

**STANOVENÍ EVAPOTRANSPIRACE MLADÉHO SMRKOVÉHO A BUKOVÉHO
POROSTU METODOU KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ OBJEMOVÉ VLHKOSTI
V PŮDNÍM PROFILU**

*DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION OF YOUNG NORWAY SPRUCE STAND
AND EUROPAEAN BEECH ONE BY METHOD OF CONTINUAL MEASUREMENT OF
VOLUMETRIC MOISTURE IN SOIL PROFILE*

FRANTIŠEK ŠACH, PETR KANTOR, VLADIMÍR ČERNOHOUS

ABSTRAKT

PRO KOMPLETACI MĚŘENÝCH PRVKŮ K APLIKACI ROVNICE VODNÍ BILANCE NA DVP DEŠTĚNSKÁ STRÁŇ V ORLICKÝCH HORÁCH JSME VYVINULI A OVĚŘILI METODU STANOVENÍ EVAPOTRANSPIRACE MLADÉHO SMRKOVÉHO A BUKOVÉHO POROSTU. CELKOVÁ EVAPOTRANSPIRACE OBOU POROSTŮ BYLA URČENA VÝPOČTEM Z KONTINUÁLNÍHO MĚŘENÍ ZMĚN OBJEMOVÉ VLHKOSTI V PŮDNÍM PROFILU VE VEGETAČNÍM PŮLROCE 2005. MEZI OBĚMA SROVNÁVANÝMI POROSTY NEBYLY ZAZNAMENÁNY PODSTATNÉ ROZDÍLY. V PRŮBĚHU 6 MĚSÍCŮ VEGETAČNÍHO OBDOBÍ 2005 ČINILA EVAPOTRANSPIRACE MLADÉHO SMRKU 230 MM, MLADÉHO BUKU 217 MM, COŽ PŘEDSTAVUJE 37 RESP. 35 % SRÁŽKOVÉ NABÍDKY.

KLÍČOVÁ SLOVA: SMRK, BUK, MLADÝ POROST, LESNÍ PŮDA, OBJEMOVÁ VLHKOST, URČENÍ EVAPOTRANSPIRACE

ABSTRACT

MEASURING EVAPOTRANSPIRATION OF A YOUNG SPRUCE AND A BEECH STAND HAS BEEN PERFORMED ON THE LONG-TERM RESEARCH PLOT (LRP) DEŠTĚNSKÁ STRÁŇ IN THE ORLICKÉ HORY MTS. TOTAL EVAPOTRANSPIRATION OF THE BOTH STANDS WAS DETERMINED BY CALCULATION FROM CONTINUOUS MEASUREMENT OF VOLUMETRIC MOISTURE CHANGES IN SOIL PROFILE DURING GROWING SEASON FROM MAY 1 TO OCTOBER 31, 2005. ANY SUBSTANTIAL DIFFERENCES HAVE NOT BEEN RECORDED BETWEEN BOTH COMPARED STANDS. IN PERIOD OF SIX MONTHS OF GROWING SEASON EVAPOTRANSPIRATION OF YOUNG SPRUCE STAND WAS 230 MM AND YOUNG BEECH STAND 217 MM, I.E. 37% AND 35% OF PRECIPITATION SUPPLY, RESPECTIVELY.

KEYWORDS: NORWAY SPRUCE, EUROPEAN BEECH, YOUNG STAND, FOREST SOIL, VOLUME MOISTURE, EVAPOTRANSPIRATION DETERMINATION

ÚVOD A NÁSTIN PROBLÉMU

Určení evapotranspirace lesního porostu je složitý úkol a představuje stále aktuální téma často využívané pro hydrologické modelování (Vilhar et al. 2005). Evapotranspiraci přitom rozumíme transpiraci stromového patra, evaporaci z půdního povrchu a evapotranspiraci přizemní vegetace. V porovnání se stanovením aktuální evapotranspirace plodin na orné půdě (např. Duffková 2003) lze v lese některé metody jen obtížně použít vzhledem k příliš mnoha vstupům z korunového i nadkorunového prostoru a vzhledem k chodu prvků vodní bilance v horském prostředí (referenční evapotranspirace a koeficient vodního stresu, evapotranspirace metodou energetické bilance). Další metody jsou vhodné opět jen ke stanovení potenciální evapotranspirace vlhkých povrchů (potenciální evapotranspirace podle Penmana), jiné lze jen problematicky používat k převádění evapotranspirace na segment lesního porostu (vážková metoda, metoda určení příjmu vody mě-

řením vzestupného proudu ve vodivých pletivech kmene). Na měření prvků vodní bilance je založena metoda, při které se evapotranspirace lesního porostu vypočítává jako neznámá z bilanční rovnice. Uvedenou metodu jsme vzhledem k její propracovanosti a dlouhé době ověřování na bilančních plochách Dešenské stráň přijali jako kontrolní k metodě nově vyvíjené. Ta pro stanovení evapotranspirace vychází z kontinuálního měření objemové vlhkosti v půdním profilu. Cílem práce bylo metodu vyvinout a ověřit pro mladý smrkový a bukový porost na dlouhodobé výzkumné ploše (DVP) Dešenská stráž.

METODIKA

Dlouhodobá výzkumná plocha Dešenská stráž

Výzkumný objekt Dešenská stráž v Orlických horách slouží ke studiu vodní bilance smrkového a bukového ekosystému, jako představitelů dvou nejvýznamnějších dřevin středohorských poloh České republiky. Objekt je tvořen dvojicí bilančních ploch. Obě bilanční plochy (každá o rozměru 40 x 30 m) jsou od sebe vzdáleny 50 m, jsou situovány na svahu ZJZ expozice a průměrném sklonu 16° v nadmořské výšce 890 m a leží na 50°19'20" s. š. a 16°21'45" v. d. Průměrná roční teplota činí 4,9 °C, průměrné roční srážky 1 200 mm.

Typologicky přísluší smrkový i bukový porost do nejrozšířenějšího lesního typu smrkobukového vegetačního stupně, do kyselé smrkové bučiny metlicové (6K1). Z pedologického hlediska lze oba porosty zařadit do typických kyselých kambizemí vyšších poloh, písčitohlinitých až hlinitopísčitých s průměrnou 50% příměsí skeletu, jehož podíl v hloubce 70 – 100 cm dosahuje 90 – 98 % (zvětralá matečná hornina – svor).

Šetření bylo zahájeno na podzim 1976. Prvých pět hydrologických let (1. 11. 1976 až 31. 10. 1981) byla studována hydrická účinnost dospělých porostů. V zimě 1981/1982 byly oba porosty jednorázově zmýceny a ihned na jaře 1982 byly výzkumné plochy zalesněny opět smrkem a bukem tak, že od 1. 11. 1982 mohlo být pokračováno ve studiu vodního režimu kultur obou dřevin, navíc nově ve změněných nepříznivých imisně-ekotopových podmínkách (pásmo ohrožení B/C).

Hydropedologický průzkum bilančních ploch smrkového a bukového porostu

Vývoj a ověřování metody stanovení celkové evapotranspirace metodou kontinuálního měření půdní vlhkosti jsme zahájili provedením a zhodnocením hydro-pedologického průzkumu na bilančních plochách. Průzkum navazující na pedologická šetření v době zakládání experimentu v roce 1977 se uskutečnil na podzim 2004. Ze dvou kopaných sond ve smrkovém porostu a ze dvou v porostu bukovém jsme odebrali neporušené i porušené vzorky, které analyzovala Hydropedologická laboratoř VÚMOP v Pardubicích. Zpracované výsledky a jejich hodnocení obsahuje samostatný příspěvek (Švihla, Šach, Kantor, Kulhavý 2005).

Parametry výpočtu evapotranspirace smrkového a bukového porostu

Základní charakteristikou pro výpočet evapotranspirace smrkového a bukového porostu je objemová vlhkost půdního segmentu (pedonu), reprezentujícího smrkový či bukový porost. Objemovou půdní vlhkost měříme snímači VIRRIB. Sní-

mače VIRRIB měří půdní vlhkost pomocí elektromagnetického signálu transmisní fázovou metodou – snímače využívají závislosti fázové rychlosti nanosekundových impulsů na vlhkosti okolního prostředí. Snímače vyrábí firma AMET Velké Bílovice od roku 1990.

Čidla o průměru 285 mm byla na základě poznatků o půdním profilu umístěna do hloubek 50, 200 a 500 mm pod půdní povrch. Umístění čidel jsme provedli stratifikovaně tak, abychom postihli pozice těsně u kmene, ve vzdálenosti rovnající se čtvrtině rozestupu kmenů a ve vzdálenosti rovnající se polovině rozestupu kmenů. Celkem bylo ve třech hloubkách a v trojím opakování umístěno 9 čidel v každém porostu. Vysvětlující charakteristiky představovaly srážky volné plochy měřené v +0,5 m, teplota vzduchu v +0,3 m a v +2 m a vlhkost vzduchu v +2 m. Instalaci čidel jsme uskutečnili a měření zahájili v roce 1998 a zahájili vývoj metody určení evapotranspirace mladého porostu smrku a buku z kontinuálního měření objemové vlhkosti v půdním profilu. Doktorand vývojem metody pověřený však nedosahoval prakticky použitelných výsledků.

Postup výpočtu evapotranspirace smrkového a bukového porostu

Výpočet evapotranspirace jsme založili na sledování změn objemové vlhkosti půdy v intervalu 6 hodin v letním hydrologickém půlroce (vegetačním období) 2005. Výhodou určování změn půdní vlhkosti je jejich praktická nezávislost na kalibraci čidel, která jinak podle Doležala a Vlčkové (2006) udávají v průměru hodnoty o 5% nižší. Do výpočtu byly zahrnuty změny objemové vlhkosti (aritmetický průměr ze tří různých pozic ve stejné hloubce) se znaménkem minus, tzn. případy, kdy objemová vlhkost půdy v následujícím termínu měření byla nižší než objemová vlhkost půdy v termínu měření předchozím. Vzhledem k šestihodinovému kroku nebyly v převážné většině případů (až na výjimky) do výpočtu zahrnuty malé poklesy objemové vlhkosti v noci. Poklesy objemové vlhkosti do 12 hodin po dešti jsme považovali především za odtok a do výpočtu jsme je také nezahrnovali, zejména při nízké teplotě vzduchu a vysoké (obvykle stoprocentní) vlhkosti vzduchu. Pro dobu deště, kdy zpravidla objemová vlhkost půdy stoupala, jsme evapotranspiraci rovněž neuvažovali.

Důležitou charakteristiku vstupující do výpočtu představoval objemový podíl skeletu v půdním segmentu. Ten podle našich současných i dřívějších analýz uvádíme v tab. 1. Výpočet evapotranspirace bude pravděpodobně možné provádět pro intervaly měření (např. 6 nebo 24hodinový – ukázka v tab. 5); vzhledem k dalším potřebným informacím o pohybu vody v půdě a jejích hydrolimitech jsme však pro šestihodinový interval zatím vypočítávali pouze změnu objemové vlhkosti; tu jsme pak hodnotili podle výše zmíněných kritérií a získali součet poklesů objemové půdní vlhkosti za měsíc. Z obdržené sumy jsme vypočítali hodnotu evapotranspirace smrkového a bukového porostu v jednotlivých měsících letního hydrologického půlroku 2005.

VÝSLEDKY

Stanovení celkové evapotranspirace smrkového a bukového porostu

Měření půdní vlhkosti zatím naznačují, že půdní vlhkost nepřesahuje v období

Tab. 1: Objemový podíl skeletu (zrna s průměrem nad 2 mm) a půdní hydrolimity v půdním segmentu.

Volumetric portion of skeleton (coarse fragments with diameter greater than 2 mm) and soil hydrolimits in soil segment.

Bilanční plocha ¹	Smrkový porost ²		Bukový porost ³	
Hloubka půdy v mm ⁴	Objemový podíl skeletu v půdním segmentu v % ⁵			
0 – 100 mm	3,69 %		4,44 %	
100 – 300 mm	48,6 %		48,1 %	
300 – 500 mm	58,9 %		52,5 %	
Hloubka půdy a odpovídající horizont ⁶	MKK jemno- země v obj. % ⁷	RVK jemno- mě v obj. % ⁸	MKK jemno- země v obj. %	RVK jemno- země v obj. %
0 – 100 mm, hor. F, H	66,8	49,3	68,0	54,7
100 – 300 mm, hor. Ah, Ae	61,1	52,2	50,1	39,8
300 – 500 mm, hor. B	48,3	39,9	45,4	36,2

¹Balance area, ²Norway spruce stand, ³European beech stand, ⁴Soil depth in mm ⁵Volumetric portion of skeleton in soil segment in percentage, ⁶Soil depth and corresponding horizon, ⁷maximum capillary capacity of fine soil in volumetric percentage, ⁸retention water capacity of fine soil in volumetric percentage

květen až říjen 2005 polní kapacitu, v našem případě reprezentovanou hydrolimity stanovenými laboratorně hydrofyzikálními analýzami neporušených půdních vzorků (tab. 1), tj. maximální kapilární kapacitu podle Nováka (MKK) ani retenční vodní kapacitu (RVK24). Pohybujeme se tak trvale v nenasycené půdní zóně, přesto ve shodě s modelem BROOK (Federer, Lash 1978) předpokládáme (viz v metodice uvedená kritéria), že ne všechny úbytky objemové vlhkosti představují evapotranspiraci. Ziskáváme tak realističtější výsledky o evapotranspiraci smrkového a bukového porostu.

Sumy úbytků půdní vlhkosti pro jednotlivé měsíce a půdní vrstvy uvádíme v tab. 2 včetně statistického testování. Rozdíly jsou statisticky významné jak mezi půdními vrstvami smrku či buku, tak mezi odpovídajícími si půdními vrstvami smrku a buku. Z tab. 2 je patrné, že smrk vyčerpává vodu na transpiraci zejména z vrstvy 0 - 100 mm. Buk vykazuje rovnoměrnější čerpání vody z jednotlivých půdních vrstev. To odpovídá zjištěné převažující hloubce hustého prokořenění jemnými kořeny u smrku 100 mm a u buku 400 mm. Z hloubky prokořenění jsme pro výpočet evapotranspirace odvodili tloušťku kořenové zóny 500 mm (shodně pro dub Tužinský 2005). Tato hranice má podle hydrologických výzkumů prováděných pomocí sítě tenzometrů v experimentálním povodí U Dvou louček ještě ten význam, že od 450 mm hloubky gravitační voda odtéká jako ztrátová složka z této bilancované půdní vrstvy a tudíž není využívána k transpiraci.

Výraz pro výpočet evapotranspirace v mm za měsíc jsme sestavili následovně:

Evapotranspirace ET pro půdní vrstvu (mm/měsíc) = suma úbytků objemové půdní vlhkosti jako desetinné číslo * tloušťka půdní vrstvy v mm * (1 – objemový podíl kamenitosti jako desetinné číslo).

Tab. 2: Časové řady úbytků objemové vlhkosti využitých pro evapotranspiraci v jednotlivých měsících a půdních vrstvách kořenové zóny v letním hydrologickém půlroce 2005 a testování rozdílů párovým t-testem.

Time series of volumetric moisture decrements used for evapotranspiration in particular months and soil layers of root zone in summer hydrologic half-year 2005 and difference testing by paired t-test.

Období ¹	Suma úbytků objemové vlhkosti v % za měsíc ²			Statistická průkaznost (p-hodnota párového t-testu) ³		
	sm1 0 – 100	sm3 100 – 300	sm5 ⁵ 300 – 500	sm1 – sm3	sm1 – sm5	sm3 – sm5
Květen/V.	-38,9	-10,1	-4,1			
Červen/VI.	-38,7	-10,7	-3,4			
Červenec/VII.	-33,0	-7,8	-4,6	0,003	0,002	0,001
Srpen/VIII.	-35,7	-7,9	-4,3			
Září/IX.	-14,9	-6,6	-2,6			
Říjen/X.	-13,9	-4,2	-0,7			
<i>Celkem/Total</i>	-175,1	-47,3	-19,7			
Porost/půdní vrstva v mm ⁴	bk1 0 – 100	bk3 100 – 300	bk5 ⁶ 300 – 500	bk1 – bk3	bk1 – bk5	bk3 – bk5
Květen/V.	-15,9	-13,3	-7,9			
Červen/VI.	-19,3	-12,4	-7,4			
Červenec/VII.	-27,7	-17,7	-10,5	0,003	0,002	0,003
Srpen/VIII.	-26,2	-16,5	-10,4			
Září/IX.	-12,1	-6,6	-4,5			
Říjen/X.	-8,6	-4,6	-2,5			
<i>Celkem/Total</i>	-109,8	-71,1	-43,2			
Statistická průkaznost (p-hodnota párového t-testu) ³						
Porost/půdní vrstva v mm ⁴	sm1 – bk1 0 – 100	sm3 – bk3 100 – 300	sm5 – bk5 300 – 500			
Květen až říjen 2005 ⁷	0,024	0,072	0,004			

Statisticky významné rozdíly jsou vyjádřeny hodnotou p (pravděpodobnost přijetí nulové hypotézy o rozdílu odpovídajících si hodnot rovné nule) a zvýrazněny pro hladinu významnosti 0,05.

Statistically significant differences are expressed by p-value (probability of acceptance of H_0 hypothesis related to equality of means) and picked out.

¹Period, ²Sums of volumetric moisture decrements in percentage by months, ³Statistical significance (p-value of paired t-test), ⁴Forest stand/soil layer in mm, ⁵spruce-500mm, ⁶beech-500mm, ⁷May to October 2005

Příklad pro červenec, smrk, půdní vrstva 100 - 300 mm:

$$ET = 0,078 * 200 * (1 - 0,486) = 8,0 \text{ mm}$$

Součet za tři sledované půdní vrstvy kořenové zóny pak představuje evapotranspiraci smrkového porostu v červenci 2005:

$$ET = 31,8 + 8,0 + 3,8 = 43,6 \text{ mm}$$

Výsledky stanovení evapotranspirace smrkového a bukového porostu v jednotlivých měsících letního hydrologického půlroku jsou prezentovány v tab. 3. Je z nich patrný postupný nárůst evapotranspirace buku od května do července související s olisťováním. Další rozdíl naznačuje srovnání evapotranspirace smrkového a bukového porostu. V květnu a červnu byla evapotranspirace smrku podstatně vyšší než u buku vzhledem k jeho postupnému olisťování. V červenci a srpnu se situace obrátila, evapotranspirace smrkového porostu byla nižší než bukového, zřejmě vzhledem k vyššímu hektarovému počtu buků na jednotce plochy i poněkud většímu LAI. V září a říjnu pak již smrkový a bukový porost nevykazoval při nízkých hodnotách evapotranspirace prakticky rozdíl.

Tab. 3: Evapotranspirace mladého smrkového a bukového porostu v jednotlivých měsících a letním hydrologickém půlroce 2005 (výpočet z kontinuálního měření objemové půdní vlhkosti).

Evapotranspiration of young Norway spruce stand and European beech one in particular months and in summer hydrologic halfyear 2005 (calculation from continuous measurement of volumetric soil moisture).

Evapotranspirace mladého smrkového a bukového porostu v mm ¹			
Měsíc ²	Srážky volné plochy v mm ³	Smrk – ET v mm ⁴	Buk – ET v mm ⁵
Květen/V.	196,0	51,3	36,5
Červen/VI.	84,4	51,1	38,3
Červenec/VII.	169,6	43,6	54,9
Srpen/VIII.	97,6	46,0	52,0
Září/IX.	69,8	23,3	22,8
Říjen/X.	17,4	18,8	15,7
Léto 2005 celkem ⁶	634,8	234,1	220,2

¹Evapotranspiration of young Norway spruce stand and European beech one in mm, ²Month, ³Precipitation of open area in mm, ⁴Norway spruce ET in mm, ⁵European beech ET in mm, ⁶Total for summer 2005

Biofyzikální charakteristika obou porostů může hrát v evapotranspiraci určitou roli, proto se k její charakteristice a možnému významu ještě krátce vrátíme. V jednadvacetiletém smrkovém porostu bylo v roce 2002 po provedených výchovných zásazích registrováno 1 550 smrků.ha⁻¹ (střední výška 10,1 m), v porostu bukovém 7 441 buků.ha⁻¹ (střední výška 4,8 m). Smrk vykazoval biomasu asimilačního aparátu v tomtéž roce 11 900 kg.ha⁻¹ sušiny a LAI rovný 5,55, bukový porost pak 3 090 kg.ha⁻¹ sušiny a LAI rovný 5,94 (metoda destrukční analýzy 20 vzorníků z každého porostu) – (Kantor, Šach, Válek 2005). Vazbu těchto charakteristik k evapotranspiraci však bude možné posoudit až při hodnocení časové řady jak dat o evapotranspiraci, tak o biomase sušiny asimilačního aparátu a LAI. Vliv změn LAI na transpiraci bývá větší při nižších hodnotách LAI, právě tak jako na transpiraci přizemní vegetace a evaporaci z půdy (Federer, Lash 1978).

Porovnání evapotranspirace mladého porostu smrku a buku s analogickým dospělým na stejných bilančních plochách, ale s časovým odstupem čtyřia-dvaceti let

Ověřovací srovnání můžeme udělat porovnáním evapotranspirace mladého porostu smrku a buku s dospělým porostem smrku a buku. Evapotranspirace zjišťovaná metodou kontinuálního měření vlhkosti půdy mladého smrkového a bukového porostu v létě 2005 (tab. 3) se podstatně neliší od průměrné evapotranspirace dospělého smrkového a bukového porostu z let 1977 – 1981, zjišťované na stejných bilančních plochách z rovnice vodní bilance – transpirace smrku a buku vypočítávána, evapotranspirace přizemní vegetace a evaporace z půdy a další prvky vodní bilance měřeny (tab. 4). Pětileté období 1976 - 1981 bylo ke srovnání zvo-

Tab. 4: Evapotranspirace dospělého smrkového a bukového porostu v jednotlivých měsících a letním hydrologickém půlroce 1977 – 1981 (výpočet z rovnice vodní bilance – Kantor 1982).

Evapotranspiration of mature Norway spruce stand and European beech one in particular months and in summer hydrologic half-year 1977 – 1981 (calculation from water balance equation – Kantor 1982).

Evapotranspirace dospělého smrkového a bukového porostu v mm ¹			
Měsíc ²	Srážky volné plochy v mm ³	Smrk – ET v mm ⁴	Buk – ET v mm ⁵
Květen/V.	67,5	49,3	42,5
Červen/VI.	115,3	49,7	54,5
Červenec/VII.	212,0	48,4	49,4
Srpen/VIII.	133,8	46,8	51,7
Září/IX.	100,3	39,3	37,0
Říjen/X.	98,2	24,5	13,3
Průměr léto 1977 – 1981 celkem ⁶	727,1	258,0	248,4

¹Evapotranspiration of mature Norway spruce stand and European beech one in mm, ²Month, ³Precipitation of open area in mm, ⁴Norway spruce ET in mm, ⁵European beech ET in mm, ⁶Mean for summer 1977 – 1981

leno mimo jiné proto, že měření charakterizovala obzvláštní přesnost, důslednost a četnost (ruční měření prvků vodní bilance 3 – 4krát týdně, resp. prakticky po každé srážce). Pro mladý smrkový porost představuje evapotranspirace 36,9%, pro dospělý smrkový porost 35,5%, pro mladý bukový porost 34,7% a pro dospělý bukový porost 34,2% srážek volné plochy za letní hydrologický půlrok květen – říjen (aktuálně cf. Střelcová et al. 2003, která pro dospělou bukovou skupinu uvádí transpiraci zjišťovanou metodou transpiračního proudu 35% srážek, tj. 258 mm ze 735 mm srážek za květen až říjen). To potvrzuje nejen obdobnou

Tab. 5: Ukázka denních (24hodinových) hodnot evapotranspirace smrkové a bukové tyčoviny vypočtených z denních úbytků objemové vlhkosti půdy.

Example of daily (24hours') values of evapotranspiration in Norway spruce and European beech pole-stage stand calculated from daily decrements of volumetric soil moisture.

Datum	¹ Teplota vzduchu [°C]	² Vlh.vzduchu [%]	³ Srážky [mm]	⁴ ET [mm]	⁵ ET [mm]
	prům. za 6-20 UTC	prům. za 6-20 UTC	denní	denní	denní
	vol.pl. +200 cm	vol.pl. +200 cm	vol.pl. +50 cm	SM tyčovina	BK tyčovina
1.6.2005	10,0	76,9	0,4	1,9	1,0
2.6.2005	12,2	71,1	0,0	2,6	1,2
3.6.2005	18,0	65,9	0,0	2,9	1,7
4.6.2005	12,3	96,3	11,8	0,0	0,0
5.6.2005	10,2	100,0	11,2	0,7	1,0
6.6.2005	8,5	100,0	3,2	0,5	0,8
7.6.2005	4,4	99,6	6,2	0,3	0,9
8.6.2005	5,3	97,3	4,8	2,2	2,5
9.6.2005	7,9	77,6	0,0	1,6	2,1
10.6.2005	11,4	75,7	0,6	2,4	1,5
11.6.2005	7,3	100,0	3,0	0,3	0,7
12.6.2005	8,6	88,1	4,2	2,4	2,7
13.6.2005	15,2	86,9	3,6	1,7	1,2
14.6.2005	20,5	72,5	0,0	3,3	4,5
15.6.2005	16,7	94,1	3,4	0,6	0,8
16.6.2005	17,9	85,6	0,2	1,6	1,9
17.6.2005	17,5	87,4	0,0	1,6	1,2
18.6.2005	15,8	70,2	2,0	2,4	1,2
19.6.2005	16,1	73,8	0,0	2,1	1,6
20.6.2005	16,8	70,7	0,0	2,6	1,4
21.6.2005	19,4	63,5	0,0	2,9	1,7
22.6.2005	18,9	74,5	0,2	2,0	1,1
23.6.2005	17,2	67,7	0,0	2,3	1,4
24.6.2005	20,5	61,6	0,0	2,2	1,6
25.6.2005	22,1	71,8	4,8	2,3	1,5
26.6.2005	14,7	100,0	1,0	0,1	0,0
27.6.2005	18,5	72,5	0,0	1,8	1,3
28.6.2005	19,5	60,5	0,0	1,8	1,5
29.6.2005	17,6	68,5	0,0	1,3	1,2
30.6.2005	14,3	94,2	23,8	0,4	0,3

¹Air temperature [°C], average for 6-20 UTC, open area +200cm above ground surface, ²Air humidity [%], average for 6-20 UTC, open area +200cm above ground surface, ³Daily precipitation in mm, open area + 50 cm above ground surface, ⁴Daily ET in mm, spruce pole-stage stand, ⁵Daily ET in mm, beech pole-stage stand

hydrickou účinnost mladých (čtyřiaadvacetiletých) smrkových a bukových porostů a analogických porostů dospělých, kdy podle literárních pramenů (Ursic, Douglass 1979) prakticky zhruba od věku 14 let je evapotranspirace mladého a dospělého lesního porostu rozdílná jen nevýznamně, ale i srovnatelnost obou použitých metod zjišťování evapotranspirace.

DISKUSE A ZÁVĚR

Metodika je obsahově srovnatelná s postupem výpočtu v modelu BROOK, ten se ovšem soustřeďuje především na modelování celého srážkoodtokového procesu. Podle tohoto modelu je svrchní padesátimilimetrová půdní vrstva kromě transpirace dřevin využívána i k transpiraci přízemní vegetace a evaporaci z půdy. Odtok z půdy je uvažován při obsahu vody v půdě charakterizovaném pro sací tlak 6 kPa hydraulickou vodivostí přesahující 2 mm za den (Federer, Lash 1978). Při orientačním hodnocení našich hydropedologických analýz (pracovní materiál Kulhavý, říjen 2005) je hodnota vlhkosti odpovídající zmíněným limitům dosahována pouze ve smrku ve vrstvě 300 - 500 mm (průměr ze 3 válečků 25,6 %, při přepočtu na jemnozem 35,9 % objemové vlhkosti). V bezsrážkovém denním období by tak ještě v podstatě zanedbatelný podíl vody mohl odtékat do spodin. Na druhé straně bude třeba dořešit eventuální evapotranspiraci zejména ve večerních a ranních hodinách, kdy noční úbytky vlhkosti byly započítávány v podstatě jen ve vrcholném létě při vysokých nočních teplotách a nízké vlhkosti vzduchu. Orientační analýza úbytků vlhkosti ve světlině o průměru rovném výšce okolního mladého smrkového porostu (ca 10 m), kdy krok měření ve třech hloubkách (50, 200, 500 mm) je jednohodinový, naznačuje, že prakticky veškerá evapotranspirace probíhá za intenzivního denního světla (s výjimkou poledního přerušení při vysokých teplotách), zatímco v okrajových hodinách denního světla je evapotranspirace málo významná a v nočních hodinách zanedbatelná.

Metoda stanovení evapotranspirace z rozdílů kontinuálního měření objemové vlhkosti půdy prokázala již v současné době dostatečnou přesnost, když hodnoty evapotranspirace dodané do rovnice vodní bilance v ní doplnily jedinou a poslední neznámou (Kantor et al. 2005). Rovnice vodní bilance se po dosazení všech měřených prvků vodní bilance mladého smrkového a bukového porostu pro jednotlivé měsíce a letní hydrologický půlrok 2005 tak matematicky stala prakticky rovností. Vývoj metody přesto v současné době pokračuje. Předpokládáme její další upřesňování, rozšíření její aplikace na zbývající hydrologické roky i případné dopracování do počítačového modelu.

LITERATURA:

- Doležal, F., Vlčková, M.: Kalibrace čidel vlhkosti a sacího tlaku půdy. In: Provoz experimentálních povodí. Workshop v Hraběticích v Jizerských horách 13. - 14. 6. 2006. DVD z audiovizuální prezentace. Zbraslav: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy 2006.
- Duffková, R.: Porovnání hodnot aktuální evapotranspirace travního porostu získaných třemi různými metodami. *Acta hydrologica Slovaca*, 4, 2003, č. 2, s. 323 - 330.

- Federer, C. A., Lash, D.: Brook: A hydrologic simulation model for eastern forests. Res. Rep. No. 19. Durham (New Hampshire), Water Resour. Res. Center, Univ. of New Hampshire 1978. 84 p.
- Kantor, P.: Hydrická účinnost dospělých smrkových a bukových porostů. /Výzkumná zpráva/. Opočno, VÚLHM-Výzkumná stanice 1982. 45 s.
- Kantor, P. et al.: Srážkoodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních situací - povodní a sucha. Projekt NAZV 1G57016. Redakčně upravená roční zpráva za rok 2005. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně; Jíloviště-Strnady: VÚLHM - VS Opočno, 2005. 61 s., příl.
- Kantor, P., Šach, F., Válek, P.: Foliage biomass quantification of young Norway spruce and European beech stands in the Orlicke hory Mts. (Czech Republic). Brno, LDF 2005. 20 s. /Rukopis článku/.
- Kulhavý, Z.: Integrovaná a diferenciální křivka a tabulky rozdělení pórů ve vzorcích fyzikálních válečků odebraných z půdních sond na experimentální ploše Deštenská stráň, sací tlaky, hydraulická vodivost, zaplnění pórů vodou /pracovní materiál/. Pardubice, VÚMOP 2005. ca 12 s.
- Střelcová, K., Matějka, F., Kučera, J.: Beech stand transpiration assessment – two methodical approaches. In: Ekológia (Bratislava), Vol. 23, Supplement 2/2004. Bratislava, Slovak Academic Press 2004, p. 147 - 162.
- Švihla, V., Šach, F., Kantor, P., Kulhavý, Z.: Vyhodnocení hydrologického průzkumu na experimentálním lesohydrologickém objektu Deštenská stráň v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 50, 2005, v tisku.
- Tužinský, L.: Temporal dynamics of soil water in oak forest stand of southern Slovakia. Ekológia (Bratislava), 24, 2005, no. 3, p. 304 - 313.
- Ursic, S. J., Douglass, J. E.: The effects of forestry practices on water resources. In: Environmental Forum Proceedings. Ed. W. K. Mosley. Auburn (Alabama), Auburn University 1979, p. 33 - 49.
- Vilhar, U., Starr, M., Urbančič, M., Smolej, I., Simončič, P.: Gap evapotranspiration and drainage fluxes in a managed and a virgin dinaric silver fir-beech forest in Slovenia: a modelling study. European Journal of Forest Research, 124, 2005, No. 3, p. 165 – 175.

SUMMARY

To complete the measured elements for water balance equation, a method of determining evapotranspiration of the young Norway spruce and the European beech stand has been developed and proved on the long-term research plot (LRP) Deštenská stran in the Orlické hory Mts., the Czech Republic. Total evapotranspiration of both stands was determined by calculation from continuous measurement of volumetric moisture changes in soil profile during growing season from May 1st to October 31st, 2005. The volumetric soil moisture is measured by the transducers VIRRIB. The transducers have been placed into deductive root zone in depths of 50 mm, 200 mm and 500 mm with 3 repetitions. Repeating follows forest stand variability. In 3 depths with 3 repetitions total 9 transducers is placed into each forest stand.

Calculation of evapotranspiration was based on recording changes of volumetric soil moisture at six hour intervals. We included the changes of volumetric soil moisture (mean of 3 repetitions in the same depth) into calculation when volumetric soil moisture of next record was lower than that of antecedent record. Into calculation we did not include small decreases in volumetric soil moisture at night. Decreases in volumetric soil moisture during 12 hours after rain were considered as vertical flow and they were not taken in calculation, especially at low air temperature and high air humidity (usually 100%). During rain, when volumetric soil moisture usually increases, we did not take evapotranspiration into consideration either. We calculated change for six hour interval and assessed it by the criteria mentioned above. It resulted in sum of volumetric soil moisture decrements by month.

We calculated value of evapotranspiration of spruce and beech stand for particular months of summer hydrologic half-year 2005 from the sum of volumetric soil moisture decrements by month for soil layers 0 - 100 mm, 100 - 300 mm a 300 - 500 mm. As important characteristic coming in calculation is volumetric portion of coarse fragments – stones (tab. 1).

Decrements of volumetric soil moisture (tab. 2) show the spruce depletes water for transpiration mainly from the layer of 0 – 100 mm. Beech shows more well-proportioned water depletion from particular soil layers. Results correspond to observed prevailing depth of dense rooting through pedon by fine roots. The depths for spruce and beech are respectively 100 mm and 400 mm. From the rooting through-depth we induced for calculating evapotranspiration the thickness of root zone equal to 500 mm.

The formula for calculating evapotranspiration in mm per month:

Evapotranspiration ET for a soil layer in mm/month =
= sum of volumetric soil moisture decrements *as decimal number* *
* soil layer thickness in mm *
* (1 – skeleton volumetric proportion *as decimal number*).

Total for three observed soil layers of root zone represents evapotranspiration of forest stand at month in question.

From results presented in tab. 3 gradual growth of beech evapotranspiration from May to June, relating to its foliation is obvious. Therefore in May and June spruce evapotranspiration was higher than that of beech. In September and October low evapotranspiration values were without distinguishable differences in both stands. In period of six months of growing season 2005, evapotranspiration of young spruce stand was 230 mm and young beech stand 217 mm, i.e. 37% and 35% of precipitation supply, respectively. This difference is negligible.

PODĚKOVÁNÍ:

Výsledky prezentované ve studii vznikly 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 a s finančním přispěním NAZV, projektu IG57016 Sráž-
koodtokové poměry horských lesů a jejich možnosti při zmírňování extrémních
situací – povodní a sucha.

Adresa autorů:

Ing. František Šach, CSc.

Ing. Vladimír Černohous

VÚLHM, VS Opočno

Na Olivě 550, Opočno 517 73, Česká Republika

sach@vulhmop.cz, cernohous@vulhmop.cz

Prof. Petr Kantor, CSc.

MZLU, LDF v Brně

Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká Republika

kantor@mendelu.cz