

MODEL HYDROLOGICKÉ BILANCE MLADÝCH SMRKOVÝCH POROSTŮ NA EXPERIMENTÁLNÍM POVODÍ VE VEGETAČNÍM OBDOBÍ

MODEL OF HYDROLOGIC BALANCE OF YOUNG SPRUCE STANDS ON THE U DVOU LOUČEK EXPERIMENTAL CATCHMENT IN THE ORLICKÉ HORY MTS DURING GROWING PERIODS

VLADIMÍR ŠVIHLA¹⁾ - VLADIMÍR ČERNOHOUS²⁾ - FRANTIŠEK ŠACH²⁾

¹⁾ *Fügnerova 809, Beroun*

²⁾ *Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti v. v. i., VS Opočno*

ABSTRACT

The paper reveals hydrologic conditions for growth of Norway spruce young stands on recent immission salvage clear-cut experimental catchment in the late 1980s using pattern of water balance. The pattern was created on the basis of two elementary runoff plots with different soil water conditions. Modelling was based on measurement of suction pressures and hydraulic heads on both plots. The elementary runoff plots were examined within the experimental catchment that was treated with reconstruction of drainage system and addition of sporadic open ditches in July 1996. The model of hydrology balance was presented and verified for 2007–2009 growing periods. The hydrology balance was based on measurements and budget calculations of capillary and semicapillary soil water and gravitation water in aeration zone. Results acquired after hydrological and silvicultural catchment stabilization proved that during dry periods young spruce stands were supplied with water from deeper moist soil horizons, and during wet periods the soil was well drained by soil macropore system without waterlogging.

Klíčová slova: smrk, mladé porosty, hydrologická bilance, elementární odtoková plocha, svah, horské povodí

Key words: Norway spruce, young forest stand, hydrologic budget, elementary runoff plot, mountain slope, experimental catchment, Czech Republic

ÚVOD

Cílem práce bylo objasnit hydrologické podmínky vegetace smrkové tyčkoviny (SM) v nižších horských polohách na bývalých imisních holinách pomocí hydrologické bilance. Hydrologické bilance (HB) v letech 2007 až 2009 byly vypočteny pro dvě elementární odtokové plochy (EOP) s různými vlhkostními poměry podle metodiky popsané v kapitole *Methods of evapotranspiration assessment and outcomes from forest stands and a small watershed* (ČERNOHOUS et al. 2011) v publikaci *Evapotranspiration. Postupy stanovení a hodnocení vodní bilance na vodou ovlivněných a odvodněných severských boreálních stanovištích shrnul pro norské poměry BEHEIM (2006) a pro švédské LUNDIN (1994). Získané výsledky lze následně promítnout do šetrných vodoochranných postupů hospodaření na základě interakcí mezi prostředím stanoviště a lesní vegetací na principech hydrologických.*

MATERIÁL A METODIKA

Popis experimentálního povodí

Malé lesní povodí U Dvou louček se nachází ve vrcholové partii Orlických hor. Toto experimentální povodí bylo založeno v roce 1991 k řešení problematiky úpravy vodního režimu vodou ovlivněných půd a odtokového režimu zamokřené lesního povodí umístěného na

horském svahu. Nadmořská výška povodí je 880 m až 950 m. Povodí je vějířovité, vykazuje proměnlivý sklon (v dolní části 7,5°, ve střední 8,5° a v horní 4,3°) a jeho rozloha činí 32,6 ha. Jihozápadní expozice povodí přechází v okrajových částech v jihovýchodní a západní. Plocha vzrostlého buk-smrkového lesa činila v roce 1991 6,8 ha (21 % plochy) a do roku 1995 vlivem dalšího rozpadu smrkových ekosystémů poklesla na 5,7 ha (17,5 %). Zbývající plocha povodí je bývalou imisní holosečí s různověkou smrkovou tyčkovinou o maximálním věku 20 let a horní výšce okolo 8 m. Čtvrtina rozlohy povodí je ovlivněna vysokou hladinou spodní vody (protékající voda a prameniště). Trvalé zamokření se vyskytuje na 5,5 ha, další dočasná expanze zamokření v letním půlroku rozšiřuje zamokřenou plochu ještě až o 5 ha. Mimo období zamokření půdního profilu se objemová vlhkost půdy pohybuje od 30 do 60 %. V zimním půlroku je půdní profil nasycen vodou na polní kapacitu v celém povodí. Dlouhodobá průměrná výška ročních srážek je 1350 mm, z nichž 910 mm představuje odtok a 440 mm celkový výpar. Výška sněhové pokrývky má nejčastější rozpětí 0,6 až 1 m, s maximem dosahujícím 2 m. Souvislá sněhová pokrývka leží vá od listopadu do dubna, vodní ekvivalent kulminuje kolem výšky 700 mm. Povodí zahrnuje stanoviště kyselých bukových smrčín na kambisolech a spodosolech, jedlových smrčín na chudých rašelinných půdách a kyselých jedlových smrčín na stagnosolech. Geologický podklad tvoří rula a svor. Průměrná roční teplota vzduchu v průběhu 20 let měření činí 4,7 °C. Průtoky v závěrovém profilu povodí se nejčastěji pohybují mezi 2 až 6 litry/sec. Minimální průtok poklesl k jedno-

mu litru za vteřinu. Kulminační průtoky byly naměřeny v rozmezí 60 až 150 litrů/sec. Extrémní kulminace při tání a dešti dosáhla až 790 L/sec (kvalifikovaný hydrologický výpočet). Průměrný roční průtok se nachází v rozpětí 7 až 18 L/sec.

Získávání dat a modelování hydrologické bilance

Základem prezentované výzkumné práce je měření sacích tlaků a hydraulických výšek půdní vody na dvou EOP 10 x 10 m. Data jsou doplněna měřeními ovzdušných srážek a odtoků v závěrečném profilu povodí U Dvou louček a měřeními průsaku vody na EOP 3 x 2 m. Detaily jsou uvedeny v citovaných publikacích (ČERNOHOUS 2009, 2010; ŠVIHLA et al. 2005, 2011).

Model HB je založen na stanovení efektivní srážky, pohybu kapilární a semikapilární vody $Q(k,sk)$ a gravitační vody $Q(g)$, dynamiky zásob půdní vody kapilární a semikapilární $\Delta w(a)$ a gravitační $\Delta w(g)$ a výpočtu evapotranspirace (ET) jako neznámé veličiny v HB. Hydrologický model popisuje dynamické procesy půdní vody v aerační zóně lesní půdy do 60 cm hloubky na submodelu kapilárním a semikapilárním a submodelu gravitačním. Výsledná hodnota ET je dána jejich interakcí.

Model HB na dvou EOP v povodí U Dvou louček je definován submodelem kapilární a semikapilární vody a submodelem gravitační vody v aerační zóně půdy. Zvolený způsob řešení tématu přiblížíme stručným popisem použitých submodelů gravitačního a kapilárního, podrobněji popsáných ve výše uvedených pracích.

Průtok kapilární a semikapilární vody byl stanoven Darcyho teorémem jako součin spádu nenasycené proudění podpovrchové vody v aerační zóně lesní půdy (gravitačního potenciálu) a koeficientu nenasycené hydraulické vodivosti jako funkce příslušného sacího tlaku. Vlhkost nenasycené zóny byla stanovena jako funkce sacího tlaku z retenčních křivek.

Odtok gravitační vody $Q(g)$ byl stanoven ze vztahu

$$Q(g) = Pr - \Delta w(g),$$

kde Pr a $\Delta w(g)$ jsou měřené veličiny.

Hydrologický model je opřen o 3 základní induktivně vyvozené předpoklady:

Tab. 1.

Hydrologická bilance EOP Nad cestou na povodí U Dvou louček v roce 2007

Hydrologic balance Nad cestou EOP in the U Dvou louček catchment during 2007 vegetation period

Datum/Date	HS(ef)	Q(k,sk)	$\Delta w(a)$	Q(g)	ET'
22.5.–14.6.	44,0	-7,4	3,0	-19,4	-20,2
14.6.–27.6.	53,6	-5,5	-6,5	-2,0	-39,6
27.6.–19.7.	119,0	-46,7	-8,7	0	-63,6
19.7.–25.7.	2,3	-8,5	10,5	0	-4,3
25.7.–15.8.	23,5	-12,1	12,8	-0,7	-23,5
15.8.–29.8.	16,8	-5,1	14,9	-0,4	-26,2
29.8.–2.10.	153,9	-8,9	-36,2	-43,8	-65,0
2.10.–10.10.	22,3	-3,3	0,1	-4,4	-14,7
10.10.–17.10.	5,3	-2,6	1,6	-1,4	-2,9
Σ mm za 148 dní/ Σ mm in 148 days	440,7	-100,1	-8,5	-72,1	-260,0
%	100,0	-22,7	-1,9	-16,4	-59,0

- 1) $\Sigma ET(z.p.)$ a $\Sigma ET(EOP)$ se za vegetační období nemohou příliš lišit, vzhledem k tomu, že $\Sigma \Delta w(a)$ i $\Sigma \Delta w(g)$ nedosahují významných hodnot za zájmová vegetační období n měsíců [blíží se 0].
- 2) $\Sigma Q(k,sk) + \Sigma Q(g) > \Sigma Q(z.p.)$ ve vegetačním období, závěrečný profil povodí nepodchycuje plně základní odtok, jehož část prosakuje do geologických struktur jako $Q(gr)$.
- 3) Základní odtok má dvě složky. První část základního odtoku je obsažena v $Q(g)$ a prosakuje do vodního toku v důsledku vzdutí proudící svahové vody vlivem geologických bariér svoru ve středu povodí (okrsek organozemě). Druhá část základního odtoku $Q(gr)$ perkoluje do geologické struktury povodí a sytí vodní zdroje v podhůří Orlických hor. Obě složky jsou si přibližně rovné.

VÝSLEDKY

Byla zpracována data z měření EOP „Nad cestou“ v letech 2007–2009 a „Pod cestou“ v letech 2008–2009 ve vegetačních obdobích. Výsledky práce jsou shrnuty v tab. 1–5.

EOP „Nad cestou“ v roce 2007 (Tab. 1)

V modelu HB byl ke stanovení $Q(g)$ použit submodel gravitační a ke stanovení $Q(k,sk)$ submodel kapilární.

Kontrola modelem stanovených veličin použitím dat ze závěrečného profilu povodí, t.j. za vegetační období 2007 dle vztahu

$$HS(ef) - Q(z.p.) \pm \Delta w(a) = 440,7 - 150,1 - 8,5 = 282,1 \text{ mm} = Q(gr) + ET. [\Sigma \Delta w(g) \text{ se za zájmová vegetační období } n \text{ měsíců blíží } 0]$$

Podle údajů geologického průzkumu je $Q(gr)$ v roce průměrném 0,21 mm/den, t.j. za 148 dní $Q(gr)$ se blíží 31 mm a v roce suchém $Q(gr) = 0,15$ mm/den, t.j. 21,7 mm za vegetační periodu. Úhrn $ET = 282,1 - 31,0 = 251,1$ mm, dle modelu HB v závěrečném profilu povodí.

Tab. 2.

Hydrologická bilance EOP Nad cestou na povodí U Dvou louček v roce 2008

Hydrologic balance Nad cestou EOP in the U Dvou louček catchment during 2008 vegetation period

Datum/Date	HS(ef)	Q(k,sk)	$\Delta w(a)$	Q(g)	ET
28.5.–10.6.	7,2	-10,5	15,9	-6,6	-6,0
10.6.–17.6.	1,3	-0,9	8,6	-0,1	-8,9
17.6.–24.6.	2,6	0,8	7,8	-0,2	-11,0
24.6.–2.7.	33,2	1,3	-5,6	-2,9	-26,0
2.7.–10.7.	31,8	-2,0	-10,7	1,3	-20,4
10.7.–17.7.	8,9	-2,6	6,2	-0,7	-11,8
17.7.–23.7.	4,7	-0,6	7,7	-0,1	-11,7
23.7.–29.7.	8,0	-0,3	1,3	-1,2	-7,8
29.7.–5.8.	5,5	-0,7	13,4	-1,0	-17,2
5.8.–13.8.	1,0	3,6	6,8	0,4	-11,8
13.8.–27.8.	81,0	-8,0	-44,6	-6,5	-21,9
27.8.–2.9.	2,3	-7,3	14,6	-0,1	-9,5
2.9.–16.9.	35,6	-11,0	-3,0	-5,7	-15,9
16.9.–22.10.	82,4	-40,7	-5,9	2,9	-38,7
Σ mm za 148 dní/ Σ mm in 148 days	305,5	-78,9	12,5	-20,5	-218,6
%	100,0	-25,8	4,1	-6,7	-71,6

Dle EOP Nad cestou je:

$$Q(gr) = Q(k,sk) + Q(g) - Q(z.p.) = 100,1 + 72,1 - 150,1 = 22,1 \text{ mm/veg. per.}$$

$$\theta Q(gr) = 0,15 \text{ mm/den} - \text{dle modelu HB (EOP).}$$

Potom ET dle závěrečného profilu povodí je 251,1 mm, dle modelu HB = 260,0 mm. Diference 8,9 mm je 3,4 % hodnoty ET dle HB.

Diference v $Q(gr)$ je zřejmě dána diferencí dílčích odtoků z EOP a odtoku průměrného za povodí. Do geologických struktur odtéká v r. 2007 průměrně 0,56 l/s z povodí U Dvou louček.

EOP „Nad cestou“ v roce 2008 (Tab. 2)

V modelu HB na EOP byla použita stejná metoda stanovení $Q(g)$ a $Q(k,sk)$ jako v roce 2007.

HB dle závěrečného profilu povodí:

$$HS(ef) - Q(z.p.) + \Delta w(a) + \Delta w(g) = 305,5 - 77,0 + 12,5 + 8,2 = 249,2 \text{ mm} = ET + Q(gr)$$

$$Q(gr) = 31,0 \cdot 0,7 = 21,7 \text{ mm (redukce } Q(gr) \text{ na suchý rok)}$$

Dle závěrečného profilu $ET = 249,2 - 21,7 = 227,5$ mm, dle modelu HB EOP $ET = 218,6$ mm. Rozdíl ET je 8,9 mm, t.j. 4,1 %.

Dle modelu HB (EOP)

$$Q(gr) = 78,9 + 20,5 - 77,0 = 22,4 \text{ mm.}$$

Diference mezi $Q(gr) = 21,7$ mm ze závěrečného profilu a výsledkem modelu HB $Q(gr) = 22,4$ mm je zanedbatelná.

EOP „Nad cestou“ v roce 2009 (Tab. 3)

Pro model HB na EOP byla opět zvolena metoda stanovení $Q(g)$ dle dílčího modelu gravitační zóny.

HB dle závěrečného profilu povodí.

$HB(z.p.) = 457,4 - 161,2 + 25,5 = 321,7 = ET + Q(gr)$ [$\Sigma \Delta w(g)$ se za zájmová vegetační období n měsíců blíží 0]

$$Q(gr) = 0,21 \cdot 139 = 29,2 \text{ mm}$$

$$ET(z.p.) = 321,7 - 29,2 = 292,5 \text{ mm}$$

$$ET(EOP) = 281,5 \text{ mm}$$

Rozdíl 11 mm je 3,9 %.

$$Q(EOP) = 168,4 + 33,0 = 201,4 \text{ mm.}$$

Tab. 3.

Hydrologická bilance EOP Nad cestou na povodí U Dvou louček v roce 2009

Hydrologic balance Nad cestou EOP in the U Dvou louček catchment during 2009 vegetation period

Datum/Date	HS(et)	Q(k,sk)	$\Delta w(a)$	Q(g)	ET
13.5.–20.5.	25,6	-10,8	-1,4	3,5	-16,9
20.5.–17.6.	136,6	-59,0	1,9	-9,2	-70,3
17.6.–14.7.	101,8	-30,5	4,2	-10,2	-65,3
14.7.–19.8.	98,6	-51,2	17,7	-13,6	-51,5
19.8.–26.8.	19,2	-5,7	0	-0,6	-12,9
26.8.–8.9.	35,3	-5,5	-3,6	-0,8	-25,4
8.9.–30.9.	26,7	-4,1	8,8	-0,8	-30,6
30.9.–6.10.	13,6	-1,6	-2,1	-1,3	-8,6
Σ mm za 145 dní/ Σ mm in 145 days	457,4	-168,4	25,5	-33,0	-281,5
%	100,0	-36,8	5,6	-7,2	-61,6

$$Q(gr) = Q(EOP) - Q(z.p.) = 201,4 - 161,2 = 40,2 \text{ mm/veg.per.} = 0,28 \text{ mm/den} = 1,02 \text{ l/s/povodí U Dvou louček.}$$

Rozdíl $Q(gr)$ dle závěrečného profilu a $Q(gr)$ EOP, t.j. 0,21–0,28 mm/den je v mezích přesnosti metod.

Shoda modelu HB na EOP s HB v závěrečném profilu povodí je vynikající.

EOP „Pod cestou“ v roce 2008 (Tab. 4)

Pro model HB na EOP byla zvolena metoda jako v předchozím odstavci, tj. metoda stanovení $Q(g)$ dle dílčího modelu gravitační zóny.

HB dle závěrečného profilu povodí.

$$ET + Q(gr) = 305,5 - 77,0 + 8,0 + 2,4 = 238,9 \text{ mm}$$

$$Q(gr) \sim 21,7 \text{ mm/veg.per.}$$

$$ET = 238,9 - 21,7 = 217,2 \text{ mm}$$

$$\text{Dle HB (EOP) } ET = 216,3 \text{ mm}$$

Rozdíl ET 0,9 mm je 0,4 % ET dle HB.

$$\text{Odtok z EOP: } Q(k,sk) + Q(g) = 70,9 + 26,3 = 97,2 \text{ mm.}$$

$$Q(EOP) - Q(z.p.) = 97,2 - 77,0 = 20,2 \text{ mm} = Q(gr)$$

$Q(gr)$ dle závěrečného profilu a $Q(gr)$ EOP jsou prakticky stejné.

$$Q(gr) \sim 0,5 \text{ l/s/povodí U Dvou louček.}$$

EOP „Pod cestou“ v roce 2009 (Tab. 5)

$$Q(z.p.) = Q(k,sk) + Q(g) = Q(k,sk,g)$$

$$\text{a } Q(gr) = Q(k,sk) + Q(g) - Q(z.p.) = 158,1 + 20,4 - 161,2 = 17,3 \text{ mm}$$

$$HB(z.p.) = 431,8 - 161,2 + 31,1 - 5,8 = 295,9 \text{ mm} = ET(z.p.) + Q(gr)$$

$$ET(z.p.) = 295,9 - 29,2 = 266,7 \text{ mm}$$

$$ET(EOP) = 284,4 \text{ mm}$$

Diference $ET = 17,7$ mm (6,2 %).

Tab. 4.

Hydrologická bilance EOP Pod cestou na povodí U Dvou louček v roce 2008

Hydrologic balance Pod cestou EOP in the U Dvou louček catchment during 2008 vegetation period

Datum/Date	HS(ef)	Q(k,sk)	$\Delta w(a)$	Q(g)	ET
28.5.–3.6.	1,5	-4,0	10,8	-1,3	-7,0
3.6.–10.6.	5,7	-3,2	12,0	-2,7	-11,8
10.6.–17.6.	1,3	-0,5	2,9	-0,1	-3,6
17.6.–24.6.	2,6	1,9	10,9	-0,2	-15,2
24.6.–2.7.	33,2	-0,1	-15,3	-2,8	-15,0
2.7.–10.7.	31,8	-3,2	-8,3	-1,5	-18,8
10.7.–17.7.	8,9	-3,5	11,5	-1,4	-15,5
17.7.–5.8.	18,2	-7,3	15,7	-1,3	-25,3
5.8.–13.8.	1,0	5,1	12,7	-0,1	-18,7
13.8.–2.9.	83,3	-13,0	-34,2	-6,8	-29,3
2.9.–8.9.	30,4	-4,0	-6,1	-1,6	-18,7
8.9.–16.9.	5,2	-3,4	7,8	-0,4	-9,2
16.9.–2.10.	52,7	-15,9	-13,0	0,8	-24,6
2.10.–22.10.	29,7	-19,8	0,6	-6,9	-3,6
Σ mm za 148 dní/ Σ mm in 148 days	305,5	-70,9	8,0	-26,3	-216,3
%	100,0	-23,2	2,6	-8,6	-70,8

$Q(gr)$ vypočtený z údajů EOP a $Q(gr)$ ze závěrečného profilu jsou v mezích přesnosti metody.

Varianta modelu je vyhovující, ET ze závěrečného profilu se shoduje s ET z EOP „Nad cestou“ (281,5 mm).

Tab. 5.

Hydrologická bilance EOP Pod cestou na povodí U Dvou louček v roce 2009, varianta 3

Hydrologic balance Pod cestou EOP in the U Dvou louček catchment during 2009 vegetation period

Datum/Date	HS(ef)	Q(k,sk)	$\Delta w(a)$	Q(g)	ET
20.5.–17.6.	136,6	-47,5	12,7	-6,1	-95,7
17.6.–14.7.	101,8	-56,9	0,5	-7,3	-38,1
14.7.–19.8.	98,6	-35,0	14,3	-4,5	-73,4
19.8.–26.8.	19,2	-3,7	-4,2	-0,5	-10,8
26.8.–8.9.	35,3	-5,2	3,1	-0,7	-32,5
8.9.–6.10.	40,3	-9,8	4,7	-1,3	-33,9
Σ mm za 139 dní/ Σ mm in 139 days	431,8	-158,1	31,1	-20,4	-284,4
%	100,0	-36,6	7,2	-4,7	-65,9

DISKUSE

Hodnota $Q(gr) = 0,21$ mm/den odpovídá hydrologickým poměrům v horní části povodí Orlice (HORSKÝ 1970). Průměr části základního odtoku v závěrečném profilu povodí U Dvou louček je přibližně také 0,21 mm/den. Potom základní odtok je přibližně roven $Q(zákl.) = 2 \cdot 0,21 = 0,42$ mm/den = 1,6 l/s/povodí, což odpovídá výsledkům geologického průzkumu. ŠEDA (2003) stanovuje pro základní odtok v povodí U Dvou louček hodnotou 1–2 l/s.

Z tab. 1–5 zjistíme, že se průměrná denní evapotranspirace pohybovala v rozpětí $1,5 \leq ET \leq 1,9$ mm/den na EOP „Nad cestou“ a $1,45 \leq ET \leq 2,0$ mm/den na EOP „Pod cestou“. V letech 2008–2009 se ET obou lokalit velmi blíží se stejným průměrem 1,5 mm/den.

Úhrn ET smrku 219–284 mm ve vegetační periodě v letech 2007–2009 odpovídá výsledkům jiných autorů ve srovnatelných podmínkách (Kantor in ČERNOHOUS 2009). Nejvyšší ET 283 mm vykazuje rok 2009, nejnižší 217 mm naopak rok 2008.

Předložené výsledky dokazují, že z hlediska zásobování vodou vytváří stanoviště povodí U Dvou louček pro SM vyhovující podmínky. V době sucha je zásoba půdní vody doplňována z vlhčích hlubších horizontů půdy. V době nadbytku vláhy je půda dobře drénována systémem semikapilárních a gravitačních pórů, takže netrpí zamokřováním. Výjimku tvoří pouze okresek organozemě, zamokřovaný prameny podzemních vod. Ke zlepšení struktury humusových podzolů v povodí by byla vhodná příměs buku, která vodní poměry povodí příliš nezmění, ale podpořila by melioraci půdy.

V průběhu let 2007–2009 dokázala lesní půda EOP zadržet až 40 mm ovzdušných srážek, čímž podstatně přispěla k vyrovnanému režimu velkých vod v povodí. Naplnil se retenční prostor 400 m³/ha, t.j. celkem 13 040 m³ na povodí.

V průběhu měření v EOP „Nad cestou“ byla v 60 cm hlubokém profilu lesní půdy zásoba kapilární a semikapilární vody 158–239 mm, t.j. 0,78–1,00 MKVK (maximální kapilární vodní kapacity). V půdě bylo v průběhu vegetační periody k dispozici pro rostliny 24–75 mm dostupné vody.

Na EOP „Pod cestou“ byla v 60 cm hlubokém půdním profilu lesní půdy zásoba půdní vody 163–217 mm, t.j. 0,65–0,86 MKVK. V průběhu vegetační periody byla zásoba vody dostupná pro rostliny 12–66 mm. Minimum bylo 4,7 mm kapilární vody ve vrstvě 0–22,5 cm.

Lesní porosty smrku v povodí U Dvou louček rozhodně netrpí suchem, pouze výjimečně v delších periodách sucha klesne zásoba vody ve svrchní vrstvě půdy na minimum – 47 m³/ha. Induktivně vyvozené předpoklady 1–3, na kterých je model HB založen, vedou k reálným výsledkům srovnatelným s prací jiných autorů (Kantor in ČERNOHOUS et al. 2009, ze zahraničních modelů např. FUKUSHIMA 2006; THOMAS, BEASLEY 1986; MAC CARTHY et al. 1992; SUN et al. 1998). Jejich vazby názorně ukazují rozbory HB v kap. výsledky práce.

ZÁVĚR

- Předloženými modely HB byly získány výsledky srovnatelné s publikacemi jiných autorů ve srovnatelných podmínkách. Charakterizují dobře rysy vodní komponenty nižších horských poloh.
- Údaje $ET(EOP)$ jsou souměřitelné s údaji získanými z HB v závěrečném profilu povodí za vegetační periodu.
- Stanoviště v povodí „U Dvou louček“ vytvářejí vlhkostní podmínky, které plně vyhovují růstu smrku.
- Povodí „U Dvou louček“ zásobuje zdroje pitné vody v podhůří Orlických hor průměrným odtokem 0,8 l/s (2,4 l/s/km²).
- Povodí „U Dvou louček“ může běžně transformovat ve svém retenčním prostoru 80 % 100leté srážky s intenzitou 0,85 mm/min a dobou trvání 60 min.

Poděkování:

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci institucionální podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků poskytnutých MZe ČR pro výzkumný záměr MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“ a při řešení projektu NAZV QI112A174 „Lesnické a zemědělské aspekty řízení vodní komponenty v krajině“.

LITERATURA

- BEHEIM E. 2006. The effect of peat land drainage and afforestation on runoff dynamics, consequences of floods in the Glomma River. In: Krecek J., Haigh M. (eds.): Environmental role of wetlands in headwaters. Dordrecht, Springer: 59–75.
- ČERNOHOUS V. 2009. Horské lesy – základní ekosystémy ovlivňující vodní bilanci, velké vody a suchá období v krajině. Projekt NAZV č. QH 92073. Jíloviště-Strnady, VÚLHM – VS Opočno: 57 s.
- ČERNOHOUS V. 2010. Horské lesy – základní ekosystémy ovlivňující vodní bilanci, velké vody a suchá období v krajině. Projekt NAZV č. QH 92073. Jíloviště-Strnady, VÚLHM – VS Opočno: 42 s.
- ČERNOHOUS V., ŠACH F., KANTOR P., ŠVIHLA V. 2011. Methods of evapotranspiration assessment and outcomes from forest stands and a small watershed. In: Łabędzki L. (ed.): Evapotranspiration. Rijeka (Croatia), InTech: 73–102.
- FUKUSHIMA Y. 2006. The role of forest on the hydrology of headwater wetlands. In: Krecek J., Haigh M. (eds.): Environmental role of wetlands in headwaters. Dordrecht, Springer: 17–47.
- HORSKÝ L. 1970. Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. I. – IV. Praha, Hydrometeorologický ústav: 305 s.

- LUNDIN L. 1994. Impacts of forest drainage on flow regime. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry: 22 s. *Studia Forestalia Suecia*, 192.
- MAC CARTHY E.J., FLEWELLING J.W., SKAGGS R.W. 1992. Hydrologic model for drained forest watershed. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118 (2): 242-255.
- SUN G., RIEKERK H., COMERFORD N.B. 1998. Modelling the forest hydrology of wetland upland ecosystems in Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 34 (4): 827-841.
- ŠEDA S. 2003. Hydrogeologický průzkum na lokalitě Řičky v Orlických horách – U Dvou louček (závěrečná zpráva). Ústí nad Orlicí, OHGS: 12 s.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KULHAVÝ Z., ŠACH F. 2005. Příspěvek k hydrologické analýze povodí U Dvou louček v Orlických horách. *Soil and Water*, (4): 95-105.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH, F. 2011. Hydrologická bilance v lesním horském povodí dle půdních typů. In: Šír M., Tesař M. (eds): *Hydrologie malého povodí 2011*. 2. díl, Praha, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR: 457-462.
- THOMAS D.L., BEASLEY D.B. 1986. A physically-based forest hydrology model. *Transactions of the ASAE*, 29 (4): 962-981.
- Použité symboly / List of symbols:**
- HB* hydrologická bilance/hydrologic balance
- EOP* elementární odtoková plocha/elementary runoff plot
- ET* evapotranspirace/evapotranspiration
- HS(o)* dešťová srážka volné plochy/precipitation of open area
- HS(ef)* efektivní (porostní) srážka/net precipitation
- Pr* průsak gravitační zónou/infiltration (seepage) to bedrock
- Q* celkový odtok/total runoff
- Q(z.p.)* celkový odtok v závěrečném profilu povodí/total runoff at catchment outlet
- Q(EOP)* celkový odtok z EOP/total outflow from EOP
- Q(k,sk)* odtok (pohyb) kapilární a semikapilární vody/outflow (movement) of capillary and semicapillary water
- Q(g)* odtok (pohyb) gravitační vody/outflow (movement) of gravitational water
- Q(gr)* odtok do geologické struktury povodí/deep percolation into underlying bedrock
- Q(zákl.)* základní odtok/basic runoff
- $\Delta w(a)$ diference vlhkosti půdy/change of soil water content (moisture) in aeration zone
- $\Delta w(g)$ diference gravitační vlhkosti půdy/change of soil gravitational water content
- z.p.* závěrečný profil povodí/catchment outlet

MODEL OF HYDROLOGIC BALANCE OF YOUNG SPRUCE STANDS ON THE U DVOU LOUČEK EXPERIMENTAL CATCHMENT IN THE ORLICKÉ HORY MTS DURING GROWING PERIODS**SUMMARY**

The study mainly focuses on hydrologic conditions for growth of Norway spruce (*Picea excelsa*) young stands on recent immission salvage clear-cut experimental catchment in the late 1980s using pattern of water balance. The pattern was created on the basis of two elementary runoff plots (EOP) sized 10 x 10 m with different soil water conditions. Modelling was based on measurement of suction pressures and hydraulic heads on both plots. The observations were completed with measurements of atmospheric precipitation, streamflow at catchment outlet and water percolation through soil mantle.

The elementary runoff plots were examined within the experimental catchment that was treated with reconstruction of drainage system and with addition of sporadic open ditches in July 1996. The model of hydrology balance was presented and verified for 2007–2009 growing periods using submodel of capillary water and submodel of gravity water.

The hydrologic model proceeded from the premises induced on the basis of long-term investigations and knowledge of soil-hydrologic processes pursued on system of forest research objects in the Orlické hory Mountains (for abbreviations see the list of symbols):

1) $\Sigma ET(z.p.)$ and $\Sigma ET(EOP)$ was not able to differ during growing period significantly because $\Delta w(a)$ and $\Delta w(g)$ did not reach important values.

2) $\Sigma Q(k,sk) + \Sigma Q(g)$ was greater than $\Sigma Q(z.p.)$ during vegetation period, because the base runoff was not fully registered at the catchment outlet in consequence of percolating part of baseflow into the underlying bedrock and recharging deep groundwater – $Q(gr)$.

3) $\theta Q(gr) = 0,2$ mm/day, $Q(zákl.) = 2Q(gr)$. The first part of baseflow coming from ca. one half of catchment throughflowed (seeped) into streams (proved by hydrograph separation at catchment outlet); the other part percolated into the underlying bedrock and recharged deep groundwater sources in the Orlické hory foothills.

Results acquired after hydrological and silvicultural catchment stabilization (Tab. 1–5) proved that during dry periods young spruce stands were supplied with water from deeper moist soil horizons, and during wet periods the soil was well drained by soil macropore system without waterlogging.

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