výsledkům musíme připomenout, že srovnávání odtoků z mýtín a ze vzrostlého lesa je nutno provádět v krátkém období během mýtních těžeb, jestliže v dalším období na holinách narostou mlaziny, které mají jiné odtokové parametry než zabařeně holiny.

Na Vydře stoupnou ve vegetačním období průtoky o 18,37 mm/122 dní, což činí k profilu Modrava průměrně 157 l/sec. Z průměrného vegetačního průtoku 2,81 m<sup>3</sup>/sec. ze zalesněného povodí Vydry stoupne průměrný vegetační průtok po obnovních těžbách a kůrovcových kalamitách na 2,967 m<sup>3</sup>/sec., tj. o 5,6%. Obr. 3 ukazuje, že trend DSC napozorované pro období kalamity (čárkovaná + trojúhelníky) se dostává významně výše (p = 0,05) než trend DSC modelově vypočtené pro kalamitní období z DSC kalibrační (plná + kosočtverce). Rozdíl v celkovém odtoku Q(c) v roce 2014 je +193,9 mm, tj. zvýšení o 5,9%.

Výsledky dokládá poměr

$$\frac{Q(vn, h)}{Q(l, vn, h)},$$

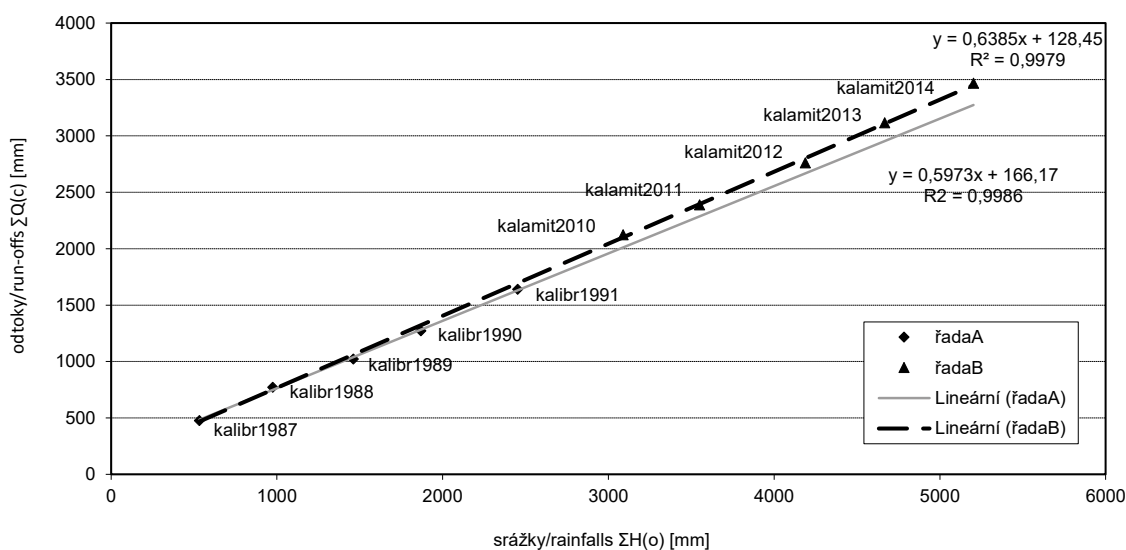
který je v průměru 1,044. Je to dáno tlumícím účinkem vzrostlého lesa na odtok.

Těžbami a kalamitami zasažené plochy činí 71% plochy dílčího povodí Vydry. Zvýšený odtok je zřejmě zapříčiněn poklesem evapotranspirace, dotací podzemních vod a stoupnutím kulminačních průtoků povodňových vln. Kvantifikace tohoto procesu by vyžadovala podrobnější výzkum.

Konečně je nutno se zmínit o některých výsledcích České geologické služby (Seminář UK, Přírodovědecké fakulty dne 10. 11. 2014 v Praze, Benátská 2), kde bylo RNDr. Hruškou dokládáno prostřednictvím dvojitě součtové čáry, že roční úhrny odtoků se na Vydře nijak těžbami a kůrovcovými kalamitami nezměnily. Vzhledem k tomu, že mimovegetační a vegetační odtokový režim je zcela odlišný a navíc součtové čáry odtoku jako funkce součtu srážek v zimě jsou problematické, výsledek nelze bez výhrad přijmout.

## ZÁVĚR

- Odtokový režim v lese je komplikovaný a ve větších lesních celcích je vždy souborem odtoků dílčích z ploch různého stavu lesního ekosystému, např. ze vzrostlého lesa, mlazín a zabuřenělých holín. Výsledky analýzy změn odtokového režimu těžbami a kůrovcovými kalamitami (Šumava) jsou na EOP Deštná stráň, na povodí Malé Ráztoky a na povodí Vydry v souladu s běžně publikovanou a mnohokrát prověřenou teorií. Výjimku tvoří povodí Červík, kde výsledek metody souvislého zobrazení dle modelu DSC není v souladu s výsledky ostatních metod. Vzhledem k tomu, že rozdíl vegetačních odtoků ze vzrostlého lesa je o 0,6 % vyšší než odtok z komplexu lesa, mlazín a zabuřenělých holín, lze mít za to, že příčinou je vlhkosní režim porovnávaných ploch. Vzrostlý les vykazuje v suchých obdobích vždy vyšší odtoky než holiny s mlazínami a holiny (ŠVIHLA et al. 2014). Důležité však je, že zde odtoky z holín vykazují nárůst odtoků o 8 % oproti celkovým odtokům ze souboru vzrostlého lesa s mlazínami a holinami. To znamená, že vzrostlý les a mlaziny tlumí odtok oproti holinám.
- Velkoplošné holoseče (Červík, Malá Ráztoka, Deštná stráň) a kalamitní plochy (Vydra) znamenají běžně vzrůst odtoků ve vegetačním období, což ukazuje na pokles evapotranspirace, dotace podzemních vod a vzestup povodňových průtoků. V případě Vydry a Malé Ráztoky jsou vzrůsty odtoků vysoce statisticky významné, vzrůst vegetačních odtoků z holín oproti původnímu vzrostlému lesu je 8–12 %. V případě povodí Červík a elementárních odtokových ploch na Deštné stráni jsou vzrůsty odtoků statisticky nevýznamné.
- Analýza jednoznačně dokazuje, že vzrůst odtoků z holín k odtokům z mlazín a holín je 2–7 %, což znamená, že z holín odtéká více vody než z holín a mlazín.
- Analýza sleduje na Červíku, Malé Ráztoky a Deštné stráni stav po velkoplošných holosečích s nárůstem mlazín, na Vydře po kůrovcových těžbách, zalesnění i ponechání lesních porostů po kůrovcové kalamitě bez zalesnění (viz kap. Materiál a metodika).
- Celkový odtok ve vegetačním období lesa z analyzovaných lokalit o velikosti 52–100 % plochy povodí je vyšší o 1–9,6 % oproti odtoku z téhož území se vzrostlými porosty. Výjimku představuje povodí Červík, kde uplatnění modelu DSC dává odlišné výsledky, totiž snížení odtoku po těžbách ve vegetačním období o 0,6 %. Metoda separace však zvýšení odtoků naznačuje, proto lze přijmout závěr, že i v Červíku došlo po těžbách ke zvýšení vegetačních odtoků.
- V dalším období je nutno zkoumat kvantitativně velikost dopadů zvýšení odtoků po holosečích na režim velkých a malých vod a na kvalitu lesních vod. Stoupne tím přesnost stanovení velkých vod pro potřeby charakterizování environmentální funkčnosti lesů, hrazení bystřín a kvality lesních vod pro zásobování obyvatel vodou. Na základě studia kvality lesních vod se do zkoumání vkládá důležitý prvek, a sice faktor dopadu zvýšeného objemu dusíku v celkovém koloběhu živin v lese na růst lesních porostů.
- Relativní čísla růstu objemu odtoku ve vegetační době po těžbách nejsou katastrofální. Avšak pohled se mění, když uvážíme, že během vegetačního období červen – září odeče z povodí Vydry navíc 1,66 mil. m<sup>3</sup> vody po těžbách a kůrovcových kalamitách. Vysoušení Šumavy v povodí Vydry pak lze vidět naléhavěji, a to zejména v době sucha.
- Výsledky analýzy ukazují, že účelové využívání výsledků jednoduchého využití metody DSC je interpretací nevhodné metody, podle níž nelze prohlašovat stav horských lesů za hydrologicky bezvýznamný a metodu bezzásahového managementu v podmínkách národního parku Šumava jako bezrizikovou pro okolní kulturní a obytnou krajinu.
- V souvislosti s velkoplošným rozpadem horního stromového patra ve zkoumaném území dochází k destrukci porostního prostředí na desetiletí i déle. Lokální vliv je zesílen zrcadlově k této oblasti i ve smrčinách v NP Bavorský les, kde proběhl obdobný rychlý rozpad již s určitým předstihem. Takto zasažena je souvislá přeshraniční plocha v rozsahu ca 10 tis. ha. Vedle odtoku se mění řada teplotních a energetických veličin skládajících celkovou vodní bi-



Obr. 3.

Trendy srážek a odtoků ve vegetačních obdobích na povodí Vydry v závěrečném profilu Modrava: Trend DSC napozorované pro období kalamity (čárkovaná čára + trojúhelníky) a trend DSC modelově vypočtené pro kalamitní období z DSC kalibrační (plná čára + kosočtverce)

Fig. 3.

Trends of rainfalls and run-offs in growing seasons on the Vydra catchment, in the Modrava closing profile. The DSC trend observed for disaster period (dashed line plus triangles) and DSC trend reckoned by model for disaster period from calibration DSC (solid line plus rhombs)

lanci lokální i širší krajiny (POKORNÝ 2014). To jsou další vážná rizika vývoje krajiny zvláště ve vztahu k uvažovaným rozšiřováním plochy tzv. bezzásahového režimu do vnitrozemí nejen v povodí Vydry, ale i Vltavy. Novela zákona č. 114/92 Sb., nyní projednávaná v Parlamentu ČR, totiž stanoví jako dlouhodobý cíl bezzásahový režim na většině území NP.

#### Poděkování:

Výzkum byl financován z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0116 (č. j. 5774/2016-MZE-17011). Autoři dále děkují organizacím SVOL a UHÚL České Budějovice za poskytnutí údajů. Článek je publikován na základě příspěvku prezentovaného na konferenci Lesnická hydrologie – věda a praxe pořádané VÚLHM Strnady v Ostravici-Šepetná 21.–23. 9. 2015.

## LITERATURA

- BOSCH J.M., HEWLETT J.D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55 (1/4): 3–23.
- DILS R.E. 1957. A guide to the Coweeta Hydrology Laboratory. Asheville (North Carolina), Southeast Forest Experiment Station: 40 s.
- EISENBIES M.H., AUST W.M., BURGER J.A., ADAMS M.B. 2007. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians – a review. *Forest Ecology and Management*, 242: 77–98.
- FLAWELL D.J. 1982. The rational method applied to small rural catchment in the southwest of Western Australia. In: *Hydrology and water resources symposium*, Melbourne, 11–13 May 1982. Preprints of papers. Barton, The Institution of Engineers: 49–53. National conference publication, no. 82/3.
- HEWLETT J.D. 1970. Review of the catchment experiment to determine water yield. In: *Proceedings of the Joint FAO/U.S.S.R. International Symposium on Forest Influences and Watershed Management*. Moscow, 17 August–6 September, 1970. [Rome], FAO: 145–155.
- JAŘABÁČ M. 1984. Vliv holosečného způsobu obnovy na odtok vody v Beskydech. Výzkumná zpráva úkolu C16-331-206. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 19 s.
- KANTOR P. 1996. Vodní režim smrkových a bukových porostů jako podklad pro návrh druhové skladby vodohospodářsky významných středohorských lesů. Habilitační práce. Brno, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta: 327 s.
- KREČMER V., KANTOR P., ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V. 2003. Lesy a povodně. Souhrnná studie. Praha, Ministerstvo životního prostředí: 48 s.
- MYSLIVEC V. 1957. Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví. Praha, ČAZV: 555 s.
- PETERJOHN W.T., FOSTER C.J., CHRIST M.J., ADAMS M.B. 1999. Patterns of nitrogen availability within a forested watershed exhibiting symptoms of nitrogen saturation. *Forest Ecology and Management*, 119: 247–257. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00526-X
- PIVOKONSKÝ M., PIVOKONSKÁ L., BUBÁKOVÁ P., JANDA V. 2010. Úprava vody s obsahem huminových látek. *Chemické listy*, 104: 1015–1022.
- POKORNÝ J. 2014. Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů. Ústí nad Labem, Univerzita J. E. Purkyně: 103 s.
- PUHLMANN H., SCHWARZE R., FEDEROV S.F., MARUNICH S.V. 2007. Forest hydrology – results of research in Germany and Russia. Koblenz, IHP/HWRP-Sekretariat, Bundesanstalt für Gewässerkunde: 299 s. Berichte, 6.
- SCHWARZE R., BEUDERT B. 2009. Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushalts eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 53 (4): 236–249.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V. 2016. Lesní odtokové plochy a malá povodí s experimenty těžby dřeva ve vazbě na jejich vodnost. *Zprávy lesnického výzkumu*, 61: 54–65.
- ŠKRÁŠEK J., TICHÝ Z. 1990. Základy aplikované matematiky III. Praha, SNTL: 853 s.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F., KANTOR P. 2014. Metodické postupy optimalizace vodního režimu uspořádáním kultur v krajině. Certifikovaná metodika. Strnady, VÚLHM: 31 s.
- WAERDEN B.L. VAN DER 1957. *Mathematische statistik*. Berlin, Springer: 434 s.



## INFLUENCE OF CLEARCUTTINGS OR IMPACT OF RAPID BROAD DISINTEGRATION OF A FOREST ON TOTAL RUN-OFF BY GROWING SEASONS

### SUMMARY

Since 1950s, foresters, hydrologists and naturalists have been particularly focusing on the impact of clearcuts on total run-off from forests. On the basis of many studies, e.g. DILS (1957), FLAWELL (1982), HEWLETT (1970), BOSCH, HEWLETT (1982), and SCHWARZE, BEUDERT (2009), the theory that the substantial reduction of mature stemwood increases the total run-off and stormflows from clearcuts was accepted. In the Czech Republic, the Forestry and Game Management Research Institute has dealt with this topic for a long time. The paper analyzes the results of measuring rainfalls and run-offs from the experimental run-off areas and catchments in the Orlické hory, Beskydy and Šumava Mts (Tab. 1). The hydrological balance method (HB) and derived rainfall-run-off model of Double Sum Curve (DSC) were used for solving question mentioned above (Tab. 2). The analysis concerned observation of growing seasons ca 5–10 years before, during and after harvesting treatment, and in the Šumava Mts. also during heavy infestation of bark beetle. In the Orlické hory Mts. on the Deštná stráž balance area (890 m a. s. l.), clearcutting of mature spruce stand gave 9.6% increment of run-off by DSC. In the Beskydy Mts. on the Malá Ráztoka catchment (beech and spruce forest, altitude 962 m), the run-off increment at clearcut regeneration represented 4.0% by HB and 2.7% by DSC. In the Šumava Mts. on the Vydra catchment (the Modrava outlet section), the spruce forest at an altitude of 1114 m showed during heavy infestation of bark beetle run-off increment of 3.3% by HB or 5.9% by DSC. The results fully correlate with data from similar experiments in the Bavarian forest, from where SCHWARZE and BEUDERT (2009) presented run-off increment by 6% to 10% by HB. In the Beskydy Mts. on the Červík catchment (altitude 962 m), clearcutting regeneration of 57% from mature spruce stands did not change total run-off by DSC. Nevertheless, run-off from clearcuts was by 8.3% greater than that from spruce stemwood. The predominant cause of run-off increment from clearcut or died forest areas consists in lower total vaporization as compared with areas of full-grown forest. The performed analysis proved the theory that reduction of full-grown forest causes immediate rise of total run-off.

Existing methods of investigation concerning impact of clear cutting or dying forests on total run-off have not taken into consideration fact that total run-off is integrated from full-grown forest, young plantation with advanced growth and clearcut run-off areas. Only separating constituent elements of total run-off gave clear insight into the whole rainfall-run-off process. The least run-off increment after clearcutting gave general procedure without differentiation of run-off constituent elements, shown by DSC method. If run-off ratio of complex of clearcuts and young plantation with advanced growth to full-grown forest is separated, then run-off ratio increases, because inhibiting impact of full-grown forest disappears. The most run-off ratio originated from combination of clearcuts to full-grown forest, because besides impact of full-grown forest also impact of young plantation with advanced growth on blending run-off is lost. We see as decisive data gained by separating method. This method uses ratio of run-off from clearcuts ( $Q_{(h)}$ ) to run-off from full-grown forest ( $Q_{(l)}$ ). The outcomes range within limits of 8.3–11.5 and must be respected. The important fact at the Modrava profile is that after bark beetle disaster, the water yield in June–September period is greater by 1 660 000 m<sup>3</sup> than before bark beetle outbreak (Fig. 3). Consequently, the water subsidy into deep groundwater and storage of water disposable for evapotranspiration become minor, which is adverse especially in dry periods when drainage of Šumava Mts. represents substantial lowering supply of water volume in a watershed.

Run-off from under a shelterwood regenerated full-grown forest undergrowing by a tree plantation with advanced growth makes in average by 7% lower run-off than that from the clearcut forest.

*Zasláno/Received: 12. 11. 2015*

*Přijato do tisku/Accepted: 02. 02. 2016*