

LESNÍ ODTOKOVÉ PLOCHY A MALÁ POVODÍ S EXPERIMENTY TĚŽBY DŘEVA VE VAZBĚ NA JEJICH VODNOST

FOREST RUNOFF AREAS AND SMALL CATCHMENTS WITH LOGGING EXPERIMENTS IN RELATION TO WATER YIELD

FRANTIŠEK ŠACH ✉ - VLADIMÍR ČERNOHOUS

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

Influence of logging, possibly follow-up forestry measures on hydrology of forest and landscape are permanently the object of scientific research, economic policy and social activities. The article analyses the influence of timber harvesting on water yields at Česká Čermná (ČČ) and at Deštné (DS) in the Orlické hory Mts (Czech Republic). The results have been compared with similar data from Malá Ráztoka (MR) and Červík (ČE) experimental catchments in the Beskydy Mts (Czech Republic). Water yields were judged through runoff coefficients during growing seasons, before and after harvesting treatment. ČČ and DS runoff coefficients indicate changes of total gravity flow (overland flow + lateral subsurface flow + vertical flow). The total hillslope gravity flow was in accordance with the stormflow runoff from MR and ČE experimental watersheds. It is possible to induce that coefficients of both runoffs correspond and the both runoffs represent in fact direct runoff. Runoff changes were also shown by double mass curves – DSC. Its curvature indicates runoff changes resulted from logging treatments or snow break damage. It was proved that runoff coefficient increase on experimental runoff areas after clearcutting really exists. Increase of runoff coefficient from stormflows was registered also after logging by strip cuts on the MR catchment, if more than 50% of the catchment was clearfelled, and conversion of tree species composition from beech to spruce was performed. On the ČE catchment, where only half of the catchment was clearfelled, and regenerated (one catchment from two partial ones) water yield increase in stormflows has not come up.

Klíčová slova: lesní pozemky, těžba dřeva, obnova lesa, hydrologické experimenty, odtokové plochy, malá povodí, odtokový součinitel, dvojitá součtová čára, vodnost, zvýšení odtoku, trvání odtokového navýšení, předhoří, hory, Česká republika

Key words: forest land, logging, forest reproduction, hydrologic experiment, runoff plot, small catchment, runoff coefficient, double mass curve, water yield, runoff increase duration, foothills, mountains, Czech Republic

ÚVOD

Vliv těžeb dřeva, případně dalších lesnických opatření na hydrologii lesa a krajiny je stále předmětem vědeckého výzkumu, hospodářské politiky a společenských aktivit (NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2008). Problematiku vycházející z názvu příspěvku generálně shrnul ANDERSON et al. (1976) a BOSCH, HEWLETT (1982), problematiku vodnosti a časování odtoku podle klimaticko-vegetační zonace SATTERLUND, ADAMS (1992), odtokové extrémy pak EISENBIES et al. (2007) a KREČMER et al. (2004).

Cílem článku je analyzovat vliv těžeb dřeva na vodnost v domácích poměrech na podhorských a horských experimentálních odtokových a bilančních plochách Česká Čermná (ČČ) a Deštná stráň (DS) v Orlických horách a výsledky srovnat s daty z horských experimentálních povodí Malá Ráztoka (MR) a Červík (ČE) v Beskydech (5.–6. lvs).

MATERIÁL A METODIKA

Experimentální plochy a povodí

Výzkumný objekt Česká Čermná v předhoří Orlických hor (50°23'56''s.š.;16°13'30''v.d.) představuje experimentální odtokové a bilanční plochy na příkrém J úbočí Dubovice (5. lvs). Byl založen ke studiu vlivu obnovních sečí (holé a clonné) na svahový odtok a erozi půdy v dospělém 82letém plně zakmeněném smrkovém porostu (sm 9, md 1) (provozuje F. Šach a kol. od roku 1979). Základní popis je uveden v publikaci ŠACH (2006). Objekt je situován na jižním svahu s průměrným sklonem 21° v nadmořské výšce 460–540 m a od počátku byl rozčleněn na tři dílčí plochy – dílce H, C, K – o rozměrech 40 m × 175 m (obr. 1). Průměrná roční teplota činila 6,2 °C, průměrný úhrn ročních srážek 769 mm. Pedologicky se plochy nacházely na kambizemi districké podzolované na žule, s půdou středně hlubokou, pís-

čitohlinitou, silně kamenitou a vrstvou nadložního humusu ca 9 cm s opadankou. Typologicky přísluší do lesního typu kamenitá kyselá jedlová bučina s kapradí osténkatou na prudkých svazích (5N1). Popis vývoje stavu lesního porostu na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) experimentální odtokové a bilanční plochy Česká Černná je uveden v tab. 1.

Výzkumný objekt Deštná stráž v Orlických horách (50°19'20'' s. š., 16°21'45'' v. d.) představuje experimentální bilanční plochy na mírném ZJZ svahu (6. lvs). Byly založeny ke komplexnímu studiu vodního režimu smrkového a bukového porostu během procesu obnovy lesa (provádí P. Kantor a kol. od roku 1976). Základní popis je uveden v práci KANTOR (1987, 1994). Objekt byl založen ke studiu vodní bilance smrkového a bukového ekosystému dvou nejvýznamnějších dřevin horských poloh České republiky a představuje ho dvojice bilančních ploch (obr. 2). Obě bilanční plochy, každá o rozměru 40 m × 30 m, jsou situovány na svahu ZJZ expozice s průměrným sklonem 16° v nadmořské výšce 890 m. Průměrná roční teplota činí 4,9 °C, průměrné roční srážky 1200 mm. Pedologicky lze obě plochy zařadit do typických kyselých kambizemí vyšších poloh, písčitohlinitých až hlinitopísčitých s průměrnou 50% příměsí skeletu, jehož podíl v hloubce 70–100 cm dosahuje 90–98% (zvětralá matečná hornina svor). Typologicky přísluší smrkový i bukový porost do nejrozšířenějšího lesního typu smrkobukového vegetačního stupně, do kyselé smrkové bučiny metlicové (6K1). Popis vývoje stavu smrkového a bu-



Obr. 1. Experimentální odtoková plocha Česká Černná s dílčími odtokovými plochami H (smrková tyčovina), C (smíšená jehličnatá tyčovina) a K (smrková kmenovina v horní části, nová holá seč v dolní části) v roce 2009

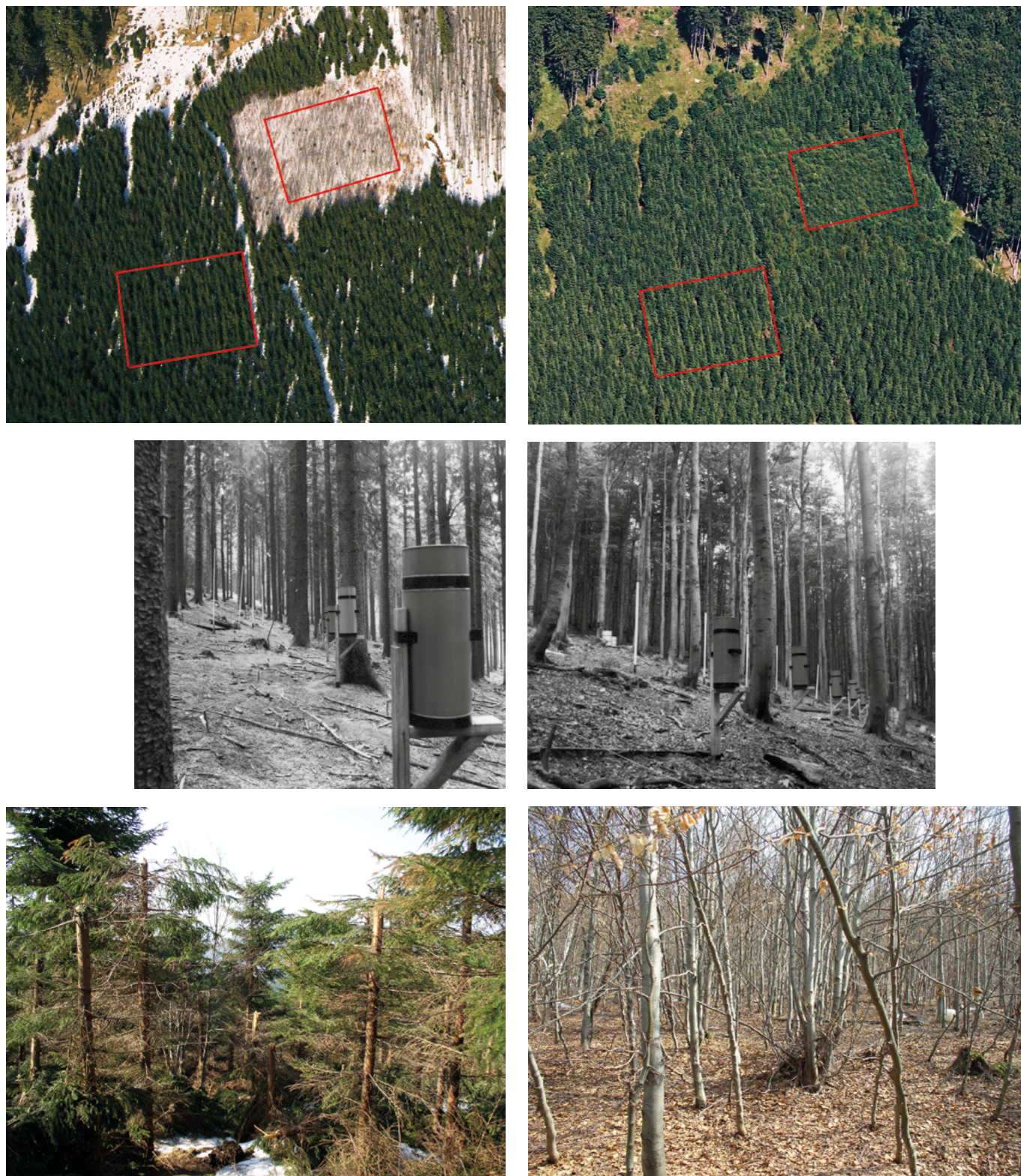
Fig. 1. The Česká Černná experimental runoff area with partial runoff plots H (spruce pole timber), C (mixed coniferous pole timber), K (spruce forest in the upper part, new clearcut in the lower part) in 2009

kového porostu na experimentálních bilančních plochách Deštná stráž je uveden v tab. 2.

Porovnávaná horská experimentální povodí Malá Ráztoka a Červík v Beskydech jsou charakterizována v řadě publikací, např. Bířka et al. (2006).

Experimentální povodí Malá Ráztoka (49°30' s. š., 18°15' v. d.) reprezentuje v Beskydech poměry tzv. Předních hor, vyznačujících se prudkou sklonitostí úbočí. Přední hory jsou také vystaveny SZ větrům; zachycují nejvíce atmosférických srážek, které tu dopadají v nejprudších intenzitách. Povodí je lasturovitého tvaru, má rozlohu 207,6 ha a leží v nadmořské výšce 602–1084 m, v průměru 840 m. Průměrná plošná sklonitost svahů dle Herbsta činí 50 % při minimální sklonitosti úbočí 16 % a maximální 73 %. Délka toku je 2000 m, převládající expozice toku SZ. Výškový rozdíl bystřiny (od pramenů až po měrný profil) je 360 m, průměrný spád bystřiny 22,8 %. Oblast patří k flyšovému pásmu – k vrstvám lhoteckým a godulským s pískovci a lupky. Jílovité břidlice v nepatrně zastoupených vrstvách lhoteckých již mimo vlastní povodí tvoří nepropustný podklad godulských vrstev a určují tak v širším měřítku hydrologické poměry. Půdy jsou hlinité písčiny vyznačující se různým obsahem šterku, od šterkovitých až po kamenné sutě. Z půdních typů byla nejvíce zastoupena hnědá lesní půda na godulském pískovci, na menších plochách světle rezivá. Vyskytoval se i střední podzol oglejený a nevyvinuté půdy na sutích. Z hlediska typologického byly lesní typy zařazeny do kyselé řady A se skupinami lesních typů zakrslou (na nejvyšších hřebenech) a normální jedlovo-smrkovou bučinou. V současném pojetí skupin typů geobiocénů (STG) jde o smrkojedlové bučiny. Podle systému ŮHŮL stanoviště odpovídá souboru lesních typů 5K – kyselá jedlová bučina. Význačnou skupinou byla normální buková javorina náležející k javorové řadě (souhlasí s pojetím STG, podle systému ŮHŮL by se jednalo o 5J – suťovou javorinu), která byla nejvíce rozšířena na svazích se SV expozicí. Srovnání stanovištních klasifikací bylo provedeno podle práce VIEWEGH (2003). Lesnatost povodí je 100 %. Porostní plocha činí 205,40 ha, výměra bezlesí (cesty, potok) 2,21 ha. Po kalibračním období (1953–1966) s měřením srážek a odtoků byl na počátku porostních obnov v r. 1966 střední věk lesa 83 let, se 70% zastoupením buku, 25% smrku a 5% jedle. Celková porostní zásoba činila na povodí 60 tis. m³. Těžby v letech 1961–1963 představovaly vesměs nahodilou těžbu, zejména souší. Porostní obnova se prováděla pruhovými sečemi, přičemž ke konci roku 1986 již bylo zmýceno 60% porostní plochy a vytěženo 40 tis. m³ zásoby dřeva. Dříví bylo přibližováno lanovkami k odvozním cestám, jejichž hustota činila 41 m.ha⁻¹. Obnova porostů se uskutečňovala převážně umělá, převládající dřevinou byl smrk. Průměrná roční teplota činila 6,9 °C, průměrný roční srážkový úhrn 1263 mm, průměrný roční specifický odtok 27,8 l.s⁻¹.km⁻² a odtokový součinitel 0,69.

Experimentální povodí Červík (49°27' s. š., 18°23' v. d.) reprezentuje poměry tzv. Zadních hor, které se vyznačují nižší nadmořskou výškou a mírnější sklonitostí úbočí. Zadní hory leží v částečném dešťovém stínu Předních hor, proto sem přicházejí srážky v nižších úhrnech a mírnějších intenzitách. Povodí uzavírá dvě údolí, jejichž úpatí se stýkají v nadmořské výšce 640 m. Bystřinné potoky pramení v těchto údolích se nad hlavním měrným profilem spojují v potok Červík. Povodí má rozlohu 185 ha a leží v nadmořské výšce 640–960 m, v průměru 800 m. Průměrná plošná sklonitost svahů dle Herbsta činí 30 % při minimální sklonitosti úbočí 8 % a maximální 65 %. Délka toku je 1945 m, převládající expozice toku SV. Výškový rozdíl bystřiny (od pramenů až po měrný profil) je 270 m, průměrný spád bystřiny 13,9 %. Geologicky povodí bystřiny zaujímají ístebňanské vrstvy s pískovci střídající se s různě mocnými vrstvami břidlic a jílovců. Půdy jsou písčitohlinité, hlinité až jílovitohlinité, trvale zásobené vodou; jsou čerstvě vlhké, místy mokré s počátkem rašelinné povrchového humusu, zejména ve svahových prohybech. Mírné, spíše vypuklé svahy jsou sušší s větší příměsí šterku. Z hlediska typologického byly lesní typy zařazeny do kyselé řady A se skupinou lesních typů normální jedlovo-smrkovou bučinou. V současném pojetí skupin typů geobiocénů (STG) jde



Obr. 2.

Experimentální bilanční plocha Deštná stráň s dílčími plochami mladého smrkového a bukového porostu v mimovegetační (nahore vlevo) a vegetační době (nahore vpravo). Porost smrku a buku na experimentální bilanční ploše Deštná stráň ve fázi smrkové (uprostřed vlevo) či bukové kmenoviny (uprostřed vpravo) a následně smrkové tyčoviny poškozené sněholomem 2005/06 (dole vlevo) či bukové tyčoviny s minimálním poškozením sněhem (dole vpravo)

Fig. 2.

The Deštná stráň experimental water balance area with partial plots young spruce and beech stand in dormant season (top left) and in growing season (top right). Spruce and beech stands on the Deštná stráň experimental water balance area in the stage of spruce high forest (middle left) and beech high forest (middle right), and follow-up spruce pole stand injured by snow breakage in 2005/06 (bottom left) and beech pole stand with minimum damage by snow breakage (bottom right)

Tab. 1.

Popis vývoje stavu lesního porostu na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) experimentální odtokové a bilanční plochy Česká Čermná

Development of the forest stands on partial plot H (clearcutting method), C (shelter wood cutting method), K (control mature spruce stand) on the Česká Čermná experimental runoff and balance area

Rok	H	C	K
1979	sm kmenovina, z = 1,0	sm kmenovina, z = 1,0	sm kmenovina, z = 1,0
1981	holá seč s hromadami klestu	clonná seč	sm kmenovina
1982	holá seč	sm clona, z = 0,5	sm kmenovina
1983	sm založená kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1986	sm odrostlá kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1988	sm odrostlá kultura	clona + nárost sm, md, bř	sm kmenovina
1992	sm mlazina	clona + nárost sm, md, bř	sm kmenovina
1993	sm mlazina	clona domýcena	sm kmenovina, z = 0,9
1994	sm mlazina	nárost sm, md, bř + dosaz. sm, bo	sm kmenovina
1996	sm tyčkovina, prořezávka	nárost sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina
1997	sm tyčkovina	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina
1998	sm tyčkovina	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina, nahodilá těžba
1999	sm tyčkovina	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina, z = 0,8
2001	sm tyčkovina, prořezávka	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina
2002	sm tyčkovina, oklest	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina
2003	sm tyčkovina	smíš. mlazina sm, md, bo, bř	sm kmenovina
2005	prořezávka, oklest	smíš. mlazina sm, md, bo, bř	sm kmenovina, z = 0,7
2006	sm tyčovina	smíš. tyčkovina sm50, md35, bo15, bř, bk	sm kmenovina
2007	sm tyčovina	smíš. tyčkovina sm, md, bo, bř, bk, prořezávka, oklest	sm kmenovina
2008	sm tyčovina	smíšená tyčkovina sm, md, bo, bř, bk, prořezávka	sm kmenovina v horní půlce z = 0,7 / holá seč v dolní půlce (září–říjen)
2009	sm tyčovina	smíš. tyč(k)ovina sm, md, bo, bř, bk	sm kmenovina / holá seč
2010	sm tyčovina	smíš. tyč(k)ovina sm, md, bo, bř, bk	sm kmenovina (z = 0,6) / sm založená kultura (duben)
2011	sm tyčovina	smíš. tyčovina sm, md, bo, bř, bk	sm kmenovina (z = 0,6) / sm založená kultura
2013	sm tyčovina	smíš. tyčovina sm, md, bo, bř, bk, prořezávka	sm kmenovina (z = 0,6) / sm založená kultura
2014	sm tyčovina	smíš. tyčovina sm, md, bo, bř, bk	sm kmenovina (z = 0,6) / sm odrostlá kultura
2015	sm tyčovina	smíš. tyčovina sm, md, bo, bř, bk	sm kmenovina (z = 0,6) / sm mlazina

Tab. 2.

Popis vývoje stavu smrkového a bukového porostu na experimentálních bilančních a odtokových plochách Deštenská stráň

Development of the spruce and beech stands on the Deštenská stráň experimental balance and runoff plots

1976–1981 sledování prvků vodní bilance probíhalo v dospělé smrkové a bukové kmenovině

1982 obnova holou sečí a jamková výsadba smrku a buku

1983–2005 sledování prvků vodní bilance pokračuje během růstu, vývoje a výchovy obou porostů od stadia kultury po tyčkovinu až tyčovinu.

Od fáze mlaziny velmi intenzivními zásahy vychovávaný smrkový porost snížil počet stromů z počátečních 4600 jedinců.ha⁻¹ v roce 1982 na 1180 smrků.ha⁻¹ v roce 2005.

2005/06 v zimě byl smrkový porost ve věku 25 let poškozen korunovými a kmenovými zlomy při sněhovém polomu. Mladý bukový porost byl sněhovým polomem poškozen jen minimálně. Hustota bukového porostu klesla přirozenou mortalitou a jedním velmi mírným podúrovňovým zásahem z 10 000 stromů.ha⁻¹ při založení v roce 1982 na 6490 buků.ha⁻¹ v roce 2006.

Zlomy bylo postiženo 98 % smrků, hustota porostu klesla na 1040 stromů.ha⁻¹, asimilační aparát porostu byl redukován na ca 40 %, výrazně se porušil zápoj porostu

2006 pokračuje sledování prvků vodní bilance v regenerujícím smrkovém a bukovém porostu po sněhové kalamitě

2007 porostní mezery začaly být obsazovány buňkami, jejíž pokrývnost dosáhla v létě a na podzim až 80 %

2008–2014 v roce 2009 bylo evidováno v důsledku odumření kmenových zlomů pouze 950 smrků.ha⁻¹. Postupným zapojováním dosáhlo zakmenění smrkového porostu v roce 2011 ve věku 33 let již hodnoty 0,9

o smrkjedlové bučiny. Podle systému ÚHŮL stanoviště odpovídá souboru lesních typů 5K – kyselá jedlová bučina. Vyskytoval se také kyselý a trvale zamokřený soubor „a“ se skupinou lesních typů jedlová smrčina (v současném systému ÚHŮL odpovídají nejspíše SLT 5Q – chudá jedlina, 6Q – chudá smrková jedlina a 7Q chudá jedlová smrčina). Živná řada B byla představována skupinou lesních typů jedlové bučiny (SLT 5B – bohatá jedlová bučina). Javorová řada byla zastoupena jen ve svahových prohybech a zaříznutých údolích normální bukovou javorinou (SLT 5J – suťová javorina). Lesnatost povodí je 100%. Porostní plocha činí 184 ha. Počátkem porostních obnov v r. 1966 byl střední věk lesa 70 let se 100% zastoupením smrku a s celkovou porostní zásobou 53 tis. m³. Těžba v roce 1961 (ca 3780 m³) byla provedena převážně k podpoře přirozeného zmlazení. V letech 1962–1964 šlo o nahodilou těžbu vývrátů, sněhových zlomů a o ochranné těžební zásahy. V roce 1965 byla provedena těžba 1374 m³ pro budování nových odvozních cest. Po kalibračním období (1953–1966) s měřením srážek a odtoků bylo povodí Červíku rozděleno na dvě části: dílčí povodí A s obnovními těžbami (88 ha) a dílčí povodí B bez těžeb (84 ha) S plánovanými těžbami pruhovými holými sečemi bylo započato v r. 1966. Do konce roku 1986 bylo v dílčím povodí A zmýceno 92 % jeho plochy a vytěženo 47 tis. m³ zásoby dřeva. Dříví bylo přibližováno traktory k cestám, jejichž hustota dosáhla 70 m.ha⁻¹. Obnova porostů se uskutečňovala převážně umělá, převládající dřevinou byl smrk. Průměrná roční teplota činila 6,0 °C, průměrný roční srážkový úhrn 1146 mm, průměrný roční specifický odtok 20,2 l.s⁻¹.km⁻² a odtokový součinitel 0,56.

Experimentální plochy a povodí v Orlických horách a Beskydech se nacházejí v chráněných oblastech přirozené akumulace vod (CHOPAV) a v chráněných krajinných oblastech (CHKO).

Metodika

Vodnosti bylo možné nejprůhodněji posoudit prostřednictvím odtokových součinitelů ve vegetačních obdobích před a po těžebním zásahu. Odtokové součinitel na ČČ a DS prezentovaly změny sumárního odtoku. Tento sumární odtok se skládal z povrchového a mělce podpovrchového toku měřeného celkem na 18 elementárních odtokových plochách (EOP) pomocí žlabů s náběhovými plochami zabudovanými do čela půdního profilu a vertikálního toku měřeného celkem na 9 EOP, vybavených dohromady 90 otevřenými lyzimetry (průsakoměry) instalovanými na podloží půdního profilu. Měření sumárního odtoku na ČČ začalo bohužel až v roce 1987, tj. 8 let po obnovním zásahu holosečném na ploše H i po clonosečném na ploše C, které oba byly provedeny již v roce 1980 (cf tab. 1 versus obr. 3 a 4). Srážky volné plochy byly zjišťovány 5 staničními srážkoměry. Prvky srážkoodtokového procesu byly měřeny 1× týdně. Měřicí zařízení a způsob měření jsou prezentovány např. v publikacích ŠACH (2006) či KANTOR (1994). Na povodích MR a ČE je způsob pozorování a vyšetřování srážkoodtokového procesu vzájemně konzistentní. Srážky byly na každém z povodí měřeny osmi staničními srážkoměry o záchytné ploše 500 cm² a čtyřmi totalizátory o záchytné ploše 250 cm². Intenzity dešťů byly zjišťovány ombrografy. Srážkové úhrny na povodí se vypočítávaly podle polygonové metody. Odtoky byly sledovány v otevřených kamenných žlabech na MR dlouhém 15 m a na ČE 21 m o sklonu 0,5 %. Stav hladiny vody byly v měrných žlabech registrovány limnigrafy. Součinitel sumárního odtoku na experimentálních odtokových plochách ČČ a DS korespondovali na experimentálních povodích MR a ČE se součiniteli odtoku z průtokových vln sestavených a analyzovaných autory JAŘABÁČ, CHLEBEK (1987). Na podkladě výše uvedené explanace lze na ČČ, DS, MR a ČE indukovat vzájemně ekvivalentní porovnávání přímých odtoků. Změny v odtocích ukazovaly rovněž dvojité součtové čáry (DSC – BLAŽEK et al. 1981). Svým zalomením naznačovaly odtokové změny jako důsledky těžebních zásahů či kalmit.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Vzhledem ke skutečnosti, že na experimentální odtokové ploše Česká Čermná měření sumárního odtoku započalo až v roce 1987, nepostihují grafy na obr. 3 a 4 dopady prvních těžebních zásahů z roku 1980. Další těžební zásahy v roce 1993 na dílčí ploše C a v roce 2008 na dílčí ploše K však ukázaly, že po holosečném domýcení smrkové clony a zmýcení kontrolního dospělého smrkového porostu došlo na odtokové ploše ČČ k významnému zvýšení vodnosti. Nižší nadmořská výška (5. lvs) a vyšší teploty na prudkém jižním svahu vedly ve fázi smrkové kmenoviny během vegetačního období k vysokému celkovému výparu. Po těžbě pak následovalo relativně dlouhé období zvýšení odtoku: ca 9 let po domýcení smrkové clony v roce 1993 na dílci C a po holosečném zmýcení smrkové kmenoviny v roce 2008 na dílci K zatím do roku 2015 ca 7 let. Na dílci H byla na počátku sledování odtoku v roce 1987 již hustá zapojená odrostlá smrková kultura postupně přecházející v mlazinu, tyčkovinu až tyčovinu (cf obr. 1), mající v porovnání s ostatními dílci relativně vyšší výpar a nižší odtok.

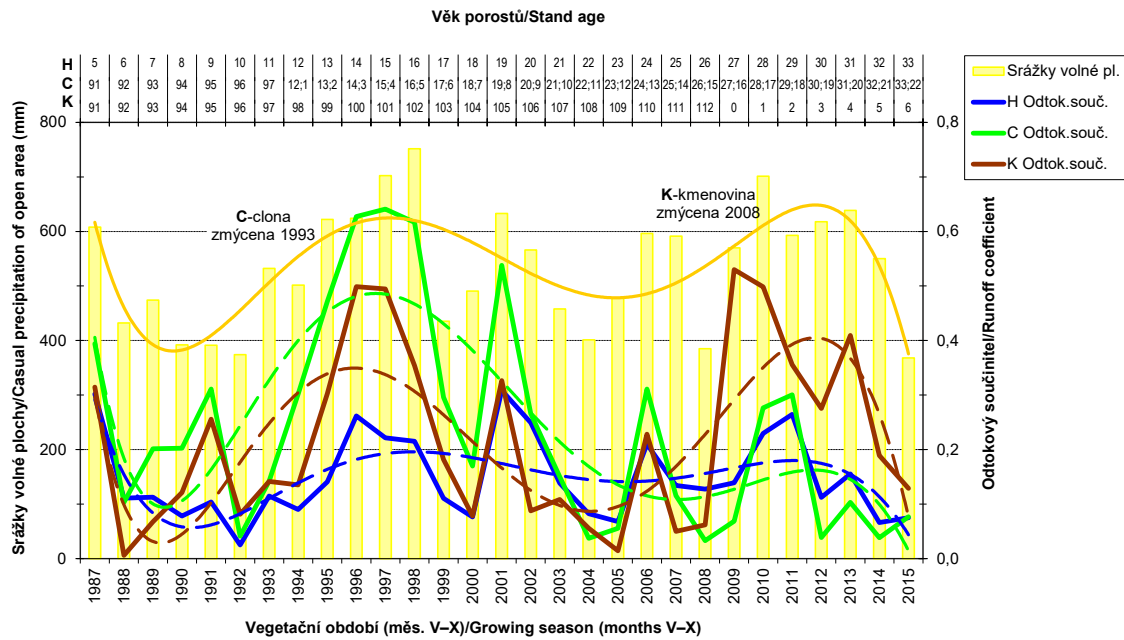
Na bilanční ploše Deštná stráž (výsledky na obr. 5 a 6) ve vyšší nadmořské výšce (6. lvs) s nižšími teplotami a nižším celkovým výparem ve vegetačním období se po zmýcení smrkové a bukové kmenoviny výpar v relativně krátké době navrátil k hodnotám před holosečným zmýcením, a tudíž navýšení vodnosti bylo menší než na České Čermné a trvalo relativně kratší dobu (ca 5 let).

Na experimentálním povodí Malá Ráztoka (5. až 6. lvs) docházelo od počátku těžeb holými pruhovými sečemi a soustředování dříví lanovkou k postupnému nárůstu vodnosti v průtokových vlnách (obr. 7). Kromě holosečné obnovy více než 50 % povodí se mohla v navýšení vodnosti průtokových vln projevit také změna rozložení kořenového systému a následně vlhkosti v půdním profilu při přeměně druhové skladby z buku na smrk (v suchých periodách pokles vlhkosti v půdním profilu buku od povrchu do hloubky a naopak v tomtéž směru vzestup vlhkosti v půdním profilu smrku, srv. ŠACH, ČERNOHOUS 2015).

Na experimentálním povodí Červík (5. až 6. lvs) postupně holosečné mýcení smrkových porostů ca na jedné polovině povodí (dílčí povodí A, kde se za 17 let zmýtilo a obnovilo 90 % plochy) navyšovalo vodnost průtokových vln odvisle od výše srážek a od intenzity těžebně dopravní činnosti se soustředováním dřeva traktory (obr. 8). Kolísání odtokových součinitelů bez významného trendu zahrnuje také sčítání hydrogramů z těžebního podpovodí A a netěžebního B.

Na základě grafů ovlivnění přímého odtoku těžbou dřeva při obnově lesa, představených na obr. 3–8, jsme sestavili (indukovali) závěrečné porovnání přímého odtoku z experimentálních ploch a povodí s těžebními zásahy (tab. 3). Experimentální plochy v předhoří (podhůří) se v přímém odtoku významně odlišují od experimentálních ploch a povodí v horách. Podhorské dílčí plochy se pak svými porosty a těžebními zásahy dále mezi sebou v přímém odtoku liší. Součinitel přímého odtoku z mladého smrkového porostu v předhoří (0,152) byl nižší než odtokový součinitel ze smrkové kmenoviny (0,180). Vyšší součinitel přímého odtoku než oba zmíněné porosty měl mladý smíšený jehličnatý porost (0,245). Nejvyšší odtokový součinitel vykázala paseka se založenou smrkovou kulturou (0,376).

Horské odtokové plochy a horská povodí ukazují při těžebních zásazích konzistentní přímý odtok. Experimentální plocha se založenou smrkovou kulturou měla vyšší součinitel přímého odtoku než založená kultura buková (0,677 vs. 0,589). Naopak dospělý, resp. mladý smrkový porost ve věku od 6 let měl součinitel přímého odtoku nižší (0,430, resp. 0,452) než dospělý, resp. mladý bukový porost ve věku od 6 let (0,600, resp. 0,517). Mladý smrkový porost po kalamitním sněhovém polomu se pak vyšším součinitelem přímého odtoku (0,547) lišil od mladého smrkového porostu před kalamitním sněhovým polomem (0,407). Experimentální povodí Malá Ráztoka ukazuje zvýšení součinitele přímého odtoku zakládaného smrkového porostu (0,494)

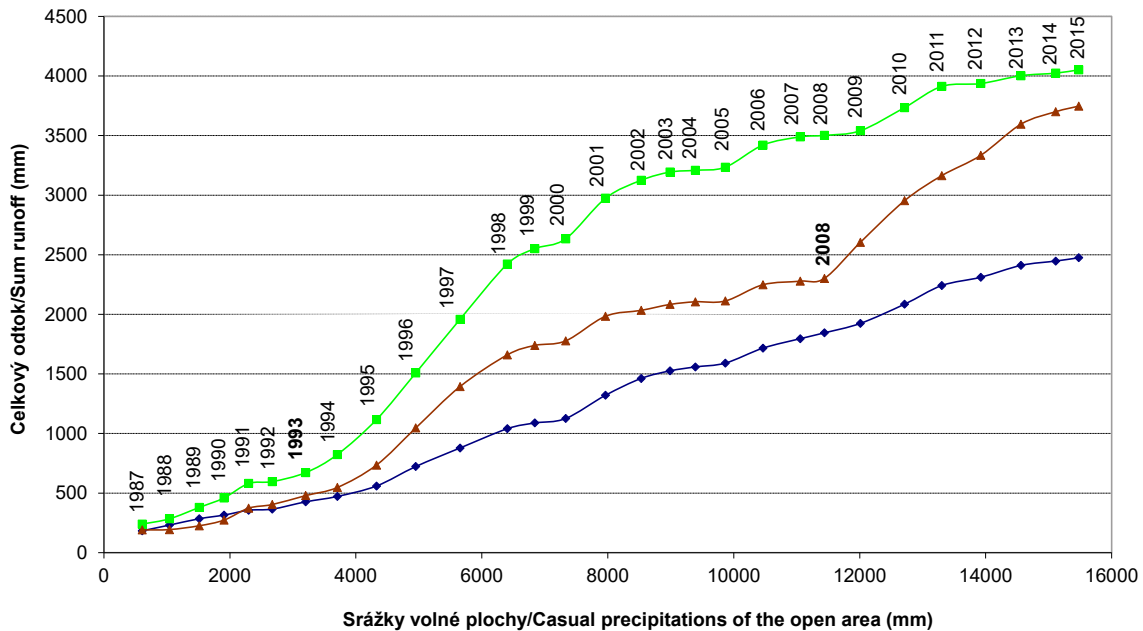


Obr. 3.

Odtokoví součinitelé přímého odtoku při holosečné a clonosečné obnově smrku na dílčích odtokových plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) experimentální odtokové plochy Česká Černná; trendy byly zkonstruovány polynomem 6. stupně. Významné vzestupy součinitelů přímého odtoku v důsledku holosečného zmýcení: na dílci C po holosečném domýcení clony mateřského smrkového porostu v r. 1993; na dílci K po holosečném zmýcení původní kontrolní smrkové kmenoviny v r. 2008

Fig. 3.

Runoff coefficients of direct runoff at clearcutting and shelterwood cutting of spruce on the partial plot H (clear cutting method), C (shelter wood cutting method), K (control mature spruce stand) on the Česká Černná experimental runoff area; trends were adjusted by polynomial of the 6th degree. Important increase of direct runoff coefficients in consequence of clearcut harvesting: on the C partial runoff area after clearfelling of spruce parent stand shelterwood in 1993; on the K partial area after clearfelling of original control spruce stemwood in 2008 (clona zmýcena = spruce shelter wood was cut; kmenovina zmýcena = spruce high forest stand was clear cut)

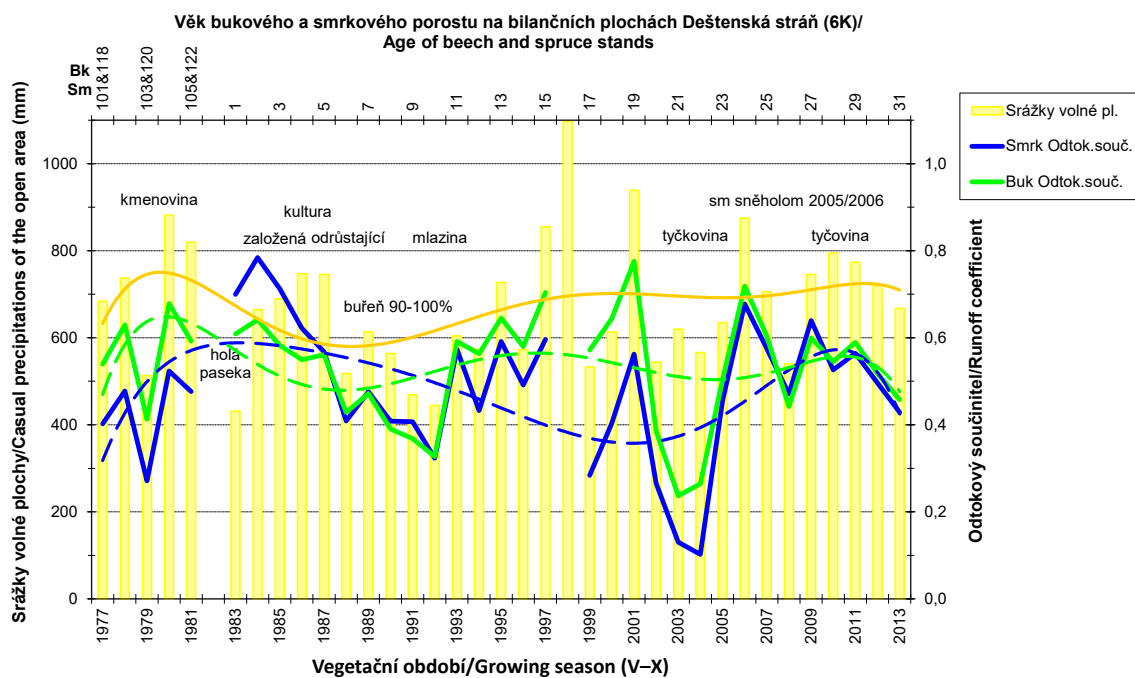


Obr. 4.

Dvojité součtové čáry (DSC) na odtokové ploše Česká Černná: dílčí plocha H (modrá), C (zelená), K (hnědá). Významné lomové body v důsledku holosečného zmýcení: na dílci C v r. 1993 po holosečném domýcení clony mateřského smrkového porostu; na dílci K v r. 2008 po holosečném zmýcení původní kontrolní smrkové kmenoviny

Fig. 4.

Double mass curves (DSC) for the Česká Černná runoff area: partial area H (blue), C (green), K (brown). Important breaking points: on the C in 1993 – spruce shelterwood was felled; on the K in 2008 – mature spruce stemwood was clearfelled

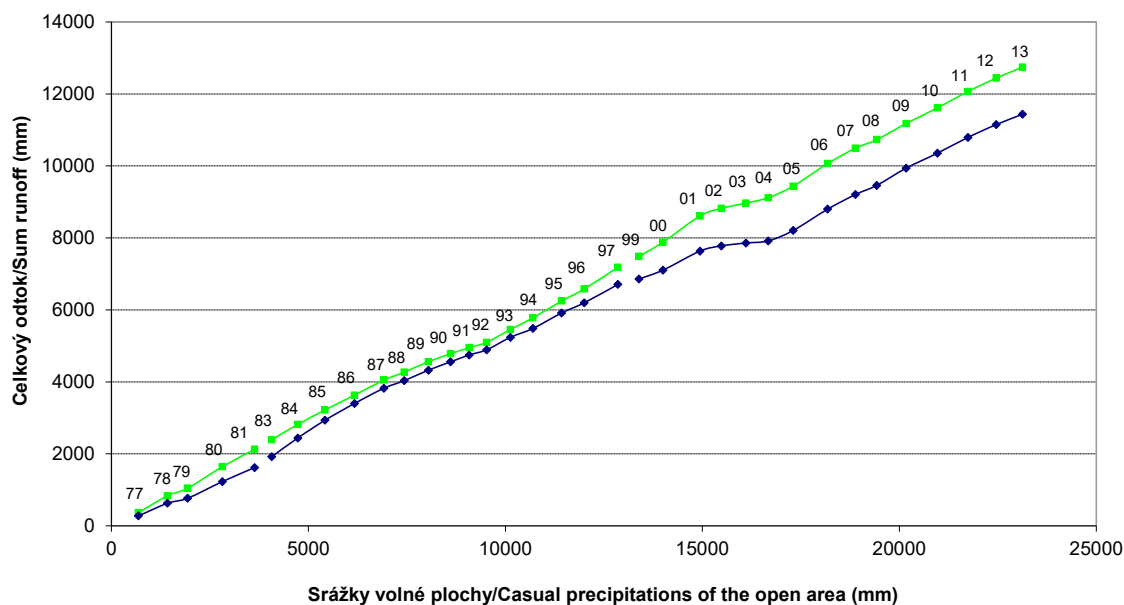


Obr. 5.

Odtokový součinitel přímého odtoku při holosečné obnově smrkového a bukového porostu; trendy byly zkonstruovány polynomem 6. stupně. Významný vzestup součinitele přímého odtoku: po holosečném zmycení dospělého smrkového porostu v r. 1982

Fig. 5.

Runoff coefficients of direct runoff at clearcutting regeneration of spruce (blue) and beech (green) stands; trends were adjusted by polynomial of the 6th degree. Important increase of direct runoff coefficients in consequence of clearcut harvesting of mature spruce stand in 1982



Obr. 6.

Dvojitě součtové čáry (DSČ) na odtokové ploše Dežtenská stráň: Sm (modrý) & Bk (zelený); 1977–1981 kmenovina, 1981–2013 holá seč → tyčkovina (Sm 2005–2006 sněholom). Významný lomový bod: po holosečném zmycení dospělého smrkového porostu v r. 1982

Fig. 6.

Double mass curves (DSČ) for the Dežtenská stráň runoff area: spruce stand (blue) & beech stand (green); 1977–1981 stemwood, 1981–2013 clearcut → pole timber (spruce 2005–2006 snowbreakage). Important breaking point: after clearfelling of mature spruce stand in 1982

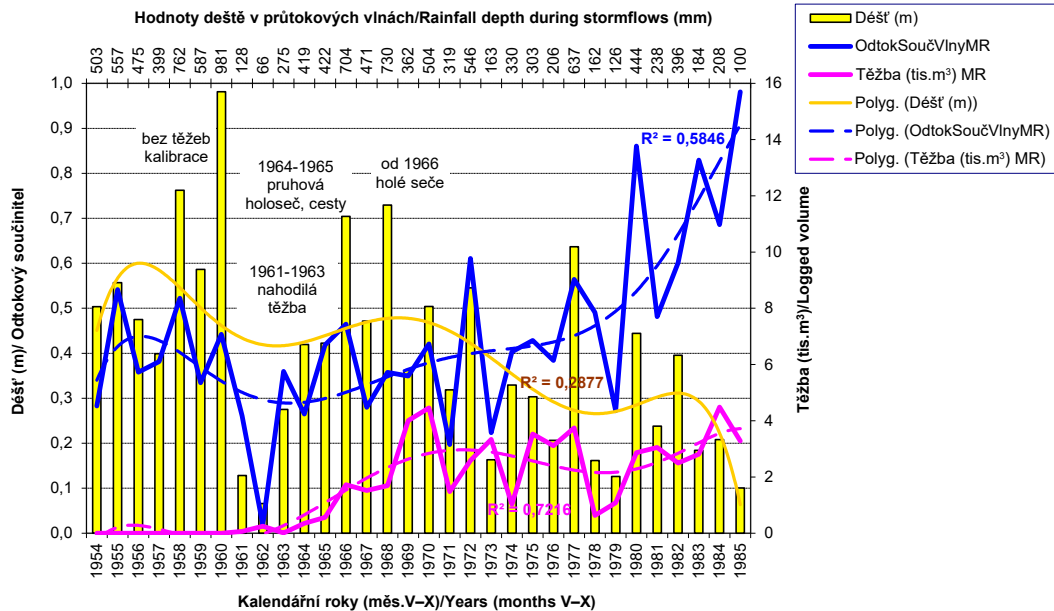
oproti předchozí dospělé bukové kmenovině (0,349) v konzistenci s experimentální plochou Deštenská stráň – založená smrková kultura 0,677, resp. dospělá buková kmenovina 0,600. Povodí Červík prakticky při stejném příčinném dešti a přímém odtoku jak ve fázi smrkové kmenoviny, tak ve fázi zakládaného mladého smrkového porostu a dospělé smrkové kmenoviny půl na půl zaznamenalo prakticky shodné součinitele přímého odtoku – 0,300, resp. 0,298 konzistentně s experimentální plochou Deštenská stráň – dospělá smrková kmenovina 0,430, resp. mladý smrkový porost před poškozením kalamitním sněhovým polomem 0,407.

Lze diskutovat o porovnání celkového odtoku skládajícího se z odtoku přímého a základního (EISENBIES et al. 2007) na experimentálních odtokových plochách a povodích. Z důvodu předpokládané menší citlivosti celkového odtoku na zásahy či kalamity, i vzhledem k dostupnosti potřebných dat, jsme k porovnání odtoku zvolili přímý odtok. Na odtokových plochách (Česká Čermná, Deštné) měříme gravitační tok (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA 2011), tedy odtok z dešťů, reprezentovaný povrchovým odtokem z rozhraní nadložního humusu a A horizontu, dále mělkým (podpovrchovým) laterálním (od)tokem půdními makropóry a dráhami a vertikálním tokem (průsakem) k horninovému podloží. Tato gravitační voda (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA 2011), disponibilní převážně k mělkému podzemnímu (hypodermickému) odtoku směřujícímu do vodotečí, (případně k hlubokému podzemnímu toku – perkolaci – do hydrogeologických struktur v případě, že se jedná o propustné, např. puklinové podloží), byla uvažována jako voda generující přímý odtok. Přímý odtok ve vodotečích je pak představován vodou vytvářející průtokové vlny (EISENBIES et al. 2007). Proto v konzistenci s gravitačním (od)tokem z experimentálních odtokových ploch Česká Čermná a Deštné byl

na experimentálních povodích Malá Ráztoka a Červík analyzován (JAŘABÁČ, CHLEBEK 1987) a s odtokem z odtokových ploch porovnáván pouze odtok z průtokových vln (283 průtokových vln z Malé Ráztoky v letech 1954–1985 a 212 průtokových vln z Červíku v letech 1958–1987).

Porovnávání základního odtoku by bylo nesnadné. Základní odtok z experimentálních odtokových ploch je spojen s úbytkem obsahu vody v půdě, tedy s poklesem půdní vlhkosti. Na plochách Česká Čermná a Deštné by tak musely být kontinuálně sledovány úbytky objemové půdní vlhkosti (popř. také nárůst sacích tlaků vzhledem ke spotřebě vody na ET). Na experimentálních povodích se úbytek vody v půdě promítá do celkového odtoku rovněž jako základní odtok. V hydrogramu odtoku z povodí ho představuje čára vyprazdňování povodí (navazuje na výtokovou čáru poklesové větve hydrogramu). Základní odtok je zde dále součástí průtokových vln, odkud ho lze získat separačními postupy. Vzhledem ke skutečnosti, že zejména měření váží se ke stanovení základního odtoku z odtokových ploch nejsou kompletně k dispozici, nebylo možné základní odtok z odtokových ploch a povodí vzájemně porovnávat.

Z výše uvedené analýzy rezultuje, že z experimentálních odtokových ploch a povodí nelze porovnatelný celkový odtok identifikovat. Proto porovnávání přímého odtoku z experimentálních ploch a povodí se zvláště v podhorských a horských oblastech s vyššími a četnějšími srážkami jeví pragmatictější, jak ukazují data z Malé Ráztoky a Červíku. Dlouhodobý letní srážkový průměr je na MR 636 mm, rozpětí letních dešťů v průtokových vlnách činí 66–981 mm, v průměru 397 mm za léto, tj. 62,4 % letních srážek. Dlouhodobý letní srážkový průměr na ČE je 510 mm, rozpětí letních dešťů v průtokových vlnách činí 16–410 mm, v průměru 204 mm za léto, což je 40 % letních srážek.



Obr. 7.

Vazba součinitelů odtoku 283 průtokových vln na výši těžby dřeva na povodí Malá Ráztoka v letních měsících; trendy byly zkonstruovány polynomem 6. stupně. Dlouhodobý významný vzestup součinitele přímého odtoku po vybudování cestní sítě a začátku těžeb dospělých bukových porostů pruhovými holosečemi v r. 1964 s následující umělou obnovou převážně smrkem

Fig. 7.

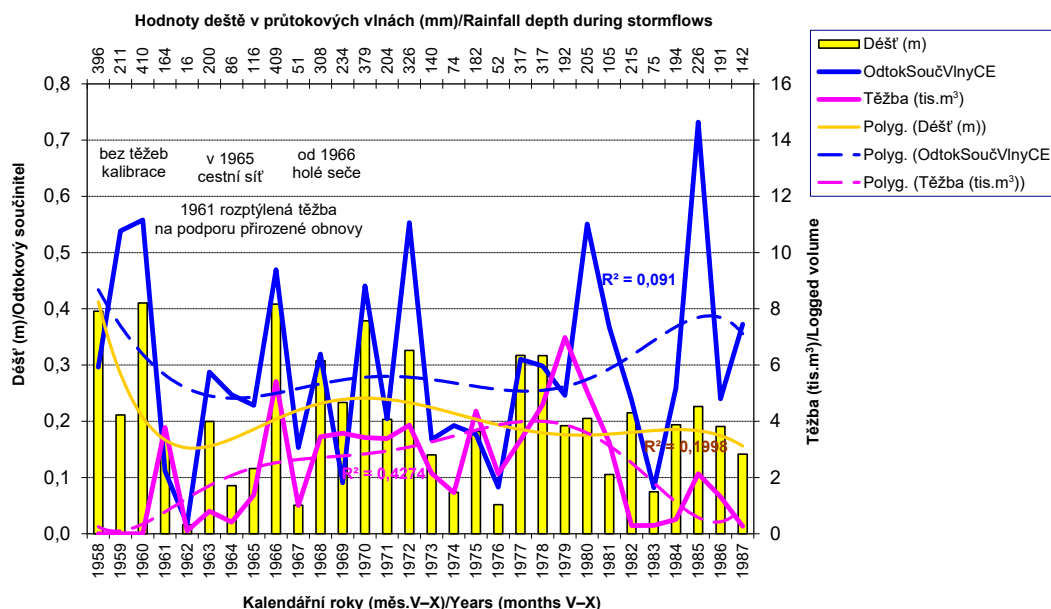
Connection of runoff coefficients from 283 stormflows to logged volume in the Malá Ráztoka experimental catchment during summer months; trends were adjusted by polynomial of the 6th degree. Long-term important increase of coefficient of direct runoff after forest road network construction and beginning of mature beech stands logging by strip clearcuts in 1964 with following artificial regeneration predominantly by spruce (děšť = rainfall; odtokový součinitel = runoff coefficient)

Tab. 3

Porovnání přímého odtoku z experimentálních ploch a povodí s těžebními zásahy
Comparison of direct runoff from experimental plots and catchments treated by wood harvest

	Průměrný součinitel přímého odtoku ¹	Průměrný přímý odtok ² [mm] ve vegetačním období ⁴	Průměrný příčný déšť ³ [mm]
Plocha ⁵ Česká Černná v předhoří Orlických hor			
mladý smrkový porost/young spruce stand	0,152	87	540
mladý smíšený jehličnatý porost (sm 50, md 35, bo 15)/young mixed coniferous stand	0,245	144	540
smrková kmenovina/spruce stemwood	0,180	105	520
založená smrková kultura/established spruce plantation	0,376	233	612
Plocha ⁵ Deštenská stráň v Orlických horách			
smrková kmenovina/spruce stemwood	0,430	324	727
založená smrková kultura/established spruce plantation	0,677	441	656
mladý smrkový porost/young spruce stand	0,452	304	666
mladý smrkový porost před sněholomem/before snowbreakage	0,407	258	638
mladý smrkový porost po sněholomu/after snowbreakage	0,547	404	728
buková kmenovina/beech stemwood	0,600	426	727
založená bukovaná kultura/established beech plantation	0,589	384	656
mladý bukový porost/young beech stand	0,517	348	666
Povodí ⁶ Malá Ráztoka Beskydy			
buková kmenovina/beech stemwood	0,349	185	464
mladý zakládaný smrkový porost/young established spruce stand	0,494	172	357
Povodí ⁶ Červík Beskydy			
smrková kmenovina/spruce stemwood	0,300	73	200
mladý zakládaný smrkový porost/young established spruce stand –podpovodí ⁷ A a smrková kmenovina/spruce stemwood – podpovodí ⁷ B s	0,298	70	206

¹Mean runoff coefficient; ²Mean direct runoff; ³Mean casual rainfall; ⁴Growing season; ⁵Plot; ⁶Catchment; ⁷Subcatchment



Obr. 8.

Vazba součinitelů odtoku 212 průtokových vln na výši těžby dřeva na povodí Červík v letních měsících; trendy byly zkonstruovány polynomem 6. stupně

Fig. 8.

Connection of runoff coefficients from 212 stormflows to logged volume in the Červík experimental catchment during summer months; trends were adjusted by polynomial of the 6th degree (déšť = rainfall; odtokový součinitel = runoff coefficient)

Porovnání odtoku z odtokových ploch versus odtoku z povodí je tedy obecně vzhledem ke složitosti geneze odtoku obtížné. Povodí je základní ekologickou jednotkou, relativně uzavřenou. Je dobře využitelné pro hydrologická šetření, protože jeho ohraničení, vstupy a výstupy lze mnohem snáze stanovit než na jednotkách menších, odtokových plochách (EISENBIES et al. 2007). Odtok z lesního povodí je integrovaným produktem jedinečné klimatické, geologické, vegetační a půdní charakteristiky. Pro složitost geneze odtoku (EISENBIES et al. 2007) jsme však nakonec od podrobnějšího srovnání celkového odtoku z ploch versus z povodí upustili a nahradili ho indukci pouze přímého odtoku. Přímý odtok z experimentálních odtokových ploch s ekvivalentním přímým odtokem z experimentálních povodí tak mohly být porovnatelnější, a svou rychlou odezvou na srážky mohly výrazněji odrážet hospodářská opatření i přírodní změny v lesních porostech.

ZÁVĚR

- Lze tedy konstatovat, že navýšení odtokového součinitele po holosečné těžbě na experimentálních odtokových a bilančních plochách existuje. Vzhledem k vyššímu celkovému výparu smrkové kmenoviny v 5. lvs je navýšení větší a přetrvává déle (obr. 3), v 6. lvs vzhledem k nižšímu výparu smrkové a bukové kmenoviny je navýšení menší a přetrvává kratší čas (obr. 5).
- Navýšení součinitele odtoku z průtokových vln na experimentálním povodí Malá Ráztoka po vytěžení více než 50 % povodí průtokovými holými sečemi, soustředování lanovkou a přeměně druhové skladby z buku na smrk bylo rovněž zaznamenáno (obr. 7). Lze uvést, že toto navýšení je indikováno výsledky z experimentálních odtokových a bilančních ploch Česká Čermná a Deštnská stráň (tab. 3).
- Na holosečeném experimentálním povodí Červík ke zvýšení vodnosti v průtokových vlnách nedošlo. Postupné dlouhodobé holosečení a obnova lesa ca na jedné polovině povodí podmiňovaly kolísání odtokového součinitele ve vegetačním období (obr. 8) v souvislosti s aktuální intenzitou těžebně-dopravní činnosti; kolísání odtokového součinitele přitom záleželo také na výši dešťů a pravděpodobně i na sčítání hydrogramů z těžebního podpovodí A a netěžebního podpovodí B.

Poděkování:

Výzkum byl financován z poskytnuté institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZe ČR – Rozhodnutí č. RO0116 (č. j. 10462/2016-MZE-17011). Článek je publikován na základě příspěvku prezentovaného na konferenci „Lesnická hydrologie – věda a praxe“, pořádané VÚLHM Strnady v Ostravici-Sepetná 21.–23.9.2015.

LITERATURA

- ANDERSON H.W., HOOVER M.D., REINHART K.G. 1976. Forests and water: effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply. Berkeley, Pacific Southwest Forest and Range Experimental Station, USDA Forest Service: 115 s. General technical report, PSW-18.
- BÍBA M., JAŘABÁČ M., VÍCHA Z. 2006. Poznatky z padesátiletého lesnicko-hydrologického výzkumu v Beskydských experimentálních povodích. Zprávy lesnického výzkumu, 51 (1): 44–56.
- BLÁŽEK Z., KRÍŽ V. SCHNEIDER B. 1981. Využití metody dvojné součtové čáry v hydrologii a meteorologii. Vodohospodářský časopis, 29 (1): 100–107.
- 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.
- 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.
- JAŘABÁČ M., CHLEBEK A. 1987. Vliv pokračujících těžeb porostů v povodí a obnovy na odtok vody (Beskydy). Jiloviště-Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 20 s.
- KANTOR P. 1987. Kalamitní holiny a odtok vody z povodí. Zprávy lesnického výzkumu, 32 (4): 15–18.
- KANTOR P. 1994. Hydrický režim horských smrkových a bukových porostů při jejich holosečné obnově. Acta Universitatis Agriculturae, Facultas Silviculturae, C, 63 (2–4): 99–110.
- KREČMER V., KANTOR P., ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V. 2004. Lesy a povodně. Praha, NLK a MŽP: 48 s.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2008. Hydrologic effects of a changing forest landscape. Washington, D.C., National Academies Press: 168 s.
- SATTERLUND D.L., ADAMS P.W. 1992. Wildland watershed management. New York, Wiley: 436 s.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. 2011. Glossary of soil science terms 2008. Madison (Wisconsin), Soil Science Society of America: 88 s.
- ŠACH F. 2006. Svahový odtok ve vztahu k postupům obnovy lesa. Zprávy lesnického výzkumu, 51 (3): 184–194.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V. 2015. Hydraulický lift buku pro smrk: potenciale významný ekosystémový proces pro pěstování smrkových porostů v souvislosti s klimatickou změnou oteplování. Zprávy lesnického výzkumu, 60 (1): 53–63.
- VIEWEGH J. 2003. Klasifikace lesních rostlinných společenstev (se zaměřením na Typologický systém ÚHÚL). Praha, Česká zemědělská univerzita: 216 s.

FOREST RUNOFF AREAS AND SMALL CATCHMENTS WITH LOGGING EXPERIMENTS IN RELATION TO WATER YIELD

SUMMARY

Influence of logging, possibly follow-up forestry measures on hydrology of forest and landscape are permanently the object of scientific research, economic policy and social activities (NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2008). Scope of the article is to analyze the influence of wood harvesting on water yields in home conditions in foothills represented by experimental runoff and water balance areas at Česká Čermná and in mountains presented by experimental water balance and runoff areas at Deštné in the Orlické hory Mts (Czech Republic). These results have been compared with similar data from Malá Ráztoka (MR) and Červík (ČE) experimental catchments in the Beskydy Mts.

The Česká Čermná research object (ČČ) in the Orlické hory foothills (North latitude of 50°23'56''; East longitude of 16°13'30'') represents experimental runoff plots on steep south hillside of the Dubovice hill. Its altitude is 500 m that corresponds with the 5th forest vegetation zone (fvz). It was established to study impact of regeneration fellings (clear and shelterwood) on hillslope runoff and soil erosion. Mean annual air temperature equalled to 6.2 °C and mean annual sum of precipitation 769 mm. Its detailed description was given by ŠACH (2006). From the beginning, the object was divided into three partial areas – H, C, K compartments, each sized 40 m × 175 m (Fig. 1); the H compartment was regenerated with clear cutting method, the C compartment with shelterwood cutting one, and the K compartment was left without treatment as a control mature spruce high forest. Development of the forest stand is described in Tab. 1.

The Deštná stráž research object (DS) in the Orlické hory Mts (North latitude of 50°19'20''; East longitude of 16°21'45'') represents experimental water balance plots on moderate WSW mountainside (altitude of 890 m corresponds with the 6th fvz). It was established to complex study of water budget of Norway spruce and European beech stands during progress of forest regeneration. Mean annual air temperature equalled to 4.9 °C and mean annual sum of precipitation 1200 mm. Its detailed description was given by KANTOR (1987, 1994). The object is compound from two runoff plots (Fig. 2); each of them sized 40 m × 30 m. Development of the spruce and beech stands is described in Tab. 2. The runoff areas were compared with the Malá Ráztoka and Červík experimental mountain catchments (5.–6. fvz), characterized e.g. by BÍBA et al. (2006).

Water yields would best have been judged through runoff coefficients during growing seasons, partly before and partly after harvesting treatment. ČČ and DS runoff coefficients indicate changes of total gravity flow (overland flow + lateral subsurface flow + vertical flow). Measuring devices and methods are presented in papers by ŠACH (2006) or KANTOR (1994). The total hillslope gravity flow was in relation to the stormflow runoff from MR and ČE experimental watersheds. The stormflow hydrographs were constructed and analyzed by JAŘABÁČ, CHLEBEK (1987). It is possible to induce that coefficients of both runoffs correspond, and both runoffs represent in fact direct runoff. Runoff changes are shown by double mass curves (DSC) as well (BLAŽEK et al. 1981). Its curvature indicates runoff changes resulted from logging treatments or snow breaks.

The results in Fig. 3 and 4 demonstrate that the most water yield increase after clearcutting came on the ČČ runoff area. The lower altitude (5th fvz) and higher air temperature on the steep south hillslope of the Orlické hory foothills accounted for the high total vaporization from the spruce high forest during growing season. Therefore, after its clearfelling, the relatively long-time increase of water yield followed; it has taken 6 years up to now. After clearfelling the spruce shelter at shelterwood regeneration it lasted for 9 years.

The DS balance area (results are shown in Fig. 5 and 6) lies in the higher altitude (6th fvz), there are lower summer air temperatures than in the ČČ and consequently also lower total vaporization during summer season. After clearfelling spruce and beech mature stand, the total vaporization returned to values before clearcutting in a relative short time, so water yield increase was minor than on the ČČ area, and it lasted relatively shorter time (ca 5 years).

On the MR experimental catchment (altitude indicated by the 5th–6th fvz), from the beginning of its strip clearcutting with high-lead logging, the gradual increase of water yield of stormflows came up (Fig. 7). Besides clearcutting more than 50% of the catchment area, the increase of water yield of stormflows may be caused in consequence of the root system distribution change and subsequently also by the water content change in a soil profile due to tree species conversion from beech to spruce. In dry periods it is indicated e.g. by ŠACH, ČERNOHOUS (2015) who had shown soil moisture decrease from surface to depth in the soil profile of a beech stand. At the same time, the soil moisture from surface to depth increased in the spruce stand soil profile.

On the ČE experimental catchment (altitude indicated by the 5th–6th fvz), the gradual clearcutting on the half of the catchment area (A-subcatchment, where 90% of area was clear felled and regenerated during 17 years, B-subcatchment leaved unlogged) caused water yield of stormflows fluctuation in relation to rainfall depth and rate of logging with skidder (Fig. 8).

On the basis of graphs (Fig. 3–8) pertinent to influencing of direct runoff by logging at forest regeneration, we induced closing comparison of direct runoff from experimental areas and watersheds impacted by logging (Tab. 3). Through direct runoff, the experimental plots at foothills considerably differ from the experimental areas and watersheds in mountains. At foothills it is need to point out that direct runoff from clearcut partial plot with established spruce plantation showed the highest runoff coefficient (0.376) among the other partial plots. Mountain runoff areas and watersheds give consistent direct runoff after clearcut treatments. The MR experimental watershed shows increase of direct runoff coefficient from established spruce young stand (0.494) against preceding mature beech high stand (0.349) in accordance with the DS experimental area, where established spruce plantation gives direct runoff coefficient equal to 0.667 and mature beech high stand 0.600. The ČE experimental catchment at the same effective rainfalls and direct runoff, in the stage of mature spruce high forest, so in the stages of established spruce young

stand (A-partial catchment) together with mature spruce high stand (B-partial catchment), proved practically identical coefficient of direct runoff equal to 0.300 and 0.298, respectively. The effect was consistent with DS experimental plots, where the mature spruce high forest and young spruce forest before snow injury recorded the similar values equal to 0.430 and 0.407, respectively.

Explanation of used special terms by SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (2011):

Gravity flow – gravitační tok: water flow due to the force of gravity. Used in irrigation, drainage, inlets, and outlets.

Gravitational water – gravitační voda: water which moves into, through, or out of the soil under the influence of gravity.

Zasláno/Received: 27. 10. 2015

Přijato do tisku/Accepted: 01. 12. 2015