

## MERANIE TRANSPIRÁCIE SADENÍC BUKA LESNÉHO (*FAGUS SYLVATICA* L.) V PODMIENKACH SUCHA

### Measurement of the beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.) transpiration under the drought stress

Kovalčíková, D., Střelcová, K., Kurjak, D.

Katedra přírodního prostředí, Technická univerzita vo Zvolene

#### Abstrakt

V příspěvku sú predložené výsledky z pilotného merania transpiračného prúdu na sadeniach buka prostredníctvom „baby“ EMS 62 štandardného systému na meranie transpirácie vetiev alebo kmeňov s malými priermi. Meranie prebiehalo v letnom období 2010 na 10 jedincoch buka vo veku 4 rokov. Jedince sme rozdelili na 2 skupiny: suchom stresované a pravidelne zavlažované (kontrolné). Súčasne bol zaznamenávaný vodný potenciál pôdy. Simulácia sucha začala 9. júla 2010, meranie transpiračného prúdu 20. augusta 2010. Za účelom zistenia schopnosti obnovy transpirácie bola 24. augusta na suchom stresované jedince aplikovaná zálievka. Napriek očakávaniam sa na transpirácii neprejavila, aj keď absolútna hodnota vodného potenciálu pôdy klesla na minimum. Suchom stresované jedince dosahovali v porovnaní s kontrolnými jedincami podstatne nižšie hodnoty transpirácie pred aj po zavlažení. Zisťovali sme tiež závislosť transpirácie od meteorologických činiteľov, kontinuálne zaznamenávaných na mezoklimatickej stanici v Arboréte Borová hora. Transpirácia suchom stresovaných jedincov vykazovala v porovnaní s transpiráciou kontrolných jedincov nižšiu závislosť od meteorologických prvkov, vyjadrenú polynomicou regresnou funkciou druhého radu.

**Kľúčové slová:** transpirácia, *Fagus sylvatica*, metóda tepelnej bilancie, sucho

#### Abstract

The paper presents the results from the pilot measurement of the sap flow rate on the beech seedlings. „Baby“ EMS 62 modular sap flow systems for small stems or branches, were used. Transpiration in the ten 4-year-old beech seedlings was measured during the summer of 2010. They were divided into the two groups: drought stressed group and the regularly irrigated (control) group. The simulation of drought was started on 9<sup>th</sup> July 2010, and the measurement of sap flow on 20<sup>th</sup> August 2010. In order to find out the possibility for the transpiration recovery the irrigation was applied after severe drought exposure on the drought stressed seedlings on 24<sup>th</sup> August 2010. Despite expectations the irrigation did not influence transpiration of the drought stressed seedlings, although the absolute value of water potential decreased to a minimum. Drought stressed individuals achieved substantially lower values of transpiration both before and after irrigation in comparison with the control group. Further the functionality between transpiration and meteorological factors was found out. Used meteorological factors are continually recorded in the mesoclimatic station situated in the Borová hora arboretum. Transpiration of the drought stressed individuals showed lower functionality in relation to meteorological factors expressed by a polynomic regression function of the second order.

**Key words:** transpiration, *Fagus sylvatica*, heat balance method, drought

## Úvod

Voda je jednou z podmienok, bez ktorých nie je možná existencia živých organizmov. Významne teda ovplyvňuje aj rozšírenie a zdravotný stav našich drevín.

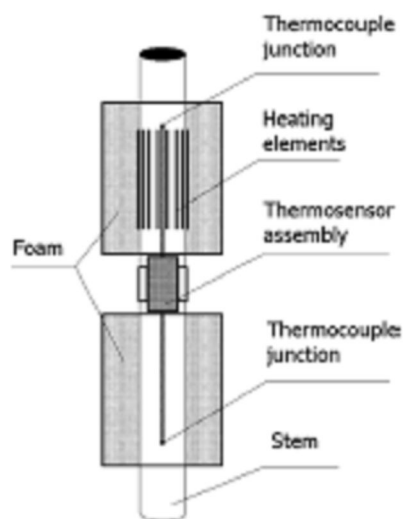
V súvislosti s diskusiou o globálnych klimatických zmenách sa do pozornosti dostáva problematika sucha a jeho dopad na lesné ekosystémy. Úbytok dostupnosti vody v priebehu vegetačného obdobia a výskyt škodlivých poveternostných javov, medzi ktoré patria okrem iného aj dlhé periódy sucha, patria medzi predpokladané dopady klimatických zmien (Hanson & Weltzin 2000, Liesebach 2002, Šútor et al. 2004, Houghton 2005, Lapin & Szemesová 2009).

Vo všeobecnosti za sucho pokladáme stav alebo časový interval, v ktorom je zaznamenaný deficit vody (Novák 2009) v pôde, v rastlinách alebo v atmosfére (Sobíšek et al. 1993). Ak tento stav alebo interval presiahne hranice tolerance rastliny, hovoríme o strese. Stres zabraňuje rastline v jej normálnych funkciách, čo má za následok redukciu rastu a reprodukcie (Slováková & Mistrík 2007).

Výskyt sucha je možné sledovať nielen z hľadiska meteorologického a hydrologického, ale i fyziologického, prostredníctvom priameho zisťovania stavu vody v rastline. Tento prístup je najspoľahlivejší z hľadiska stanovenia prítomnosti stresu suchom pôsobiaceho na rastlinu.

Jedným z fyziologických prejavov, na základe ktorého je možné pozorovať stres suchom je transpirácia. Jej význam spočíva v ochladzovaní rastliny, odstraňovaní nadbytočného turgoru a zvyšovaní príjmu a transportu minerálnych živín (Kmeť J. 1998). Za účelom merania transpiračného prúdu kmeňov bolo vyvinutých viacero metód. Veľká pozornosť je venovaná metóde tepelnej bilancie „trunk heat balance method“ (Čermák et al. 1973). Modifikáciou tejto metódy sú „baby“ senzory (Čermák et al. 2004), vhodné na meranie transpiračného prúdu vetiev a kmeňov s malým priemerom (6–20 mm), ktoré produkuje EMS Brno (obr. 1). Vo svojej práci ich opisujú Čermák et al. (1984) a neskôr aj Lindroth et al. (1995). Transpiráciu sadeníc pestovaných v kontajneroch je možné stanoviť i prostredníctvom gravimetrickej metódy, pri ktorej sa transpirácia zisťuje ako jediná výdajová zložka evapotranspirácie – elimináciou pôdnej evaporácie (Kovalčíková et al. 2010). Gravimetrická metóda je síce pomerne presná, no časovo náročná a prácna. Tieto nevýhody je však možné eliminovať použitím váh s kontinuálnym záznamom zmien hmotnosti. Výhodou v jednoduchosti aplikácie, časovej nenáročnosti a kontinuálnom zázname však disponujú aj vyššie spomínané „baby“ senzory. Ich ďalšou pozitívnou vlastnosťou je vylúčenie aplikácie plastových vriec slúžiacich na elimináciu výparu z pôdy, pretože už samotné uzavretie sadeníc do plastových vriec môže vplývať na sadenice ako stresový faktor.

Odpovediam fyziologických parametrov rôznych proveniencií sadeníc buka na stres suchom z hľadiska posúdenia adaptácie na suchu sa venujú Rose et al. (2009). Simuláciou sucha a jeho vplyvom na fyziologické charakteristiky sadeníc smreka sa zaoberali Ditmarová et al. (2010). Rose et al. (2009) podobne ako Ditmarová et al. (2010) realizovali experiment v podmienkach nádobového pokusu. Schraml & Rennenberg (2002) sa zaoberali reakciami rôznych ekotypov



Obr. 1 Schéma EMS „baby sensora“ pre konáre alebo kmene s malými priermi (Čermák et al. 2004)

buka na stres suchom sledovaním fyziologických charakteristík. Mnohí autori sledovali vplyv sucha na transpiráciu ako fyziologickú veličinu (Sala & Tenhunen 1996, Cienciala et al. 1997, Cochard et al. 2002, Aslam & Tahir 2003).

Pokusy poskytnúť kvantitatívne odhady využitia vody dospelých stromov založené na dátach získaných zo sadeníc v nádobách boli neúspešné (Wullschleger et al. 1998). V mladinách a malých stromoch je prietok vody cez hlavný kmeň ekvivalentný vzhľadom ku transpirácii koruny. Vo väčších stromoch však môže byť pozorované značné oneskorenie medzi kolísaním v transpirácii a kolísaním vo vodnom toku meranom blízko bázy kmeňa (Schulze et al. 1985). Meškanie môže mať rozsah od niekoľkých minút až po niekoľko hodín a je podľa všetkého spôsobený výmenou vody medzi transpiračným prúdom a zásobnými priestormi kmeňa nad bodom, v ktorom je vodný tok meraný (Wullschleger et al. 1998). Stromy s vyššou úložnou kapacitou udržiavajú maximálnu rýchlosť transpirácie podstatne dlhšiu časť dňa ako stromy s nižšou kapacitou (Goldstein et al. 1998).

Hanson & Weltzin (2000) poukazujú na vyššiu citlivosť mladších vekových štádií na deficit vody spôsobený silným alebo dlhotrvajúcim suchom. Dospelé stromy sú síce vďaka hlbokej koreňovej sústave a významným zásobám uhlíhydrátov a živín na deficit vody menej citlivé, sucho však u nich môže zvýšiť náchylnosť na napadnutie hmyzom alebo chorobami. Vekom sa tiež znižuje význam vplyvu interakcie genotypu s prostredím (Krajmerová 2007).

Pretože najväčší podiel zo spotreby vody pripadá na transpiráciu, niekedy sa spotreba vody stotožňuje s množstvom vody spotrebovaným na transpiráciu (Penka 1985). Pri dostatočne vlhkej pôde je transpirácia určovaná hlavne atmosférickými podmienkami, na prvom mieste je teplota a vlhkosť vzduchu. Na rýchlosť transpirácie kladne pôsobí tiež ožiarenie (Kincl & Krpeš 2000). Masarovičová (1989) potvrdila lineárnu regresiu medzi príjmom vody a priemernou dennou teplotou, rovnako ako medzi príjmom vody a sýtosťným doplnkom. Masarovičová et. al. (1989) konštatujú, že ak je drevina dostatočne (resp. optimálne) zásobená vodou, potom vnútorný vodný deficit nie je ovplyvňovaný vodným deficitom pôdy, ale predovšetkým evaporačnými požiadavkami ovzdušia. Tento fakt potvrdzujú i Matejka et al. (2009), ktorí sledovali zrýchľovanie transpirácie pôsobením vysokého sýtosťného doplnku hlavne v obdobiach, keď bol les dostatočne zásobený pôdnou vodou. Počas období so suchou pôdou sú rozdiely medzi transpiráciou ovplyvnenou priemerným sýtosťným doplnkom a vysokým sýtosťným doplnkom zanedbateľné.

Ciele práce boli nasledovné:

- vyhodnotenie výsledkov z pilotného merania transpiračného prúdu na sadeniach buka prostredníctvom "baby" EMS 62 štandardného systému na meranie transpirácie vetiev alebo kmeňov s malými priermi
- kvantifikácia poklesu transpirácie [ $g$ ;  $g \cdot m^{-2}$ ] suchom stresovaných sadeníc buka v porovnaní s potenciálnou transpiráciou pravidelne zavlažovaných sadeníc
- zistenie závislosti transpirácie od meteorologických činiteľov, zastúpených sýtosťným doplnkom

## **Materiál a metódy**

Objektom výskumu bolo 10 štvorročných sadeníc buka, pochádzajúcich z Podtatranskej semenárskej oblasti (6. lvs), lesný závod Beňuš. Sadenice boli umiestnené v Arboréte Borová hora a kvôli eliminácii zrážok nad nich bola aplikovaná striežka. Na sadeniach buka bol prostredníctvom "baby" EMS 62 štandardného systému na meranie transpirácie vetiev alebo kmeňov s malými priermi meraný transpiračný prúd v kmienkoch (obr. 2, obr. 3). Transpirácia bola zaznamenávaná v  $kg \cdot hod^{-1} \cdot cm$  v 10-minútových intervaloch. Transpirácia bola prepočítaná obvodom kmienka [ $cm$ ], čím sme získali hodnoty v  $kg \cdot hod^{-1}$ .

Meranie prebiehalo v letnom období 2010. Jedince sme rozdelili na 2 skupiny: suchom stresované a pravidelne zavlažované (kontrolné). Simulácia sucha sa začala 9. júla 2010, meranie transpiračného prúdu 20. augusta 2010. Za účelom zistenia schopnosti obnovy transpirácie bola 24. augusta na suchom stresované jedince aplikovaná zálievka.

Na hodnotenie vplyvu faktorov prostredia na transpiráciu sme použili meteorologické dáta, ktoré sú kontinuálne zaznamenávané na mezoklimatickej stanici v arboréte Borová hora a dostupné i na stránke Technickej univerzity vo Zvolene ([www.tuzvo.sk](http://www.tuzvo.sk)). Súčasne bol prostredníctvom sadrových bločkov Datalogger MicroLog SP3 (EMS Brno) zaznamenávaný vodný potenciál pôdy. Vizualizáciu a spracovanie dát nameraných meteorologických charakteristík sme realizovali v MINI 32 software (EMS Brno, ČR). Z nameraných meteorologických veličín (teplota a vlhkosť vzduchu) sme pomocou Magnusonovho vzorca vypočítali sýtočný doplnok (Sobišek et al. 1993). Na stanovenie závislosti intenzity transpirácie od sýtočného doplnku sme použili polynomicnú regresnú analýzu druhého radu v programe MINI 32.

Za účelom zistenia transpirácie na jednotku asimilačnej plochy bola prostredníctvom programu Černota (Kalina & Slovák 2004) stanovená plocha asimilačného aparátu jedincov buka a následne vypočítaná transpirácia na jednotku plochy v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Štatistickú analýzu sme realizovali pomocou programového balíka Statistica 7 (Duncanove párové testy).



Obr. 2 EMS „baby sensor“ pre konáre alebo kmene s malými priemerami

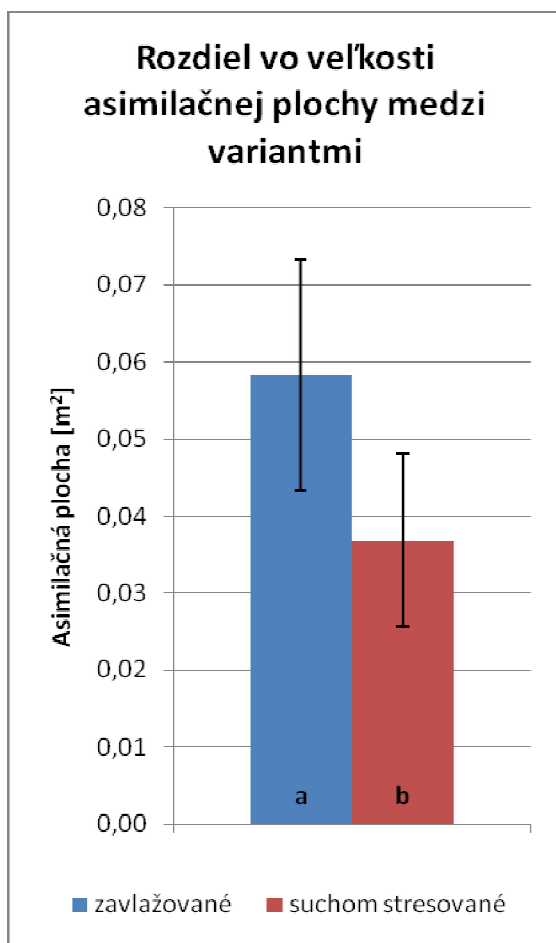


Obr. 3 Nádobový pokus so sadenicami buka

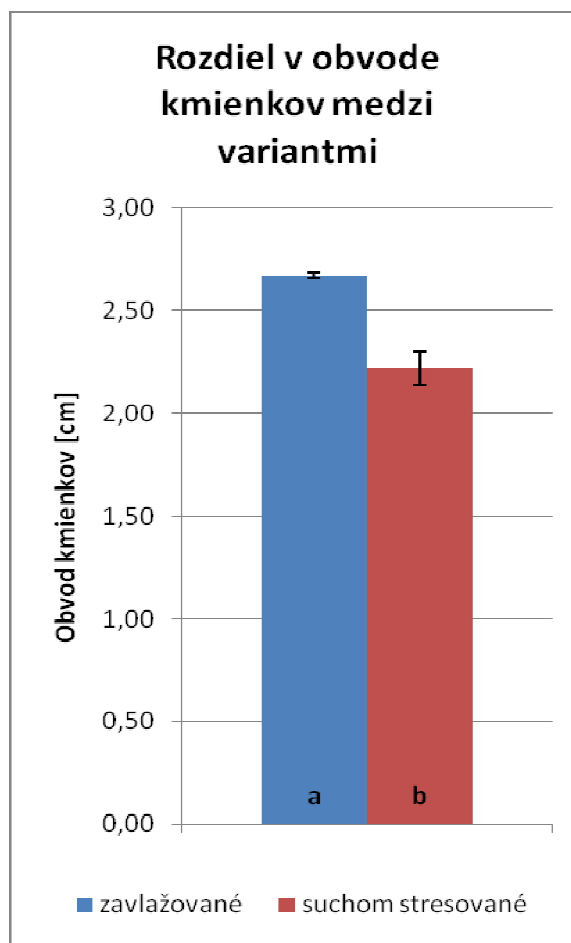
## Výsledky a diskusia

Celková suma priemerných denných súm transpirácie za obdobie 26 dní (20.8.–14.9.2010) predstavovala u suchom stresovaných jedincov iba 84,58 g vody, čo znamená 10,87 % z hodnoty 778,38 g, vytranspirovanej jedincami pravidelne zavlažovanými. Ak považujeme hodnoty pravidelne zavlažovaných jedincov za potenciálne, potom by strata v transpirácii predstavovala až 89,13 %.

Po stanovení asimilačnej plochy jedincov prostredníctvom programu Černota sme zistili, že asimilačný aparát je u pravidelne zavlažovaných jedincov v priemere 1,5-krát väčší ako u suchom stresovaných jedincov. Podľa Duncanových párových testov sú rozdiely medzi veľkosťou asimilačného aparátu u jedincov suchom stresovaných a pravidelne zavlažovaných štatisticky významné (obr. 4). Štatisticky významný rozdiel medzi sadenicami suchom stresovanými a zavlažovanými sa prejavil i pri hodnotení obvodu kmienkov sadeníc (obr. 5). Pravidelne zavlažované sadenice majú obvod kmienka v priemere 1,2-krát väčší ako suchom stresované sadenice.



**Obr. 4 Grafické znázornenie rozdielu vo veľkosti asimilačnej plochy suchom stresovaných a zavlažovaných sadeníc buka. Asimilačná plocha sadeníc bola stanovená prostredníctvom programu Černota (Kalina & Slovák 2004). Chybové úsečky vyjadrujú smerodajnú odchýlku s 95 %-nou spoľahlivosťou.**



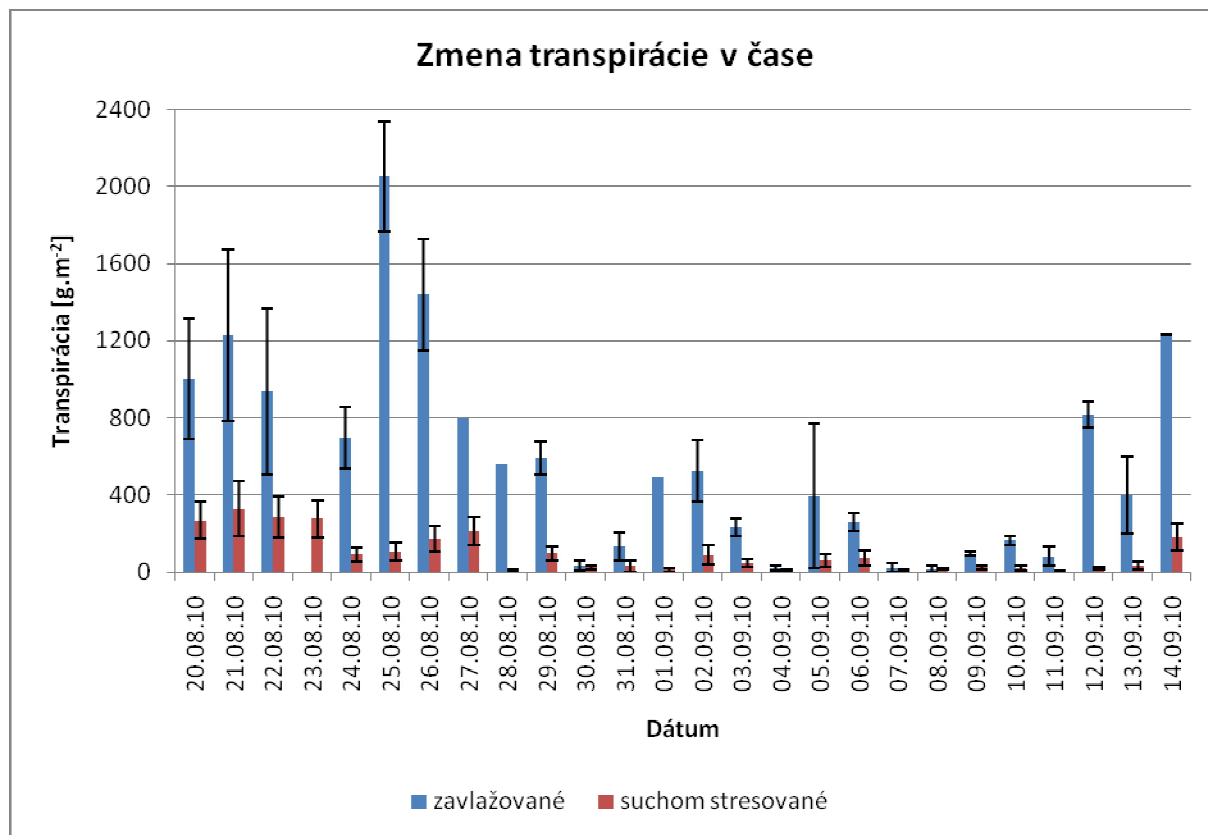
**Obr. 5 Grafické znázornenie rozdielu v obvode kmeňkov medzi suchom stresovanými a zavlažovanými sadenicami buka. Chybové úsečky vyjadrujú smerodajnú odchýlku s 95 %-nou spoľahlivosťou.**

Predpokladáme, že stres suchom, pôsobiaci na sadenice viac ako 2 mesiace, by mohol byť príčinou straty asimilačných orgánov a spôsobiť tak štatisticky významnú stratu asimilačného aparátu. Podobný negatívny vplyv by mohol byť vysvetlením nižšieho obvodu kmeňkov u suchom stresovaných sadeníc. Nedostatok vody v pletivách pravdepodobne zapríčinil zmršťovanie kmeňkov a v konečnom dôsledku zmenšenie ich obvodu.

Po výpočte transpirácie na jednotku plochy [m<sup>2</sup>] sa rozdiel medzi suchom stresovanými a pravidelne zavlažovanými jedincami mierne znížil. Jednotková transpirácia suchom stresovaných sadeníc dosiahla hodnotou 2524,63 g.m<sup>-2</sup> 17,74 % z potenciálnej jednotkovej transpirácie, reprezentovanej jedincami pravidelne zavlažovanými, ktoré v danom období dosiahli hodnotu 14233,64 g.m<sup>-2</sup>. Vývoj jednotkovej transpirácie [g.m<sup>-2</sup>] v období 20.8.–14.9.2010 podáva obr. 6. Dňa 23.8.2010 nastala porucha na zariadení a preto transpirácia pravidelne zavlažovaných jedincov dosahuje nulové hodnoty.

Ak je drevo dostatočne zásobená pôdnou vodou, transpirácia je ovplyvňovaná predovšetkým evaporačnými požiadavkami ovzdušia (Masarovičová et al. 1989, Matejka et al. 2009). Je zrejme, že priemerná denná transpirácia pravidelne zavlažovaných sadeníc koreluje s dennými priemermi sýtostného doplnku lepšie ako priemerná denná transpirácia

suchom stresovaných sadeníc. Tento fakt dokazujú tab. 1 a tab. 2, v ktorých sú uvedené výsledky regresnej analýzy. Podľa priemerných koeficientov determinácie je možné prisúdiť vplyvu sýtostného doplnku u zavlažovaných sadeníc 36,19 %, no u suchom stresovaných sadeníc iba 10,39 %. Pribeh denných súm transpirácie [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] a denných priemerov sýtostného doplnku znázorňuje obr. 7.



Obr. 6 Dynamika transpirácie v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  za obdobie 26 dní meraná v Arboréte Borová hora prostredníctvom „baby senzorov“, metódou tepelnej bilancie. Chybové úsečky vyjadrujú strednú chybu priemeru.

Tab. 1 Výsledky regresnej analýzy z programu MINI 32 vyjadrujúce závislosť intenzity transpirácie [ $\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ ] jednotlivých sadeníc buka variantu pravidelne zavlažovaných od sýtostného doplnku

č.	nezávislá	závislá	n	koeficienty regresnej rovnice $y = ax^2 + bx + c$			$R^2$
				A	b	c	
1	VPD	ITR	3744	9,04204E-9	-3,78421E-6	0,000500118	0,534665
2	VPD	ITR	3744	1,30384E-9	1,18287E-6	0,000714083	0,148871
3	VPD	ITR	3744	2,33054E-9	1,81571E-6	0,000203131	0,506251
4	VPD	ITR	3744	1,18158E-9	5,84139E-6	0,000310635	0,480084
5	VPD	ITR	3744	-519,109E-12	3,0277E,6	14,06116E-6	0,139747

VPD – sýtostný doplnok, ITR – intenzita transpirácie [ $\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ ], n – počet meraní

V období merania sme zaznamenali 6 zrážkových dní (s denným úhrnom zrážok nad 1 mm) a 6 dní s denným úhrnom zrážok nižším ako 1 mm. Na obr. 8 môžeme pozorovať priebeh transpirácie počas zamračených dní. Transpirácia sadeníc vykazuje počas zrážkových dní nižšie hodnoty ako v dňoch bez zrážok alebo so zrážkami pod hranicu 1 mm. Fabrika et al. (2009) uvádzajú hranicu 1 mm zrážok za deň ako štatisticky významný rozdiel v úrovni transpirácie stromov. Počas zrážkových dní je nižšia transpirácia zapríčinená nielen

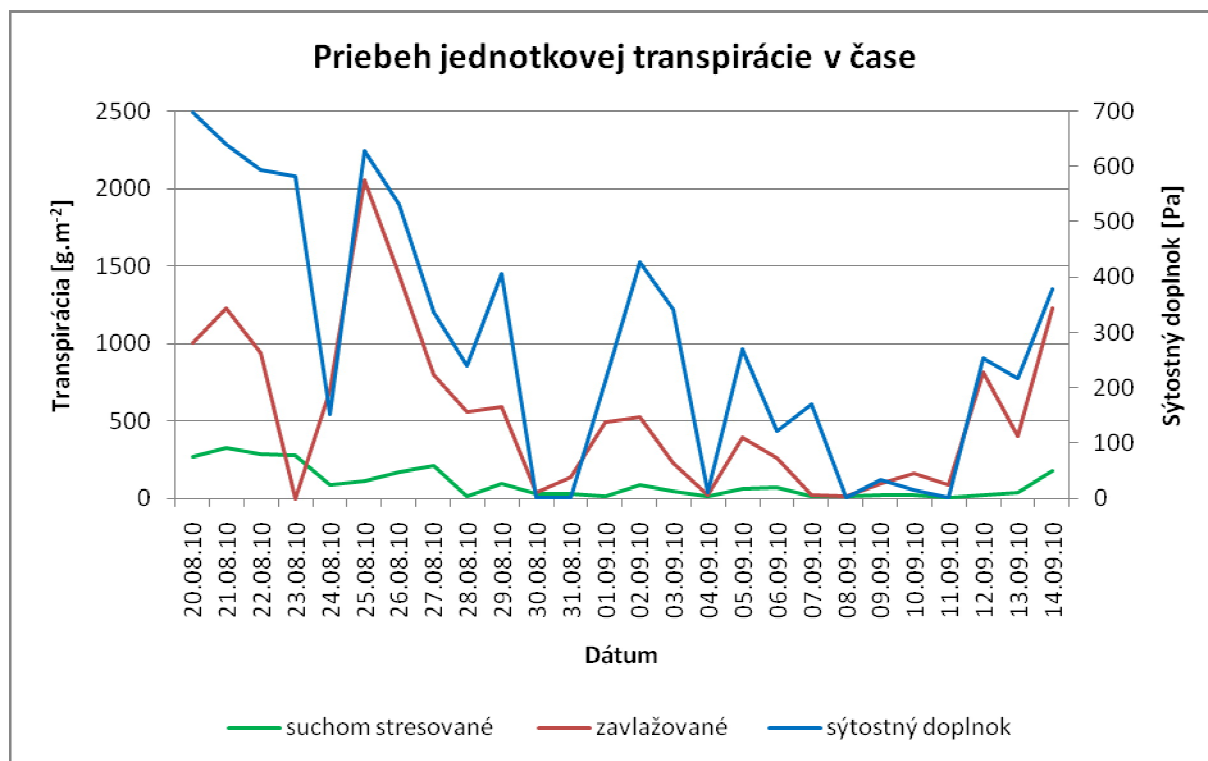


samotnými zrážkami, ale najmä vplyvom oblačnosti zníženou dennou globálnou radiáciou a zvýšenou vlhkosťou vzduchu. Herzog et al. (1998) uvádzajú, že zrážky zachytávané korunami stromov poskytujú vlhkosť k listom priľahlej vrstve. Pri výpare je táto vlhkosť spotrebovávaná skôr ako voda obsiahnutá v rastline, čím je transpirácia potlačená a požiadavka výparu zredukovaná. V našom prípade však bola intercepcia zo zrážok vylúčená, vzhľadom na umiestnenie sadeníc pod strieškou.

**Tab. 2** Výsledky regresnej analýzy z programu MINI 32 vyjadrujúce závislosť intenzity transpirácie [kg.hod<sup>-1</sup>] jednotlivých sadeníc buka variantu suchom stresovaných od sýtostného doplnku

č.	nezávislá	závislá	n	koeficienty regresnej rovnice $y = ax^2 + bx + c$			R <sup>2</sup>
				a	b	c	
1	VPD	ITR	3744	18,337E-12	-13,3796E-9	5,01318E-6	0,003177
2	VPD	ITR	3744	1,05035E-9	-121,921E-9	0,000115561	0,247219
3	VPD	ITR	3744	1,44459E-9	-924,882E-9	96,4591E-6	0,249679
4	VPD	ITR	3744	-3,0182E-12	-59,023E-9	94,4895E-6	0,012474
5	VPD	ITR	3744	51,9111E-12	-11,2442E-9	32,1239E-6	0,006867

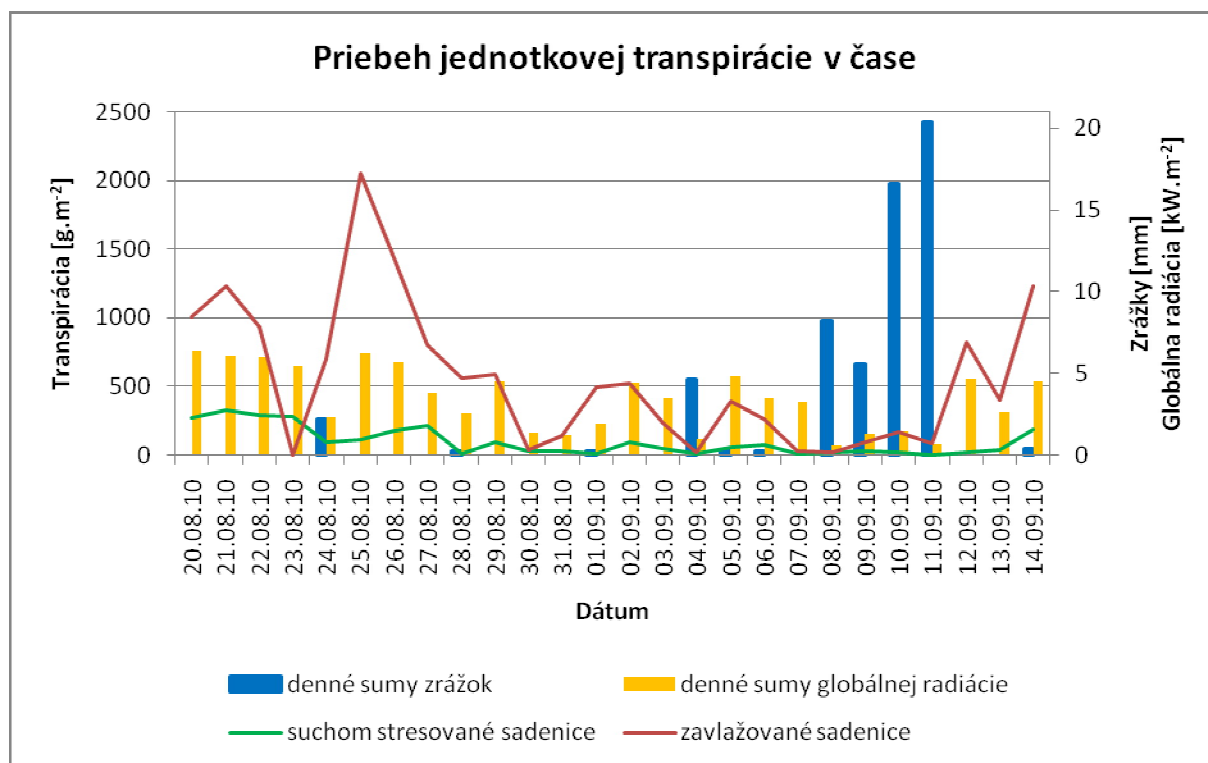
VPD – sýtostný doplnok, ITR – intenzita transpirácie [kg.hod<sup>-1</sup>], n – počet meraní



**Obr. 7** Priebeh priemerných denných súm transpirácie [g.m<sup>-2</sup>] za obdobie 26 dní, meranej v Arboréte Borová hora prostredníctvom „baby senzorov“, metódou tepelnej bilancie, doplnený krivkou sýtostného doplnku, vypočítaného prostredníctvom Magnusonovho vzorca z meteorologických veličín teplota a vlhkosť vzduchu, kontinuálne zaznamenávaných na mezoklimatickej stanici v Arboréte Borová hora.

Za účelom zistenia schopnosti obnovy transpirácie bola 24. augusta na suchom stresované jedince aplikovaná zálievka. Napriek očakávaniam sa na transpirácii neprejavila, aj keď absolútna hodnota vodného potenciálu pôdy klesla v niektorých prípadoch až z 11 barov na minimum blízke k nule.

Na rozdiel od suchom stresovaných sadeníc sa na transpirácii pravidelne zavlažovaných sadeníc po aplikácii zálievky (24.8.2010) prejavil nárast transpirácie, zaznamenaný nasledujúci deň po zálievke (obr. 7, obr. 8).



Obr. 8 Priebeh priemerných denných súm transpirácie [g.m<sup>-2</sup>] za obdobie 26 dní, meranej v Arboréte Borová hora prostredníctvom „baby senzorov“, metódou tepelnej bilancie, doplnený hodnotami denných súm globálnej radiácie a zrážok, kontinuálne zaznamenaných na mezoklimatickej stanici v Arboréte Borová hora.

## Záver

Nižšia transpirácia suchom stresovaných sadeníc bola samozrejme očakávaná. Zálievka suchom stresovaných sadeníc po viac ako 2 mesiacoch bez zalievania bola aplikovaná príliš neskoro a preto nespôsobila zvýšenie transpirácie suchom stresovaných sadeníc.

Na suchom stresovaných sadenicích sa prejavili v porovnaní s pravidelne zavlažovanými sadenicami pomerne veľké rozdiely v hodnotách biometrických veličín (plocha asimilačných orgánov, obvod kmienkov), ktoré pripisujeme dlhodobému negatívnemu vplyvu sucha.

Na základe zhodnotenia výsledkov z pilotného merania transpiračného prúdu na sadenicích buka prostredníctvom „baby“ EMS 62 štandardného systému na meranie transpirácie vetiev alebo kmeňov s malými priermi možno skonštatovať, že namerané hodnoty sú v porovnaní s gravimetrickým meraním reálne, no oproti gravimetrickému meraniu poskytujú množstvo výhod. Je to najmä nepretržitosť a časová nenáročnosť merania. Požadovaná inštalácia „baby senzorov“ je jednoduchá. Výpadok záznamu v prípade pravidelne zavlažovaných sadeníc 23.8.2010 však poukazuje na možné riziko spojené s technickým prevedením.

## Dedikácia

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0022-07.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS:26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR a SAV na základe zmluvy č. VEGA 2/0006/11 (2011-2013): "Ekofyziologická reakcia vybraných proveniencií lesných drevín na sucho".

Autori ďakujú za podporu projektu VEGA MŠ SR No. 1/0642/10 a projektu "Centrum excelentnosti: Integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach", na základe podpory OP Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja na základe zmluvy č. 26220120062.

## Použitá literatúra

Aslam M., Tahir M. H. N. (2003): Morpho-physiological Response of Maize Inbred Lines under Drought Environment. *Asian Journal of Plant Sciences* 2 (13): 952–954.

Cienciala E., Kučera J., Lindroth A., Čermák J., Grelle A., Halldin S. (1997): Canopy transpiration from a boreal forest in Sweden during a dry year. *Agricultural and Forest Meteorology* 86: 157–167.

Cochard H., Coll L., Le Roux X., Améglio T. (2002): Unraveling the Effects of Plant Hydraulics on Stomatal Closure during Water Stress in Walnut. *Plant Physiol.* 128: 282–290.

Čermák J., Deml M., Penka M. (1973): A new method of sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum* 15: 171–178.

Čermák J., Jeník J., Kučera J., Židek V. (1984): Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia* 64: 145–151.

Čermák J., Kučera J., Nadezhdina N. (2004): Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18: 529–546.

Ditmarová L., Kurjak D., Palmroth S., Kmeť J., Střelcová K. (2010): Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. *Tree Physiology* 30 (2): 205–213.

Fabrika M., Střelcová K., Magová D. (2009): Empirický model transpirácie buka v rastovom simulátore SIBYLA. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen* 51 (3): 99–112.

Goldstein G., Andrade J. L., Meinzer F. C., Holbrok N. M., Cavalier J., Jackson P., Celis A. (1998): Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant, Cell and Environment* 21: 397–406.

Hanson P. J., Weltzin J. F. (2000): Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *The Science of the Total Environment* 262: 205–220.

Herzog K. M., Thum R., Kronfub G., Heldstab H. J., Hásler R. (1998): Patterns and mechanisms of transpiration in a large subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Ecological Research* 13: 105–116.

Houghton J. (2005): Global warming. *Reports on Progress in Physics* 68: 1343–1403.

Kalina J., Slovák V. (2004): The inexpensive tool for the determination of projected leaf area. *Ekológia Bratislava* 23 (Suppl. 2): 163–167.

Kincl M., Krpeš V. (2000): *Základy fyziologie rostlin*. Montanex, Ostrava, 221 s.

Kmeť J. (1998): *Fyziológia rastlín*. Technická univerzita vo Zvolene, 164 s.

Kovalčíková D., Kurjak D., Střelcová K., Ditmarová L. (2010): Charakteristiky vodného režimu sadeníc smreka v podmienkach stresu suchom. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, v tlači.

Krajmerová D. (2007): Vyhodnotenie niektorých rastových a adaptačných charakteristík poľských a slovenských proveniencií smreka obyčajného. Dizertačná práca, Zvolen, 168 s.

Lapin M., Szemesová J. (2009): Review of climate change and GHGs inventory in Slovakia. *Meteorologický časopis* 12: 151–155.

Liesebach M. (2002): On the Adaptability of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to the projected Change of Climate in Germany. Forst-wissenschaftliches Centralblatt 121 (Suppl. 1): 130–144.

Lindroth A., Čermák J., Kučera J., Cienciala E., Eckersten H. (1995): Sap flow by heat balance method applied to small size *Salix*-trees in a short-rotation forest. Biomass and bioenergy 8: 7–15.

Masarovičová E. (1989): Water uptake, carbon dioxide assimilation nad growth of the common oak saplings (*Quercus robur* L.). Biológia Bratislava 44 (9): 827–836.

Masarovičová E., Navara J., Požgaj J. (1989): Využitie kompenzačných lyzimetrov na stanovenie príjmu vody mladými stromami duba (*Quercus cerris* L.). Lesnictví 35 (5): 405–414.

Matejka F., Střelcová K., Hortalová T., Gömöryová E., Ditmarová Ľ. (2009): Seasonal Changes in Transpiration and Soil Water Content in a Spruce Primeval Forest During a Dry Period. In: Střelcová K., Matyas C., Kleidon A., Lapin M., Matejka F., Blaženec M., Škvarenina J., Holécý J.: Bioclimatology nad Natural Hazards. Springer, 298 p.

Novák V. (2009): Physiological drought – How to Quatify it? In: Střelcová K., Matyas C., Kleidon A., Lapin M., Matejka F., Blaženec M., Škvarenina J., Holécý J.: Bioclimatology nad Natural Hazards. Springer, 298 p.

Penka M. (1985): Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia Praha, 256 s.

Rose L., Leuschner Ch., Köckemann B., Buschmann H. (2009): Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? European Journal of Forest Research 128: 335–343.

Sala A., Tenhunen J. D. (1996): Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought. Agricultural and Forest Meteorology 78: 203–222.

Schraml C., Rennenberg H. (2002): Ökotypen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) zeigen unterschiedliche Reaktionen auf Trockenstress. Forst-wissenschaftliches Centralblatt 121 (2): 59–72.

Schulze E. D., Čermák J., Matyssek R., Penka M., Zimmermann R., Vasíček F., Gries W., Kučera J. (1985): Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees - a comparison of xylem flow, porometer and cuvette measurements. Oecologia 66: 475–483.

Slováková Ľ., Mistrík I. (2007): Fyziologické procesy v podmienkach stresu. UK Bratislava, 240 s.

Sobišek B., Bednář J., Černava S., Flux J., Frühbauer J., Gottwald A., Hodan L., Jurčovič P., Kakos V., Kalvová J., Koldovský M., Kopáček J., Krejčí J., Krška K., Munzar J., Nedelka M., Otruba A., Panenka I., Papež sen. A., Pícha J., Podhorský D., Popolanský F., Pretel J., Pribiš J., Rein F., Setvák M., Schoberová E., Slabá N., Sládek I., Strachota J., Štekl J., Táborský Z., Trefná E., Trhlík M., Vesecký A., Zeman M., Zikmunda O. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 594 s.

Šútor J., Gomboš M., Ivančo J. (2004): Impakt extrémnych meteorologických javov na vodný režim v prírodných podmienkach Východoslovenskej nížiny. Dostupné na internete: [http://fzki.uniag.sk/web/bpd2004/content/07Sekcia\\_agrohydrologie\\_a\\_ochrany\\_pody/Sutor.pdf](http://fzki.uniag.sk/web/bpd2004/content/07Sekcia_agrohydrologie_a_ochrany_pody/Sutor.pdf)

Wullschleger S. D., Meinzer F. C., Vertessy R. A. (1998): A review of whole-plant water use studies in trees. Tree Physiology 18: 499–512.

**Kontaktná adresa 1. autora:**  
dana.kovalcik@gmail.com