

ZIMNÍ SVAŇOVÝ ODTOK VE VZTAHU K POSTUPŮM OBNOVY LESA

Winter hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration

Abstract

Winter hillslope runoff was studied in two young stands regenerated 25 years ago by clearcut (H) and shelterwood (C) method and in a control mature spruce stand (K) on the Česká Čermná long-run research area, steeply sloped southward, during the dormant season 2005/2006. In the term November 1 – April 30, snow represented 75% of 360 mm of open area precipitation. Thawing from March 24 to March 30 – April 3 corresponded with diverse water storage in snowpack: the highest 172 mm on the plot C (mixed conifer small pole stage stand with considerable proportion of European larch in winter without needles), the lower 153 mm on the plot K (mature spruce stand) and the lowest 80 mm on the plot H (spruce pole stage stand). The most lateral surface and subsurface runoff from snowmelt was observed on the plot H (11 mm); at non-recorded frost temperatures of soil, we could link it with greater floor compaction indicated by penetrometer. On the contrary, the significantly greatest vertical flow on the plot C together with small lateral flow showed good infiltration ability of soil at regeneration by shelterwood cutting with created mixed conifer stand. Likewise in summer also in winter the lateral runoff on highlead yarding track 25 years after logging did not significantly differ from that on undamaged plots, so we can consider hazard of soil erosion by water to be low.

Klíčová slova: postupy obnovy lesa, smrkový porost, vývojová stadia, lesnická hydrologie, svaňový odtok, zimní režim, podkorunové srážky, sněhová pokrývka, tání, laterální odtok, vertikální odtok, intercepce, evapotranspirace, vodní bilance

Key words: forest regeneration method, Norway spruce stand, development stage, forest hydrology, hillslope runoff, winter regime, precipitation, throughfall, snow cover, thawing, lateral flow, vertical flow, interception, evapotranspiration, water balance

ÚVOD A NÁSTIN PROBLEMATIKY

Proces obnovy lesa má za následek podstatné změny v komplexu vzájemně se ovlivňujících přírodních činitelů podmiňujících tvorbu odtoku z lesních pozemků. Obnovní postupy představují výrazný zásah do biomasy lesního porostu. Změněné kvantum a charakter porostní biomasy upravují klima půdně ovzdušné sféry, mimo jiné i režim porostních srážek (KREČMER 1980), tj. ovzdušných srážek propuštěných k půdnímu povrchu v rostlinném prostoru. Obnovní postupy ovlivňují také množství a stav půdního krytu (povrchového humusu a přizemní vegetace) a hydrofyzikální vlastnosti zejména svrchní vrstvy půdy. Lze předpokládat, že budou modifikovat také odtokové složky z obnovních sečí, zejména laterální povrchový a podpovrchový odtok, ale i vertikální složku odtoku (WEILER, MAC DONNELL 2004). Povrchový odtok spolu s podpovrchovým a částí vertikálního odtoku pak skládá svaňový odtok rezultující v přímý odtok ve vodotečích, jenž je hlavním tvůrcem velikosti a objemu povodní (CHENG 1988). Kromě letních povodní z příválových lijáků nebo z intenzivních krajinných dešťů dochází k povodním také v zimním období. Jedná se obvykle o povodně z tání sněhu doprovázeného často dešťovými srážkami.

Pro zimní svaňový odtok a následně i pro odtok v hydrografické síti představuje sněhová pokrývka tzv. zpožděné srážky – delayed precipitation (LEE 1980). Akumulace sněhu, zadržení vody ve sněhu, její uvolňování k odtoku během zimy a zpoždění tání představují v zóně lesů se sezonní sněhovou pokrývkou důležité vodoregulační prvky pro řízení množství a časování odtoku ve vztahu k suchu a povodním. Problematikou se zabývala řada výzkumů, syntézy a vyvozené návrhy možných hospodářských opatření souhrnně publikovali zejména ANDERSON et al. (1976), LEE (1980), HEWLETT (1982), KREČMER (1968, 1973), POBEDINSKIJ, KREČMER (1984), SATTERLUND, ADAMS (1992), NEWSON (1994), BROOKS et al. (1997). Menší obnovní seče (openings) s průměrem mezi 2 – 8 násobkem a nepřesahující 15 násob-

ek výšky okolního lesního porostu se v ovlivňování hydrologických účinků sněhové pokrývky mohou uplatňovat i po 30 – 40 letech od těžby. Výsledky však vykazují velké rozdíly vyplývající z různých stanovištních, porostních, povětrnostních a hospodářských podmínek a jejich kombinací. Předpoklad o modifikaci povrchového, podpovrchového, ale i vertikálního odtoku aplikací různých obnovních postupů je proto třeba studovat v domácích přírodních a hospodářsko technických poměrech nejen v letním, ale i v zimním období. K řešení nastíněné problematiky přispívá předkládaná stať, která je výstupem opoňované a schválené Roční zprávy NAZV č. 1G57016 (KANTOR et al. 2006) a Periodické zprávy výzkumného záměru MZe ČR č. 0002070201 za rok 2006. Kromě výsledků za zimní hydrologický půlrok listopad 2005 až duben 2006 (25 let od započetí obnovy) představuje metodický postup zpracování dat, který bude využit v chystaném navazujícím příspěvku, hodnotícím celou výsledkovou časovou řadu.

METODIKA

Charakteristika a popis založení dlouhodobého výzkumného objektu Česká Čermná

Výzkumný objekt (TVP) se nachází v oblasti krystalinika Českého masivu v podhůří Orlických hor. Plocha byla založena roku 1978 v dospělém 82letém plně zakmeněném smrkovém porostu (smrk 9, modřín 1) na jižním svahu s průměrným sklonem 21° v nadmořské výšce 460 – 540 m. Její zeměpisné souřadnice jsou 50°23'56" s. š. a 16°13'30" v. d. Typologicky přísluší do lesního typu 5N1 - kamenitá kyselá jedlová bučina s kapradí ostěnkatou na prudkých svazích, s půdou středně hlubokou, písčito-hlinitou, silně kamenitou - kambizemí dystrickou podzolovanou na žule (NĚMEČEK et al. 2001). Půdní kryt tvořil nadložní humus o mocnosti kolem 9 cm s hrabankou na povrchu. Průměrný úhrn ročních srážek činil 769 mm a průměrná roční teplota 6,2 °C.

Výzkumná plocha byla od počátku rozčleněna na tři dílčí plochy – dílce H, C, K – o rozměrech 40 x 175 m. Vzhledem k tehdejšímu požadavku na časové rozvržení výzkumu jsme přistoupili v hydrologickém roce 1979/80 (listopad 1979 až říjen 1980) k rychlé kalibraci s cílem prokázat odtokovou homogenitu vytyčených dílců. O rychlé kalibraci dvou i více povodí pro hydrologické studie s trváním 2 - 3 roky před experimentálními zásahy referuje BETHLAHMY (1963); metoda je založena na porovnání reakce povodí na stejné přívalové srážky (lijáky), kterou charakterizuje odtok a doba do dosažení kulminačního průtoku. Obdobně byla potvrzena odtoková homogenita dílců H, C, a K na TVP Česká Čermná během kalibračního roku dvěma zadešťovacími sériemi 12 odtokových mikroploch v roce 1979 (srpen a říjen) přívalovou srážkou 120 mm, dále komparací půdního krytu (vrstvy nadložního humusu s opadankou na povrchu), hydrofyzikálních vlastností svrchní vrstvy půdy i komparací odtoků z atmosférických srážek (ŠACH 1986).

V zimě 1980/81 byl proveden na prvním dílci holosečný zásah, na druhém clonosečný se snížením zakmenění na 0,5 a třetí zůstal jako kontrolní. Na obou obnovovaných dílcích byla použita technologie kácení a odvětvování motorovou pilou a vyklizování kmenů traktorovým lanovým systémem proti svahu. Těžební odpad byl koncem léta 1981 snesen na holou paseku do hromad a spálen. Na jaře 1983 byl na holou seč vysázen smrk v počtu 5 000 ks.ha⁻¹, clonná seč zůstala ponechána pro přirozenou obnovu. Po přirozené obnově zejména smrku a modřínu byla v zimě 1993/94 (prosinec 1993 – únor 1994) clona na druhém dílci domýcena a klest snesen do hromad a spálen. Dosazován byl smrk, borovice, buk (ten však byl prakticky potlačen zvěří), dále nasemeňoval modřín. Aktuální stav v zimním období prezentuje foto 1.

Dílec H, na kterém byl aplikován holosečný postup a umělá obnova, lze v současné době charakterizovat jako 23letou stejnověkou nesmíšenou smrkovou tyčkovinu až tyčovinu s menšími světlinami. V zimě 2005 se v poměrně hustém porostu (ca 3000 ks/ha) uskutečnil provozní výchovný zásah individuálním výběrem. Smrky jsou vyvětvěny do 2 – 3 m výšky. Půdní kryt představuje hrabanka hustě prorostlá jemnými kořeny zejména smrku, částečně také řídké nízké metlice. Takto „armovaný“ nadložní humus se vyznačuje značně zhutnělým povrchem.

Dílec C, na kterém byl aplikován clonosečný postup a kombinovaná obnova, lze v současné době charakterizovat jako věkově, výškově a prostorově rozrůzněnou smíšenou jehličnatou tyčkovinu s menšími světlinami. Odhadované zastoupení dřevin je smrk 50, modřín 35, borovice 15. Půdní kryt představuje velmi kyprá hrabanka prakticky bez jemných kořínků s nezhutnělým povrchem.

Dílec K slouží jako kontrolní plocha a lze ho v současné době charakterizovat jako dospělou smrkovou kmenovinu ve věku 110 let s mírně uvolněným zápojem (odhadované zakmenění 0,7). Půdní kryt představuje poměrně kyprá hrabanka s řídkou metlicí a smrkovým a modřínovým náletem. Pokryvnost přízemní vegetací je 50 – 60 %, se stejným zastoupením zmlazených dřevin a metlice.

Způsob měření, zpracování a vyhodnocení výsledků

Záměrem výzkumu na dlouhodobé výzkumné ploše (TVP) Česká Čermná bylo srovnání těžebně dopravní eroze (eroze v době těžby a soustřeďování dřeva) a následné eroze vodní, obojí při holosečném a clonosečném obnovním způsobu použitým na příkrém svahu. Soustřeďování dřeva lanovým systémem na vrstvě sněhu a klestu



Foto 1.

TVP Česká Čermná - dílce H, C, K pod sněhovou pokrývkou

Long-run Research Area Česka Čermná – plots H, C, K under snow cover

však mělo za následek pouze nepatrné narušení půdního povrchu a zanedbatelnou těžebně dopravní erozi. Při absenci těžebně dopravní eroze mohl další druh eroze – erozi vodní – vyvolat pouze souvislý povrchový odtok srážkové vody. Proto byl další výzkum zaměřen na studium svahového odtoku z umělých i přirozených srážek a na stanovení rozdílů ve svahovém odtoku ze smrkového porostu při odlišných způsobech obnovy, kdy rozdílů zvýrazňuje prudký svah a jeho jižní expozice s vysokým příjmem energie slunečního záření (high energy recipient – BETHLAHMY 1973).

Na výzkumné ploše jsou sledovány a hodnoceny jako složky srážko-odtokového procesu srážky volné plochy, srážky pod porostem (podkorunové srážky), povrchový a podpovrchový laterální odtok v hloubce 9 cm, resp. 25 cm pod půdním povrchem, vertikální složka odtoku (vertikální odtok) v hloubce 0,95 m a parametry sněhové pokrývky. Všechny prvky srážko-odtokového procesu jsou měřeny 1x týdně. Instrumentace výzkumné plochy byla znázorněna a měření podrobně popsáno v předchozím příspěvku (ŠACH 2006), který se zabýval vegetačním obdobím.

V zimním sledování prvků vodní bilance hraje významnou roli šetření parametrů sněhové pokrývky. Výška a hmotnost sněhového vzorku odebíraného sněhoměrným válcem o průřezu 50 cm² byly zjišťovány na vrstevnicovém transektu v dolní části plochy – vždy 10 měříšť na každém dílci (H, C, K). Hodnoceny byly kromě přímo naměřené výšky sněhu v cm i vypočítávaná vodní hodnota sněhu – výška zásoby vody ve sněhové pokrývce v mm a hustota sněhu v kg/m³.

Při stále pokračujícím vyvíjení metodických postupů bylo pro zimní období nově odvozeno využití zařízení ke sledování interceptce opadanky zobrazené na foto 2 a nakreslené a popsané v předchozím příspěvku (ŠACH 2006). Jedná se o nízký dvoudílný výparoměr

z pozinkovaného plechu se čtvercovou průřezovou plochou s rozměry 0,3 x 0,3 m zabudovaný v úrovni terénu. Dno vnitřní nádoby je z hustého drátěného pletiva, na kterém je uložena 5centimetrová vrstva opadanky. Vnější nádoba je v jednom rohu opatřena trubkovým výtokem spojeným hadicí se sběrným plastovým kanystrem umístěným ve vydřevěné sondě. Ve sledovaném zimním hydrologickém půlroku byla opadanka v představeném zařízení během první listopadové dekády nasycena vodou ze srážek. Od druhé dekády listopadu až do první dekády dubna se výparoměry nacházely pod sněhovou pokrývkou. Lze odvodit, že pro toto období bylo možné vodu zachycenou výparoměry považovat za infiltraci srážek do půdy, potažmo za podkorunové srážky (srážkoměrná koryta měří totiž zimní srážky se značným a proměnlivým zkreslením). O problematice zjišťování zvláště sněhových zimních srážek referují z podhůří Alp GURTZ et al. (2003): prováděná korekce měsíčních sněhových srážek měřených na volné ploše konvenčním vyhřívaným srážkoměrem ve standardní výšce 1,5 m přesahovala +50 %; jako etalon pro stanovení korekce sloužilo měření sněhových srážek váhovým lyzimetrem v úrovni terénu.

Předpokládanou prostupnost vrstvy nasycené opadanky pro vodu podporuje ve sledovaném zimním období kontinuální měření teploty půdy v hloubce 5 cm (ve vrstvě měli nadložního humusu) a 20 cm s šestinásobným opakováním (2 opakování na každém dílci H, C a K). Měření se provádí 12 teplotními sondami s platिनovým odporovým snímačem teploty Pt1000TG8, hodnoty ze 4 sond se ukládají v hodinovém intervalu do čtyřkanálového záznamníku RO141 fy COMET SYSTEM. Výsledky měření prokázaly, že půda ve sledovaných hloubkách pod sněhovou pokrývkou v zimě 2005/06 nepromrzla.

Tab. 1.

Odtok při tání sněhové pokrývky na stacionáru Česká Čermná z dílců po obnově holosečné, clonosečné a kontrolního porostu na konci zimy 2005/06

Flow at thawing snow pack on plots regenerated 25 years ago by clearcut (H) and shelterwood (C) method and in the control mature spruce stand (K) during snow thaw at the end of winter 2005/06

¹ Datum měření od – do	² Srážky volné plochy (mm)	³ Porost (původní obnovní seč)	⁴ Pokles vodní hodnoty sněhu (mm)	⁵ Odtok laterální povrchový (mm)	⁶ Odtok laterální podpovrchový (mm)	⁷ Odtok vertikální (mm)	⁸ Odtok celkový (mm)
24. 3. 2006 - 27. 3. 2006	8,6	H	-17,6	2,2	1,7	33,8	37,7
		C	-43,6	1,6	1,1	30,0	32,7
		K	-46,8	2,1	1,3	29,7	33,1
27. 3. 2006 - 29. 3. 2006	2,2	H	-20,0	1,8	1,3	51,4	54,5
		C	-44,0	1,4	0,4	46,5	48,3
		K	-40,8	1,6	1,3	35,2	38,1
29. 3. 2006 - 31. 3. 2006	23,2	H	+12,0	2,3	1,3	29,6	33,2
		C	-8,0	0,9	1,6	48,6	51,1
		K	-23,6	1,1	1,0	47,2	49,3
31. 3. 2006 - 7. 4. 2006	13,0	H	-54,4	0,4	0,0	34,2	34,6
		C	-76,8	0,2	0,0	89,0	89,2
		K	-41,6	0,1	0,0	52,7	52,8
24. 3. 2006 - 7. 4. 2006	47,0	H	-80,0	6,7	4,3	149,0	160,0
		C	-172,4	4,1	3,1	214,1	221,3
		K	-152,8	4,9	3,6	164,8	173,3

¹Term of observation, ²Precipitation of open area, ³Partial plot, ⁴Decrease of water content in snow pack, ⁵Surface lateral flow, ⁶Subsurface lateral flow, ⁷Vertical flow, ⁸Total flow



Foto 2.

Výparoměr ke sledování intercepce opadanky využívaný v období ležící sněhové pokrývky ke stanovení podkorunových srážek z infiltrace vody do půdy

Evaporimeter for observation of litter interception. The instrument was applied to estimating precipitation under canopy from infiltration of water into soil during period of snow cover including snow thawing.

Výparoměry naměřené hodnoty byly obdobně jako u srážkoměrných koryt děleny cosinem úhlu sklonu svahu (CORBETT 1967). Dvojí opakování výparoměru pro každý ze tří dílců bylo sice minimální, přesto poskytl prakticky vyhovující výsledky (před začátkem jarního tání se rozdíly odpovídajících dvojic pohybovaly v jednotkách milimetrů, při březnovém tání v průměru osm procent). Ve druhé a třetí dekádě dubna, kdy se vliv sněhové pokrývky do vodní bilance lesních porostů na výzkumných dílcích již přímo nepromítal, byly srážky pod porostem měřeny opět srážkoměrnými koryty.

VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Srážky volné plochy

Srážková charakteristika volné plochy v zimním hydrologickém půlroce (listopad 2005 – duben 2006) je součástí tabulky 3. Srážky ve staničních srážkoměrech v dolní a horní části plochy v hodnocené zimě 2005/06 spolu vysoce korelovaly (Pearsonův korelační koeficient $r = 0,99$) a jejich rozdíl byl při párovém t-testu statisticky nevýznamný s pravděpodobností přijetí nulové hypotézy o rovnosti průměrů (tzv. p-value) $p = 0,34$. Z obou srážkoměrů byla k dalším výpočtům brána vyšší naměřená srážka a násobena korekčním faktorem 1,081 odvozeným a diskutovaným v předchozím příspěvku (ŠACH 2006).

Srážky volné plochy za hodnocený zimní hydrologický půlrok 2005/06 činily 359,9 mm. Od druhé dekády listopadu 2005 až téměř do konce března 2006 se jednalo o srážky sněhové, jen ojediněle smíšené. Nízké dešťové srážky spadly v první dekádě listopadu (4,5 mm); na konci března a v dubnu pak spadlo 85,9 mm dešťových srážek. Srážky formující nárůst sněhové pokrývky tedy představo-

valy 75 % srážkového úhrnu za mimovegetační období. Rozdělení srážek do jednotlivých měsíců (tab. 3) ukazuje, že nejvyšší srážkové úhrny se v zimě 2005/06 vyskytovaly v prosinci, nejnižší v listopadu a v lednu, od února do dubna byly srážkové úhrny vcelku vyrovnané.

Podkorunové srážky na dílcích s různým postupem obnovy

Podkorunové srážky na dílcích s holosečným a clonosečným obnovním postupem a s kontrolním porostem uvádí pro zimní hydrologický půlrok 2005/06 tabulka 2 a jsou i součástí grafu 5. Přitom, jak jsme již uvedli v metodice, za podkorunové srážky od listopadu do první dekády dubna jsme považovali infiltraci do půdy z výparoměrů a teprve ve druhé a třetí dekádě dubna podkorunové srážky ze srážkoměrných koryt. Srážkové úhrny za období se sněhovou pokrývkou i za období po jejím roztátí jsou mezi dílci statisticky neprůkazné. Statisticky průkazné rozdíly mezi dílci nebyly zjištěny ani pro podkorunové srážky za celé mimovegetační období 2005/06 (testováno analýzou rozptylu a následně mnohonásobným porovnáním metodou LSD – Least Significant Difference). Neprůkazné rozdíly srážek vypovídají o praktické shodě podkorunových srážek pod různými vývojovými stadii sledované obnovy porostů v současném stavu. Komentovat naznačené, celkem obvyklé, očekávatelné pořadí dílců mezi listopadem až březnem, které však v diferencích smazává duben (recenze ing. Krečmer), se zatím zdá vzhledem k nově použité kombinaci metod měření podkorunových srážek v mimo-vegetačním období riskantní; přechod do vegetačního období by však pořadí dílců mohl obracet, jak lze opatrně předjímat ve vazbě na komentář k interpci ve výsledkové podkapitole týkající se vodní bilance.

Hodnocení sněhové pokrývky na dílcích s různým postupem obnovy

Sněhová pokrývka ležela souvisle na dílcích H, C a K v zimě 2005/06 po mimořádně dlouhou dobu: od druhé dekády listopadu 2005 do první dekády dubna 2006. K hodnocení sněhové pokrývky byly použity následující parametry: výška sněhu, vodní hodnota sněhu a hustota sněhu. Porovnání průběhu parametrů v zájmovém zimním období znázorňují grafy 1, 2 a 3; v grafu 2 je prezentován také průběh teploty vzduchu na volné ploše (protože teplota vzduchu je na TVP Černá měřena až od května 2006, prezentujeme teplotní měření z meteorostanice Uhřínov, nacházející se 16 km jihovýchodně od Černé na analogickém stanovišti ve stejné nadmořské výšce na svahu s obdobným sklonem a expozicí). Rozdílnost vývoje parametrů sněhové pokrývky byla testována párovým t-testem. Ten potvrdil statisticky významnou odlišnost časové řady hodnot výšky a vodní hodnoty sněhu mezi všemi sledovanými dílci. Statisticky významně byla mezi dílci odlišná také hustota sněhu s jedinou výjimkou. Tu představovalo srovnání časové řady hustoty sněhu mezi dílci K a C, kde výsledná dvoustranná pravděpodobnost $p = 0,17$ naznačila potvrzení nulové hypotézy o jejich rovnosti.

Tání sněhové pokrývky probíhalo v posledním týdnu března a prvním týdnu dubna 2006 (tab. 1) během přílivu teplého a vlhkého vzduchu doprovázeného dešťovými srážkami úhrnné výšky 47 mm. Tání korespondovalo s odlišnou zásobou vody ve sněhové pokrývce, nejvyšší 172 mm na dílci C (smíšená jehličnatá tyčkovina s významným podílem v zimě neolštěného modřínu), nižší 153 mm v kontrolním dospělém smrkovém porostu (dílce K) a nejnižší 80 mm na dílci H (smrková tyčkovina). Výška a vodní hodnota sněhu na počátku tání byla nepřímou závislou na uzavřenosti zimního zápoje porostů. Čím uzavřenější zápoj, tím více zadrženého sněhu v korunové vrstvě a tím větší okap pod koruny v průběhu zimy, zintenzivněný jižní expozicí, s eventuální redukcí výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky.

Tab. 2.

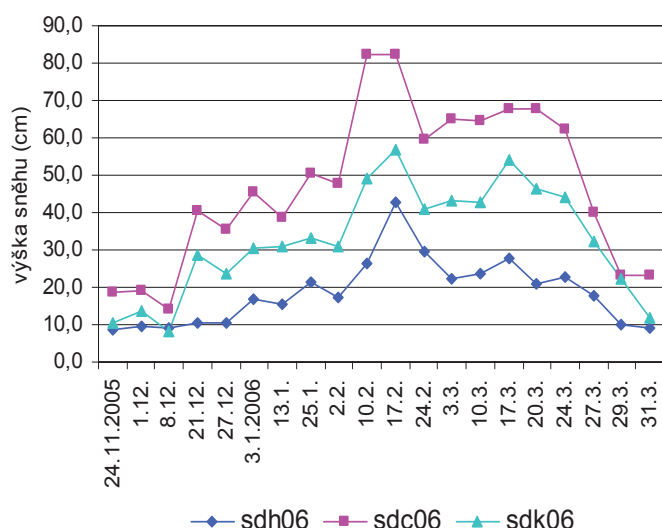
Podkorunové srážky a související odtoky v zimním hydrologickém půlroce 2005/06

Throughfall and related runoffs in winter hydrologic half-year 2005/06

¹ Období	² Srážkoodtoková charakteristika (mm)			³ Statistic. průkaznost rozdílů (p-LSD)		
⁴ Dílec	H	C	K	K – H	K – C	H – C
⁵ Podkorunové srážky (listopad až první dekáda dubna infiltrace do půdy)						
¹⁰ listopad	194,0	216,3	236,7	0,58	0,84	0,72
¹¹ prosinec						
¹² leden						
¹³ únor						
¹⁴ březen						
¹⁵ duben	68,0 + 32,2	63,5 + 26,9	53,0 + 29,7	0,26	0,81	0,18
¹⁶ zima	294,2	306,7	319,4			
⁶ Laterální odtok povrchový						
listopad	0,1	0,0	0,0	0,17	0,82	0,12
prosinec	0,1	0,2	0,2	0,00	0,00	0,03
leden	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
únor	0,3	0,1	0,2	0,26	0,11	0,01
březen	6,4	4,0	4,9	0,01	0,10	0,00
duben	0,5	0,5	0,1	0,15	0,16	0,99
zima	7,4	4,8	5,4	0,00	0,35	0,00
⁷ Laterální odtok podpovrchový						
listopad	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
prosinec	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
leden	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
únor	0,0	0,0	0,0	0,25	1,00	0,25
březen	4,4	3,0	3,5	0,27	0,52	0,10
duben	0,0	0,1	0,0	0,93	0,30	0,27
zima	4,4	3,1	3,5	0,26	0,62	0,12
⁸ Laterální odtok celkový						
listopad	0,1	0,0	0,0	0,17	0,82	0,12
prosinec	0,1	0,2	0,2	0,00	0,00	0,03
leden	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
únor	0,3	0,1	0,2	0,22	0,22	0,02
březen	10,8	7,0	8,4	0,02	0,16	0,00
duben	0,5	0,6	0,1	0,28	0,18	0,76
zima	11,8	7,9	8,9	0,01	0,36	0,00
⁹ Vertikální odtok						
listopad	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
prosinec	11,0	12,0	18,0	0,19	0,26	0,85
leden	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00
únor	5,4	10,7	8,2	0,15	0,19	0,00
březen	115,5	128,3	114,8	0,93	0,10	0,12
duben	37,1	94,0	59,5	0,02	0,00	0,00
zima	169,0	245,0	200,5	0,02	0,00	0,00

Statisticky významné rozdíly jsou vyjádřeny hodnotou p (pravděpodobnost přijetí nulové hypotézy o rovnosti průměrů) a zvýrazněny tučně./Statistically significant differences are expressed by p-value (probability of acceptance of H0 hypothesis related to equality of means) and printed bold.

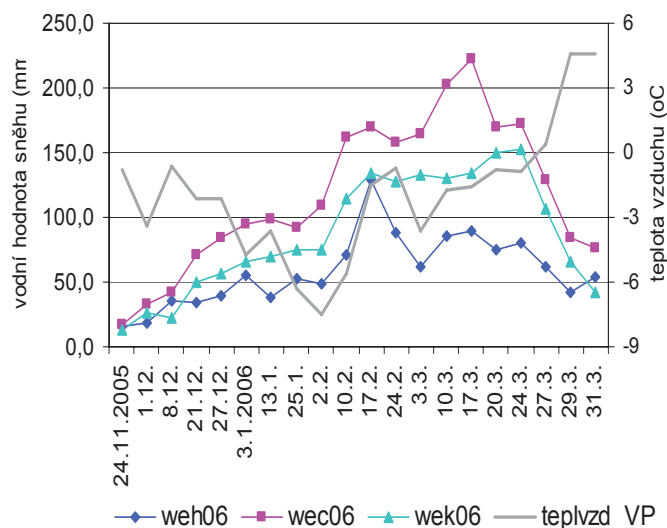
¹Period, ²Precipitation-runoff characteristic (mm), ³Significance of differences (p-value by LSD), ⁴Plot, ⁵Throughfall (from November to first decade of April equal to infiltration into soil), ⁶Surface lateral flow, ⁷Subsurface lateral flow, ⁸Total lateral flow, ⁹Vertical flow, ¹⁰Nov, ¹¹Dec, ¹²Jan, ¹³Feb, ¹⁴Mar, ¹⁵Apr, ¹⁶Winter



Graf 1.

Výška sněhu v zimním období 2005/06 na dílcích H (sdh06), C (sdc06) a K (sdk06)

Snow depth (cm on Y-axis) in winter 2005/06 on plots H (sdh06), C (sdc06) and K (sdk06)



Graf 2.

Vodní hodnota sněhu v zimním období 2005/06 na dílcích H (weh06), C (wec06), K (wek06) a průběh teploty vzduchu na volné ploše (teplvzd_VP)

Snow water equivalent (mm on left Y-axis) in winter 2005/06 on plots H (weh06), C (wec06), K (wek06), and mean hour air temperature of open area (teplvzd_VP - °C on right Y-axis)

Hodnoty intenzity tání vykazovaly obdobné pořadí: nejvyšší na dílci C (v průměru 12,3 mm/den), nižší na dílci K (10,9 mm/den) a nejnižší na dílci H (5,7 mm/den). Časová řada úbytků vodní hodnoty sněhu v období tání byla vzájemně odlišná prakticky i s vysokou statistickou významností mezi dílci H a C (párovým t-testu $p\text{-value} = 0,0004$) a statistické významnosti se blížila mezi dílci H a K ($p\text{-value} = 0,18$). Vzestup kontinuálně měřených teplot půdy v hloubce 5 cm (měl) nad 1 °C během několika hodin indikoval úplné odtátí sněhu mezi 30. březnem až 3. dubnem (1. 4. H, 2. 4. C, 30. 3. K) s přímými projevy na laterální a vertikální odtok do 7. 4.

Odtok z tání (tab. 1) korespondoval se zásobou vody ve sněhové pokrývce na jednotlivých dílcích. Nejvyšší, ale také s nejvyšším vertikálním odtokem byl odtok z tání na dílci C (mladý smíšený jehličnatý porost z kombinované obnovy na clonné seči). Nejnižší, ale s nejvyšším laterálním povrchové i podpovrchovým odtokem byl na dílci H (mladá smrková monokultura z umělé obnovy na holé seči). Časová řada povrchového odtoku při tání na dílci H se blížila statisticky významnému rozdílu jak v porovnání s řadou na dílci C (párový t-test, $p = 0,08$), tak na dílci K ($p = 0,15$). Vzhledem k nezaznamenanému promrznutí svrchní půdní vrstvy můžeme vyšší laterální odtok z tání na dílci H vztahovat k vyššímu zhutnění povrchu, zmíněném pro vegetační období již v předchozím příspěvku (ŠACH 2006). Šetření zhutnění se uskutečnilo pomocí poměrných penetrometrických měření v létě 2006 (graf 4).

Odtok při tání odpovídal na jednotlivých dílcích nejenom časové řadě úbytků vodní hodnoty sněhu, ale také časové řadě nově zavedeného bilančního prvku infiltrace do půdy (v metodice dovozované jako předpokládané podkorunové srážky). Půdní profil přitom zejména vzhledem k vertikálnímu odtoku vykazoval dobrou infiltrační schopnost a vysokou retenci infiltrované vody. K nejvyšší retenci došlo v pedonu dílce K (83 mm), vysokou retenci projevila také pedon dílce H (79 mm), naopak velmi dobře propustný pedon dílce C prokázal retenci nižší (32 mm). Vysoká retence souhlasí s vodní kapacitou zjišťovanou pro solum o mocnosti 1 m při budování

lyzimetrických sond v roce 1986. Na dílci K byla vodní kapacita podle NOVÁKA (1954) stanovena pro sledovanou metrovou vrstvu 297 mm, na C dílci 282 mm a na H dílci 234 mm (ŠACH, KANTOR, ČERNOHOUS 2000).

Laterální odtok na dílcích s různým postupem obnovy

Laterální odtok na dílcích s holosečným (H) a clonosečným (C) obnovním postupem a s kontrolním dospělým smrkovým porostem (K) v zimním hydrologickém půlroce 2005/06 uvádí tabulka 2. Statisticky a prakticky významné rozdíly se vyskytly mezi dílcem H a dílci C a K u laterálního odtoku povrchového v konci března v době tání, u podpovrchového se rozdíly významné statisticky ani prakticky nevytvořily. Za celý zimní hydrologický půlrok existují statisticky průkazné rozdíly mezi dílcem H a dílci C a K v laterálním odtoku povrchovém a laterálním celkovém právě jen v důsledku povrchového odtoku z tání. Hodnoty povrchového odtoku 7,4 mm a celkového laterálního 11,8 mm na dílci H jsou sice vzhledem k srážkám volné plochy nízké (2,1 resp. 3,3 %), přesto statistická průkaznost rozdílu oproti dílcům C a K naznačuje v roce 2005 domněnku a 2006 penetrometrickým měřením zjištěné zhutnění povrchu hrabanky na dílci s holosečnou obnovou ve fázi nesmíšené smrkové tyčoviny (graf 4). Laterální odtok na dílci C s obnovou clonnou sečí ve fázi smíšené tyčkoviny a v kontrolním dospělém porostu (dílce K) byl minimální (2,2 resp. 2,5 % srážek volné plochy) a svědčí o dobré infiltrační schopnosti půdního povrchu obou porostů (graf 5).

Laterální odtok po přibližovacích linkách na dílcích s různým postupem obnovy

Laterální odtok na bývalých lanovkových přibližovacích linkách se obdobně jako předtím v létě prakticky ani statisticky významně nelišil od laterálního odtoku na nepoškozené ploše porostů.

Vertikální odtok na dílcích s různým postupem obnovy

Vertikální odtok na dílcích s holosečným (H) a clonosečným (C) obnovním postupem a s kontrolním dospělým smrkovým porostem (K) v zimním hydrologickém půlroce 2005/06 uvádí tabulka 2. Na dílci H prakticky i statisticky významně nejnížší vertikální odtok byl částečně důsledkem vyššího laterálního odtoku, ale také vyšší intercepce, syčení půdy a evapotranspirace nesmíšené smrkové tyčoviny z umělé obnovy. Statisticky významně vyšší vertikální odtok na dílci C v porovnání s dílcem K (testováno analýzou rozptylu a následně mnohonásobným porovnáváním metodou LSD) spolu s nízkým laterálním odtokem (graf 5) potvrzují dobré infiltrační schopnosti půdního povrchu při clonosečné obnově s vytvořeným smíšeným jehličnatým porostem. Infiltrace fungovala dobře i při tání sněhové pokrývky s vysokou zásobou vody za přílivu teplého vzduchu doprovázeného dešťovými srážkami.

Vodní bilance lesních porostů s různým obnovním postupem na prudkém jižním svahu

Vodní bilance na dílcích s holosečným (H) a clonosečným (C) obnovním postupem a s kontrolním dospělým smrkovým porostem (K) v zimním hydrologickém půlroce 2005/06 uvádí tabulka 3. Metodicky novým přístupem bylo stanovení intercepce porostů v období se sněhovou pokrývkou z rozdílu srážek volné plochy a infiltrace do půdy (listopad až první dekáda dubna), změřené z velké části až při jarním tání sněhu (opožděných srážek – delayed precipitation). Intercepci rovněž charakterizovala zásoba vody ve sněhové pokrývce. Intercepce dospělého smrkového porostu s uvolněným zápojem (dílce K) vyšla 11 % (21 % v létě 2005), smíšené jehličnaté smrkové tyčoviny s menšími světlinami (dílce C) 15 % (18 % v létě 2005) a smrkové tyčoviny s menšími světlinami (dílce H) 18 % (14 % v létě 2005 po prořezávce a oklestu) srážek volné plochy (explanaci nízké letní intercepce kapalných srážek komentoval autor z metodického pohledu v předchozím příspěvku – ŠACH 2006). Obrácené pořadí zimní intercepce oproti intercepci letní se zdá málo pravděpodobné (recenze prof. Praxe) a bude mu věnována pozornost při analýze

a hodnocení časové řady údajů z předchozích let i v dalších šetřeních. Syčení půdy po vegetačním období a evapotranspirace smrkových porostů (dospělého i mladého) bylo vyrovnané (pro K i H se rovnalo 31 %), pro smíšenou jehličnatou tyčkovinu (C) pak obnášelo 15 % srážek volné plochy.

SOUHRN VÝSLEDKŮ S DISKUSÍ

Z hodnocení hydrologie dílce s holosečným postupem a umělou obnovou, s clonosečným postupem a obnovou kombinovanou a dílce s kontrolním dospělým smrkovým porostem na prudkém jižním svahu v zimním hydrologickém půlroce 2005/06 (listopad – duben) vyplývají následující dílčí závěry:

• k zimním srážkám volné plochy

Srážky volné plochy za hodnocené mimovegetační období 2005/06 činily 360 mm. Od druhé dekády listopadu 2005 až téměř do konce března 2006 se jednalo převážně o srážky sněhové, ojediněle smíšené. Dešťové srážky se vyskytly v první dekádě listopadu (4 mm); v konci března a v dubnu pak spadlo 86 mm dešťových srážek. Srážky formující akumulaci sněhové pokrývky představovaly 75 % srážkového úhrnu za zimní hydrologický půlrok. Nejvyšší srážkové úhrny v zimě 2005/06 se vyskytovaly v prosinci, nejnížší v listopadu a v lednu, od února do dubna byly srážkové úhrny vcelku vyrovnané.

• k zimním podkorunovým srážkám

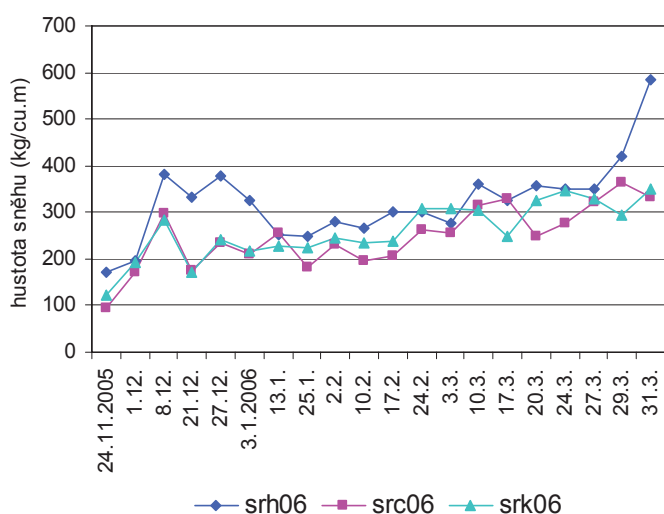
Za podkorunové srážky v době ležící sněhové pokrývky byly považovány srážky prošlé nasycenou opadankou výparoměrů ke sledování intercepce opadanky (ta se nasýtila vodou z atmosférických srážek před napadnutím sněhu). Srážkové úhrny podkorunových srážek za období se sněhovou pokrývkou, za období po jejím roztažení i za celý zimní hydrologický půlrok 2005/06 byly mezi dílci H, C a K statisticky neprůkazné. Neprůkazné rozdíly podkorunových srážek vypovídají o praktické shodě podkorunových srážek pod současnými vývojovými stadii sledované obnovy porostů.

• ke sněhové pokrývce, tání a odtoku při tání

- Sněhová pokrývka ležela souvisle na dílcích H, C a K v zimě 2005/06 mimořádně dlouhou dobu, od druhé dekády listopadu 2005 až do první dekády dubna 2006. Odlišnost časové řady hodnot výšky a vodní hodnoty sněhu a v podstatě i hustoty sněhu mezi sledovanými dílci byla statisticky významná a vztahuje se k odlišnostem v procesu intercepce a tání sněhu v korunách, porostního mikroklimatu, radiace, advekce a následně akumulace a odtávání sněhové pokrývky (cf. KREČMER in Lesy a povodně 2004). Tání sněhové pokrývky probíhalo v posledním týdnu března a prvním týdnu dubna 2006 během přílivu teplého a vlhkého vzduchu doprovázeného dešťovými srážkami.

- Tání korespondovalo s odlišnou zásobou vody ve sněhové pokrývce, nejvyšší 172 mm na dílci C (smíšená jehličnatá tyčkovina s významným podílem v zimě neolštěného modřínu), nižší 153 mm v kontrolním dospělém smrkovém porostu (dílce K) a nejnížší 80 mm na dílci H (smrková tyčovina). Odlišnost časových řad úbytků vodní hodnoty sněhu v období tání byla prakticky i statisticky vysoce významná mezi dílci H a C a statistické významnosti se blížila také mezi dílci H a K.

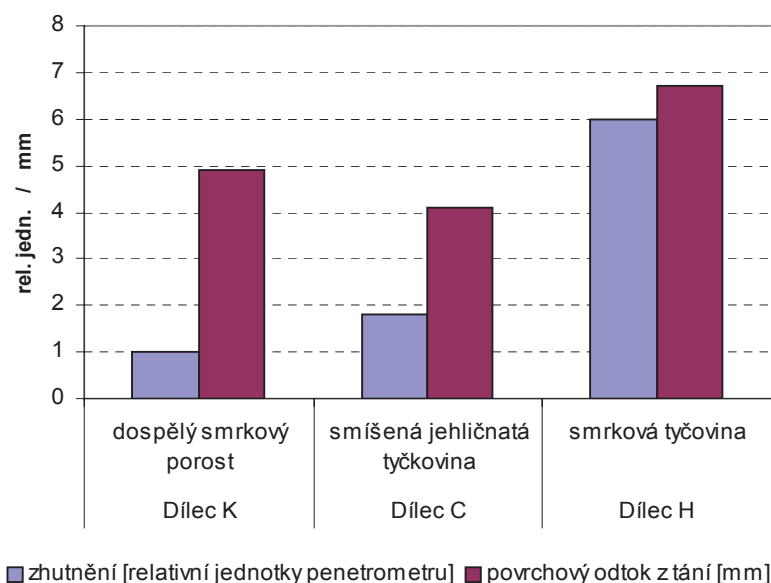
- Odtok z tání byl nejvyšší a také s nejvyšším vertikálním odtokem na dílci C (mladý smíšený jehličnatý porost z kombinované obnovy na clonně seči). Nejnížší odtok z tání ale s nejvyšším laterálním povrchovým i podpovrchovým odtokem byl na dílci H (mladá smrková monokultura z umělé obnovy na holé seči).



Graf 3.

Hustota sněhu v zimním období 2005/06 na dílci H (srh06), C (src06) a K (srk06)

Snow density (kg/cu.m on Y-axis) in winter 2005/06 on plots H (srh06), C (src06) and K (srk06)



Graf 4.

Zhutnění povrchu na jednotlivých dílcích naznačuje spojitost s výškou povrchového odtoku z tání. Zkoumání podmínek pro vznik povrchového odtoku ve smrkových porostech na příkrém jižním svahu 26 let po obnově se uskutečnilo pomocí srovnávacích poměrných penetrometrických měření na odtokových mikroplochách (léto 2006).

Compaction of surface (relative units on Y-axis) on plots K, C, and H (blue columns) indicates possible relation to depth of surface runoff (mm on Y-axis) from snow melt (red columns). Examination of conditions for surface flow generation in Norway spruce stands on steep southern slope 26 years after regeneration was performed by comparative penetrometric measurements on runoff microplots (summer 2006).

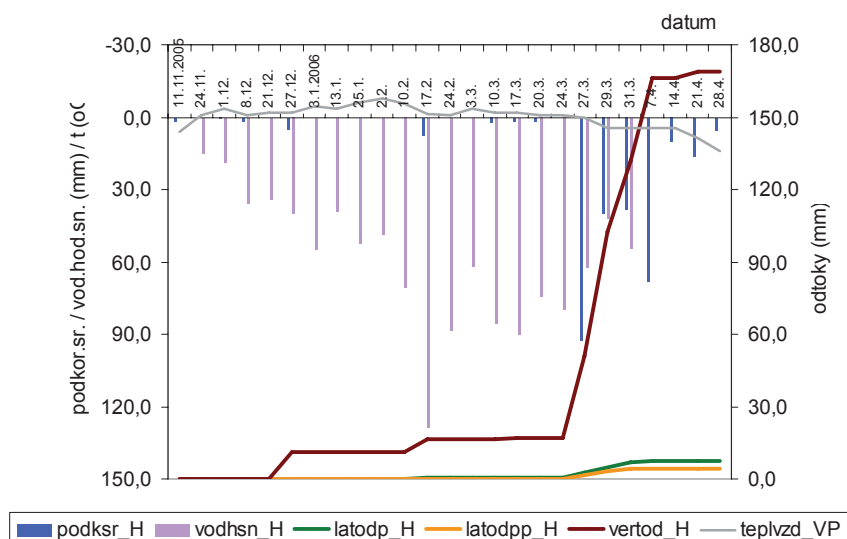
- Odtok při tání odpovídal na jednotlivých dílcích nejenom časové řadě úbytků vodní hodnoty sněhu, ale také časové řadě nově zavedeného bilančního prvku infiltrace do půdy (v metodice vyvozené také jako podkorunové srážky). Půdní profil přitom zejména vzhledem k vertikálnímu odtoku vykazoval dobrou infiltrační schopnost a vysokou retenci infiltrované vody (cf. CHENG 1988, ŠVIHLA et al. 2007).
- **k zimnímu svahovému odtoku**
 - Zimní svahový odtok bez odtoku z období jarního tání představoval na jednotlivých dílcích pouhých 1,1 % (H), 1,2 % (C), 1,7 % (K) z celkového zimního svahového odtoku, vyjádřeno odtokovou výškou 20,8 (H), 31,6 (C), 36,1 (K) mm.
 - U laterálního odtoku povrchového se statisticky a prakticky významné rozdíly vyskytly na konci března v době tání mezi dílcem H a dílcem C a K, u podpovrchového se rozdíly významné statisticky ani prakticky nevytvořily. Promrznutí svrchní půdní vrstvy se nevyskytlo. Vrstva sněhu přesahující 30 cm výrazně tlumí kolísání teploty při povrchu půdy (SATTERLUND, ADAMS 1992) a proto, jak dlouhodobě zaznamenává Kantor (KANTOR et al. 2006), není půda pod vyšší sněhovou pokrývkou obvykle zamrzlá. Vyšší laterální odtok z tání na dílcem H je možné vztahovat k vyššímu zhutnění povrchu (zjištěnému penetrometrickými měřeními v létě 2006), které jsme pro vegetační období naznačili v předchozím příspěvku (ŠACH 2006).
 - Laterální odtok na bývalých lanovkových přibližovacích linkách se obdobně jako předtím v létě prakticky ani statisticky významně nelišil od laterálního odtoku na nepoškozené ploše porostů. Opakovaně se tak prokázala ukončenost hydrografické účinnosti linek.
- Vertikální odtok na dílcem H prakticky i statisticky významně nejnižší byl částečně důsledkem vyššího laterálního odtoku, ale také vyšší interceptce, sycení půdy a evapotranspirace nesmíšené smrkové tyčkoviny z umělé obnovy. Vertikální odtok statisticky významně vyšší na dílcem C v porovnání s dílcem K spolu s nízkým laterálním odtokem potvrzuje dobré infiltrační schopnosti půdního povrchu při clonosečné obnově s vytvořeným smíšeným jehličnatým porostem.
- **k zimní vodní bilanci**
 - Interceptce porostů v období se sněhovou pokrývkou (listopad až první dekáda dubna) byla stanovena metodicky novým postupem z rozdílu srážek volné plochy a infiltrace do půdy.
 - Vodní bilance zimního hydrologického půlroku 2005/06 byla na všech dílcích charakterizována relativně nízkou interceptcí; interceptce dospělého smrkového porostu u uvolněným zápojem ve věku 110 let (dílec K) vyšla 11 %, smíšené jehličnaté smrkové mlaziny až tyčkoviny ve věku 12 až 23 let s menšími světlinami (dílec C) 15 % a smrkové tyčkoviny až tyčkoviny s menšími světlinami ve věku 23 let (dílec H) 18 % srážek volné plochy.
 - Vodní bilance zimního hydrologického půlroku 2005/06 byla ve starém i mladém smrkovém porostu charakterizována vyrovnaným sycením půdy po vegetačním období a evapotranspirací, když pro K i H se rovnala 31 %, pro smíšenou jehličnatou tyčkovinu (C) pak 15 % srážek volné plochy.
 - Vodní bilance dospělého kontrolního smrkového porostu, jehličnaté smíšené tyčkoviny s podílem v zimě neolštěného modřínu 35 % z kombinované obnovy clonnou sečí a nesmíšené smrkové tyčkoviny z umělé obnovy na holé seči byla v přípa-

Tab. 3.

Vodní bilance lesních porostů s různým obnovním postupem na prudkém jižním svahu v zimním hydrologickém půlroce 2005/06
Water balance of forest stands with various regeneration method on steep southern slope in winter hydrologic half-year 2005/06

1Období	2Srážky volné plochy	3Dílec H – smrková tyčkovina až tyčovina z umělé obnovy holou sečí				4Dílec C – smíšená jehličnatá smrková mlazina až tyčkovina z kombinované obnovy clonnou sečí				5Dílec K – kontrolní dospělá smrková kmenovina s uvolněným zápojem			
		6Infiltrace do půdy/ Retence ve sněhu	7Odtok		10Sycení půdy plus ET	6Infiltrace do půdy/ Retence ve sněhu	7Odtok		10Sycení půdy plus ET	6Infiltrace do půdy/ Retence ve sněhu	7Odtok		10Sycení půdy plus ET
			8laterální	9vertikální			8laterální	9vertikální			8laterální	9vertikální	
mm													
11listopad	37,8	2,0/18,8	0,1	0,0	1,9	1,3/32,8	0,0	0,0	1,3	0,7/26,8	0,0	0,0	0,7
12prosinec	110,3	7,0/54,8	0,1	11,0	-4,1	7,0/95,2	0,2	12,0	-5,2	6,0/65,6	0,2	18,0	-12,2
13leden	34,4	0,0/48,4	0,0	0,0	0,0	0,0/109,6	0,0	0,0	0,0	0,0/75,4	0,0	0,0	0,0
14únor	55,6	7,5/62,0	0,3	5,4	1,8	13,5/164,8	0,1	10,7	2,7	15,0/132,8	0,2	8,2	6,6
15březen	61,3	177,5/54,4	10,8	115,5	51,2	194,5/76,8	7,0	128,3	59,2	215,0/41,6	8,4	114,8	91,8
do 7. 4. 16duben	13,0	68,0/ – Intercep.	0,4	34,2	33,4	63,5/ – Intercep.	0,1	89,0	-25,6	53,0/ – Intercep.	0,1	52,7	0,2
od 7. 4. 17zimní	47,5	15,3 6Intercep.	0,1	2,9	29,2 (113,4)	20,6 32,7 Intercep.	0,5	5,0	21,3 (53,7)	17,8 22,8 Intercep.	0,0	6,8	22,9 (110,0)
hydrologický půlrok	359,9	50,4 15,3	11,8	169,0	113,4	20,6	7,9	245,0	53,7	17,8	8,9	200,5	109,9
18Procenta	100,0	18,2	3,3	47,0	31,5	14,8	2,2	68,1	14,9	11,3	2,5	55,7	30,5

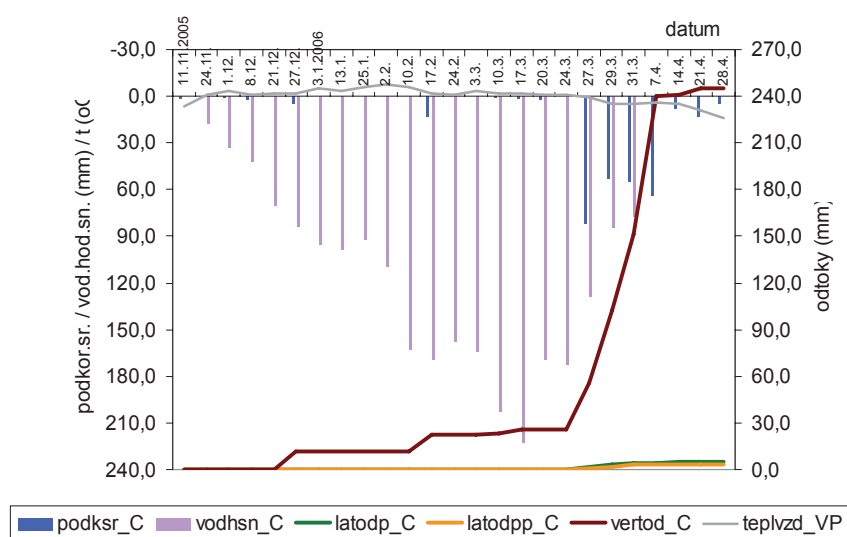
11Period, 12Precipitation of open area, 13Plot H – spruce pole stage stand from artificial regeneration by clearcutting, 14Plot C – mixed coniferous small pole stage stand from combined regeneration by shelterwood cutting, 15Plot K – mature spruce stand with open canopy, 16Infiltration into soil/Retention in snowpack and resulting winter interception, 17Flow, 18lateral, 19vertical, 10soil water (moisture) recharge plus ET, 11Nov, 12Dec, 13Jan, 14Feb, 15Mar, 16Apr, 17winter hydrologic half-year, 18Percentage



Graf 5a.

Podkorunové srážky, vodní hodnota sněhu a nárůst laterálního odtoku povrchového, podpovrchového a odtoku vertikálního na dílci H v zimním hydrologickém půlroce 2005/06

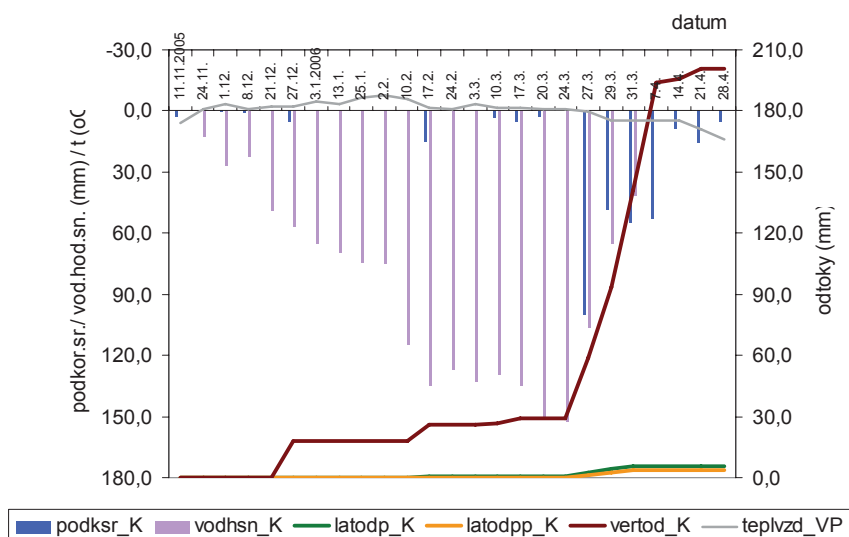
Throughfall (podksr - mm on left Y-axis), water storage in snowpack (vodhsn - mm on left Y-axis), mean hour air temperature of open area (teplvzd_VP - °C on left Y-axis), and mass curve of surface lateral flow (latodp - mm on right Y-axis), subsurface lateral flow (latodpp - mm on right Y-axis) and vertical flow (vertod - mm on right Y-axis) on the plot H in winter hydrologic half-year 2005/06 (datum/date - upper X-axis)



Graf 5b.

Podkorunové srážky, vodní hodnota sněhu a nárůst laterálního odtoku povrchového, podpovrchového a odtoku vertikálního na dílci C v zimním hydrologickém půlroce 2005/06

Throughfall (podksr - mm on left Y-axis), water storage in snowpack (vodhsn - mm on left Y-axis), mean hour air temperature of open area (teplvzd_VP - °C on left Y-axis), and mass curve of surface lateral flow (latodp - mm on right Y-axis), subsurface lateral flow (latodpp - mm on right Y-axis) and vertical flow (vertod - mm on right Y-axis) on the plot C in winter hydrologic half-year 2005/06 (datum/date - upper X-axis)



Graf 5c.

Podkorunové srážky, vodní hodnota sněhu a nárůst laterálního odtoku povrchového, podpovrchového a odtoku vertikálního na dílci K v zimním hydrologickém půlroce 2005/06

Throughfall (podksr – mm on left Y-axis), water storage in snowpack (vodhsn – mm on left Y-axis), mean hour air temperature of open area (teplvzd_VP – °C on left Y-axis), and mass curve of surface lateral flow (latodp – mm on right Y-axis), subsurface lateral flow (latodpp – mm on right Y-axis) and vertical flow (vertod – mm on right Y-axis) on the plot K in winter hydrologic half-year 2005/06 (datum/date – upper X-axis)

dě mimovegetačního období 2005/06 nejvýrazněji ovlivněna vysokou a po dlouho dobu ležící sněhovou pokrývkou a jarním táním za přílivu teplého a vlhkého vzduchu doprovázeného dešťovými srážkami. Výška a vodní hodnota sněhu na počátku tání byla nepřímo závislá na uzavřenosti zimního zápoje porostů. Čím uzavřenější zápoj, tím více zadrženého sněhu v korunové vrstvě a tím větší okap pod koruny v průběhu zimy, zintenzivněný jižní expozicí, s eventuální redukcí výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky.

- Prakticky i statisticky významná odlišnost časových řad výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky a její hustoty pod rozdílnými porosty (vyrůstajícími na prudkém jižním svahu v nadmořské výšce 500 m s osluněním větší svislé části korun) se dále promítá do diverzifikace odtokových poměrů na dílcích H, C a K. Diverzifikování odtokových poměrů pak vytváří předpoklad pro omezení možné protipovodňové a protierozní dysfunkce stejnorodých lesních komplexů (KREČMER et al. 2006).
- Výsledky vodní bilance bude třeba dále prověřovat jak experimentálně na ucelené časové řadě pozorování, tak na podkladě informačních zdrojů.

• k managementu sněhové pokrývky

Sněhová pokrývka je důležitou složkou zimního odtoku. ANDERSON et al. (1976) referují o její významnosti v lesních oblastech, kde sněhové srážky během zimy přesahují 150 mm a zadrží se ve sněhové pokrývce do jarního tání. V České republice tomu odpovídají vrchovinné (KANTOR, ŠACH 1988, ŠACH et al. 1994) a středohorské polohy (KANTOR, ŠACH 2002). SATTERLUND et ADAMS (1992) shrnuli poznatky o hospodaření se sněhem a lesní oblasti USA se sněhovou pokrývkou (forest snowpack zone) rozdělili podle charakteristického průběhu období a stavu do 3 zón: chladná – cold forest snow zone (kontinentální zimní klima, máločetná zimní tání,

radiační jarní tání), teplá – warm forest snow zone (přímořské zimní klima, četnější zimní tání, advektivní jarní tání) a přechodná – transition forest snow zone (střídání sněhových a dešťových srážek, nízká sněhová pokrývka vytvořená a roztátá několikrát za zimu). V ČR lze podobnost nalézt s poměry ve středohorských, vrchovinných a pahorkatinných polohách.

Při obhospodařování lesa je možné se sněhovou pokrývkou do jisté míry manipulovat zejména ve vztahu k vodnosti toků (akumulace sněhu), časování odtoku z tání zimního (advektivní oblevy s deštěm), ale zvláště z tání jarního. Typy jarního tání korespondující s rozdělením SATTERLUNDA et ADAMSE (1992) popsal KREČMER (POBEDINSKIJ, KREČMER 1984) buď jako radiační nebo advektivní či kombinaci. Ke zvýšení vodnosti lze využívat jak druhovou skladbu (v zimě olistěné či neolistěné dřeviny), tak zejména obnovní postupy s různými typy umístění a velikostí sečí (KANTOR, ŠACH 1988, 2002). Odtok z jarního tání sněhu lze tak v určitém rozpětí způsobilé retardovat) pro navýšení zásoby vody v půdě a vodnosti toků směrem k létu a desynchronizovat ve vztahu ke vzniku povodní. V hydrologickém vyjadřování to znamená co nejvýraznější tvarovou transformaci hydrogramu odtoku (ve smyslu prodloužení a zploštění) z jarního tání. Hydrogram odtoku z jarního tání se prodlužuje a zplošťuje hospodářskými způsoby zvětšujícími heterogenitu přírodních poměrů lokality. Obecně lze konstatovat, že čím větší diverzifikace porostních poměrů zejména v důsledku pěstebních opatření (obnovních a výchovných sečí – těžeb), tím větší pravděpodobnost ochrany proti vytváření povodní v zájmových oblastech a větší pravděpodobnost obohacení vodních zdrojů pro periody sucha (deficience vody) ve vegetačním období. Pěstební postupy naopak zvyšující homogenitu přírodních poměrů hydrogram jarního tání zaostrují (zužují a zvyšují). Výsledky lze využívat v lesohydrologickém plánování jako součásti krajinného plánování a v monetárním hodnocení

ní vodohospodářských a půdoochranných funkcí lesa (BROOKS et al. 1997). Všeobecně platí, že při plánování obnovních postupů v lesní zóně se sněhovou pokrývkou by neměly být používány postupy hospodaření, které by zkracovaly dobu tání sněhových zásob.

ZÁVĚR

Cílem práce byla kvantifikace, analýza a porovnání režimu svahového odtoku ve vztahu k postupům obnovy lesa po 25 letech od započetí obnovy na TVP Česká Čermná (lesní oblast předhoří Orlických hor, lesní typ 5N1, prudký jižní svah v nadmořské výšce 460 – 540 m). Holosečný obnovní postup s umělou obnovou (H), clonosečný obnovní postup s kombinovanou obnovou (C) a dospělá smrková kmenovina (K) modifikovaly povrchový, podpovrchový ale i vertikální odtok kromě letního hydrologického půlroku 2005 (ŠACH 2006) také v zimním hydrologickém půlroce 2005/06.

Zimu 2005/06 považujeme za chladnou, ukončenou jarním táním s teplým prouděním a deštěm. Svahový odtok bez odtoku z období jarního tání představoval na jednotlivých dílcích pouhých 1,1 % (H), 1,2 % (C), 1,7 % (K) z celkového svahového odtoku v zimním hydrologickém půlroce, vyjádřeno odtokovou výškou 20,8 (H), 31,6 (C), 36,1 (K) mm. Více než 98 % z celkového svahového odtoku v zimním hydrologickém půlroce tedy představoval svahový odtok v době jarního tání sněhu.

I 25 let od počátku obnovy docházelo k diverzifikaci sněhové pokrývky – vodní hodnoty (vodního ekvivalentu) i výšky a časování svahového odtoku. Odlišnost časové řady hodnot výšky a vodní hodnoty sněhu mezi sledovanými dílci byla statisticky významná. Výška a vodní hodnota sněhu na počátku tání byla nepřímo závislá na uzavřenosti zimního zápoje porostů. Čím uzavřenější zápoj, tím více zadrženého sněhu v korunové vrstvě a tím větší okap pod koruny v průběhu zimy, zintenzivněný jižní expozicí, s eventuální redukcí výšky a vodní hodnoty sněhové pokrývky. Tání (od 24. 3. do 30. 3. až 3. 4.) tak souviselo s odlišnou zásobou vody ve sněhové pokrývce, nejvyšší 172 mm na C (smíšená jehličnatá tyčkovina s významným podílem v zimě neolistěného modřínu), nižší 153 mm na kontrole (K) a nejnižší 80 mm na H (smrková tyčkovina) a s pronikáním teplého vzduchu a deště ke sněhové pokrývce v porostech na jednotlivých dílcích: nejvyšší průměrná denní intenzita při nejdelší době tání na dílci C, střední intenzita při nejkratší době na dílci K a nejnižší intenzita při střední době na dílci H.

Nejvyšší laterální povrchový i podpovrchový odtok z tání byl na dílci H (11 mm). Protože nebylo zjištěno promrznutí půdy, mohl souviset s vyšší tuhostí povrchu hrabanky, utužené hustou povrchovou armaturou smrkových kořenů, a indikovanou poměrnými penetrometrickými měřeními. Vertikální odtok statisticky významně nejvyšší na dílci C spolu s nízkým laterálním odtokem potvrdil dobrou infiltrační schopnost půdního povrchu po clonosečné obnově s vytvořeným smíšeným jehličnatým porostem. Laterální odtok na bývalých lanovkových přibližovacích linkách se prakticky ani v zimě statisticky významně nelišil od laterálního odtoku na nepoškozené ploše porostů. Pravděpodobnost působení vodní eroze se tak při použité technologii soustředování dřeva lanovými systémy jeví nízká, a to i při střední ohroženosti lokality erozí těžebně-dopravní s hodnotou indexu ohroženosti na horní hranici rozpětí (ŠACH 1988).

Výsledky z obnovních postupů (sečí) uplatněných na příkrém jižním svahu TVP Česká Čermná korespondují s diskusí ve smyslu diverzifikace porostních poměrů a následně také hydrogramů svahového odtoku. Je však třeba pokračovat v hodnocení všech vývojových

a růstových fází obnovních sečí (postupů) za různých typů zimní povětrnosti, provádět porovnávání s dalšími především souběžně probíhajícími výzkumy a z informačních zdrojů mimo jiné využívat srovnatelnosti s lesními zónami se sněhovou pokrývkou (zóna chladná, teplá, přechodová a kombinace).

Poděkování:

Výsledky prezentované ve studii vznikly s finančním přispěním NAZV, projektu č. 1G57016 „Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací – povodní a sucha“ a v rámci institucionální podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků – výzkumného záměru MZe ČR č. 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

- ANDERSON, H. W., HOOVER, M. D., REINHART, K. G.: Forests and water: effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply. General Technical Report PSW-18. Berkeley (California): Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1976. 115 s.
- BETHLAHMY, N.: Rapid calibration of watersheds for hydrologic studies. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, 8, 1963, č. 3, s. 38-42.
- BETHLAHMY, N.: Water yield, annual peaks and exposure in mountainous terrain. Journal of Hydrology, 20, 1973, č. 2, s. 155-169.
- BROOKS, K. N., FOLLIOTT, P. F., GREGERSEN, H. M., DEBANO, L. F.: Hydrology and the management of watersheds. Ames: Iowa State University Press 1997. 502 s.
- CORBETT, E. S.: In: Sopper, W. E., Lull, H. W. (eds.): Measurement and estimation of precipitation on experimental watersheds. Forest hydrology. Proceedings of an International Symposium. Oxford: Pergamon Press, 1967, s. 107-129.
- GURTZ, J. et al.: Long-term hydrometeorological measurements and model-based analyses in the hydrological research catchment Rietholzbach. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 51, 2003, č. 3, s. 162-174.
- HEWLETT, J. D.: Principles of forest hydrology. Athens: The University of Georgia, 1982. 183 s.
- CHENG, J. D.: Subsurface stormflows in the highly permeable forested watersheds of southwestern British Columbia. Journal of Contaminant Hydrology (Elsevier - Amsterdam), 3, 1988, s. 171-191.
- KANTOR, P., ŠACH, F.: Hydrická účinnost mladých náhradních porostů smrku omoriky a břízy bradavičnaté. [Hydrolic efficiency of young substitute stands of *Picea omorika* and *Betula verrucosa*]. Lesnictví, 34, 1988, č. 11, s. 1017-1040, res. angl.
- KANTOR, P., ŠACH, F.: Snow accumulation and melt in a spruce stand and on a clearcut in the Orlicke hory Mts (Czech Republic). Ekológia (Bratislava), 21, 2002, Supplement 1, s. 122-135.
- KANTOR, P., ŠACH, F., ČERNOHOUS, V., KARL, Z.: Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha. Projekt NAZV č. 1G57016. Redakčně upravená roční zpráva za rok 2006. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita; Jiloviště-Strnady: VÚLHM-VS Opočno, 2006. 54 s.
- KREČMER, V.: Das Mikroklima der Kieferlochkahlschläge. VI. Teil: Schneedecke, Bodenfeuchtigkeit. Wetter und Leben, 20, 1968, č. 7/8, s. 137-151.

- KREČMER, V.: Vazby lesa a vody v našem lesním hospodářství. Problematika, současný stav a výhledy aplikace v ČR. Zprávy lesnického výzkumu, 19, 1973, č. 4, s. 2-16.
- KREČMER, V. et al.: Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. Praha: Academia 1980. 242 s.
- KREČMER, V., ŠIŠÁK, L., ŠACH, F., ŠVIHLA, V., FLORA, M.: K ekonomickému hodnocení mimotřžních funkcí lesa z hledisek lesopoliťických. Zprávy lesnického výzkumu (Supplementum), 51, 2006, č. 3, s. 195-213, res. angl.
- LEE, R.: Forest hydrology. New York: Columbia University Press, 1980. 349 s.
- Lesy a povodně. Souhrnná studie. [Forests and floods]. Zpracoval P. Kantor, V. Krečmer, F. Šach, V. Švihla, V. Černohous. Praha: Ministerstvo životního prostředí 2004. 48 s. ISBN 80-7212-255-X
- NĚMEČEK, J. et al.: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: Česká zemědělská univerzita 2001. 78 s.
- NEWSON, M.: Hydrology and the river environment. Oxford: Clarendon Press, 1994. 221 s.
- NOVÁK, V.: Voda v půdě – vodní režim půdní. In: Klika, J., Novák, V., Gregor, A.: Praktikum fytoecologie, ekologie, klimatologie a půdoznalství. Praha: Nakladatelství ČSAV, 1954, s. 440-484.
- POBEDINSKIJ, A. V., KREČMER, V.: Funkce lesů v ochraně vod a půdy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 247 s.
- SATTERLUND, D. R., ADAMS, P. W.: Wildland watershed management. New York: J. Wiley, 1992. 436 s.
- ŠACH, F.: Vliv obnovních způsobů a těžebně dopravních technologií na erozi půdy. [Impacts of harvesting methods and logging systems on soil erosion.] Kandidátská disertační práce. Opočno: VÚLHM-VS, 1986. 84 s., 4 s. příl.
- ŠACH, F.: Metoda stanovení nebezpečí těžebně dopravní eroze a její aplikace v protierozní ochraně lesních pozemků. Práce VÚLHM, 72, 1988, s. 75-104, res. angl.
- ŠACH, F., KANTOR, P., ČERNOHOUS, V.: Water budget in a young stands of substitute tree species in immission region of the Trutnov Piedmont in the Czech Republic. [Vodní bilance v mladých porostech náhradních dřevin v imisní oblasti Trutnovské pahorkatiny v České republice.] Lesnictví, 40, 1994, č. 5, s. 211-216.
- ŠACH, F., KANTOR, P., ČERNOHOUS, V.: Forest ecosystems, their management by man and floods in the Orlické hory Mts. in summer 1997. Ekológia (Bratislava), 19, 2000, č. 1, s. 72-91.
- ŠACH, F.: Svahový odtok ve vztahu k postupům obnovy lesa. [Hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration.] Zprávy lesnického výzkumu, 51, 2006, č. 3, s. 184-194, res. angl.
- ŠVIHLA, V., ŠACH, F., KULHAVÝ, Z., KANTOR, P.: Vyhodnocení hydroedologického průzkumu experimentálního objektu Dešenská stráž v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 52, 2007, č. 1, s. 27-36, res. angl.
- WEILER, M., MAC DONNELL, J. J.: Soil development and properties. Water storage and movement. In: Burley, et al. (eds.): Encyclopedia of forest sciences. Amsterdam: Elsevier, 2004, s. 1253-1260.

Winter hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration

Summary

This paper is a follow-up to an earlier one in the Reports of Forestry Research (ŠACH 2006), which dealt with hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration during growing season 2005 (May 1 – October 31). In dormant season (November 1 – April 30), the hillslope runoff study further continued in the same two young stands regenerated 25 years ago by clearcut (H) and shelterwood (C) method and in the control mature spruce stand (K) on the long-run research area (LRA) Česká Čermná (photo 1) in the hydrologic year 2005/06. Hillslope runoff was influenced by steep slope and its southern aspect (similarly BETHLAHMY 1973). Setting-up the LRA and investigative techniques were fully described in the previous contribution (ŠACH 2006). We expanded runoff investigation by observing potential soil freezing through profile and forest floor (particularly litter) compaction. A new method (photo 2) was devised for measuring winter precipitation under canopy (inferred as an infiltration into soil). The open area precipitation depth equalled to 360 mm in investigated dormant season 2005/06. From the second ten days of November nearly to the end of March it was snowy precipitation, in isolated cases mixed precipitation. Snowy precipitation represented 75% of precipitation depth in winter hydrologic half-year (table 3). Time series differences of snow depth, snow water equivalent and snow density (graph 1 – 3) among observed stands were statistically significant. Snow storage at the beginning of snow thawing was directly proportional to canopy density in winter. Snow melt (from March 24 to March 30 – April 3) corresponded with diverse water storage in snow pack: the highest 172 mm on plot C (mixed conifer small pole stage stand with considerable proportion of European larch without foliage in winter), lower 153 mm on the control plot K (mature spruce stand) and the lowest 80 mm on the plot H (spruce pole stage stand). The most lateral surface and subsurface runoff from snow melt (table 1) was on the plot H (11 mm); in consideration of non-recording frost temperatures in soil depths of 5 and 20 cm, we could link it with greater compaction of litter surface indicated by penetrometric measuring (graph 4). Vertical flow the significantly greatest on the plot C (table 2) along with low lateral flow proved good infiltration ability of soil surface after regeneration by shelterwood cutting with created mixed conifer young stand (table 3, graph 5). Also in winter the lateral runoff on high-lead yarding track 25 years after logging did not significantly differ from lateral runoff on undamaged plots, so probability of hazard by soil water erosion seems low.

Recenzováno