

Kvantifikácia rastovej odozvy klonov smreka obyčajného v závislosti od klimatických a pôdných faktorov

Quantification of the growth response of Norway spruce clones depending on
climatic and soil factors

Adriana Leštianska, Katarína Střelcová

Technická univerzita vo Zvolene, T.G.Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská Republika

Abstrakt

Príspevok prezentuje výsledky 5-ročného (2008-2012) dendroekologického výskumu lesného porastu klonov smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) zameraného na analýzu variability rastových procesov v rámci druhu a kvantifikáciu odpovedí radiálneho rastu na klimatické vplyvy prostredia s dôrazom na sucho. Na základe jednofaktorovej regresnej analýzy sa preukázalo, že hlavným faktorom, ktorý ovplyvňoval najmä začiatok hrúbkového rastu bola teplota vzduchu (spolu so slnečným žiarením a jeho sumou) nameraná 3 dni pred meraním rastovej charakteristiky. Zrážky sa ukázali ako dôležitý faktor ovplyvňujúci rast počas celého sledovaného obdobia. Dostatočný obsah vody v pôde na začiatku jari a v lete je významným faktorom pre veľkosť radiálneho rastu smreka a na konci vegetačného obdobia sa javí ako limitujúci faktor ukončenia procesu rastu.

Kľúčové slová: zmeny obvodu kmeňa, *Picea abies*, dendrometer, klíma – rast

Abstract

The contribution presents the results of 5 year-long (2008-2012) dendroecological research in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) clones forest stand aimed at analysing genotype variability of growth processes in species and quantification of radial growth responses on climatic environmental influences with a focus on drought. Regression analysis showed that the main factor, which mainly affected the beginning of diameter growth was air temperature (with the global radiation and its amount) measured 3 days prior to the measurement growth characteristic. Rainfall proved to be as an important factor affecting growth during the whole period. Sufficient water content in the soil in early spring and summer is an important factor for the radial growth size of spruce and at the end of the vegetation period appears to be the limiting factor of the completion of the growth process.

Keywords: stem circumference changes, *Picea abies*, dendrometer, climate – growth

Úvod

Smrek obyčajný (*Picea abies* /L./ Karst.) je najviac zastúpenou drevinou v lesoch Slovenska a jednou z najvýznamnejších drevín, ako z pohľadu lesníckeho, tak hospodárskeho. Napriek tomu, že sa smrek z hľadiska ekologických nárokov hodnotí ako drevina s veľkou vnútrodruhovou a geografickou premenlivosťou, prispôsobivá nielen klimatickým ale aj pôdnym podmienkam, v posledných desaťročiach sa zaraďuje k druhom s množstvom zdravotných a rastových problémov.

Rast stromu prebieha počas vegetačného obdobia činnosťou druhotných delivých pletív – kambia a felogénu. Zmeny hrúbky kmeňa nie sú výsledkom len tvorby xylémových pletív (irreverzibilné reakcie kmeňa), ale sú taktiež zapríčinené vodnou bilanciou dreviny. Kmeň stromu a jeho pletivá (kôra, lyko, xylém) slúžia ako zásobník vody pre transpiráciu, s ktorou súvisia denné zmeny hrúbky kmeňa spôsobené zmršťovaním a napúčaním (reverzibilné reakcie kmeňa) (ZWEIFEL, HÄSLER 2001, ZWEIFEL *et al.* 2005, JEŽÍK *et al.* 2007, KORPELA *et al.* 2010). Často používanou metódou pre zaznamenávanie radiálneho rastu kmeňa zahrňujúci bunkové delenie a rozširovanie floému a xylému ako aj fáz expanzie a kontrakcie sú merania pomocou dendrometrov. Dendrometre so záznamom na hodinovej úrovni a rozlíšení mikrometrov sú v súčasnosti široko využívané k získaniu informácií o denných radiálnych zmenách rôznych druhov drevín za účelom preskúmať vplyvu podmienok prostredia (DESLAURIERS *et al.* 2003, DREW *et al.* 2008, KING *et al.* 2013).

Otázka genetiky má taktiež osobitný význam pre stromy, pretože sú dlhožijúce, stacionárne a prežívajú pomerne dlhé obdobia v juvenilnej (nereprodukčnej) fáze (JUMP *et al.* 2006). Súčasná rýchla klimatická zmena vedie k neistote vzhľadom k schopnosti niektorých drevín udržať krok s ich meniacim sa prostredím s neznámymi vplyvmi vzhľadom na budúcu skladbu lesa (MCLACHLAN *et al.* 2005).

V príspevku analyzujeme vplyv klimatických (úhrn zrážok, teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, globálne žiarenie) a pôdných faktorov (vodný potenciál pôdy) na rast troch genetických klonov smreka obyčajného v štádiu žrdoviny počas piatich vegetačných období. Cieľom je získať informácie o premenlivosti rastových parametrov v rámci druhu, poukázať na predpokladané rozdiely v ich rastových schopnostiach v závislosti od podmienok prostredia a kvantifikovať rastové reakcie na klimatické vplyvy v ročnom a medziročnom chode.

Materiál a metódy

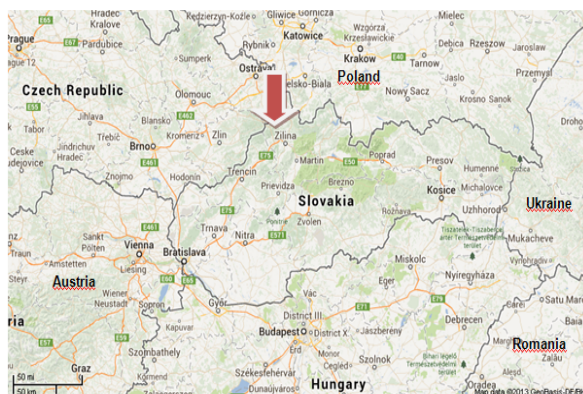
Náš výskum bol realizovaný na ploche Predmier I (49°24', 18°35') umiestnenej v oblasti CHKO Kysuce – Západné Beskydy (Obr. 1). Výskumná plocha (0,54 ha) sa nachádza v nadmorskej výške 500 m n. m., na miernom svahu s východnou expozíciou a sklonom 10 %, so 100% zastúpením smreka obyčajného. Geologický podklad tvorí flyš s premenlivým podielom pieskovcov, ílovcov a slieňovcov. Po klmatickej stránke patrí územie do mierne teplej oblasti s priemernou ročnou teplotou vzduchu 6,7 °C (údaj zo stanice Čadca (423 m n. m.) za obdobie 1951–1980 a priemerným ročným úhrnom zrážok 875 mm (údaj zo stanice Turzovka (465 m n. m.) za obdobie 1951–1980) (Obr. 2).

Plocha bola založená z autovegetatívneho rozmnožovania v roku 1989. Pokusná plocha bola v minulosti založená za účelom výskumu, cieľom ktorého bolo zisťovanie vitality autovegetatívne množeného materiálu po výsadbe a získanie a porovnanie rastových charakteristík odrezkovancov na testovacích plochách v oblasti Kysúc (STRMEŇ, 2004). Na výsadbu boli použité trojročné rezkovance, odoberané z materských porastov nachádzajúcich sa v oblasti Západných Beskýd. Na testovaciu plochu boli vysadené po 4 sadenice z každého klonu v dvoch opakovaníach v sponě 1,5x1,5 m (CHLEPKO 1993 ex STRMEŇ 2004). V roku 2007 bolo na ploche vybratých a označených 42 jedincov (cca 6 klonov x 7 jedincov), u ktorých bola pred začatím pokusu v laboratórnych podmienkach overená príslušnosť k danému genotypu použitím PCR metódy (polymerázová reťazová reakcia). Po overení genetickej príslušnosti bolo na ploche vybraných a označených 15 jedincov (3 klony x 5 jedincov, ďalej označované: a1–5, b1–5, c1–5). Na meranie zmien obvodu kmeňa stromov sme použili digitálne dendrometre DRL 26 výrobcu EMS Brno (Environmental Measuring Systems, Brno, www.emsbrno.cz) s automatizovaným ukladaním dát do zabudovaného datalogera. Dáta boli zaznamenávané od februára 2008 do januára 2012 s hodinovým intervalom zaznamenávania dát.

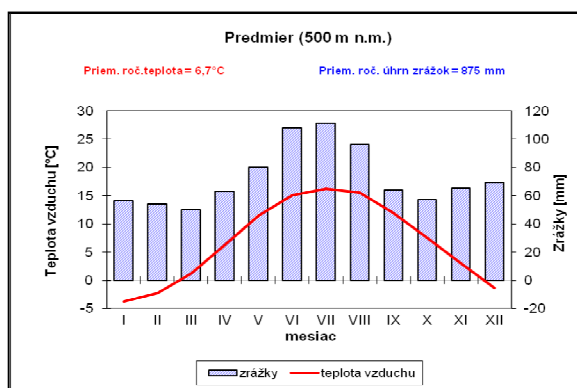
Základné výsledky meraní zmien obvodov kmeňov klonov smreka v štádiu žrd'oviny boli spracované a upravované v programe Mini 32 (EMS Brno, Cz). Pre porovnanie prírastkových zmien v rámci dňa sme namerané údaje prepočítali na veľkosť dennej zmeny použitím rozdielu medzi hodnotami nameranými o 24:00 hodine dvoch po sebe nasledujúcich dní.

V priebehu výskumného obdobia boli v blízkosti experimentálnej plochy Predmier I (cca 200 m od výskumnej plochy) merané základné meteorologické veličiny: teplota vzduchu AT [°C], globálne žiarenie GR [$W \cdot m^{-2}$] a vlhkosť vzduchu RAH [%] vo výške 2 m. Vodný potenciál pôdy SWP [bar] bol meraný v dvoch hĺbkach 15 a 30 cm v dvoch opakovaníach použitím

štandardnej meracej techniky pomocou sadrových bločkov s datalogerom MicroLog SP3 (EMS Brno, CZ) s automatizovaným ukladaním dát v intervale 1 hodina. Denné úhrny zrážok boli získané zo stanice SHMÚ – Turzovka (465 m n. m.) a Čadca (423 m n. m.). Z nameraných meteorologických údajov sme počítali mesačné a ročné klimatologické charakteristiky (priemerné teploty, úhrny zrážok), ktoré sme porovnávali s dlhodobými priemermi staníc SHMÚ (Čadca, Turzovka) za roky 1961–1990. Hodnotenie abnormálnosti počasia počas sledovaných rokov sme urobili na základe metodického predpisu SHMÚ (LAPIN *et al.* 1988).



Obr. 1: Výskumná plocha Predmier I (500 asl.) lokalizovaná v CHKO Kysuce – The Západné Beskydy, Severné Slovensko (49°24', 18°35'), (www.mapy.cohladas.sk)



Obr. 2: Klimadiagram – výskumná plocha Predmier I. Dlhodobé priemery teploty vzduchu a zrážok za roky 1961–1990

Veľkosť dennej zmeny obvodu kmeňov ZOK [$\text{mm}\cdot\text{deň}^{-1}$] sme porovnávali so sledovanými klimatickými a pôdnymi charakteristikami s časovým posunom 1 až 5 dní pred dňom merania veľkosti zmeny na obvode kmeňa. Za účelom zistenia existencie a sily vzťahu sme použili Spearmanov poradový korelačný koeficient (DITMAROVÁ *et al.* 2006). Použitím Spearmanovho poradového korelačného koeficienta sme taktiež hodnotili existenciu vplyvu faktorov prostredia na veľkosť zmeny na obvode kmeňov v jednotlivých mesiacoch sledovaných vegetačných období. Štatistické analýzy sme vykonali pomocou programu Statistica 7.0.

Výsledky

Skutočnosť, že roky 2008–2012 boli výrazne klimaticky diferencované nám umožňuje zachytiť rozdiely v rastovej odozve sledovaných klonov smreka obyčajného spôsobené variabilitou počasia.

Priebeh veľkosti priemerných mesačných zmien obvodu kmeňov a porovnanie zrážok a teploty vzduchu v jednotlivých mesiacoch a rokoch s dlhodobým normálom (1951-1980) je znázornené na obrázku 4.

V roku 2008 celkový úhrn zrážok predstavoval 722,9 mm (podnormálny) a priemerná teplota dosiahla 9°C (mimoriadne nadnormálny). Začiatok rastu sme zaznamenali v druhej polovici apríla. Nadpriemerná teplota vzduchu a podnormálne zrážky v júny spôsobili stagnovanie rastu a kulminácia rastu sa posunula na mesiac júl. Najvyššia hodnota vodného potenciálu pôdy (-1,13 MPa v hĺbke 30 cm) bola dosiahnutá až koncom septembra, kedy však dochádza k prirodzenému ukončeniu rastu.

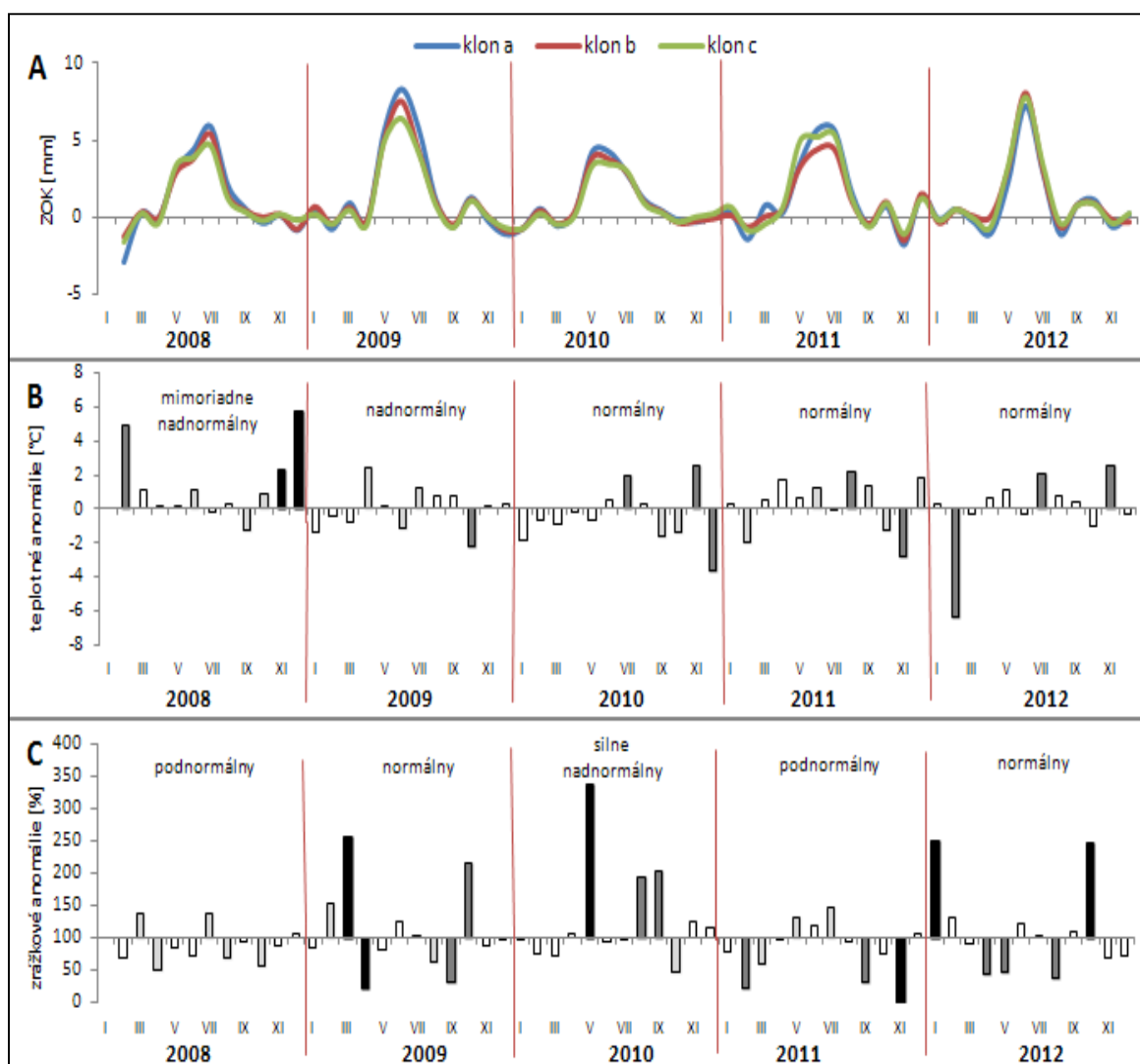
V roku 2009 celkový úhrn zrážok predstavoval 912,2 mm (normálny) a priemerná teplota dosiahla 7,4°C (nadnormálny). Napriek tomu, že celkovo bolo vegetačné obdobie 2009 zrážkovo normálne, na jar a na jeseň sme zaznamenali podpriemerné úhrny zrážok. Maximálny rast bol v mesiaci júl. Podnormálne zrážky na konci augusta a v septembri spôsobili zmršťovanie kmeňov a k opätovnému napučiovaniu kmeňov došlo v októbri vplyvom nadpriemerných zrážky. Kontrastným rokom z hľadiska rastových podmienok sa javil rok 2010. V roku 2010 celkový úhrn zrážok predstavoval až 1179,3 mm (silne nadnormálny) a priemerná teplota dosiahla 6,2°C (normálny). Napriek tomu, že v máji sme zaznamenali mimoriadne nadnormálny úhrn zrážok, mesiace jún a júl, kedy obyčajne kulminuje rast, sa javili ako zrážkovo podnormálne s výskytom dlhších bezzrážkových období, čo malo za následok, že veľkosť zmeny obvodu kmeňov v roku 2010 dosiahla len 40% z veľkosti zmeny obvodu kmeňov dosiahnutej v roku 2009.

V roku 2011 celkový úhrn zrážok predstavoval až 765,8 mm (podnormálny) a priemerná teplota dosiahla 7,0°C (normálny). Napriek tomu, že celkovo sa rok 2011 javil ako zrážkovo podnormálny, tieto suché obdobia sa vyskytovali prevažne v mesiaci február a koncom septembra a v októbri, kedy je rast zvyčajne už ukončený. Ostatné mesiace boli zrážkovo i teplotne normálne, a pri porovnaní s rokom 2009 sa rok 2011 javí ako podobný z hľadiska klimatických podmienok, nadpriemerné júnové teploty spôsobili nižšiu hodnotu prírastku na obvode kmeňa.

Napriek tomu, že rok 2012 sa javil v porovnaní s dlhodobým priemerom ako zrážkovo i teplotne taktiež normálny, pričom celkový úhrn zrážok predstavoval 904,4 mm a priemerná teplota dosiahla 6,7°C. Po zrážkovo nadpriemernom januári a februári nasledovali zrážkovo podpriemerné mesiace marec, apríl a máj, čo malo za následok stagnovanie rastu a začiatok rastu sa v porovnaní s ostatnými sledovanými rokmi posunul na máj. V rámci vegetačného

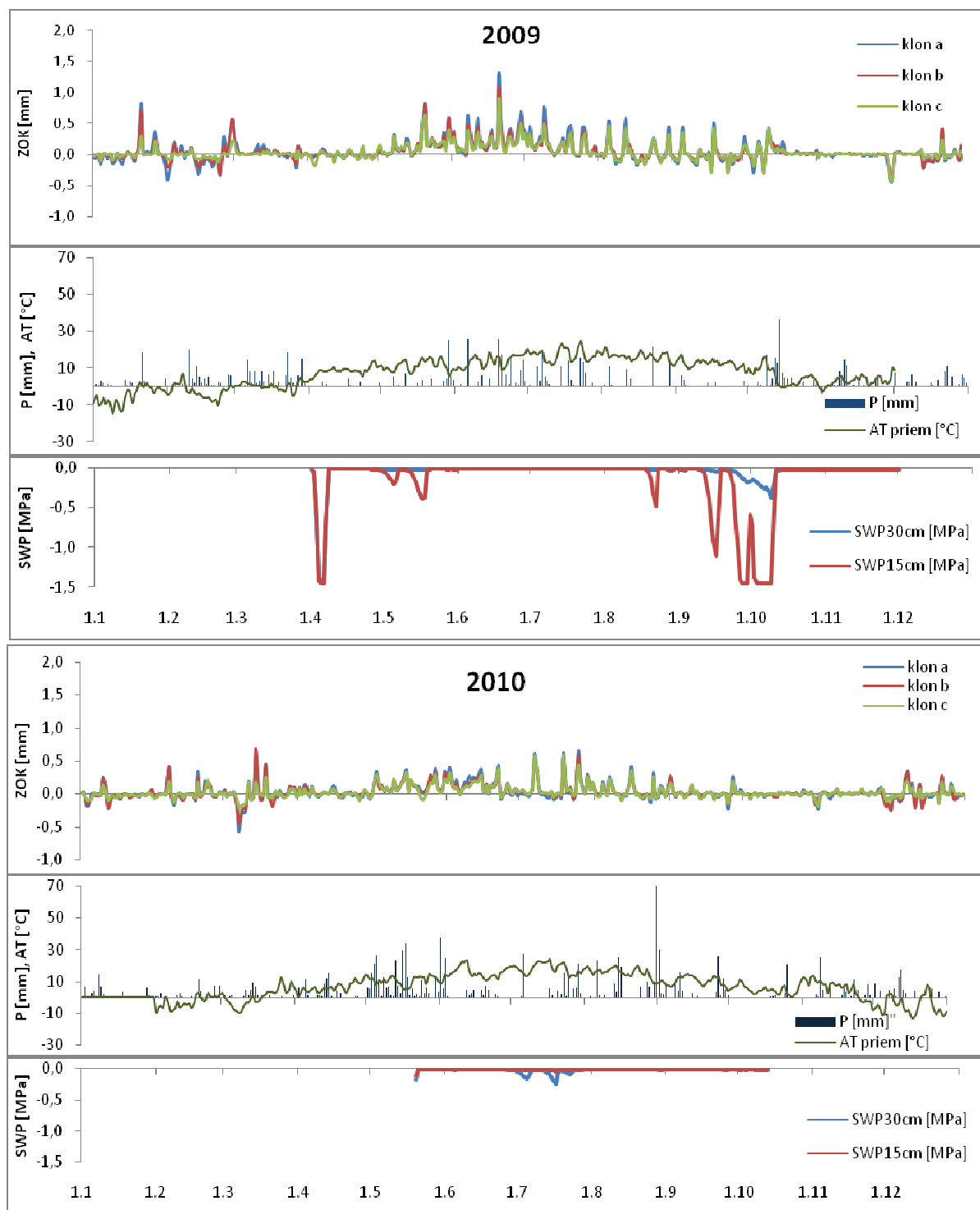
obdobia sme zaznamenali podpriemerný úhrn zrážok a nadpriemerné teploty. Koncom mája, v júli, auguste a najvýraznejšie začiatkom septembra vplyvom nedostatku vody zo zrážok opäť došlo k preschnutiu fyziologickej časti pôdneho profilu, čo malo za následok znižovanie obvodu kmeňa vplyvom nárastu pôdneho vodného potenciálu (-1,1 MPa začiatkom júna, -0,7 MPa začiatkom júla a -1,5 MPa začiatkom septembra). Vyšší úhrn zrážok sme zaznamenali až v novembri. Väčšina prírastku na obvode kmeňa sa vytvorila v júni (55% z celkového ročného prírastku na obvode kmeňa), kedy sme zaznamenali najväčší úhrn zrážok a pokles teploty v rámci vegetačného obdobia.

Denná dynamika zmien obvodu kmeňov a priebeh klimatických a pôdnych charakteristík v dvoch klimaticky odlišných rokoch je znázornená na obr. 4.



Obr. 3: Rastové krivky mesačných hodnôt zmien obvodu kmeňov ZOK (A). Anomálie teplôt vzduchu AT (B), zrážok P (C) od dlhodobých priemerov, (biela – v rámci normálu, šedá –

nad- a podnormálne, tmavo šedá – silne nad a podnormálne, čierna – extrémne pod- a nadnormálne)

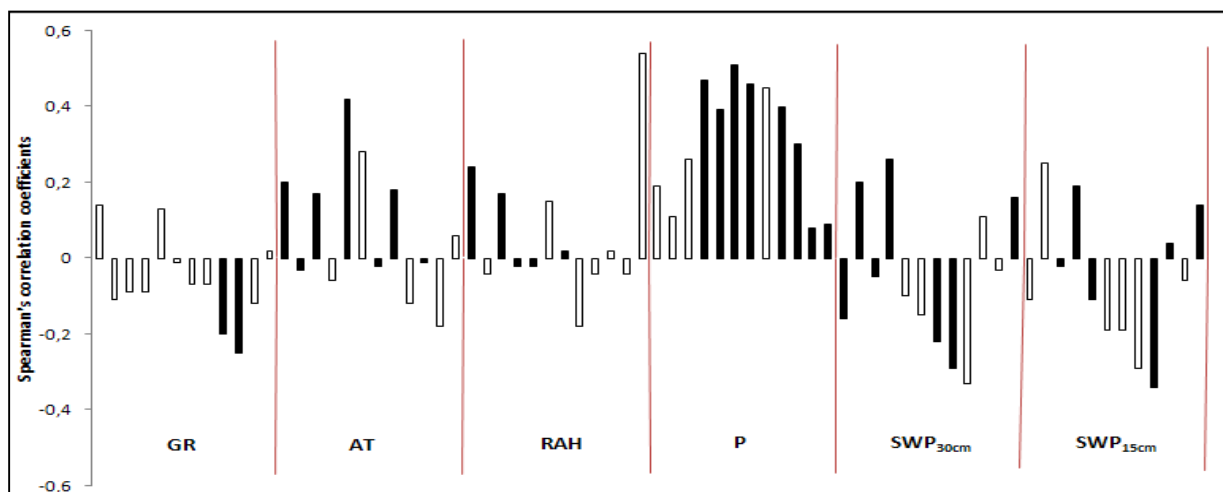


Obr. 4 Denná dynamika zmien obvodu kmeňov (ZOK) a priebeh klimatických (P, AT) a pôdnych (SWP) charakteristík v dvoch klimaticky odlišných rokoch 2009 a 2010.

Vplyv jednotlivých charakteristík na zmeny obvodu kmeňa sme vyjadrili pomocou Spearmanových poradových korelačných koeficientov (Tab. 1). Zistili sme však, že tento vplyv nie je bezprostredný v dňoch záznamu veľkosti zmeny, ale táto zmena na obvode kmeňa sa deje pod vplyvom jednotlivých faktorov s určitým časovým posunom. Zistili sme, že na zmeny obvodu kmeňov mal najväčší vplyv denný úhrn zrážok namerané v predchádzajúci deň. Priemerná denná teplota vzduchu spolu so sumou globálnej radiácie mali vplyv na veľkosť zmeny obvodu kmeňa s časovým posunom 3 dni. Ako signifikantný sa preukázal vplyv vodného pôdneho potenciálu pôdy v oboch hĺbkach nameraného v deň merania zmeny obvodu kmeňa.

Tab. 1 Spearmanov korelačný koeficient medzi veľkosťou zmeny na obvode kmeňa a klimatickými a pôdnymi charakteristikami meranými i-dní pred meraním zmeny obvodu kmeňov.

| | posun | | | | | |
|---------|--------------|-------------|-------|-------------|-------|--------------|
| | 0 deň | 1 deň | 2 dni | 3 dni | 4 dni | 5 dní |
| GR | 0,05 | -0,06 | 0,08 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| AT | 0,29 | 0,30 | 0,33 | 0,34 | 0,33 | 0,31 |
| RAH | 0,06 | 0,11 | -0,11 | -0,21 | -0,22 | -0,23 |
| P | 0,15 | 0,35 | 0,29 | 0,07 | 0,03 | -0,01 |
| SWP30cm | -0,27 | -0,22 | -0,18 | -0,17 | -0,16 | -0,17 |
| SWP15cm | -0,22 | -0,16 | -0,10 | -0,09 | -0,09 | -0,09 |



Obr. 5 Spearmanove korelačné koeficienty medzi klimatickými a pôdnymi charakteristikami v jednotlivých mesiacoch a veľkosťou zmeny na obvode kmeňa (čierne stĺpce – signifikantné na hladine $P < 0.05$).

Na základe regresnej analýzy (Obr. 5) sa preukázalo, že hlavným faktorom, ktorý ovplyvňoval najmä začiatok hrúbkového rastu bola teplota vzduchu (spolu so slnečným

žiarením a jeho sumou) nameraná 3 dni pred meraním rastovej charakteristiky. Negatívny vplyv teploty sme zaznamenali v mesiaci jún. Výskyt zrážky deň pred nameranou zmenou obvodu kmeňov sa ukázali ako významný faktor ovplyvňujúci rast počas celého sledovaného obdobia. Dostatočný obsah vody v pôde na začiatku jari a v lete je významným faktorom pre rast smreka a na konci vegetačného obdobia sa javí ako limitujúci faktor ukončenia procesu rastu. Výrazne negatívny signifikantný vplyv na prírastok obvodu kmeňov mal vodný potenciál pôdy v júli a auguste.

Diskusia

WENK, FIEDLER (In: ŠMELKO *et al.* 1992) zistili, že vplyv teploty vzduchu a zrážok je v jednotlivých mesiacoch rozdielny. Začiatok rastu na jar podmieňuje teplota, koniec rastu naproti tomu dĺžka dňa, lebo nezávisle od počasia zastavuje väčšina drevín koncom augusta alebo začiatkom septembra hrúbkový rast. Naša štúdia preukázala začiatok rastu od polovice apríla, s výnimkou roku 2012, kedy vplyvom zvyšujúcej sa teploty postupne veľkosť zmeny na obvode kmeňa výrazne narastá. V roku 2012 sa výrazne prejavil nízky úhrn zrážok v jarnom období a začiatok rastu sa posunul na máj.

DESLAURIERS, MORIN (2005) zistili, že rýchlosť tvorby nových buniek sa mení so sezónnou dynamikou minimálnej teploty. Význam teploty vzduchu v spúšťaní a udržiavaní aktivity kambia a v produkcii xylému a floému bol potvrdený viacerými autormi (napr. SAVVA *et al.* 2003, GRIČAR 2006, , TURCOTTE *et al.* 2009). 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 môže byť podstatne znížená až pozastavená pokiaľ priemerná denná teplota vzduchu klesne pod 2 °C alebo teplota pôdy pod 3–5 °C (KÖRNER 2003). ROSSI *et al.* (2007) uvádza, že v júni sa vplyv teploty a zrážok vyrovnáva, ale v júli a auguste je vplyv teploty minimálny, čo čiastočne súhlasí s našimi výsledkami. Rast kulminoval v mesiacoch jún a júl a inverzný trend sme zaznamenali v mesiacoch august a september, kedy sa často vyskytovali obdobia s deficitom zrážok. Vplyv sucha na fyziologické a rastové procesy sa najviac prejavil v čase kulminácie rastu a koncom leta, vzhľadom na to, že na začiatku vegetačného obdobia (aj pri malých zrážkach) môžu dreviny ešte využiť zásoby vody v pôde naakumulovanej počas zimy. Ako uvádzajú MINĎAŠ, ŠKVARENINA (2003), z fyziologického hľadiska veľmi nepriaznivo pôsobia júlové deficity zrážok, pričom v minulosti väčšina staníc Slovenska zaznamenávala maximálne zrážkové úhrny práve v tomto mesiaci. Toto sa nám

potvrdilo aj z meraní zmien obvodu kmeňov počas vegetačného obdobia 2010, pričom sme v rámci 5-tich sledovaných rokov zaznamenali najnižšiu veľkosť zmeny na obvode kmeňa.

Vzájomný vzťah medzi hrúbkovým rastom, klimatickými činiteľmi a klimatickými zmenami sa zaoberali tiež DESLAURIERS *et al.* (2007), SOULÉ (2011). Laboratórne štúdie taktiež potvrdili, že zmeny v hrúbke kmeňa sú veľmi úzko spojené so zmenami relatívnej vlhkosti vzduchu a zrážky počas vegetačného obdobia majú taktiež kladný vplyv (MÄKINEN *et al.* 2003), čo potvrdili aj naše pozorovania. DENNELER *et al.* (2010) v rámci monitorovania prírastku *Thuja Occidentalis* /L./ zistili pozitívny vplyv priemernej vlhkosti vzduchu a negatívny vplyv maximálnej teploty vzduchu na denné zmeny obvodu kmeňov v sledovanom období. Vyššia citlivosť na nízku teplotu vzduchu sa preukázala predovšetkým u smrekov rastúcich vo vyššie položených lokalitách Nemecka a Škandinávie (ANDREASSEN *et al.* 2006, FRANK, ESPER 2005). Nedostatok zrážok, nízka relatívna vlhkosť vzduchu a nedostatok vody v pôde majú za následok buď adaptáciu rastlín na zmenené podmienky, alebo dlhotrvajúce suchá môžu vyvolávať „vodný stres“, a tým zapríčiniť poškodenie pletív a stagnovanie rastu. Ako uvádza ZWEIFEL *et al.* (2005), analýzy dendrometrických údajov umožňujú nie len poznanie denných chodov stenčenia a prírastania kmeňa, ale aj sledovanie suchých a vlhkých období trvajúcich od niekoľko dní po niekoľko týždňov. Aj naša štúdia potvrdila, že počas daždivých dní a dní s vysokou vlhkosťou vzduchu dochádza k zvyšovaniu obsahu pôdnej vody, čoho výsledkom je nárast obvodu kmeňa, zatiaľ čo počas suchých dní obsah pôdnej vody postupne klesá a dochádza k zastaveniu rastu a k zmršťovaniu kmeňa.

BOURIAUD, POPA (2009) skúmali a porovnávali vplyv klimatických fluktuácií na rastové procesy troch druhov ihličnatých drevín (borovica lesná, smrek obyčajný a jedľa biela). Zistili, že z troch skúmaných drevín najviac vplyva teplota a sucho na smrek obyčajný. Hodnotenia NOVÁKA *et al.* (2010) taktiež potvrdili signifikantný negatívny vplyv meteorologického sucha na hrúbkový prírastok v priebehu posledných 30 rokov. GRUBER *et al.* (2010) zistil, že deficit pôdnej vody nepriaznivo ovplyvňuje dĺžku trvania hrúbkového prírastku. Podobné výsledky preukázal NIELSEN, JORGENSEN (2003), ktorý zistil, že nedostatok pôdnej vody môže skrátiť obdobie hrúbkového prírastku až o 25 dní.

Záver

Získané výsledky sledovania sezónnej dynamiky zmien obvodu kmeňov v priebehu roka nedeštruktívnou metódou použitím obvodových dendrometrov so súčasným meraním klimatických faktorov prispievajú k osvetleniu rastovej odozvy stromov na tieto faktory.

Rozdiely vo veľkosti hrúbkového prírastku závisia na veľkom množstve faktorov, ako vnútorných tak aj vonkajších. Pri ďalšom štúdiu bude venovaná detailná pozornosť hľadaniu vzájomných vzťahov medzi rastom stromov a hlavnými možnými prediktormi týchto zmien.

Literatúra

- Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O. E., Lystad, S. L., 2006: Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) growth in Norway. *Forestry Ecological Management* 222: 211–221
- Bouriaud, O., Popa, I., 2009: Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains. *Trees* 23: 95–106
- Denneler, B., Bergeron, Y., Bégin, Y., 2010: Flooding effectes on Tree-ring formation of Riparian Eastern White-cedar (*Thuja occidentalis* L.), Northwestern Quebec, Canada. *Tree-Ring Research* 66 (1): 3–17
- 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 borela forests of Québec (Canada). *Trees* 17: 477–484
- Ditmarová, Ľ., Kmeť, J., Střelcová, K., Gömöry, D., 2006: Effects of drought on selected physiological parameters of young beech trees under stress conditions. *Ekológia* (Bratislava) 2 (1): 1–11
- Drew, D.W., 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
- Frank, D., Esper, J., 2005: Characterization and climate response patterns of high-elevation multi-species tree-ring network in the European Alps. *Dendrochronologia* 222: 107–121
- Gričar, J., Zupančič, M., Čufar, K., Oven, P., 2006: Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce. *Wood Sci Technol*, DOI 10.1007/s00226-006.0109-2.
- Gruber, A., Zimmermann, J., Wieser, G., Obergruber, W., 2009: Effects of climate variables on intra-annual stem radial increment in *Pinus cembra* /L./ along the alpine treeline ecotone. *Annals of Forest Science* 66: 503 s.

- Ježík, M., Blaženec, M., Střelcová, K., 2007: Interseasonal stem circumference oscillation: their connection to weather course. In: Střelcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M., (eds): Bioklimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17.–20. september 2007
- Jump A.S., Hunt J.M., Penuelas J. 2006: Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12:2163–2174
- King G., Fonti P., Nievergelt D., Butgen U., Frank D., 2013: Climatic drivers of hourly to yearly radius variations along a 6°C natural warming gradient. *Agricultural and Forest Meteorology* 168: 36–46
- 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
- Lapin, M., Faško, P., Kveták, Š., 1988: Metodický predpis 3-09-1/1, Klimatické normály. SHMÚ, Bratislava: 25 s.
- McLachlan J.S., Clark J.S., Manos P.S., 2005: Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change. *Ecology* 86: 2088–2098
- Mind'áš, J. Škvarenina, J. (eds), 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. EFRA Zvolen, LVÚ Zvolen: 129 s.
- Nielsen, Ch. N., Jorgensen, F. V., 2003: Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances. *Forest Ecology and Management* 174: 233–249
- Novák, J., Slodičák, M., Kacálek, D., Dušek, D., 2010: The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal of Forest Science* 56 (10): 461–473
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. 2007. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152: 1–12
- 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
- Schmitt, U., Jalkanen, R., Eckstein, D., 2004: Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula spp.* In the northern boreal forest in Finland. *Silva Fennica* 38: 167–178

Soulé, P.T., 2011: Changing climate atmospheric composition and radial tree growth in a spruce-fir ecosystem on Grandfather Mountain, North Carolina. *Natural Areas Journal* 31 (1): 65–74

Strmeň, S., 2004: Stav autovegetatívneho smrekového porastu 11 rokov po výsadbe v imisiách zasiahnutej oblasti Kysúc. *Forestry journal* 50 (1): 41–52

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

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. *Agriculture and Forest Meteorology* 149: 1403–1409

Zweifel, R., Häsler, R., 2001: Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature, subalpine conifers. *Agricultural and Forest Meteorology* 102: 213–222

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

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0436-10 (60%), APVV-0480-12 (20%) a APVV-0022-10 (20%).

Kontakt

Ing. Adriana Leštianska, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

T.G.Masaryka 24, 960 53 Zvolen

Slovenská Republika

Tel.: +421 45 52 06 268

e-mail: adriana.lestianska@tuzvo.sk