

Vplyv zníženej dostupnosti pôdnej vody na transpiračný prúd buka lesného (*Fagus sylvatica* L.)

Impact of reduced availability of soil water on the sap flow in European beech
(*Fagus sylvatica* L.)

Paulína Nalevanková¹, Zuzana Sitková², Katarína Střelcová¹

*Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,
Slovenská republika¹; Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G.
Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovenská republika²*

Abstrakt

Cieľom výskumu bolo analyzovať vplyv zníženej dostupnosti vody a meteorologických parametrov na transpiračný prúd buka počas vegetačnej sezóny dvoch rokov (2012, 2013). Transpirácia ako produktívny výpar je považovaná za najvýznamnejšiu zložku vodnej bilancie porastov, pričom jej limitácia je fyziologickou reakciou drevín na stres suchom. Experiment prebiehal na 12 dospelých vzorníkoch buka, rozdelených do dvoch skupín – kontrolnej (vystavenej podmienkam prírodného sucha) a zavlažovanej (s aplikovanou závlahou). Výsledky preukázali významný kvantitatívny rozdiel v transpiračnom prúde buka medzi variantami po aplikácii intenzívnej závlahy v období sucha. V roku 2012 bola transpirácia kontrolnej skupiny bukov počas obdobia sucha o 30 % nižšia v porovnaní so zavlažovanou skupinou. V roku 2013 bol rozdiel medzi skupinami vzorníkov ešte o niečo vyšší (38 %). Zároveň sme zistili významný efekt pôdneho a atmosférického sucha na rast a vodný status vzorníkov buka pri pretrvávajúcich nízkych hodnotách vodného potenciálu pôdy. Najsilnejšia závislosť transpirácie bola preukázaná na vodnom sýtostnom doplnku a potenciálnej evapotranspirácii ($p < 0,05$). Signifikantná korelácia bola preukázaná aj vo vzťahu ku globálnej radiácii a teplote vzduchu. Vplyv pôdneho sucha na transpiráciu sa začal významne prejavovať pri hodnote vodného potenciálu pôdy -6 barov.

Kľúčové slová: *Fagus sylvatica* L., transpirácia, pôdne sucho, sýtostný doplnok

Abstract

Objective of our research was to analyse an impact of the reduced soil water availability and meteorological variables on sap flow in European beech during the growing seasons 2012 and 2013. A transpiration as a productive evaporation is considered to be the most important component of water balance whereas a limitation of transpiration is the physiological

response of trees on drought stress. Experiment was conducted on 12 samples of beech that were divided into two equal groups – 6 control samples were exposed to the conditions of natural drought and rest 6 trees were intensively irrigated during drought period. The results show the significant difference in sap flow of beech between groups after the application of the intense irrigation. In drought period 2012, the transpiration in the control variant was reduced by 30% when compared to the sap flow in irrigated trees. In 2013, even slightly higher difference between groups was found (by 38%). The results suggest the tight interaction effect of the soil and air drought on growth and water status of beech samples subjected to prolonged soil water shortage. The strongest dependency of transpiration (at $p < 0.05$) was found on vapour pressure deficit and potential evapotranspiration, in both treatment and years. The positive and significant correlations we observed with air temperatures and global radiation. The impact of soil drought on transpiration have begun to manifest significantly as soil water potential dropped to less than -0.6 MPa.

Key words: *Fagus sylvatica* L., transpiration, soil drought, vapour pressure deficit

Úvod

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) patrí medzi najvýznamnejšie dreviny Slovenska i Európy. So zastúpením 32,2 % (ZELENÁ SPRÁVA 2013) je našou najrozšírenejšou a hospodársky najvýznamnejšou drevinou. Okrem ekonomického hľadiska je vysoko cenený aj pre svoju ekologickú a pestovateľskú hodnotu, má význam pri stabilizácii lesných ekosystémov. Buk je vnímaný ako ťažiskový druh mnohých lesných spoločenstiev, bukové porasty sú významné pre produkciu podzemných vôd a regeneráciu vyčerpaných pôd (FRÝDL *et al.* 2011). V posledných dvoch desaťročiach táto drevina nadobúda veľký význam z hľadiska zvyšovania statickej a ekologickej stability najmä sekundárnych ihličnatých monokultúr (DEDRICK *et al.* 2007). Na Slovensku sa ide najmä o rozsiahle smrekové monokultúry, ohrozované mnohými biotickými a abiotickými faktormi (znečistenie ovzdušia, lykožrút smrekový, veterné kalamity, požiare, hubové patogény a pod.). V bioklimatických podmienkach Európy, ako aj z hľadiska predpokladanej zmeny klímy (oteplovanie vzduchu, meniace sa priestorové a časové usporiadanie zrážok atď.) sa buk pokladá za viac perspektívny druh ako smrek (LINDNER *et al.* 2010). Na druhej strane však mnoho štúdií poukazuje na citlivosť buka na extrémne a dlhotrvajúce sucha (GESSLER *et al.* 2007, GRANIER *et al.* 2007). Buk je náročný na vodu a pri porovnaní s ostatnými drevinami môžeme zaradiť k drevinám s nadpriemerne vysokou, i keď nie extrémnou spotrebou vody (STŘELCOVÁ & MINĎÁŠ 2000). V súčasnosti sa vzhľadom k významnosti buka (z ekologického aj

hospodárskeho hľadiska) široká vedecká komunita zameriava na riešenie otázok spojených s dopadom prebiehajúcich klimatických zmien na budúcnosť a stabilitu bukových porastov, so zámerom vyvodit' závery o citlivosti buka na nedostatok vody a o jeho využiteľnosti v budúcich pestovateľských opatreniach. Viacerí autori sa venovali výskumu fyziologickej reakcie sadeníc rôznych proveniencií buka na stres suchom (ROSE *et al.* 2009, KOVALČÍKOVÁ *et al.* 2011), iní sa v mnohých prácach zamerali na štúdium odozvy transpiračného prúdu a transpirácie na faktory prírodného prostredia (napr. sýtosťný doplnok, potenciálnu evapotranspiráciu, vodný potenciál pôdy) v rozličných stanovištných a porastových podmienkach (NADEZHDINA *et al.* 2014, KLEIN *et al.* 2012, DALSGAARD *et al.* 2011, STŘELCOVÁ *et al.* 2013). Na základe doterajších výskumov a zistení považujeme výskum fyziologických reakcií dospelých jedincov buka na nedostatok pôdnej vody za veľmi aktuálny a pre vedeckú verejnosť i prax značne prínosný. V našej práci sa zameriame na hodnotenie dynamiky transpiračného prúdu z pohľadu jeho odozvy na podmienky prirodzeného sucha a na meniace sa klimatické charakteristiky prostredia. Výsledky a údaje uvedené v tomto príspevku boli získané v rámci širšieho ekofyziologického výskumu a komplexnejšie sú publikované v práci SITKOVÁ *et al.* (2014).

Materiál a metódy

Výskumná plocha Bienska dolina je situovaná v centrálnej časti Slovenskej republiky, v rámci geomorfologického celku Kremnické vrchy, na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene (lesný obvod Bieň) (obr. 1). Nachádza sa v nadmorskej výške 450 m n. m. v treťom, dubovo-bukovom lesnom vegetačnom stupni (HSLT 311 - živné dubové bučiny), na miernom svahu východnej expozície, so sklonom maximálne do 30 %. Pôdnym typom je kambizem modálna. Plocha je založená v 65 ročnom, jednoetážovom poraste buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) so zakmenením 0,9, v ktorom buk je zastúpený 85 %. V poraste sa nachádzajú sprievodné dreviny dub (*Quercus petraea*) a smrekovec (*Larix decidua*), v zastúpení 10 a 5%. Z meraní porastových charakteristík v experimentálnom poraste na ploche 32 x 19 metrov pomocou FieldMap technológie vyplýva, že priemerná hrúbka kmeňov v skupine zavlažovaných a nezavlažovaných vzorníkov buka je porovnateľná (kontrolná skupina 32,0 cm, zavlažovaná skupina 32,7 cm). Na Obr. 2 je znázornený celkový dizajn experimentálneho porastu ako výsledok použitia tejto technológie.

Kontinuálne meranie transpiračného prúdu bolo realizované na 12 jedincoch buka lesného rozdelených do dvoch skupín (6 zavlažovaných vzorníkov a 6 kontrolných, nezavlažovaných

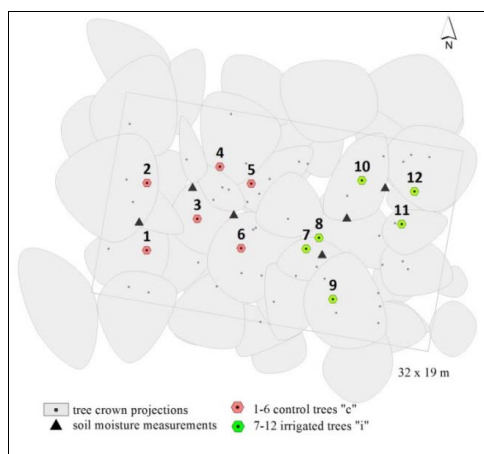
vzorníkov). Meranie sa uskutočnilo s využitím metódy tepelnej bilancie („Tree-trunk Heat Balance method“) podľa ČERMÁKA *et al.* (2004). Meteorologické prvky boli merané digitálnou meteorologickou stanicou (EMS Brno, CZ) umiestnenou na neďalekej voľnej ploche (obr. 1 vpravo). Počas dvoch rokov výskumu boli merané nasledujúce prvky: teplota a relatívna vlhkosť vzduchu (senzorom EMS33) a globálne žiarenie (senzorom EMS11) vo výške 2 metre nad zemou, ďalej zrážky (1 m nad zemou) a vodný potenciál pôdy v troch hĺbkach (15 cm, 30 cm a 50 cm) sondou MicroLog SP3. Za účelom komparačnej štúdie fyziologických procesov u jedincov buka v kontrastnom režime vlhkosti pôdy sme v poraste vybudovali zavlažovací systém. Jednotlivé zavlažovacie dávky sa v oboch rokoch aplikovali na pôdu priamo ku kmeňom jedincov zavlažovanej skupiny pomocou perforovaných zavlažovacích hadíc, inštalovaných v sústredných kruhoch. Intenzívna zavlažovacia kampaň sa v oboch rokoch spustila začiatkom júla (3. 7. 2012 a 8. 7. 2013), pričom v prvom roku bolo do porastu aplikovaných 96 m³ vody počas 32 dní, v druhom roku experimentu zálievka činila 102 m³ vody a bola aplikovaná v priebehu 23 dní.

Klimatickú charakteristiku územia znázorňuje klimadiagram pre blízku lokalitu Boky – sever (stanica TUZVO) odvodený na základe dlhodobých mesačných údajov (1961 – 1990) okolitých staníc SHMÚ (obr 3). Lokalita sa vyznačuje priemernou ročnou teplotou 7,3 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 690 mm.

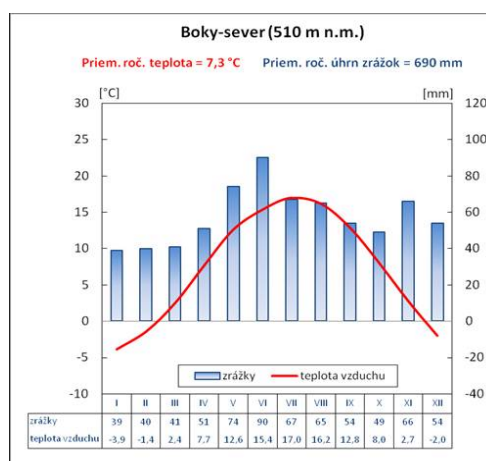
Pre určenie závislosti transpiračného prúdu na faktoroch prostredia sme použili regresnú a korelačnú analýzu. Pre analýzu sme použili iba dáta z tých dní, v ktorých bol preukázaný signifikantný rozdiel v transpiračnom prúde medzi skupinami (27 dní v roku 2012 a 11 dní v roku 2013) (obr.6). Na identifikáciu týchto dní (SIG-dni) sme použili analýzu variancie (one way ANOVA - Fisher's LSD post hoc test). Štatistické analýzy boli vykonané pomocou softvéru STATISTICA Cz, verzia 10.



Obr. 1 Lokalizácia výskumnej plochy Bienska dolina v centrálnej časti Slovenska (vľavo), umiestnenie plochy v poraste (biely obdĺžnik) a poloha meteorologickej stanice (biely bod)(vpravo)



Obr. 2 Dizajn experimentálnej plochy, rozmiestnenie cieľových stromov (kontrola – červené, zavlažované - zelené), pôdnych sond (trojuholníky) a korunové projekcie stromov

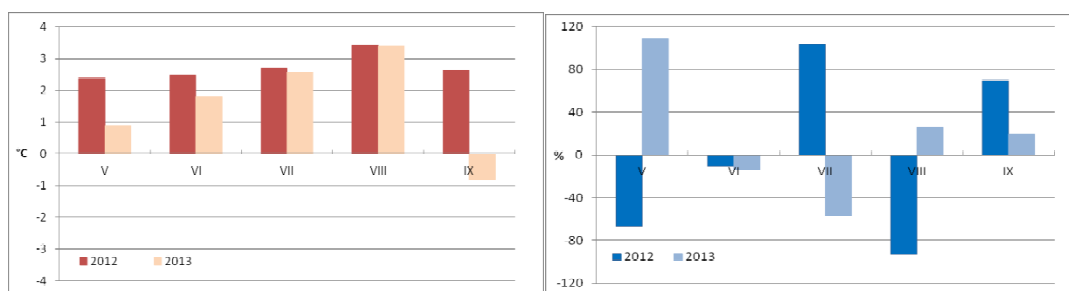


Obr. 3 Klimadiagram odvodený na základe dlhodobých údajov (1961 – 1990) z klimatologických staníc siete SHMÚ

Výsledky a diskusia

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je považovaný za drevinu citlivú na nedostatok vody v pôde (GRANIER *et al.* 2007) a to obzvlášť, keď je pôdne sucho sprevádzané ďalšími rizikovými faktormi vonkajšieho prostredia ako sú extrémne teploty vzduchu, vysoký sýtosťný doplnok a pod. Vegetačná sezóna roku 2012, rovnako ako roku 2013, sa vyznačovala výrazne vyššími priemernými mesačnými teplotami vzduchu v porovnaní s dlhodobým priemerom, a to najmä v letných mesiacoch júl, august. Priemerná augustová mesačná teplota vzduchu prekročila dlhodobý priemer až o 3,4 °C v oboch rokoch (obr. 4). Úhrn zrážok za sledované obdobie (máj až september) v prvom roku bol 283 mm. V roku 2013 činil úhrn zrážok zaznamenaný za rovnaké obdobie 407 mm, predovšetkým vďaka výdatným májovým zrážkam (209 % zo zrážkového normálu). Podobná situácia nastala v júli 2012, kedy mesačný zrážkový úhrn prekročil dlhodobý normál o viac ako 100 % (136,3 mm). V júli 2013 nastali, čo sa týka zrážkových pomerov, odlišné podmienky, nakoľko v tomto roku bol zaznamenaný výrazne podpriemerný mesačný úhrn zrážok (len 29 mm, tzn. 43% normálu). Najnižší úhrn zrážok za oba roky pripadá na august 2012 (4,4 mm, tzn. 7 % z normálu). Nástup vegetačného obdobia roku 2013 bol ovplyvnený dlhšie trvajúcim chladným počasím zo začiatku roka, kedy boli teploty vzduchu pod nulou zaznamenané aj v prvej dekáde apríla. Priemerný denný sýtosťný doplnok (VPD) sa pohyboval v intervale 0,10–1,94 kPa v roku 2012 a v roku 2013 nadobúdala hodnoty v intervale 0,01–2,01 kPa (obr. 5). Suma potenciálnej evapotranspirácie (PET) za periódu máj až september činila 759 mm (2012) a 706 mm (2013). Maximálna PET bola zaznamenaná v dňoch 3. júla 2012 (8,9 mm) a 24. júla 2013 (8,0 mm).

Vývoj pôdnej vlhkosti v roku 2013 sa do istej miery podobal na vývoj v roku 2012. Hodnoty vodného potenciálu pôdy začali klesať na prelome júna a júla a perióda zníženej dostupnosti pôdnej vody s hodnotami vodného potenciálu pôdy (SWP) – 11 barov trvala až do konca augusta (obr. 5). V roku 2012 začalo obdobie sucha o niečo neskôr, začiatkom augusta a ukončené bolo výdatnými zrážkami po prvej septembrovej dekáde (obr. 6). Na základe toho usudzujeme, že v oboch rokoch trvania pokusu nastali podmienky vhodné pre analýzu vplyvu nedostatku vody na fyziologické procesy buka lesného. V predkladanom príspevku sa zameriavame na vyhodnotenie transpiračného prúdu ako odozvy dreveniny na vodný deficit.



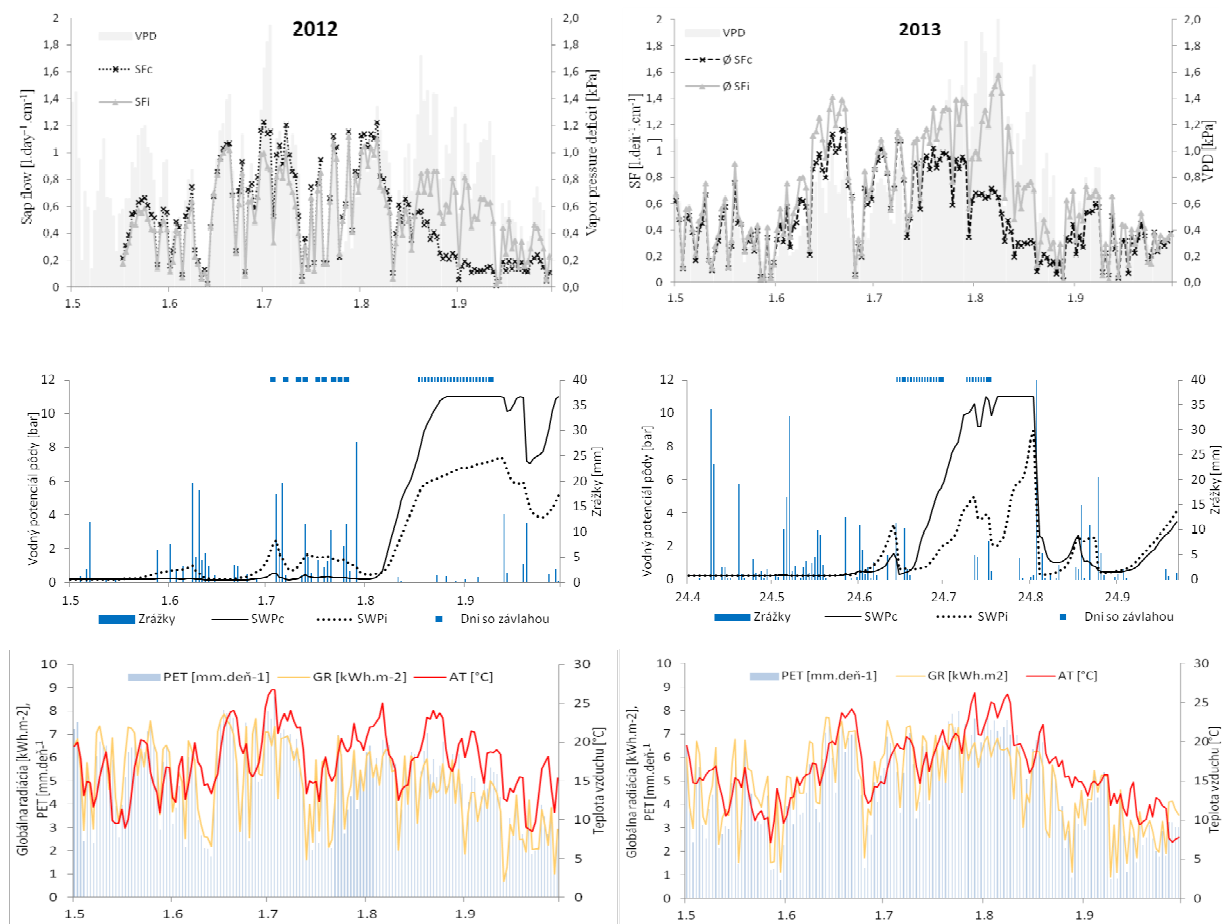
Obr. 4 Odchýlky priemerných mesačných teplôt vzduchu (°C) a úhrnov zrážok (%) v rokoch 2012 a 2013 od dlhodobého priemeru (1961 – 199) na lokalite Bienska dolina

Na obr. 5 vidíme, že od začiatku sledovaného obdobia bol transpiračný prúd oboch skupín vyrovnaný s kolísavým priebehom. Viditeľné rozdiely v transpirácii sa prejavili po spustení intenzívneho zavlažovania v období, keď hodnoty SWP klesli na –11 barov (v grafe sú znázornené absolútne hodnoty), kedy bola transpirácia týchto jedincov buka limitovaná nedostatkom dostupnej pôdnej vody. Za celú sezónu roku 2012 pretranspirovala zavlažovaná skupina priemerne 74 l vody na centimeter obvodu kmeňa, zatiaľ čo v kontrolnej skupine to bolo 69 l.cm⁻¹. O niečo vyšší objem transpirovanej vody bol pozorovaný v roku 2013 v oboch variantoch (SF_i = 101 l.cm⁻¹, SF_c = 77 l.cm⁻¹). Transpirácia v oboch skupinách stromov bola o niečo vyššia v roku 2013 ako v roku 2012. V suchom období (obr. 6) 2012 bolo v kontrolnej skupine preukázané 29,6 % zníženie objemu transpirácie oproti zavlažovanej skupine. V roku 2013 bol zistený rozdiel 38,1 %. Tieto zistenia sa v zásade zhodujú s výsledkami mnohých štúdií vykonávaných na rôznych, no najviac na ihličnatých drevinách, ako sú smrek obyčajný (CLAUSNITZER *et al.* 2011, STŘELCOVÁ *et al.* 2013), duglaska (NADHEZHINA *et al.* 2014) a pod. K redukcii transpirácie dochádza jednak z dôvodu poklesu gradientu vodného potenciálu medzi listom a pôdou (STŘELCOVÁ *et al.* 2009), jednak z dôvodu reakcie prieduchovej vodivosti na zmenu pôdnej vlhkosti (HARRIS *et al.* 2004). Reakcia rastlín na suchu je však závislá aj na dĺžke trvania, resp. kumulácii deficitu vody (NIINEMETS 2010).

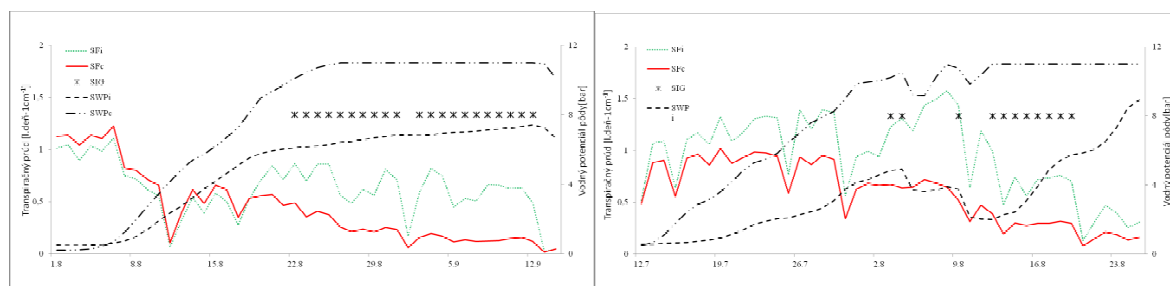
V rámci vegetačnej sezóny oboch rokov sme vybrali dni (SIG), v ktorých sa vyskytli štatisticky významné rozdiely v transpirácii medzi kontrolnou skupinou (skupina vystavená podmienkam prirodzeného sucha) a skupinou dodatočne zavlažovanou. V týchto dňoch sa zreteľne prejavila znížená dostupnosť vody na transpirácii bukov. V roku 2012 sme identifikovali 27 takýchto dní, zatiaľ čo v roku 2013 ich bolo 11 (obr. 6). Súvislosť výskytu SIG-dní bola prerušená len prítomnosťou zrážkových udalostí, ktorými sa pozmenili vlhkostné podmienky pôdy. V rámci SIG-dní sme zistili tesný vzťah medzi hodnotami transpiračného prúdu a takmer všetkými skúmanými klimatickými premennými (tab. 1). Najsilnejšia závislosť transpirácie (pri $p < 0,05$) sa preukázala pri sýtostnom doplnku (VPD) a potenciálnej evapotranspirácii (PET) v oboch variantoch i rokoch pokusu. Významné a pozitívne korelácie boli pozorované aj pri faktoroch teplota vzduchu (AT) a globálne žiarenie (GR). HUANG *et al.* (2009) predpokladajú, že pokiaľ je v pôde dostatok vody, transpirácia je do značnej miery ovplyvnená práve sýtostným doplnkom. V opačných prípadoch, keď stromy čelia nedostatku vody, ktorý následne vyústí do zatvorenia prieduchov, transpirácia môže byť ovplyvnená inými premennými. Globálne žiarenie a sýtostný doplnok boli podobne popísané ako hlavné faktory, ktoré riadia transpiráciu porastu (POKORNÝ *et al.* 2012).

Vplyv vodného potenciálu pôdy na transpiračný prúd sa preukázal ako štatisticky významný (tab. 1). V roku 2012 hodnoty SF negatívne korelovali s vodným potenciálom pôdy, hlavne v hĺbke 30 cm ($r = -0,13$) a 50 cm ($r = -0,12$) v kontrolnej skupine. Pozitívne korelovali v zavlažovanej skupine v hĺbke 15 cm. ($r = 0,12$). Naopak pri analýze dát SIG-dní 2013 sme zistili pozitívny a významný vzťah medzi SF_i a SWP_i iba v hĺbke 30 cm ($r = 0,15$). Menší počet signifikantných výsledkov regresnej analýzy medzi SF a SWP v roku 2013 bol pravdepodobne spôsobený vysokými dennými zrážkami, ktoré boli zaznamenané na konci augusta (obr. 5). Na základe skúmania nameraných údajov odhadujeme, že kontrolné vzorníky bukov zrejme obmedzili transpiračnú aktivitu pri poklese vodného potenciálu pôdy približne pod -6 barov. Takéto odozvy suchom stresovaných vzorníkov sme zaznamenali v oboch sledovaných sezónach, hlavne pri poklese SWP v hĺbke pôdy 30 cm. V letnom období oboch rokov sme zaznamenali pomerne dlhé časové intervaly bez dažďa, spojené s horúcim a slnečným počasím. V kontrolnej skupine vzorníkov tak dochádzalo k presúšaniu hlavne vrchného horizontu pôdy, preto sa významný vplyv vodného potenciálu pôdy prejavil najmä v hĺbke pôdy 30 a 50 cm (tab. 1). Na druhej strane aplikované zavlažovanie v druhej skupine vzorníkov spôsobilo významné zvýšenie SWP_i vo vrchných 15 cm pôdy, ktorý mal následne pozitívny vplyv na transpiračný prúd.

Z výsledkov regresnej a korelačnej analýzy ďalej vyplýva, že v našej štúdií sa neprejavil významný vplyv zrážok (P) na transpiračný prúd bukov (tab. 1), čo si vysvetľujeme tým, že SIG-dni boli sústredené predovšetkým do suchého obdobia so zriedkavým výskytom zrážkových udalostí.



Obr. 5 Priebeh vodného potenciálu pôdy SWP a priemerných denných hodnôt transpiračného prúdu (SF) v zavlažovanej (i) a kontrolnej (c) skupine bukov, doplnené o klimatické údaje (globálne žiarenie GR, teplota vzduchu (AT) zrážky, potenciálna evapotranspirácia PET a sýtosťný doplnok VPD) s vyznačenými dňami s aplikovanou závlahou



Obr. 6 Vyznačené dni, v ktorých bol zistený signifikantný rozdiel v transpirácii medzi variantami (SIG), doplnené o vodný potenciál pôdy (SWP) a transpiračný prúd (SF) zavlažovanej (i) a kontrolnej (c) skupiny buka počas vymedzeného obdobia sucha v roku 2012 (vľavo) a 2013 (vpravo)

Tab. 1 Pearsonové koeficienty (r) korelácie medzi transpiračným prúdom (zavlažovanej SF_i a kontrolnej skupiny SF_c) vzorníkov buka a teplotou vzduchu AT, zrážkami P, globálnym žiarením GR, sýtosťným doplnkom, potenciálnou evapotranspiráciou PET a vodným potenciálom pôdy SWP v troch hĺbkach (15, 30 a 50cm). Na analýzu boli použité hodinové dáta výlučne zo SIG-dní.

Rok 2012 / n = 648	AT	P	GR	VPD	PET	SWP 15	SWP30	SWP50
SF _c	0.76	-0.04	0.68	0.82	0.75	0.02	-0.13	-0.12
SF _i	0.79	-0.06	0.84	0.87	0.91	0.12	0.03	0.05
Year 2013/ n = 264								
SF _c	0.88	-0.01	0.72	0.92	0.80	0.09	-0.26	-
SF _i	0.82	-0.05	0.83	0.89	0.89	0.08	0.15	0.11

Signifikantný vzťah – **hrubé písmo** (p < 0,05)

Záver

Na lokalite Bienska dolina sa v oboch rokoch výskumu vyskytli klimatické podmienky vhodné pre výskum fyziologických reakcií dospelých jedincov buka na nedostatok vody. Aplikáciou závlahy do vyčlenenej skupiny vzorníkov sme vytvorili kontrastné vlhkostné podmienky umožňujúce porovnať reakciu bukov na rozličnú úroveň zásobenia pôdnou vodou. Naša práca odhaľuje významnú vzájomnú interakciu pôdneho a atmosférického sucha na rast a vodný status vzorníkov buka vystaveným dlhšiemu pôsobeniu nižších hodnôt vodného potenciálu pôdy. Na základe našich pozorovaní môžeme konštatovať, že zníženie dostupnosti vody v pôde zreteľne obmedzuje transpiráciu buka. Z hľadiska fyziologického stresu lesných drevín je dôležitý nie len aktuálny stav prostredia, ale aj kumulatívny účinok stresu z predchádzajúceho obdobia, resp. sezón. Najsilnejšia závislosť transpirácie (pri p < 0,05) sa preukázala pri sýtosťnom doplnku a potenciálnej evapotranspirácii v oboch rokoch pokusu. Významné a pozitívne korelácie boli pozorované aj pri faktoroch teplota vzduchu a globálne žiarenie.

Literatúra

- 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. In *Trees*. 18: 529–546.
- DALSGAARD, L., MIKKELSEN, T. N., BASTRUP-BIRK, A., 2011: Sap flow for beech (*Fagus sylvatica* L.) in a natural and a managed forest-effect of spatial heterogeneity. *Journal of Plant Ecology*, 4(1–2): 23–35.
- DEDRICK, S., SPIECKER, H., ORAZIO, C., TOMÉ, M., MARTINEZ, I., (Eds.) 2007: Plantation or Conversion – The Debate! Ideas presented and discussed at a joint EFI Project-Centre conference held 21-23 May 2006 in Freiburg, Germany. Discussion Paper 13: 98 p.
- FRÝDL, J., NOVOTNÝ, P., FENNESSY, J., WÜHLISCH, G. VON, (Eds.) 2011: Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae: Vol. 25. Cost Action E 52: Genetic resources of beech in Europe – current state. Jíloviště: Forestry and Game Management Research Institute, 2010. 275 pp.
- GEBLER, A., KEITEL, C., KREUZWIESER, J., MATYSSEK, R., SEILER, W., RENNENBERG, H., 2007: Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. In *Trees*. 21:1 – 11
- GRANIER, A., REICHSTEIN, M., BRÉDA, N., JANSSENS, I. A., FALGE, E., CIAIS, P., GRÜNWARD, T., *et al.* 2007: Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(1–2): 123–145.
- HARRIS, P., HUNTINGFORD, C., COX, P. M., GASH, J. H. C., MALHI, Y., 2004: Effect of soil moisture on canopy conductance of Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 215–227.
- HUANG, Y., ZHAO, P., ZHANG, Z., LI, X., HE, CH., ZHANG, R., 2009: Transpiration of *Cyclobalanopsis glauca* (*Quercus glauca*) stand measured by sap-flow method in a karst rocky terrain during dry season. In *Ecological Research*, 2009. 24 (4):791
- KOVALČIKOVÁ, D., STŘELCOVÁ, K., KURJAK, D., 2011: Meranie transpirácie sadeníc buka lesného (*Fagus sylvatica* L.) v podmienkach sucha. In: STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T., (Eds.) Zborník príspevkov z konferencie: Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenných prostredí, Moravský kras, 2.–4. február 2011
- KUSTER, T. M., AREND, M., BLEULER, P., GÜNTHARDT-GOERG, M. S., SCHULIN, R., 2013: Water regime and growth of young oak stands subjected to air-warming and drought on two different forest soils in a model ecosystem experiment. *Plant Biology* 15 (1): 138–147.
- NADEZHDINA, N., URBAN, J., ČERMÁK, J., NADEZHDIN, V., KANTOR, P., 2014: Comparative study of long-term water uptake of Norway spruce and Douglas-fir in Moravian upland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62(1): 1–6.
- NIINEMETS, U., COPOLOVICI, L., HÜVE, K., 2010: High within-canopy variation in isoprene emission potentials in temperate trees: Implications for predicting canopy-scale isoprene fluxes. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, G04029: 19 pp.
- POKORNÝ, R., SLÍPKOVÁ, R., HAVRÁNKOVÁ, K., PAVELKA, M., 2012: Ecosystem water use efficiency of Norway spruce monoculture from eddy-covariance and ecophysiological measurements. *Acta Horticulturae (ISHS)* 951: 301–307.

- 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.
- SITKOVÁ, Z., NALEVANKOVÁ, P., STŘELCOVÁ, K., FLEISCHER, P. JR., JEŽÍK, M., SITKO, R., PAVLENDÁ, P., 2014: How does soil water potential limit the seasonal dynamics of sap flow and circumference changes in European beech? *Lesnícky časopis – Forestry Journal*, 60(1): xx-xx. akcept.
- STŘELCOVÁ, K., KURJAK, D., LEŠTIANSKA, A., KOVALČÍKOVÁ, D., DITMAROVÁ, Ľ., ŠKVARENINA, J., AHMED, Y. A-R., 2013: Differences in transpiration of Norway spruce drought stressed trees and trees well supplied with water. *Biologia*, 68(6): 1118–1122.
- STŘELCOVÁ, K., KUČERA, J., FLEISCHER, P., GIORGI, S., GOMORYOVÁ, E., ŠKVARENINA, J., DITMAROVÁ, Ľ., 2009: Canopy transpiration of mountain mixed forest as a function of environmental conditions in boundary layer. *Biologia* 64(3): 507–511.
- STŘELCOVÁ, K., MINĎÁŠ, J., 2000: Transpirácia buka lesného vo vzťahu k meniacim sa podmienkam prostredia. *Vedecké štúdie 2000*, Technická Univerzita vo Zvolene.
- ZELENÁ SPRÁVA 2013: *Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2012*, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, Bratislava.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0111-10, APVV-0436-10, APVV-0022-07 a APVV-0480-12.

Kontakt:

Ing. Nalevanková Paulína
Technická univerzita vo Zvolene, LF
T.G.Masaryka 24
960 53 Zvolen, Slovenská republika
+421 455 206 210
nalevankova.paulina@gmail.com