

NEBEZPEČÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU A NÁSLEDNÉ EROZE VE SMRKOVÝCH POROSTECH NA PRUDKÉM JIŽNÍM SVAHU PŘI RŮZNÝCH POSTUPECH OBNOVY LESA

RISK OF OVERLAND FLOW AND FOLLOWING EROSION IN NORWAY SPRUCE STANDS ON A STEEP SOUTH SLOPE USING DIFFERENT FOREST REPRODUCTION METHODS

FRANTIŠEK ŠACH - VLADIMÍR ČERNOŠOU

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

Evaluation of 30-year observations on a long-term research area Česká Čermná in north-eastern Bohemia of the Czech Republic made possible to assess also potentially erosive impacts at using clearcut (H) and shelterwood (C) reproduction methods. The research area is located at the altitude of 460 - 540 m on a steep southward hillslope in the piedmont of the Orlické hory Mts. On logged areas undisturbed by yarding, the reproduction methods did not cause formation of overland flow and "on-site" surface erosion of a forest soil. Nevertheless, the reproduction methods are able to influence subsurface runoff from hillslopes and following "off-site" erosion wash from forest road and drainage network. For determining "off-site" erosion risk the practical procedure of assessing potentially erosive risky hillslope runoff was proposed. Runoff from hillslope potentially off-site erosive was determined at open area precipitation sum (S-VP) above 10 mm per week and if the runoff component was greater than $0.1 * (S-VP)$.

Klíčová slova: smrkový porost, obnovní postup, holá seč, clonná seč, svahový odtok, nebezpečí eroze

Key words: spruce stand, reproduction method, clearcut, shelterwood cut, hillslope runoff, soil erosion risk

ÚVOD A NÁSTIN PROBLEMATIKY

Na lesním svahu s neporušeným krytem půdy se povrchový odtok obvykle nevytváří, nedochází proto ani k povrchové vodní erozi – on-site soil erosion (PATRIC 1976, SIDLE 1980, ŠACH 1990b). Svahový odtok však může výrazně ovlivňovat erozi lesní transportní sítě (komunikací, technologických koridorů, odvodňovacích zařízení) a hydrografické sítě (SIDLE 1980, ŠACH 1990b, KREČMER et al. 2004, CROKE 2004) – off-site soil erosion, včetně povodňových odtoků (ŠACH 1990a, JONES, GRANT 1996, WEMPLE et al. 1996, VICHA et al. 2009).

Svahový odtok z lesního pozemku představuje pohyb vody v prostředí lesní půdy. V hydrologickém pojetí reprezentuje proces geneze odtoku ze srážek. Pohyb vody lesní půdou lze rozdělit na složku vertikální (především makropóry) a složku laterální (zejména laterálně orientovanými makropóry) v půdních vrstvách s odlišnou hydraulickou vodivostí. Podrobnější rozvedení problematiky se nachází v příspěvcích Zpráv lesnického výzkumu č. 3/2006 (ŠACH 2006) a 4/2007 (ŠACH 2007), 1/2007 (ŠVIHLA, ŠACH, KULHAVÝ, KANTOR 2007); a dále např. v pracích autorů ANDERSON, BURT (1990), WEILER, MAC DONNELL (2004), CHENG (1987, 1988), KULHAVÝ, KOVÁŘ (2000), TESAŘ et al. (2001), ŠANDA et al. (2009), ŠVIHLA, ČERNOŠOU, KULHAVÝ, ŠACH (2005), ŠACH, KANTOR, ČERNOŠOU (2000), ŠACH, ČERNOŠOU, KANTOR (2003), KREČMER et al. (2004).

Obsahem práce je hodnocení složek srážko-odtokového režimu pro různé obnovní postupy (holá seč, clonná seč) 29 let od započetí obnovy a hodnocení distribuce svahového odtoku v dlouho-

době časové řadě 30 let na dílčích plochách s obnovním postupem holosečným, clonosečným a v kontrolním dospělém porostu se zřetelem na vysoké srážky ve vegetačním a mimovegetačním období s možnými erozivními důsledky. Související aktivity jsou dlouhodobě realizovány na výzkumném stacionáru Česká Čermná v PLO Předhoří Orlických hor jako modelové lokality podhůří, v přírodních a hospodářsko-technických poměrech České republiky.

Cílem práce je stanovit nebezpečí povrchového odtoku a následné eroze ve smrkových porostech na prudkých svazích při různých způsobech obnovy (holá seč, clonná seč, mateřský porost) v letním i zimním období.

METODIKA

Charakteristika a popis založení dlouhodobého výzkumného objektu Česká Čermná

Výzkumný objekt 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 osténkatou 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 907 mm a průměrná roční teplota 6,2 °C.

Výzkumná plocha byla od počátku rozčleněna na tři dílčí plochy – 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 dílčích ploch. 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

přivalové srážky (lijáky), kterou charakterizuje odtok a doba do dosažení kulminačního průtoku. Obdobně byla potvrzena odtoková homogenita dílčích ploch H, C a K na výzkumné ploše Česká Čermná během kalibračního roku dvěma zadešřovacími sériemi 12 odtokových mikroploch v roce 1979 (srpen a říjen) přivalovou 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, ŠACH et al. 2010).

Tab. 1.

Stav lesního porostu na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) v období 1979 - 2010
State of forest stands on partial plots H (clearcutting procedure), C (shelterwood procedure), K (control mature stand) in 1979 - 2010 time period

Rok/Year	H	C	K
1979	sm kmenovina, z = 1,0	sm kmenovina, z=1,0	sm kmenovina, z = 1,0
1980	sm kmenovina	sm kmenovina	sm kmenovina
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
1984	sm založená kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1985	sm založená kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1986	sm odrostlá kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1987	sm odrostlá kultura	clona + nálet sm, md, bř	sm kmenovina
1988	sm odrostlá kultura	clona + nárost sm, md, bř	sm kmenovina
1989	sm odrostlá kultura	clona + nárost sm, md, bř	sm kmenovina
1990	sm mlazina	clona + nárost sm, md, bř	sm kmenovina
1991	sm mlazina	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
1995	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
2000	sm tyčkovina	mlaz. sm, md, bř + kult. sm, bo	sm kmenovina
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
2004	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 sm, md, bo, 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

V zimě 1980/81 byl proveden na první dílčí ploše holosečný zásah, na druhé clonosečný se snížením zakmenění na 0,5 a třetí zůstala jako kontrolní. Na obou obnovovaných dílčích plochách 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 druhé dílčí ploše domýcena a klest snesen do hromad a spálen. Dosazován byl smrk, borovice, buk (ten však byl prakticky potlačen zvěří), dále nasemeňoval modřín. V roce 2008 byla na kontrolní dílčí ploše K zahájena obnova holosečným postupem, když smrková kmenovina na jeho dolní polovině byla v průběhu září a října smýcena. Použita byla opět technologie kácení a odvětvování motorovou pilou a vyklizování kmenů traktorovým lanovým systémem, klest snesen do hromad a spálen. Přehledně zachycuje stav lesního porostu a péstební opatření na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) v období 1979 - 2010 tabulka 1.

- Dílčí plochu H,
na které byl aplikován holosečný postup a umělá obnova, lze v současné době charakterizovat jako 26letou stejnověkou nesmíšenou smrkovou tyčkovinu až tyčovinu s menšími světlinami. V zimě 2005 se v poměrně hustém porostu (ca 3 000 ks/ha) skutečně provedl provozní výchovný zásah individuálním výběrem a smrky byly vyvětveny 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 zhutněným povrchem (ŠACH 2007).
- Dílčí plochu C,
na které byl aplikován clonosečný postup a kombinovaná obnova, lze v současné době charakterizovat jako věkově, výškově a prostorově rozrůzněnou smíšenou jehličnatou tyčkovinu s menšími světlinami. V zimě 2007 se v poměrně hustém porostu skutečně provedl provozní výchovný zásah individuálním výběrem a vyvětvením stromů hlavního porostu do výšky 2 – 3 m. Odhadované zastoupení dřevin je smrk 50, modřín 35, borovice 15. Půdní kryt představuje velmi kyprá hrabanka prakticky bez jemných kořínků s nezhutněným povrchem.
- Dílčí plocha K
sloužila celá do roku 2008 jako kontrolní a její horní polovinu nad přibližovací cestou lze v současné době charakterizovat jako dospělou smrkovou kmenovinu ve věku 113 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. Dolní polovina (pod přibližovací cestou) byla v září a říjnu 2008 smýcena a od hydrologického roku 2008/09 reprezentuje novou holou seč se založenou kulturou v dubnu 2010.

Způsob měření, zpracování a vyhodnocení výsledků studia svahového odtoku

Ke studiu rozdílů ve svahovém odtoku ze smrkového porostu při odlišných způsobech obnovy byly na TVP Česká Čermná využity následující sledované a hodnocené složky:

- srážky volné plochy (S-VP) měřené ve staničních srážkoměrech v dolní a horní části plochy jako z obou srážkoměrů braná vyšší naměřená srážka, násobená korekčním faktorem 1,081 (odvozeným a diskutovaným v článcích ŠACH 2006, 2007);
- vodní hodnota (ekvivalent) sněhu (ve) vypočítávaná z měření výšky a hmotnosti sněhového vzorku odebráném sněhoměrným válcem o průřezu 50 cm² na vrstevnicovém transektu v dolní části plochy vždy z 10 měříšť na každé dílčí ploše H, C, K.;
- laterální pohyb vody lesní půdou (lateral movement) měřený celkem ze 24 žlabů s celkovou záchytnou délkou 24 m jednak pod rozhraním LFH (forest floor) a A horizontu jako povrchový (p) laterální (od)tok (overland flow, surface runoff) v hloubce 0,09 m pod půdním povrchem, jednak pod rozhraním A a B horizontu jako (mělce) podpovrchový (pp), laterální (od)tok (shallow subsurface flow) v hloubce 0,25 m pod půdním povrchem;
- vertikální pohyb vody lesní půdou (vertical movement – flow, infiltration) měřený celkem ze 30 otevřených lyzimetřů – průsakoměrů se záchytnou plochou 3 m² na rozhraní B a Cd horizontu jako vertikální (v) průsak do hloubky 0,95 m pod půdním povrchem (průsaková voda disponibilní k odtoku – hypodermickému či horninovým podložím do podzemí).

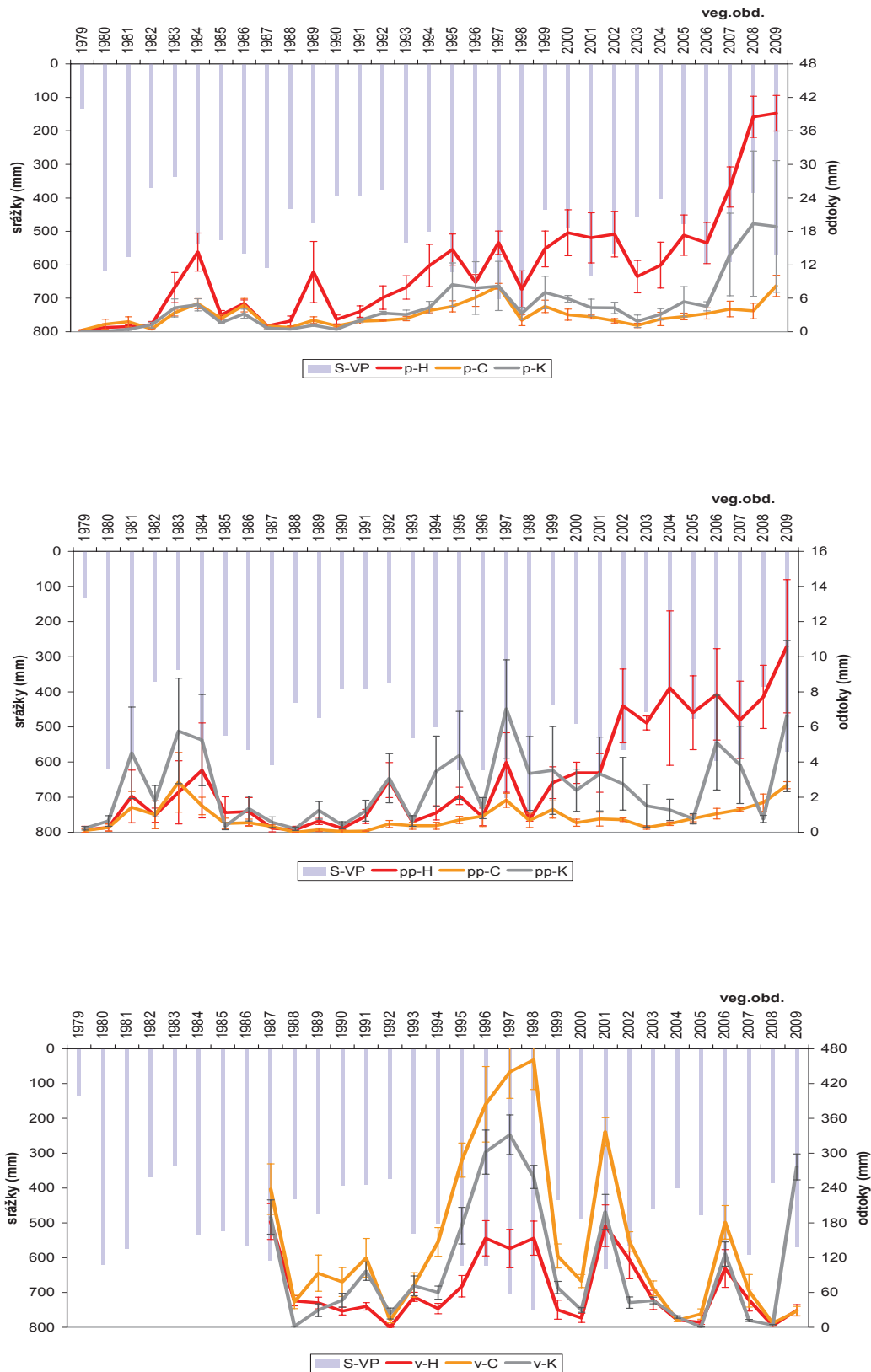
Složky srážko-odtokového procesu byly měřeny nejčastěji 1x týdně. Instrumentace výzkumné plochy byla znázorněna a měření podrobně popsáno v recenzovaných článcích (ŠACH 2006, 2007).

Pro posouzení možných „off-site“ erozivních následků svahového odtoku lze předpokládat, že svahový odtok ze srážkového úhrnu nad 10 mm může vyvolávat průtokovou vlnu (ŠACH, KANTOR, ČERNOŠOUS 2000). Srážkové úhrny nad 10 mm jsou zmiňovány rovněž proto, že podle BUZKA (1983) od této výše srážek nastává v povodí zaznamenaná erozní činnost. Takto odvozené premisy pro letní svahový odtok (KANTOR et al. 2008) jsme využili i pro hodnocení erozivnosti zimního svahového odtoku, když srážky volné plochy jsme upřesňovali v závislosti na změnách vodní hodnoty (ekvivalentu) sněhu.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Svahový odtok ve 30 vegetačních a mimovegetačních obdobích 1979/80 – 2008/09 v závislosti na postupu obnovy a následné péstební péči prezentují obrázky 1 a 2. V časové řadě lze rozeznat rozdíly ve vztahu k obnově, popř. výchově následných porostů (tab. 2 a 3). Významnost rozdílů složek odtoku ze svahu ve fázích obnovy porostu byla pro výrazná stadia potvrzena t-testem (tab. 2 a 3). Vliv prořezávky a oklestu se projevil na dílčí ploše H v létě 2002 a 2007 přiblížením průsaku k hodnotám dílčí plochy C (obr. 1).

Holosečný postup s umělou obnovou smrkem na prudkém jižním svahu (5K1, 5N1) během 30 let celkem poskytl ve vegetačním i mimovegetačním období nejnižší úhrn svahového odtoku (vody disponibilní k odtoku). V letech bezprostředně po těžbě (1981 - 1986) však nemohla být měřena nejvýznamnější složka odtoku - vertikální průsak na podloží. Holosečný postup zároveň poskytl nejvyšší úhrn laterálního odtoku, zejména povrchového, ale i mělce podpovrcho-

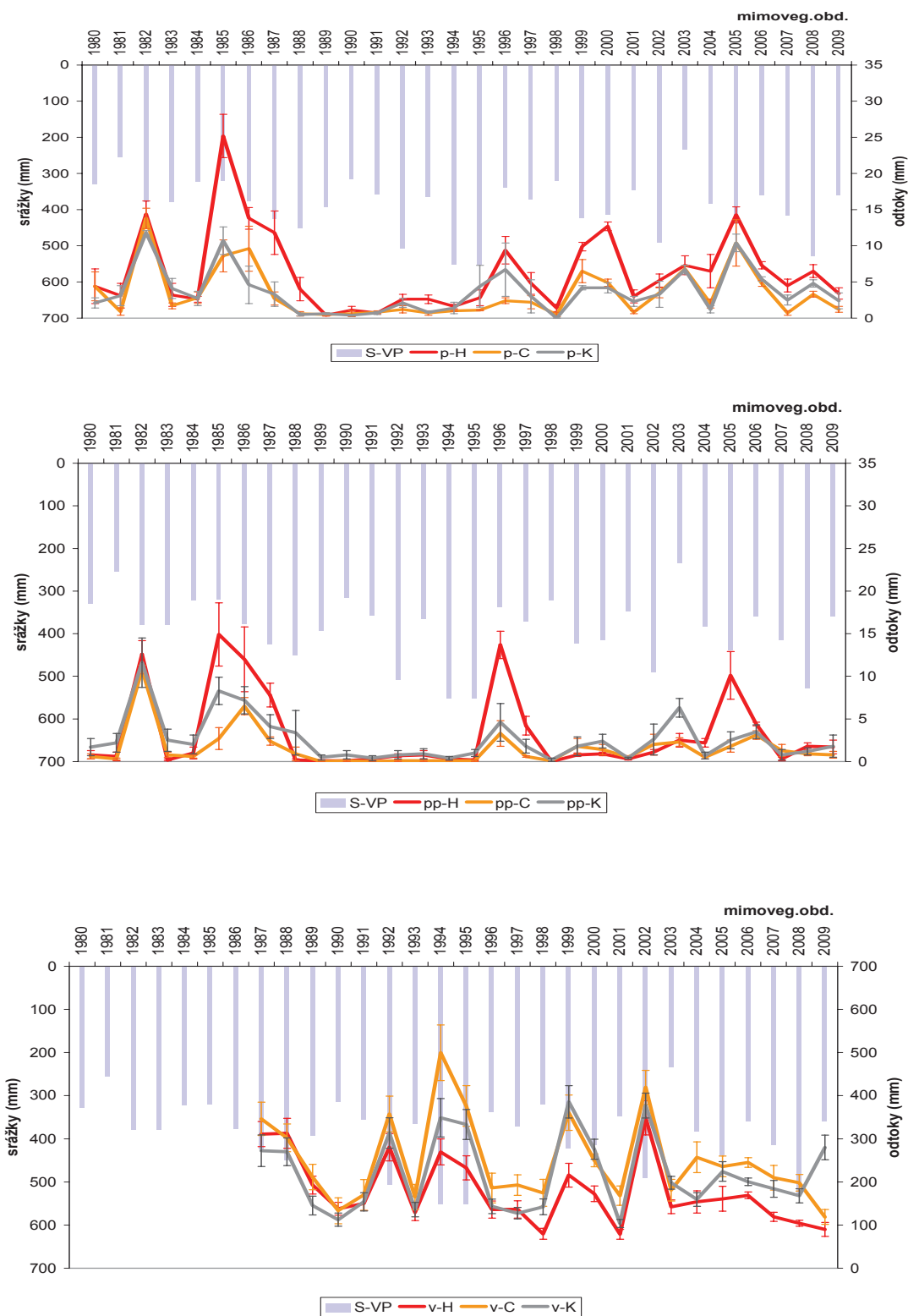


Obr. 1.

Odtok ze svahu na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) za vegetační období 1979 – 2009

Runoff from hillslope on partial plots H (clearcutting procedure), C (shelterwood procedure), K (control mature stand) in 1979 – 2009 growing periods

Výsvětlivky (Comments): S-Vp – srážky volné plochy (precipitation of open area); p - povrchový odtok měřený jako laterální na rozhraní horizontů LFH/A (surface runoff measured as lateral outflow from LFH-A horizon border), pp - mělce podpovrchový odtok měřený jako laterální na rozhraní horizontů A/B (shallow subsurface flow measured as lateral outflow from A-B horizon border), v - infiltrace měřená jako vertikální průsak na rozhraní horizontů B/Cd (infiltration measured as vertical outflow from B-Cd horizon border) – průměry a střední chyby (arithmetic mean and standard error)



Obr. 2.

Odtok ze svahu na dílčích plochách H (holosečný postup), C (clonosečný postup), K (kontrolní smrková kmenovina) za mimovegetační období 1980 – 2009

Runoff from hillslope on partial plots H (clearcutting procedure), C (shelterwood procedure), K (control mature stand) in 1980 – 2009 dormant periods

Vysvětlivky (Comments): S-VP srážky volné plochy (precipitation of open area); p - povrchový odtok měřený jako laterální v rozhraní horizontů LFH/A (surface runoff measured as lateral outflow from LFH-A horizon border), pp - mělce podpovrchový odtok měřený jako laterální na rozhraní horizontů A/B (shallow subsurface flow measured as lateral outflow from A-B horizon border), v - infiltrace měřená jako vertikální průsak na rozhraní horizontů B/Cd (infiltration measured as vertical outflow from B-Cd horizon border) – průměry a střední chyby (arithmetic mean and standard error)

Tab. 2.

Srážkové úhrny volné plochy (S-VP), úhrny laterálního povrchového (p) a mělce podpovrchového (pp) toku a vertikálního (v) průsaku vody lesní půdou (viz metodická východiska) na dílčích plochách H, C a K ve vegetačních obdobích (vo) 1979 – 2008

Precipitation sums of open area (S-VP), sums of surface runoff (p) measured as lateral outflow from LFH-A horizon border, sums of shallow subsurface flow (pp) measured as lateral outflow from A-B horizon border, sums of infiltration (v) measured as vertical outflow from B-Cd horizon border on partial plots H, C, and K in 1979 - 2008 growing seasons (vo)

Vegetační období (vo)	S-VP mm	p-H mm	p-C mm	p-K mm	pp-H mm	pp-C mm	pp-K mm	v-H mm	v-C mm	v-K mm
Σ do 2008	15102,7	312,8	85,6	129,9	86,3	23,4	72,6	1491,1	3420,7	2135,8
Σ1979-1980	753,3	1,1	1,7	0,4	0,5	0,4	0,9	neměř.	neměř.	neměř.
Σ1981-1993	6113,1	66,3	29,3	27,4	17,0	9,5	26,7	387,2	659,1	460,2
Σ1994-2008	8236,3	245,4	54,6	102,1	68,8	13,5	45,0	1103,9	2761,6	1675,6
Nulová	hypotéza ¹	pK=pH	pK=pC	pH=pC	ppK=ppH	ppK=ppC	ppH=ppC	vK=vH	vK=vC	vH=vC
Σ do 2008	p-value	0,000	0,025	0,000	0,385	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000
Σ1979-1980	p-value	0,395	0,447	0,500	0,500	0,344	0,500	neměř.	neměř.	neměř.
Σ1981-1993	p-value	0,005	0,561	0,009	0,037	0,003	0,029	0,427	0,029	0,013
Σ1994-2008	p-value	0,000	0,011	0,000	0,107	0,000	0,000	0,058	0,000	0,001

¹null hypothesis; ²not measured

Tab. 3.

Srážkové úhrny volné plochy (S-VP), úhrny laterálního povrchového (p) a mělce podpovrchového (pp) toku a vertikálního (v) průsaku vody lesní půdou (viz metodická východiska) na dílčích plochách H, C a K v mimovegetačních obdobích (mvo) 1979 - 2008

Precipitation sums of open area (S-VP), sums of surface runoff (p) measured as lateral outflow from LFH-A horizon border, sums of shallow subsurface flow (pp) measured as lateral outflow from A-B horizon border, sums of infiltration (v) measured as vertical outflow from B-Cd horizon border on partial plots H, C, and K in 1979 - 2008 dormant seasons (mvo)

Mimo vegetační období (mvo)	S-VP mm	p-H mm	p-C mm	p-K mm	pp-H mm	pp-C mm	pp-K mm	v-H mm	v-C mm	v-K mm
Σ do 2008	11334,0	187,1	99,8	108,0	94,9	45,7	76,6	4032,1	5639,1	4774,5
Σ1979-1980	329,2	4,4	4,4	2,1	0,8	0,6	1,7	neměř. ²	neměř.	neměř.
Σ1981-1993	4842,2	85,5	44,5	45,4	51,3	25,3	44,7	1513,7	1684,8	1403,0
Σ1994-2008	6162,6	97,2	50,9	60,5	42,8	19,8	30,2	2518,4	3954,3	3371,5
Nulová	hypotéza ¹	pK=pH	pK=pC	pH=pC	ppK=ppH	ppK=ppC	ppH=ppC	vK=vH	vK=vC	vH=vC
Σ do 2008	p-value	0,000	0,411	0,000	0,275	0,000	0,013	0,008	0,000	0,000
Σ1979-1980	p-value	0,180	0,181	0,960	0,208	0,197	0,278	neměř.	neměř.	neměř.
Σ1981-1993	p-value	0,036	0,900	0,034	0,533	0,002	0,073	0,221	0,003	0,069
Σ1994-2008	p-value	0,002	0,159	0,000	0,352	0,022	0,104	0,000	0,006	0,000

¹null hypothesis; ²not measured

Tab. 4.

Četnosti srážkových úhrnů volné plochy (S-VP), úhrnů vertikálního průsaku na podloží charakterizující vodní režim půdy a úhrnů svahového odtoku lesní půdou (viz metodická východiska) měřené ve vegetačních obdobích 1979 – 2009 na dílcích H, C a K

Frequencies of precipitation sums on open area (S-VP), frequencies of sums of vertical flow to bedrock characterizing soil water regime and frequencies of sums of runoff from hillslope on partial plots H, C and K in 1979 – 2009 growing seasons

Vegetační období ¹	Suma úhrnů S-VP ² mm	Počet měření za období ³	Úhrny S-VP > 10 mm ⁴	Vertikální průsak na podloží – úhrny > 0,5 mm (indikující promývnost a disponibilitu vody k odtoku při obnovním postupu) ⁵			Svahový odtok potenciálně „off-site“ erozivní (odhadnutý jako > 0,1*S-VP z úhrnů > 10 mm) ⁶		
				S-VP	H	C	K	H	C
1979 (VIII–X)				četnost výskytu ⁷					
	133,7	7	4	neměř. ⁸	neměř.	neměř.	0	0	0
1980	619,6	11	11	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1981	575,5	10	10	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1982	370,4	9	7	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1983	337,3	11	8	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1984	536,3	23	16	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1985	524,9	21	15	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1986	564,7	23	16	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1987	608,1	26	18	15	15	14	13	13	12
1988	432,1	25	14	6	7	2	3	2	0
1989	474,2	26	18	7	11	6	7	7	4
1990	392,0	25	12	4	9	8	2	6	5
1991	391,3	25	17	5	8	8	2	6	5
1992	374,2	25	13	0	3	6	0	2	3
1993	532,1	26	15	10	10	8	8	7	6
1994	501,5	26	15	3	9	7	3 (2)	6	3 (1)
1995	621,9	25	18	11	13	13	7	11	11
1996	624,1	26	20	13	18	14	9	15	10
1997	702,2	26	15	7	14	12	7 (1)	10	9 (1)
1998	751,7	30	22	12	16	14	9	15	11
1999	435,5	25	14	6	8	8	2	7	5
2000	490,7	25	16	5	6	7	2 (1)	4	2 (1)
2001	633,0	27	18	14	18	7	7 (2)	11	6
2002	566,2	28	16	11	12	6	7 (1)	9	4
2003	457,8	27	13	7	5	4	4 (1)	4	2
2004	401,2	19	16	2	1	1	1 (4)	1	1
2005	477,7	21	16	5	6	1	0 (4)	3	0
2006	596,2	25	13	6	7	5	4 (4)	5	4
2007	591,5	25	15	9	8	4	5 (5)	6	2 (1)
2008	385,1	26	13	2	4	1	0 (10)	1	1 (3)
2009	569,8	25	17	8	9	14	2 (6)	2 (1)	11 (2)
Celkem ⁹	15672,5	699	451	168	217	170	104(41)	153(1)	117(9)

Poznámka: Četnosti svahového odtoku zahrnují kromě četnosti úhrnů vertikálního toku i četnosti úhrnů laterálního (v závorce) toku vody lesní půdou větších než 10 % S-VP u úhrnů srážek > 10 mm.

Note: Frequencies of hillslope runoff include besides frequencies of vertical flow sums also frequencies of lateral flow sums (in parentheses) through forest soil greater than 10% from open area precipitation sums above 10 mm.

¹ Dormant season, ² Sums of open area precipitation (S-VP), ³ Number of records per season, ⁴ Sums of S-VP greater than 10 mm, ⁵ Vertical flow to bedrock – sums greater than 0.5 mm (indicating soil profile permeability and availability of water to runoff at used reproduction method), ⁶ Runoff from hillslope potentially off-site erosive (estimated as greater than 0.1*S-VP from sums above 10 mm), ⁷ frequencies of occurrence, ⁸ not recorded, ⁹ Total

Tab. 5.

Četnosti srážkových úhrnů volné plochy (S-VP) včetně srážek zpožděných (úbytků vodní hodnoty sněhu), úhrnů vertikálního průsaku na podloží charakterizující vodní režim půdy a úhrnů svahového odtoku lesní půdou (viz metodická východiska) na dílčích plochách H, C a K v mimovegetačních obdobích 1980 – 2009

Frequencies of precipitation sums on open area (S-VP) including delayed precipitation (decrease of snow water equivalent), frequencies of sums of vertical flow to bedrock characterizing soil water regime and frequencies of sums of runoff from hillslope on partial plots H, C and K in 1980 – 2009 dormant seasons

Mimo vegetační období ¹	Suma úhrnů S-VP ² mm	Počet měření za období ³	Úhrny S-VP > 10 mm ⁴ S-VP	Vertikální průsak na podloží – úhrny > 0,5 mm (indikující promyvnost a dostupnost vody k odtoku při obnovním postupu) ⁵			Svahový odtok potenciálně „off-site“ erozivní (odhadnutý jako > 0,1*S-VP z úhrnů > 10 mm) ⁶		
				H	C	K	H	C	K
četnost výskytu ⁷									
1980	329,2	6	5	neměř. ⁸	neměř.	neměř.	0	0	0
1981	255,2	9	7	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1982	379,3	7	7	neměř.	neměř.	neměř.	(2)	(1)	(2)
1983	378,5	11	10	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1984	321,9	20	12	neměř.	neměř.	neměř.	0	0	0
1985	320,0	22	13	neměř.	neměř.	neměř.	(6)	(1)	(3)
1986	376,4	28	16	neměř.	neměř.	neměř.	(4)	(3)	(2)
1987	424,9	17	14	11	10	10	9(2)	8	8(1)
1988	450,5	26	17	15	12	14	13	11	11
1989	392,1	26	18	16	15	12	15	14	12
1990	314,9	25	9	9	10	10	7	9	7
1991	356,5	23	13	10	13	12	9	11	9
1992	507,2	26	17	17	17	16	17	14	14
1993	364,8	27	15	14	12	10	11	9	8
1994	552,4	25	19	19	18	18	18	18	18
1995	551,0	26	23	23	25	24	16	21	19
1996	337,7	26	14	13	15	12	8(4)	12(1)	6(2)
1997	371,4	25	13	12	15	12	7(1)	8	6
1998	320,9	26	12	11	19	17	5	8	8
1999	421,7	28	18	16	17	16	13(1)	15	13
2000	414,2	19	15	10	12	11	7(3)	8	8(1)
2001	346,6	23	13	8	15	9	6	9	7
2002	490,1	28	16	14	15	12	10	12	10
2003	233,4	18	9	10	8	11	7(1)	8(1)	8(1)
2004	383,1	19	13	7	8	6	7(2)	7	6
2005	437,9	18	12	7	7	7	7(2)	7(1)	7(2)
2006	359,9	25	16	8	10	10	7(3)	8(1)	8(1)
2007	414,6	23	12	9	11	12	8	10	9
2008	527,7	27	17	17	18	18	9(1)	11	13
2009	358,9	23	12	10	11	15	5	6	12
Celkem ⁹	11692,9	652	407	286	313	294	221(32)	244(9)	227(15)

Poznámka: Četnosti svahového odtoku zahrnují kromě četnosti úhrnů vertikálního toku i četnosti úhrnů laterálního (v závorce) toku vody lesní půdou větších než 10 % S-VP u úhrnů srážek > 10 mm (včetně srážek zpožděných – delayed precipitation).

Note: Frequencies of hillslope runoff include besides frequencies of vertical flow sums also frequencies of lateral flow sums (in parentheses) through forest soil greater than 10% from open area precipitation sums above 10 mm (including delayed precipitation).

¹ Dormant season, ² Sums of open area precipitation (S-VP), ³ Number of records per season, ⁴ Sums of S-VP greater than 10 mm, ⁵ Vertical flow to bedrock – sums greater than 0.5 mm (indicating soil profile permeability and availability of water to runoff at used reproduction method), ⁶ Runoff from hillslope potentially off-site erosive (estimated as greater than 0.1*S-VP from sums above 10 mm), ⁷ frequencies of occurrence, ⁸ not recorded,

⁹ Total

vého. Laterální složka odtoku povrchová a mělce podpovrchová představuje na lesním svahu s dobře drénovanou půdou však pouze jednotky procent vody disponibilní k odtoku.

Nejvyšší úhrn vody disponibilní k odtoku poskytl ve stejných poměrech obnovní postup dvoufázovou clonnou sečí s kombinovanou přirozenou a umělou obnovou, když na 0,5 snížené zakmenění a clona méně redukovaly podkorunové srážky včetně sněhových a omezily eventuální promrzání půdy a na prudkém jižním svahu i celkový výpar. Byly tak ověřeny určité předpoklady autorů PERINA et al. (1973). Vytvářený mladý smíšený jehličnatý porost (smrk, modřín, borovice) produkoval kyprou smíšenou opadanku a půdní profil (kořenovou sféru) s nejvyšší infiltrační schopností a nejnižším laterálním povrchovým a mělce podpovrchovým odtokem.

Vertikální průsak na podloží byl měřen až od roku 1987 a umožnil tak odvozovat množství vody disponibilní k odtoku z letních i ze zimních srážek, ale i hodnocení vodního režimu lesní půdy na jednotlivých dílčích plochách i ve vztahu k promyvnosti (režim promyvný, periodicky promyvný, nepromyvný, cf. DRBAL 1986) půdního profilu ve vegetačním (květen až říjen), respektive v mimo-vegetačním období (listopad až duben), viz tabulku 4, respektive tabulku 5.

Metodická východiska týkající se svahového odtoku a eroze byla využita při praktickém aplikování v tabulkách 4 a 5. Protože při vysokých srážkách ve vegetačním i v mimovegetačním období jsme zaznamenávali též vysoký svahový odtok (či jeho měřenou složku) ze zjištěného srážkového úhrnu volné plochy (obvykle týdenního) a v mimovegetačním období také z případného úbytku vodní hodnoty sněhu, považovali jsme za svahový odtok s možnými erozivními důsledky (převážně charakteru off-site soil erosion) srážkový úhrn (obvykle týdenní) nad 10 mm a podle kvalifikovaného odhadu (cf. ŠACH 1990a) úhrn výšky vztaženého svahového odtoku nad 10 % srážkového úhrnu. Rozdíly takto charakterizovaných odtokových úhrnů jsme dále posoudili ve vztahu k obnově.

Potenciální „off-site“ eroze půdy vzhledem k nejčastější promyvnosti, ale i výši a frekvencí hypodermického odtoku by se při dobré drénovanosti půdního profilu a husté hydrografické síti včetně lesní komunikační sítě mohla potenciálně vytvářet při clonosečném postupu, avšak při jeho velkoplošném použití v daných poměrech (cf. BROOKS et al. 2003, Chapter 4, Infiltration, Runoff, and Streamflow). V heterogenních přírodních poměrech však pro takovýto vývoj existuje velmi malá pravděpodobnost.

Naopak vzestup četnosti laterálního zejména povrchového odtoku v posledním desetiletí na dílčí ploše s holosečnou umělou obnovou smrkovou monokulturou (rozdíly v četnostech laterálního odtoku jsou statisticky významné), obdobný tomu z prvního desetiletí po provedení holé seče na dílčí ploše H, i nižší frekvence promyvnosti (statisticky významná) mohou vytvářet potenciální riziko „off-site“ půdní eroze především při přivalových letních lijácích.

ZÁVĚRY

Svahový odtok z lesní půdy byl ve vegetačním a v mimovegetačním období ovlivňován zejména výškou a intenzitou srážek (v mimovegetačním období včetně tání sněhu), vlhkostí půdního krytu (povrchového humusu – opadanky) a obsahem vody v půdě (průběhem vlhkosti půdy), v mimovegetačním období také eventuelním promrznutím půdního povrchu.

Ve svahovém odtoku z lesního pozemku převažoval vertikální pohyb vody půdou v kombinaci toku makropóry a průsakem půdní matrixem k horninovému podloží s velkými rozdíly (výrazně přesahujícími 100 %) na velmi krátké vzdálenosti (rozstup měřišť méně než 1 m) – cf. WEILER, MAC DONNELL (2004), ŠANDA et al. (2006).

Vodní režim ve vegetačním i v mimovegetačním období převažoval i na prudkém jižním svahu (periodicky) promyvný. V suchém a teplém létě či v souvislé mrazivé zimě se však blížil až režimu nepromyvnému.

Laterální pohyb vody půdou (povrchový a mělce podpovrchový tok měřený z rozhraní horizontů LFH/A a A/B) laterálně orientovanými makropóry a průsakem se vyskytoval v důsledku intenzivních srážek, resp. tání sněhu, při vyschlé (cf. TESAŘ et al. 2001, NIŽNANSKÁ et al. 2005), resp. při promrzlé organické (LFH) či minerální, humusem obohacené vrstvě (Ah).

Lesní porost ovlivňoval svahový odtok nejvíce při obnově po obnovním zásahu (cf. vertikální průsak v mimovegetačním a vegetačním období 2008/2009 – nová holoseč v dolní části dílčí plochy K), méně již při pěstební péči po výchovném zásahu s vývětvením (cf. vliv prořezávky a oklestu ve smrkové tyčkovině realizované na dílčí ploše H na zvýšení kumulativního odtoku ve vegetačním období 2002 a přiblížení se výši vertikálního průsaku na dílčí ploše C). Povrchový odtok s „on-site“ erozivním působením se na nepoškozeném půdním povrchu nevyskytoval.

Svahový odtok charakterizovaný jako erozivně rizikový - srážkový úhrn nad 10 mm (měřený obvykle jako týdenní) a svahový odtok nad 10 % srážkového úhrnu - se vyskytoval nejčastěji na dílčí ploše s clonosečným obnovním postupem. K možnému erozivnímu „off-site“ ohrožení by však mohlo v daných poměrech dojít pouze při jeho velkoplošném použití.

Naproti tomu vzestup četnosti povrchového odtoku v posledním desetiletí na dílčí ploše H s holosečnou umělou obnovou smrkovou monokulturou (obdobný vzestup v prvním desetiletí po provedení holé seče na dílčí ploše H) by mohl vytvářet možné riziko „off-site“ eroze. V tomto ohledu bude proto žádoucí analyzovat především epizody s přivalovými letními lijáky; tyto analýzy následovně umožní nedávná instalace kontinuálního měření srážek volné plochy a vybraných složek komplexu vlhkostních poměrů.

Obnovní postupy holosečný ani clonosečný nevyvolaly na těžených plochách povrchový odtok s následnou vodní erozí půdy. Ani samotná holá seč neporušená pojezdem mechanizačních prostředků tedy nevyvolává povrchový odtok doprovázený „on-site“ vodní erozí půdy. Povrchový odtok s „on-site“ vodní erozí nenastal ani při vysokých dešťových srážkách, v mimovegetačním období doprovázených eventuálním táním sněhu.

Obnovní postupy však mohou ovlivňovat svahový odtok s následnou „off-site“ vodní erozí zejména ze zpřístupňovací sítě (a objektů) a z hydrografické sítě (a objektů) (HERYNEK 2003, CROKE 2004).

Poděkování:

Příspěvek vznikl s podporou výzkumného projektu NAZV č. QH92073, výzkumného záměru MZe ČR č. MZE0002070203 a je výstupem dílčího cíle V002 projektu NAZV č. QH92073.

LITERATURA

- ANDERSON M. G., BURT T. P. 1990. Process studies in hillslope hydrology. Chichester, J. Wiley: 539 s. ISBN 0 471 92714 7.
- BETHLAHMY N. 1963. Rapid calibration of watersheds for hydrologic studies. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, 8/3: 38-42
- BROOKS K. N., FOLLIOTT P. F., GREGERSEN H. M., DEBANO L. F. 2003. Hydrology and the management of watersheds. 3rd ed. Ames, Iowa State University Press: 574 s. ISBN 978-0-8138-2985-2.
- BUZEK L. 1983. Eroze půdy. Skriptum. Ostrava, Pedagogická fakulta: 257 s.
- CROKE J. 2004. Hydrology. Soil erosion control. In: Burley J. et al. (eds.): Encyclopedia of Forest Sciences. Amsterdam, Elsevier: 387-397. ISBN 0-12-145160-7.
- DRBAL J. 1986. Geologie a půdoznalství III. b. (půdoznalství). Skriptum. Praha, Vysoká škola zemědělská: 175 s.
- HERYNEK J. 2003. Projevy eroze na lesních půdách a možnosti její prevence. In: Lesy a povodně. Sborník z celostátního semináře. Praha, Česká lesnická společnost: 65-67. ISBN 80-02-01564-9.
- CHENG J. D. 1987. Root zone drainage from a humid forest soil in the west coast of Canada. In: Forest Hydrology and Watershed Management. IAHS Publication No. 167. Wallingford (UK), International Association of Hydrology Scientists: 377-386.
- CHENG J. D. 1988. Subsurface stormflows in the highly permeable forested watersheds of southwestern British Columbia. Journal of Contaminant Hydrology, 3: 171-191.
- JONES J. A., GRANT G. E. 1996. Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. Water Resources Research, 32: 959-974.
- KANTOR P., ŠACH F., ČERNOŠOU V., KARL Z. 2008. Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha. Redakčně upravená závěrečná zpráva za rok 2008. Brno, MZLU: 113 s.
- KREČMER V., KANTOR P., ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOŠOU V. 2004. Lesy a povodně. Souhrnná studie. 2. dopl. vyd. Praha, Ministerstvo životního prostředí: 48 s. ISBN 80-7212-255-X.
- KULHAVÝ Z., KOVÁŘ P. 2000. Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: 123 s.
- NĚMEČEK J. et al. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha, Česká zemědělská univerzita: 78 s. ISBN 80-238-8061-6.
- NIŽNANSKÁ Z., LICHNER L., ŠÍR M., TESAŘ M. 2005. Vplyv biopórův a vodoodpudivosti na infiltráciu vody do pôdy. In: Hydrologie malého povodí 2005. Praha, Ústav pro hydrodynamiku AVČR: 223-227. ISBN 80-02-01754-4.
- PATRIC J. E. 1976. Soil erosion in the eastern forest. Journal of Forestry, 74: 671-677.
- PEŘINA V., KREČMER V., KADLUS Z., BĚLE J. 1973. Možnosti víceúčelového hospodaření s cíli produkčními a vodohospodářskými na příkladu Orlických hor. Práce VÚLHM, 43: 69-117.
- SIDLE R. C. 1980. Impact of forest practices on surface erosion. A Pacific Northwest Extension Publication PNW 195. Eugene, Oregon State University: 15 s.
- ŠACH F. 1986. Vliv obnovních způsobů a těžebně dopravních technologií na erozi půdy. [Impacts of harvesting methods and logging systems on soil erosion.] Kandidátská disertační práce. Opocno, VÚLHM-VS: 84 s., 4 s. příl.
- ŠACH F. 1990a. Vliv lesní dopravní sítě na odtokové poměry imisních holosečí. [Impacts of the forest road network on runoff from immission clearcuts.] Lesnictví-Forestry, 36: 139-158, res. angl.
- ŠACH F. 1990b. Logging systems and soil erosion on clearcuts in mountain forests. [Těžebně dopravní technologie a eroze půdy na holosečích v horských lesích.] Lesnictví-Forestry, 36: 895-910.
- ŠACH F. 2006. Svahový odtok ve vztahu k postupům obnovy lesa. [Hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration.] Zprávy lesnického výzkumu, 51: 184-194, res. angl.
- ŠACH F. 2007. Zimní svahový odtok ve vztahu k postupům obnovy lesa. [Winter hillslope runoff in relation to methods of forest regeneration.] Zprávy lesnického výzkumu, 52: 361-373, res. angl.
- ŠACH F., ČERNOŠOU V., KANTOR P. 2003. Horské lesy a jejich schopnosti tlumit povodně. Výsledky měření v terénu. In: Lesy a povodně. Sborník z celostátního semináře. Praha: Česká lesnická společnost: 17-29. ISBN 80-02-01564-9.
- ŠACH F., ČERNOŠOU V., KANTOR P. 2010. Obnovní postupy a odtok ze svahu při umělé příválové srážce na experimentálních sečích stacionáru Česká Čermná. In: Kantor P. et al. (eds.): Pěstování lesů v nižších vegetačních stupních. Sborník referátů Mezinárodní vědecké konference. Křtiny 6. - 8. 9. 2010. Brno, MZLU: 140-145. ISBN 978-80-7375-422-8.
- ŠACH F., KANTOR P., ČERNOŠOU V. 2000. Forest ecosystems, their management by man and floods in the Orlické hory Mts in summer 1997. Ekológia (Bratislava), 19: 72-91.
- ŠANDA M., HRNČÍR M., NOVÁK L., CÍSLEROVÁ M. 2006. Vliv půdního profilu na srážkoodtokový proces. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 54: 183-191.
- ŠANDA M., KULASOVÁ A., CÍSLEROVÁ M. 2009. Hydrological processes in the subsurface investigated by water isotopes and silica. Soil and Water Research, 4/Special Issue 2: S83-S92.
- ŠVIHLA V., ČERNOŠOU V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2005. Příspěvek k hydrologické analýze povodí U Dvou louček v Orlických horách. In: Soil and Water. Scientific Studies. 4/2005. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy: 95-105, res. angl.
- ŠVIHLA V., ŠACH F., KULHAVÝ Z., KANTOR P. 2007. Vyhodnocení hydroopedologického průzkumu experimentálního objektu Dešenská stráž v Orlických horách. [Interpretation of hydroopedologic investigation on the experimental forest hydrology area Dešenská stráž in the Orlické hory Mts.] Zprávy lesnického výzkumu, 52: 27-36, res. angl.
- TESAŘ M., ŠÍR M., SYROVÁTKA O., PRAŽÁK J., LICHNER L., KUBÍK F. 2001. Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. Journal of Hydrology and Hydromechanics (Bratislava), 49: 355-375.
- VÍCHA Z., JARABÁČ M., OCEÁNSKÁ Z., BÍBA. M. 2009. Vliv lesních cest na odtoky z horských lesnatých povodí. Zprávy lesnického výzkumu, 54: 231-237.
- WEILER M., MAC DONNELL J. J. 2004. Soil development and properties. Water storage and movement. In: Burley J. et al. (eds.): Encyclopedia of Forest Sciences. Amsterdam, Elsevier: 1253-1260. ISBN 0-12-145160-7.
- WEMPLE B. C., JONES J. A., GRANT G. E. 1996. Channel network extension by logging roads in two basins, western Cascades, Oregon. Water Resources Bulletin, 32: 1195-1207.

RISK OF OVERLAND FLOW AND FOLLOWING EROSION IN NORWAY SPRUCE STANDS ON A STEEP SOUTH SLOPE USING DIFFERENT FOREST REPRODUCTION METHODS

SUMMARY

Evaluation of 30-year time series of hillslope runoff measurements on the research area Česká Čermná in north-eastern Bohemia of the Czech Republic made possible also to assess potential erosive effects of different reproduction procedures. The research area is placed on steep southward hillslope with mean angle 21° in the altitude range of 460 – 540 m. Site type is represented by acid silver fir-European beech forest on very stony sandy-loam soil of middle depth, soil type dystric Cambisol, podzolic underlain by granite. Mean year temperature is 6.2°C and mean water year precipitation is 908 mm.

The aim of the work was to estimate a risk of soil erosion on steep slope in the piedmont of the Orlické hory Mts. under clearcut and shelterwood reproduction method in a Norway spruce stand. The clearcut partial plot H 175 m long and 40 m wide was reforested by outplanting of Norway spruce. The partial plot C of the same size was renewed by shelterwood two-phase cutting combining natural self-seeding of Norway spruce, European larch, European birch after seed cutting (stocking was reduced to 0.5) and interplanting of European beech, Scotch pine, Norway spruce after removal cutting (Table 1).

Besides free area precipitation (S-VP) the following components of hillslope runoff were recorded on each of three partial plots H (clearcutting), C (shelterwood cutting), and K (a control mature spruce stand with character of saw timber) usually as weekly sums:

- Lateral outflow from LFH-A horizon interface (overland flow),
- Lateral outflow from A-B horizon interface (shallow subsurface flow), both of them measured in 12 pits with 24 gutters,
- Vertical outflow (infiltration) from B/Cd horizon interface measured by 30 open underground lysimeters (under soil mantle percolometers),
- Snow water equivalent on 30 points. (See more details in ŠACH 2006, 2007).

The results are meant and their significance tested in Figures 1 and 2 and in Tables 3 and 4.

Logging (with highlead yarding on snow cover) disturbed the forest floor only negligibly and therefore the overland flow with erosive impact (on-site erosion) did not occur on the undamaged surface.

Hillslope runoff characterized as potentially off-site risky erosive owing to increased runoff and detachment of soil particles from forest road and stream network was estimated on the basis of recent investigations. Runoff from hillslope potentially off-site erosive was determined as greater than $0.1 \cdot \text{S-VP}$ from weekly recorded open area precipitation sum above 10 mm (Tables 4 and 5).

Hillslope runoff characterized as erosive risky (indeed only subsurface) occurred most frequently from partial plot C under shelterwood cutting. Potential risk of erosion would occur in given conditions only at extensive broadcast use.

In return of that, increase of frequency of surface runoff during past decade from the partial plot H under clearcutting reforested by the spruce monoculture would be able to create potential off-site erosion risk especially during summer rainstorms.

Clearcutting and shelterwood reproduction method did not cause on both harvested and renewed partial plots overland flow with following on-site soil erosion. On-site erosion emerged neither during summer rainstorms nor at rain on snow cases connected with snowpack melting in a dormant season. However, the reproduction procedures are able to influence hillslope runoff with following off-site erosion by water emerging on forest road network and in drainage system.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. František Šach, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 668 391; e-mail: sach@vulhmop.cz