

ODOZVA RASTOVÝCH PROCESOV PROVENIENCIÍ SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* /L./ KARST) NA NÁSTUP JARNÝCH FENOLOGICKÝCH FÁZ V ARBORÉTE BOROVÁ HORA

Reaction of growth processes of Norway spruce provenances (*picea abies* /L./ karst) on the spring phenophases outbreak in Botanical Garden Borová Hora

Dagmar Magová, Katarína Střelcová, Jana Škvareninová

Technická Univerzita vo Zvolene

Abstrakt: Zmeny obvodov kmeňov proveniencii smreka obyčajného (*Picea abies* /L./ Karst.) sa zaznamenávali počas vegetačného obdobia v roku 2010 v areáli arboréta Technickej Univerzity „Borová hora“ vo Zvolene. Priemer kmeňa sme zaznamenávali kontinuálne v hodinových intervaloch pomocou dendrometrov DRL 26 (EMS Brno, Cz) s automatickým ukladaním dát do datalogera. Výskumná plocha je umiestnená v nadmorskej výške 350 m n. m. Súčasne sme zaznamenávali aj mikroklimatické prvky (teplotu a vlhkosť vzduchu, zrážky, globálnu radiáciu) a pôdnu teplotu. Zmeny obvodu kmeňa začínajú počas fenofázy pučanie ihlicových púčikov (12.4.), hrúbkový prírastok pozorujeme od fenologickej fázy rozpuk ihlicových púčikov, ktorá začala 24. apríla. Nadmorská výška proveniencie má vplyv na dĺžku trvania fenologických fáz. Počas priebehu sledovaných fenologických fáz sa obvod kmeňa proveniencií smreka v priemere zväčšil o 12–20 mm, rozdiel medzi provenienciami je 3–5 mm.

Prírastok na kmene jednotlivých smrekových vzorníkov sa začal vytvárať na začiatku mája. Najväčší prírastok bol zaznamenaný v júni. Väčšia časť z celkového ročného prírastku sa vytvorila do konca júla (70–80%). Zistili sme vzájomný vzťah medzi zmenami obvodu kmeňa a teplotou vzduchu a zrážkami. So stúpajúcou teplotou vzduchu a pri dostatočnom úhrne zrážok dochádza k nárastu na obvode kmeňa. V skorých ranných hodinách dochádza k poklese na hrúbke kmeňa kvôli rastúcej transpirácii, k opätovnému nárastu na prírastku dochádza v popoludňajších hodinách, kedy sa transpirácia spomaľuje a klesá.

Kľúčové slová: zmeny obvodu kmeňa, proveniencie, fenologické fázy, mezoklíma

Abstract: The stem circumference changes of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) provenance were measured during vegetation period 2010 in the Botanical garden of Technical University “Borová hora” Zvolen. Stem radius was monitored continuously with dendrometers DRL 26 (EMS Brno, Cz) with automatic data storage at 1 hour intervals into data-logger. The research plot is located at an altitude 350 m asl. The microclimate elements (air temperature [°C], air humidity [%], precipitation [mm], global radiation [$W \cdot m^{-2}$]) and the soil temperature [°C] were measured simultaneously. The changes of a stem girth start during the phenological stage of needle buds bursting (12. 04.) and the diameter increment is observable since the beginning phenological stage of a needle buds flushing (24. 04.). The length of both phenological stages is significantly influenced by site elevation. The girth of stem has increased by 12 – 20 mm at all spruce provenances and the difference among all provenances has approached 3 – 5 mm. The stem increment of the spruce trees started to create at the beginning of May. The highest increment was noticed in June. The majority of annual increment was created by the end of July (70–80%). We found relationship between stem circumference changes and air temperature and precipitation. With the increasing air temperatures and by the sufficiently precipitation, consequently the increasing of stem

circumference was observed. Stem volume decreased with increasing transpiration early in the day and increased with decreasing transpiration later in the day.

Key words: stem circumference changes, provenience, phenological phases, mesoclimate

Úvod

Rast stromov je viazaný iba na určité obdobie roka. Počas vegetačného obdobia pozorujeme náhle zmeny na obvode kmeňov. Tvorba prírastku je regulovaná niekoľkými faktormi medzi ktoré patrí genotyp, lokalita, klimatické podmienky a spôsob obhospodarovania lesa. Všeobecne je známe, že veľkosť hrúbkového prírastku závisí od kombinácie rastového potenciálu stromu a vonkajších faktorov obmedzujúcich rast (MÄKINEN *et al.* 2008). Krátkodobé zmeny v hrúbke kmeňa (pozitívne alebo negatívne) je možné zaznamenávať pomocou dendrometrov. Denné výkyvy v hrúbke kmeňa sú spojené s parametrami akými sú vodný potenciál listov (DREW *et al.* 2008) a evaporačné požiadavky atmosféry predovšetkým úhrn zrážok a teplota vzduchu (DESLAURIERS *et al.* 2003, MCLAUGHLIN *et al.* 2003, INTRIGLIOLO & CASTEL 2005). Zmeny hrúbky kmeňa nie sú teda len výsledkom tvorby xylémových pletív, ale sú často zapríčinené vodnou bilanciou dreviny (KORPELA *et al.* 2010, JEŽÍK *et al.* 2007, SEVANTO *et al.* 2002, ZWEIFEL *et al.* 2000), čiže zobrazujú aktuálne zmršťovanie a napučiavanie kmeňa spôsobené pritekaním a odtokom vody (ZWEIFEL *et al.* 2005). Rýchlosť transpiračného prúdu sa počas dňa podstatne mení čoho dôsledkom sú aj zmeny v obvode kmeňa. PERÄMÄKI *et al.* (2001) uvádza, že podstatné reverzibilné zmeny v hrúbke kmeňa sú zapríčinené zmršťovaním a napučiavaním xylémových pletív.

Vonkajšie faktory prostredia ovplyvňujú činnosť pletív kambia a felogénu, ktorých aktivita priamo alebo prostredníctvom metabolitov a hormonálnych rastových regulátorov súvisí so základnými fyziologickými procesmi lesných drevín a teda hlavne s hrúbkovým rastom stromov (JEŽÍK *et al.* 2009). Teplota vzduchu je považovaná za rozhodujúci činiteľ, ktorý vplyva na začiatok a rastúcu intenzitu kambiálnej činnosti (SAVVA *et al.* 2003). ROSSI *et al.* (2007) potvrdil, že nízka teplota vzduchu je limitujúcim faktorom. DESLAURIERS & MORIN (2005) zistili, že rýchlosť tvorby nových buniek sa mení so sezónnou dynamikou minimálnej teploty. Vo všeobecnosti sa na hornej hranici lesa priemerná denná teplota počas vegetačného obdobia pohybuje v rozpätí medzi 6 a 7°C (ROSSI *et al.* 2007). KÖRNER (2003) predpokladá, že produkcia nových buniek môže byť podstatne znížená až pozastavená pokiaľ priemerná denná teplota klesne pod uvedené hodnoty. Výskumy na hornej hranici lesa ukázali, že rast stromov prebiehal ak priemerná denná teplota vzduchu bola nad 5°C (SCHMITT *et al.* 2004) a kambiálna aktivita nebola pozorovaná pri teplote vzduchu 2°C alebo pri teplote pôdy pod 3 až 5°C (KÖRNER 2003). Laboratórne štúdie taktiež potvrdili, že zmeny v hrúbke kmeňa sú veľmi úzko spojené so zmenami relatívnej vlhkosti vzduchu (MÄKINEN *et al.* 2003). Na prírastok majú taktiež kladný vplyv zrážky počas vegetačného obdobia. Nedostatok zrážok, nízka relatívna vlhkosť vzduchu a nedostatok vody v pôde majú za následok buď adaptáciu rastlín na zmenené podmienky, alebo dlhotrvajúce suchá môžu vyvolať „vodný stres“, a tým zapríčiniť poškodenie pletív. Analýzy dendrometrických údajov umožňujú nie len poznanie denných chodov stenčenia a prirastania kmeňa, ale aj sledovanie suchých a vlhkých období trvajúcich od niekoľko dní po niekoľko týždňov (ZWEIFEL *et al.* 2005).

Zmeny klímy a jej negatívne vplyvy priamo pôsobia aj na lesné ekosystémy ako jednu z hlavných zložiek životného prostredia. Následkom zmeny klímy nastávajú zmeny najmä v teplotnom a zrážkovom režime v priebehu roka. Vzhľadom na nárast teplôt a predpokladané zmeny v distribúcií zrážok sa očakávajú relatívne dlhšie suché obdobia a obdobia s nadmernými zrážkami v krátkom období, ako aj obdobia s teplotnými extrémami (MINDÁŠ & ŠKVARENINA 2003). Smrek obyčajný je zaraďovaný k drevinám s veľkou vnútrodrohovou aj geografickou premenlivosťou. Preto sa z hľadiska ekologických nárokov hodnotí ako drevina plastická, prispôsobivá nielen klimatickým, ale aj pôdnym podmienkam. Jeho

ekologická valencia je nesmierne široká. Smrek sa zaraďuje na popredné miesto medzi dreviny, ktorých požiadavky na živiny a teplotu sú nízke, dôležité je dostatočné zásobovanie vodou. Teplotné extrémny a zmeny v distribúcii zrážok ovplyvňujú fyziologické procesy a zdravotný stav smreka (KMEŤ *et al.* 2008), ktorý je kvôli plytkému koreňovému systému, svojej náročnosti na pôdnu vlhkosť a netolerancii k vysokým teplotám veľmi zraniteľnou drevinou (ŠKVARENINOVÁ 2009b). V súvislosti s rastúcim deficitom zrážok sa javí smrek osobitne ohrozenou drevinou vo vegetačnom období.

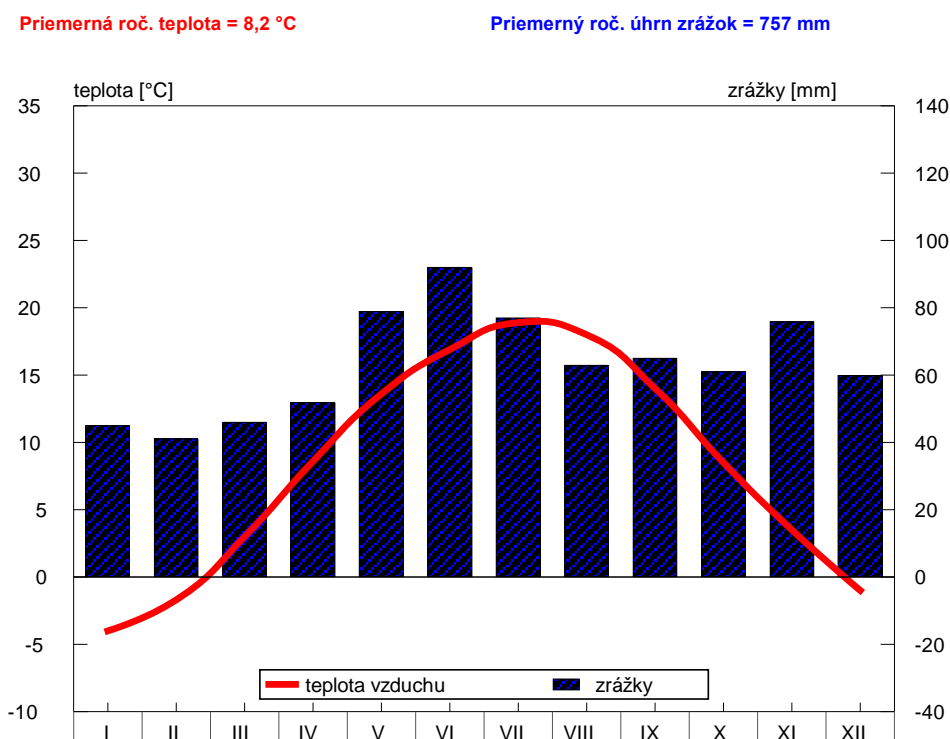
V príspevku sme sa zaoberali vplyvom meteorologických charakteristík a vplyvom priebehu vegetatívnych fenologických fáz na dynamiku hrúbkového rastu smrekových proveniencií.

Materiál a metódy

Dynamika zmien obvodov kmeňov bola pozorovaná počas vegetačného obdobia v roku 2010 v arboréte Borová hora (N 48° 36', E 19° 08') vo Zvolene. Výskumná plocha sa nachádza v nadmorskej výške 350 m n. m., na svahu s prevažujúcou severozápadnou expozíciou a miernym sklonom (5–10%). Geologické podložie tvorí andezitový tuf a travertíny, hlavným pôdotvorným substrátom sú pararendziny, kambizeme a fluvizeme. Arborétum patrí do 2. bukovo–dubového lesného vegetačného stupňa. Územie patrí do klimaticky teplej, mierne vlhkej oblasti s chladnou zimou. Klimadiagram arboréte Borová hora je znázornený na obrázku 1.

V areáli arboréte sú sústredené domáce dreviny v ich morfolologickej a zemepisnej premenlivosti, najmä z prirodzených lokalít s cieľom záchrany a zachovania vzácneho genofondu. Cenné sú proveniencie domácich drevín získané z lesov Slovenska. Medzi nimi sa nachádza aj 22 pôvodov smreka obyčajného z rozličných orografických celkov a nadmorských výšok od 500 m do 1450 m prirodzeného areálu na Slovensku. Populácie reprezentujú kvalitný genofond z 11 orografických celkov vysadený v rovnakých podmienkach prostredia arboréte v Zvolenskej kotline (ŠKVARENINOVÁ 2009a).

Arborétum Borová hora (350 m n.m.)



Obr. 1: Klimadiagram mezoklimatickej stanice Arborétum Borová hora (350 m n. m.).

Pre výskumné účely sme vybrali 3 pôvody po 4 jedince smreka obyčajného [*Picea abies* /L./ Karst.] (obrázok 2B) z rôznych nadmorských výšok jedného orografického celku Volovské vrchy vo veku 35 rokov:

1. proveniencia č. 3137 (1A, 1B, 1C, 1D) – 500 m n. m.
2. proveniencia č. 3206 (2A, 2B, 2C, 2D) – 750 m n. m.
3. proveniencia č. 3207 (3A, 3B, 3C, 3D) – 1100 m n. m.

Dôvodom výberu boli uvedené rôzne nadmorské výšky pôvodov smreka vysadené do rovnakých podmienok prostredia a jednej nadmorskej výšky. Na jedince každého pôvodu sme nainštalovali dendrometre typu DRL 26 (EMS Brno, CZ) (obrázok 2A) s automatizovaným ukladaním dát do zabudovaného datalogera. Zmeny obvodov kmeňov sa kontinuálne zaznamenávali v hodinových intervaloch. Detailný popis dendrometrických meraní uvádza KUČERA (2007). Neďaleko vybraných vzorníkov smreka prebiehali tiež merania meteorologických charakteristík (globálnej radiácie [$W \cdot m^{-2}$], teploty vzduchu [$^{\circ}C$], relatívnej vlhkosti vzduchu [%], úhrnu zrážok [mm]) a teploty pôdy [$^{\circ}C$] (obrázok 3A). Teplota a vlhkosť vzduchu sa merali vo výške 2 m nad zemou a teplota pôdy sa merala v hĺbke 10 cm. Všetky údaje sa do datalogera (obrázok 3B) zaznamenávali každých 10 minút. Získané dendrometrické a meteorologické údaje sme spracovali v programe Mini32 (EMS Brno) a v programe Excel, v ktorých je možné vykonať i jednoduché štatistické operácie. Keďže interval merania dendrometrických a atmosférických údajov nie je totožný, pre korektné spracovanie sme pre namerané dáta teploty vzduchu a pôdy a relatívnej vlhkosti vzduchu urobili denné priemery a z údajov o zrážkach a globálnej radiácii sme urobili denné sumy. Na zhodnotenie významnosti rozdielov medzi jednotlivými provenienciami sme použili jednofaktorovú analýzu variancie.

Súbežne s dendrometrickými meraniami sme zaznamenávali aj priebeh nasledovných jarných fenologických fáz na vegetatívnych orgánoch:

- pučanie ihlicových púčikov (PIP) – vegetatívne púčiky vplyvom rastu zväčšili objem a na okrajoch obalových šupín sa objavilo bledozelené sfarbenie,
- rozpuk ihlicových púčikov (RIP) – po prasknutí obalových šupín sa objavili zelené konce ihlíc, ktoré sa od seba neoddeľujú,
- prvé májové výhonky (PMV) – ihlice majú charakteristický tvar, ale nemajú normálnu veľkosť a sfarbenie,
- konečné oihličenie (KO) – ihlice dosiahli normálny rozmer a sfarbenie letného ihličia.

Zo získaných fenologických údajov pre každý strom sme vypočítali priemerný začiatok nástupu danej fenologickej fázy pre každú provenienciu.

Teplota vzduchu patrí vo fyziológii rastlín k významným činiteľom. Spúšťa a reguluje biochemické procesy v jedincoch a tým aj procesy súvisiace s fenologickými prejavmi. Na nástup jarných fenologických fáz výrazne vplyvajú denné teploty vzduchu. Stanovenie teplotnej hranice je špecifické pre každý druh dreviny v závislosti od polohy a nadmorskej výšky. Najčastejšie sa začína fenologická aktivita drevín pri sume efektívnych teplôt vzduchu nad hranicami $0^{\circ}C$, $5^{\circ}C$, $8^{\circ}C$ alebo $10^{\circ}C$. Z výsledkov práce ŠKVARENINOVEJ (2009c) je zrejmé, že jarné fenologické fázy proveniencií smreka v Arboréte Borová hora sú ovplyvňované sumou priemerných teplôt vzduchu vyšších ako $0^{\circ}C$. Preto sme v programe Excel vypočítali teplotné sumy z nameraných teplôt vzduchu na danej lokalite len pre túto hraničnú teplotu.



A



B

Obr. 2A: Dendrometer DRL 26.

Obr. 2B: Skupina vybraných smrekov jednej proveniencie.



A



B

Obr. 3A: Meteorologická stanica v arboréte Borová hora (Zvolen).

Obr. 3B: Detailný záber datalogera.

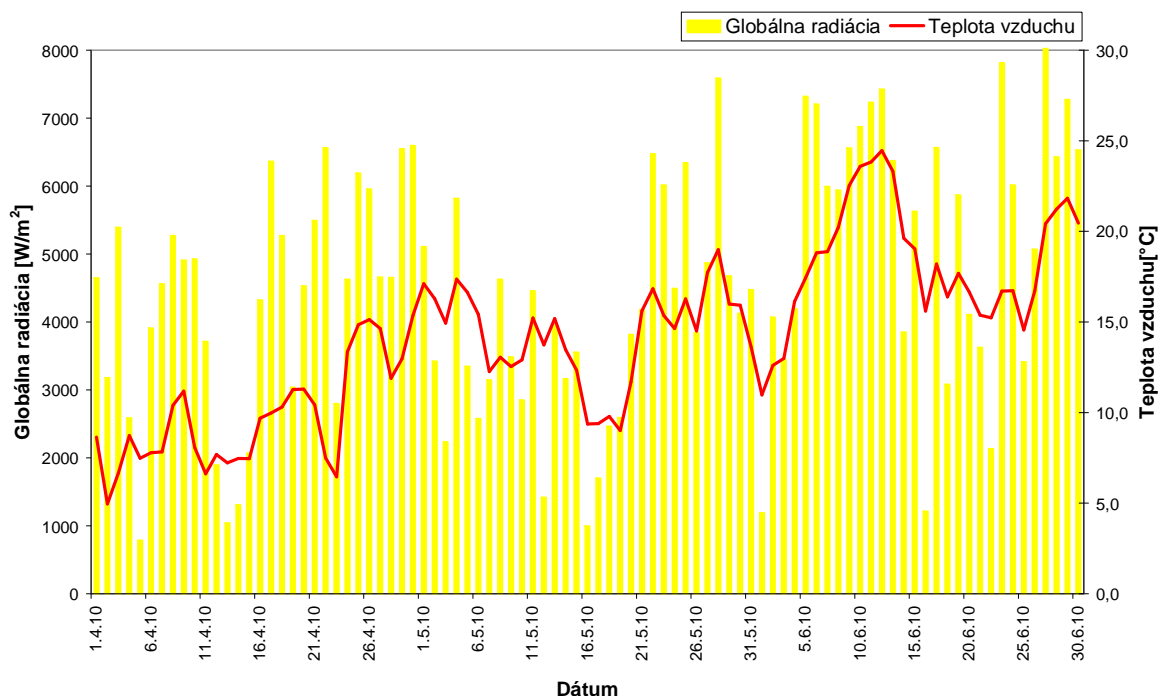
Výsledky a diskusia

Dynamika zmien obvodov kmeňov bola meraná počas nástupu vegetačného obdobia (od apríla do júna) v roku 2010. V tomto čase sme sledovali aj nástup jarných vegetatívnych fenologických fáz. Prvú fenologickú aktivitu sme zaznamenali 12. apríla, kedy začali pučať ihlicové púčiky na proveniencii z nadmorskej výšky 500 metrov. Ukončenie jarných fenofáz na vegetatívnych orgánoch smreka nastalo 25. júna, kedy prebehla posledná fenofáza konečné oihličenie na jedincoch z proveniencie v nadmorskej výške 1100 metrov. Bioklimatologické charakteristiky sú prehľadne spracované v tabuľke 1 a na obrázkoch 4 a 5.

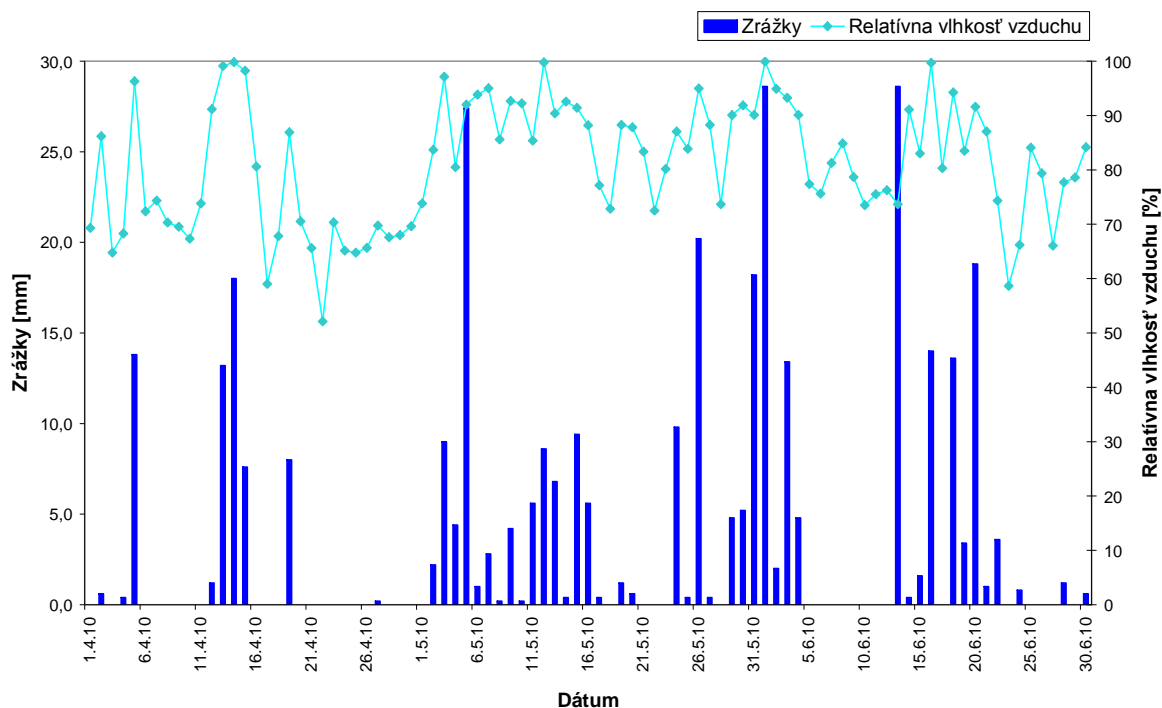
Tab. 1: Bioklimatologické charakteristiky merané počas nástupu vegetačného obdobia 2010 (apríl–jún), hodnoty priemerného prírastku za jednotlivé mesiace a priemerné hodnoty a sumy za celé vegetačné obdobie (apríl–september, hodnoty pre júl–september nie sú zobrazené).

2010	Apríl	Máj	Jún	Vegetačné obdobie
Teplota vzduchu [°C]	9,8	14,3	18,3	15,9
Relatívna vlhkosť vzduchu [%]	74,1	87	81,8	83,3
Zrážky [mm]	63	149	136,4	619,8
Teplota pôdy [°C]	8,7	14,2	18,2	15,9
Globálna radiácia [$W \cdot m^{-2}$]	4260	3930	5349	4391
Priemerný prírastok [mm]	1,61	10,0	11,86	41,24
% z ročného prírastku	(3,9%)	(24,2%)	(28,8%)	(100%)

V porovnaní s dlhodobým priemerom bol z hľadiska teploty vzduchu apríl a jún 2010 teplý (nadnormálny). V máji spadali teploty vzduchu do teplotného normálu. Z hľadiska úhrnu zrážok boli mesiace apríl a jún vlhké, nadnormálne (apríl – 121% z normálu, jún – 148% z normálu). Máj v roku 2010 bol dokonca veľmi vlhký a silne nadnormálne (189% z normálu).

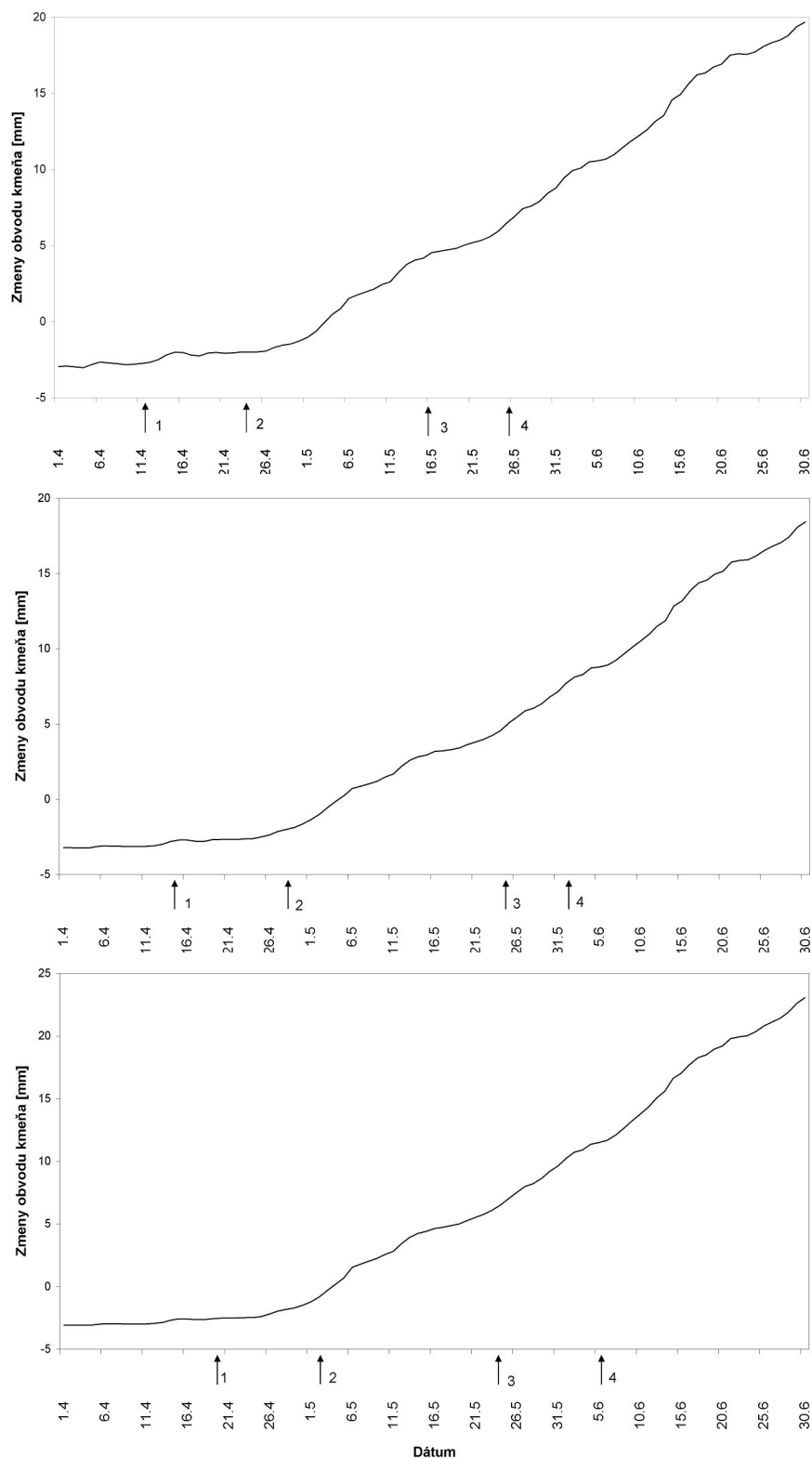


Obr. 4: Priebeh teploty vzduchu a globálnej radiácie (denné sumy) počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2010.



Obr. 5: Priebeh relatívnej vlhkosti vzduchu a zrážok počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2010.

Obrázok 6 znázorňuje dynamiku zmien obvodov kmeňov proveniencií smreka v priebehu vegetačného obdobia v roku 2010 v súvislosti s nástupom fenologických fáz. Medzi jednotlivými smrekovými provenienciami sme nezaznamenali štatisticky významné rozdiely v zmenách obvodov kmeňov. Pri nástupe každej fenologickej fázy vidieť časové oneskorenie 8–11 dní spôsobené rozdielnou nadmorskou výškou proveniencií. Z obrázku 6 vidieť, že zmeny obvodu kmeňa začínajú cez fenofázu pučanie ihlicových púčikov, hrúbkový prírastok pozorujeme od fenologickej fázy rozpučanie ihlicových púčikov. Zistili sme, že počas priebehu sledovaných fenologických fáz až do 100% ukončenia konečného oihličenia dochádza v proveniencii 1 z nadmorskej výšky 500 m za 36 dní k zväčšeniu obvodu kmeňa o 9,6 mm. Pri 2. proveniencii tieto zmeny prebehli za 46 dní pri zväčšení obvodu kmeňa o 10,8 mm. V 3. proveniencii z 1100 m n. m. sme zistili, že za 52 dní sa obvod kmeňa zväčšil až o 14,2 mm. Z týchto údajov možno konštatovať, že nadmorská výška proveniencie má vplyv na dĺžku priebehu fenologických fáz. Vplyvom predlžovania času trvania fenofáz sa obvod kmeňa medzi provenienciami zväčšil o 3–5 mm.



Obr. 6: Priebeh zmien obvodov kmeňov proveniencií smreka a nástup fenologických fáz v priebehu vegetačného obdobia v roku 2010 (1 – pučanie ihlicových púčikov, 2 – rozpuč ihlicových púčikov, 3 – prvé májové výhonky, 4 – konečné oihličenie, proveniencia 1 – horný obrázok, proveniencia 2 – stredný obrázok, proveniencia 3 – dolný obrázok).

Na jeseň a hlavne v zime v roku 2009 sme zaznamenali zmršťovanie kmeňov (dáta nie sú zobrazené), je to však pozorovateľné na začiatku apríla v roku 2010. Pri priemernej teplote vzduchu nižšej ako -5°C dochádza k zmenšovaniu na obvode kmeňa. SEVANTO *et al.* (2006) zaznamenal podobné výsledky a ako posledný deň kontinuálneho prírastku stromov udáva 289 deň (čo predstavuje 16. október). Opätovný nástup prírastku zaznamenal na jar na 102. deň (t.j. 12. apríl). V našich meraniach sme prvý náznak zvyšovania prírastku zaznamenali 4. apríla. Výraznejší nárast na obvode kmeňov bol pozorovaný 15. apríla. V tomto čase (12. 4.) začala prebiehať aj prvá fenofáza pučanie ihlicových púčikov na proveniencii z nadmorskej výšky 500 m. Výsledky viacerých autorov potvrdili dôležitú úlohu teploty vzduchu pri začatí a ukončení aktívnej činnosti kambia a v produkcii xylému a felogénu. ROSSI *et al.* (2006) predpokladá počiatočnú hodnotu teploty potrebnú pre xylogenézu smreka v intervale od $6,5^{\circ}\text{C}$ do 10°C . Ak minimálna teplota vzduchu dosahuje hodnoty od $3,1^{\circ}\text{C}$ do $7,5^{\circ}\text{C}$ začína aktivita kambialných buniek a prírastok na kmeni (TURCOTTE *et al.* 2009). Teplota vzduchu predstavuje hlavný rozhodujúci činiteľ rastu kmeňa a jej účinok na rast kambialných buniek sa potvrdil u niekoľkých Európskych ihličnatých drevín (DESLAURIERS *et al.* 2007). JEŽÍK *et al.* (2007) uvádza, že hrúbkové prírastky kmeňov sú silne ovplyvňované klimatickými činiteľmi ako sú zrážky a teplota. Zrážky majú významný vplyv na prírastok kmeňov v auguste. Teplota vzduchu v apríli má rozhodujúci význam pre začiatok rastu a v máji ovplyvňuje veľkosť prírastku. V júni je vplyv teploty a zrážok takmer vyrovnaný, zatiaľ čo v júli a v auguste je vplyv teploty na hrúbkový prírastok len minimálny. Teplota vzduchu okrem prírastku výrazne ovplyvňuje aj priebeh fenologických fáz. Tento vplyv je možné vyjadriť sumou priemerných denných teplôt. Tabuľka 2 podáva prehľad priemerných hodnôt sumy efektívnych teplôt vzduchu nad 0°C pri ktorých začínajú prebiehať fenofázy na jednotlivých provenienciách.

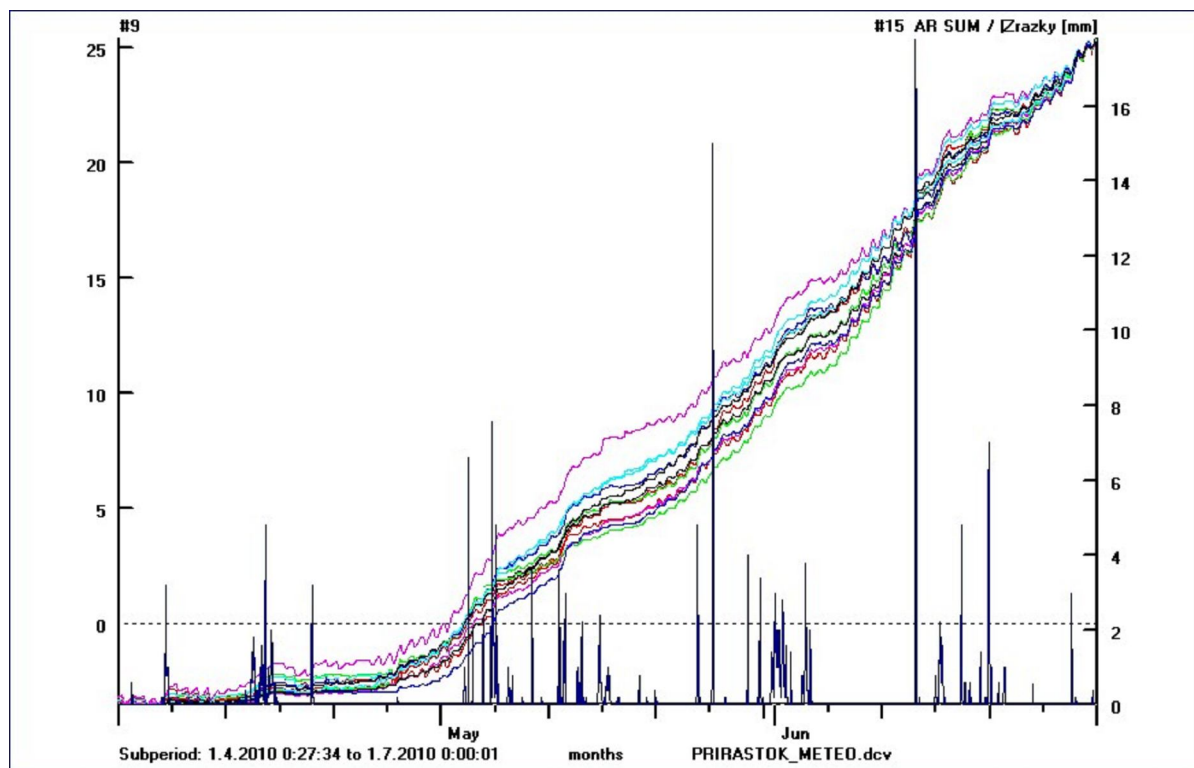
Tab. 2: Hodnoty priemerných denných súm efektívnych teplôt 0°C (TS 0) pre vegetatívne fenologické fázy proveniencií smreka obyčajného v roku 2010.

Fenofáza/n. výška	PIP	RIP	PMV	KO
500	283,4	395,8	708,4	841,5
750	305,5	465,2	748,3	947,3
1100	358,1	528,9	810,7	1012,7

Z tabuľky 2 vidieť, že pre začatie jednej fenologickej fázy je potrebná iná suma efektívnych teplôt a to tým vyššia, čím vyššia je nadmorská výška proveniencie z ktorej pochádza, hoci súčasné stanovištné podmienky sú rovnaké.

Teplota pôdy podľa ROSSI *et al.* (2007) nepredstavuje hlavný limitujúci faktor xylogenézy. Pri teplote pôdy okolo 0°C stále prebieha nasávanie vody z pôdy do tela rastliny a tak zároveň môže prebiehať transpirácia a s ňou súčasne aj zmeny na obvode kmeňa (SEVANTO *et al.* 2006). Hrúbkový rast stromov sa spomaľuje a končí väčšinou koncom augusta až začiatkom septembra (ŠMELKO *et al.* 1992). CARRER *et al.* (1998) pri meraní rastu kmeňa pomocou dendrometrov zistil, že prírastok na kmeni smreka a borovice v oblasti hornej hranice lesa trvá 50 až 60 dní, od polovice júla do začiatku augusta. KAMLEROVÁ & SCHEJBALOVÁ (2006) zaznamenali hrúbkový prírastok smreka na začiatku a v prvej polovici mája. KNOTT (2004) zaznamenal začiatok prírastku na jedli počas prvého májového týždňa a ukončenie prírastku pozoroval do konca septembra. I napriek tomu, že sadenice smreka pochádzajú z oblastí s rozličnou nadmorskou výškou, bol u všetkých vybraných vzorníkov pozorovaný kontinuálny nástup hrúbkového prírastku na začiatku mája. Môžeme teda predpokladať, že rozhodujúcimi činiteľmi pre nástup a ukončenie hrúbkového prírastku sú v tomto prípade podmienky stanovišťa a atmosférické parametre, najmä teplota vzduchu a zrážky.

Na obrázku 7 je znázornená sezónna dynamika zmien obvodov kmeňov proveniencií smreka, a denné úhrny zrážok počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2010. Stromy všetkých proveniencií reagujú na zintenzívnenie zrážok a nárast alebo pokles teploty vzduchu veľmi podobne. Viacerí autori potvrdili pozitívny účinok júnových a júlových teplôt na prírastok stromov (CARRER & URBINATI 2004, OBERHUBER 2004, ROSSI *et al.* 2007). KNOTT (2004) potvrdil pozitívny vplyv teploty vzduchu a úhrnu zrážok na zmenu obvodu kmeňa, pričom vyššiu závislosť prírastku na teplote vzduchu pozoroval na buku ako na jedli. Vo všeobecnosti je možné povedať, že prírastok dominantných bukových stromov (väčších rozmerov) je viac závislý od zrážok a teploty ako prírastok podrastových stromov (menších rozmerov), zatiaľ čo prírastok dominantných jedlí (väčších rozmerov) je viac závislý od teploty vzduchu a menej od zrážok v porovnaní so subdominantnými jedincami (menších rozmerov). Hlavné príčiny rozdielnej reakcie prírastku stromov na klimatické faktory môžu byť vyvolané zdravotným stavom jednotlivých jedincov, sociálnym postavením, veľkosťou asimilačných orgánov, genetickými predpokladmi a v neposlednom rade môže byť ovplyvnený konkurenčnou schopnosťou okolitých jedincov.



Obrázok 7: Dynamika zmien obvodov kmeňov proveniencií smreka (priemerné hodnoty zo štyroch vzorníkov smrekov z každej proveniencie) v závislosti od denných úhrnov zrážok a priemernej dennej teploty vzduchu počas vegetačného obdobia v roku 2010.

Kulminácia hrúbkového prírastku bola pozorovaná 14. júna po relatívne intenzívnom dažďovom období, preto táto hodnota nemusí predstavovať skutočný prírastok stromu, ale čiastočne môže odrážať zmenu v napučaní kmeňa vplyvom vysokého vodného potenciálu pôdy (dáta nie sú zobrazené). KNOTT (2004) na jedli pozoroval najväčší prírastok (až 42% z celkového ročného prírastku) v máji, pričom 70-90% z celkového ročného prírastku zaznamenal do konca júla, v auguste a v septembri bol prírastok minimálny. Ako zobrazuje obrázok 6 a tabuľka 1, najväčší prírastok na stromoch jednotlivých proveniencií bol zaznamenaný počas mesiacov máj a jún, do konca júna sme zaznamenali 55% z celkového ročného prírastku. Podobné výsledky popisuje JEŽÍK *et al.* (2007), kde v podobnej nadmorskej

výške zaznamenal na 163. deň (12.jún) kulmináciu hrúbkového prírastku na buku a až 72% z ročného prírastku pozoroval medzi 135. a 191. dňom (čo predstavuje obdobie od polovice mája do polovice júla).

Záver

V priebehu vegetačného obdobia v roku 2010 boli merané zmeny obvodov kmeňov a pozorované fenologické prejavy na vegetatívnych orgánoch smrekových proveniencií pochádzajúcich z troch nadmorských výšok. Merania prebiehali v rovnakých stanovištných podmienkach v areáli arboréta Borová hora vo Zvolene. Zmeny obvodu kmeňa boli merané pomocou automatických dendrometrov. Súbežne prebiehali aj merania atmosférických činiteľov. Prvé výrazné zmeny v hrúbke kmeňa sme pozorovali 4. apríla. V tomto období (12. 4.) začala aj prvá fenologická aktivita, ktorá sa prejavila pučaním ihlicových púčikov na proveniencii z nadmorskej výšky 500 metrov. Bez ohľadu na pôvod jedincov bol začiatok tvorby hrúbkového prírastku u všetkých proveniencií zaznamenaný na začiatku mája, počas fenofázy rozpuť ihlicových púčikov (24.4.–3.5.). Pre začatie tejto fenologickej fázy bola potrebná rozdielna suma efektívnych teplôt TS 0°C (395,8–528,9°C) v závislosti od nadmorskej výšky pôvodného stanovišťa proveniencie. Nadmorská výška proveniencie má vplyv na nástup a dĺžku trvania fenologických fáz. Počas priebehu sledovaných fenologických fáz sa obvod kmeňa proveniencií smreka obyčajného zväčšil o 9–15 mm. Vplyvom predlžovania doby trvania fenofáz sa obvod kmeňa medzi provenienciami zväčšil o 3–5 mm. Jarné fenologické fázy na vegetatívnych orgánoch môžu byť indikátorom výraznejšej zmeny obvodu kmeňa. Tento poznatok bude potrebné potvrdiť dlhším časovým radom pozorovaní a meraní. Najväčší prírastok na stromoch jednotlivých proveniencií bol zaznamenaný počas mesiacov máj, jún a júl (70–80%). Na začiatku septembra dochádza k pozvoľnému ustávaní prírastku. Môžeme teda predpokladať, že rozhodujúcimi činiteľmi pre nástup a ukončenie hrúbkového prírastku sú v tomto prípade podmienky stanovišťa a atmosférické parametre, najmä teplota vzduchu a zrážky.

Stromy všetkých proveniencií reagujú na zintenzívnenie zrážok a nárast alebo pokles teploty vzduchu veľmi podobne. Kulminácia hrúbkového prírastku bola pozorovaná 14. júna po relatívne intenzívnom dažďovom období, preto táto hodnota nemusí predstavovať skutočný prírastok stromu, ale čiastočne môže odrážať zmenu v napučaní kmeňa vplyvom vysokého vodného potenciálu pôdy.

V priebehu dňa sú hrúbkové zmeny na obvode kmeňa vyvolané vodným režimom rastlín. Kmene smrekov dosahovali najväčší hrúbkový prírastok pred východom slnka a v skorých ranných hodinách. S nárastom teploty, globálnej radiácie a teda aj s nástupom transpiračného prúdu dochádza k stagnácii a k postupnému poklesu hrúbky kmeňa. Vo večerných hodinách, kedy dochádza k poklesu globálnej radiácie a proces transpirácie ustáva, dochádza k opätovnému nárastu hrúbky kmeňa. Zmeny v hrúbke kmeňa nie sú teda iba výsledkom tvorby bežného prírastku, ale často bývajú spôsobené inými procesmi, obzvlášť zmenami vo vodnom potenciáli kmeňa. Výsledky viacerých autorov potvrdili vplyv nedostatku dostupnej pôdnej vody na zmeny obvodu kmeňa (KORPELA *et al.* 2010, SEVANTO *et al.* 2006, SEVANTO *et al.* 2005). Keďže vybrané vegetačné obdobie bolo charakteristické intenzívnou zrážkovou činnosťou, naše merania nezaznamenali negatívny vplyv fyziologického sucha na zmeny obvodov kmeňov ani na prírastok rozdielnych proveniencií a teda sa nám ani nepodarilo zistiť, ako ktorá proveniencia smreka reaguje na stres suchom. Dendrometrické merania zmien obvodov kmeňov však môžu byť použité ako pomocná metóda pri určovaní bežného prírastku stromov alebo ako alternatívna metóda pri výskume transpiračného prúdu.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná z projektu IPA Technickej Univerzity vo Zvolene č.13/09, Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy APVV-0022-07 a z projektov VEGA 1/0257/11, VEGA 2/0006/11 a VEGA 1/0557/10 .

Použitá literatúra

Carrer M., Urbinati C. (2004): Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730–740.

Carrer M., Anfodillo T., Urbinati C., Carraro V. (1998): High-altitude forest sensitivity to global warming: results from long-term and short-term analyses in the Eastern Italian Alps. In: Beniston, M., Innes, J. L. (eds.): *The impacts of climate variability on forests*. Springer, Berlin Heidelberg New York 171–189.

Čermák J., Kučera J., Bauerle W. L., Phillips N., Hinckley T. M. (2007): Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree Physiology* 27: 181–198.

Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T. (2007): Dendrometer and intra-annual tree growth: What kind of information can be inferred? *Dendrochronologia* 25: 113–124.

Deslauriers A., Morin H. (2005): Intra-annual tracheid production in balsam fir stems and the effect of meteorological variables. *Trees* 19: 402–408.

Deslauriers A., Morin H., Urbinati C., Carrer M. (2003): Daily weather response of balsam fir (*Abies balsamea* /L./ Mill.) stem radius increment from dendrometer analysis in the boreal forests of Quebec (Canada). *Trees* 17: 477–484.

Drew D. M., O'Grady A. P., Downes G. M., Read J., Worledge D. (2008): Daily patterns of stem size variation in irrigated and non-irrigated *Eucalyptus globules*. *Tree Physiology* 28: 1573–1581.

Intrigliolo D. S., Castel J. R. (2005): Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees. *Tree Physiology* 26: 303–311.

Ježík M., Blaženec M., Šteflcová K., Ditmarová Ľ. (2009): Diurnal circumference changes of a subalpine Norway spruce stems: their linkage to atmospheric vapour pressure deficit. In: Pribullová, A., Bičárová, S., (eds.): *Sustainable development and bioclimate. Reviewed conference proceedings, The High Tatras Stará Lesná October 5. – 8. 2009*, 95–96.

Ježík M., Blaženec M., Šteflcová K. (2007): Intraseasonal stem circumference oscillations: their connection to weather course. In: Šteflcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M., (eds.): *Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, September 17. – 20. 2007* (CD).

Kamlerová K., Schejbalová H. (2006): Vliv klimatických faktorů na sezónní dynamiku tloušťkového přírůstku smrku ztepilého. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (eds.): *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Brno 22.3.2006*.

Kmeť J., Ditmarová Ľ., Kurjak D. (2008): Drought as stress factor and its role in spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) dieback. *Beskydy* 1: 35–41.

Knott R. (2004): Seasonal dynamics of the diameter increment of fir (*Abies alba* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) in a mixed stand. *Journal of Forest Science* 50 (4): 149–160.

Körner C. (2003): *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*, 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg New York

Korpela M., Mäkinen H., Nöjd P., Hollmén J., Sulkava M. (2010): Automatic detection of onset and cessation of tree stem radius increase using dendrometer data. *Neurocomputing* 73: 2039–2046.

Kučera J. (2007): *Dendrometer Increment Sensor – DRL 26, User's Manual*. Výrobca EMS Brno, 15 pp.

Mäkinen H., Seo J-W., Nöjd P., Schmitt U., Jalkanen R. (2008): Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements. *European Journal of Forest Research* 127: 235–245.

Mäkinen H., Nöjd P., Saranpää P. (2003): Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology* 23: 959–968.

McLaughlin S. B., Wullschlegel S. D., Nosal M. (2003): Diurnal and seasonal changes in stem increment and water use by yellow poplar trees in response to environmental stress. *Tree Physiology* 23: 1125–1136.

Mind'áš J., Škvarenina J. (2003): *Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny*. LVÚ s. Zvolen, 128 pp.

Oberhuber W. (2004): Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. *Tree Physiology* 24: 291–301.

Perämäki M., Vesala T., Nikinmaa E. (2005): Modeling the dynamics of pressure propagation and diameter variation in tree sapwood. *Tree Physiology* 25: 1091–1099.

Perämäki M., Nikinmaa E., Sevanto S., Ilvesniemi H., Siivola E., Hari P., Vesala T. (2001): Tree stem diameter variations and transpiration in Scots pine: an analysis using a dynamic sap flow model. *Tree Physiology* 21: 889–897.

Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. (2007): Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152: 1–12.

Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Morin H., Saracino A., Motta R., Borghetti M. (2006): Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* 170: 301–310.

Savva Yu. V., Schweingruber F. H., Vaganov E. A., Milyutin L. I. (2003): Influence of climate changes on tree – ring characteristics of Scots pine provenances in southern Siberia (forest-steppe). *IAWA Journal* 24 (4): 371–383.

Sevanto S., Nikinmaa E., Riikonen A., Daley M., Pettijohn J. C., Mikkelsen T. N., Phillips N., Holbrook N. M. (2008): Linking xylem diameter variations with sap flow measurements. *Plant Soil* 305: 77–90.

Sevanto S., Suni T., Pumpanen J., Grönholm T., Kolari P., Nikinmaa E., Hari P., Vesala T. (2006): Wintertime photosynthesis and water uptake in a boreal forest. *Tree Physiology* 26: 749–757.

Sevanto S., Hölttä T., Markkanen T., Perämäki M., Nikinmaa E., Vesala T. (2005): Relationships between diurnal diameter variations and environmental factors in Scots pine. *Boreal Environment Research* 10: 447–458.

Sevanto S., Vesala T., Perämäki M., Nikinmaa E. (2002): Time lags for xylem and stem diameter variations in a Scots pine tree. *Plant, Cell and Environment* 25: 1071–1077.

Schmitt U., Jalkanen R., Eckstein D. (2004): Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula* spp. in the northern boreal forest in Finland. *Silva Fenn* 38: 167–178.

Škvareninová J. (2009a): The dynamics of vegetative phenophases observed at the autochthon populations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Slovakia. *Forestry Journal* 55 (1): 13–27.

Škvareninová J. (ed.) (2009b): *Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia*. Vydavateľstvo Technickej univerzity, Zvolen, 103 pp.

Škvareninová J. (2009c): Nástup vegetatívnych fenologických fáz populácií smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) zo Slovenska vo vzťahu k teplotným sumám. *Meteorological Journal* 12 (2–3): 109–113.

Šmelko Š., Wenk G., Antanaitis V. (1992): *Rast, štruktúra a produkcia lesa*. Príroda, Bratislava, 342 pp.

Turcotte A., Morin H., Krause C., Deslauriers A., Thibeault–Martel M. (2009): The timing of spring rehydration and its relation with the onset of wood formation in black spruce. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1403–1409.

Zweifel R., Zimmermann L., Newbery D. M. (2005): Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. *Tree Physiology* 25: 147–156.

Zweifel R., Item H., Häsler R. (2000): Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* 15: 50–57.

Kontaktní adresa 1. autora:

Ing. Dagmar Magová

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

dagmar.magova@gmail.com