

SEZÓNNE ZMENY HRÚBKY KMEŇA BUKA (*FAGUS SYLVATICA* L.) VO VZŤAHU KU KLIMATICKÝM FAKTOROM NA STREDNOM SLOVENSKU

Marek Ježík, Katarína Střelcová, Lubica Ditmarová, Jaroslav Kmet'

Abstract:

Seasonal pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) diameter changes and their connection to climatic factors in Central Slovakia

The study analyses the changes in diameter of adult beech trees (*Fagus sylvatica* L.) in central Slovakia, their seasonal dynamics, relation to climatic factors and weather during three vegetation periods 2003-2005. The studied trees were situated in two sites differing in altitude, and consequently also in the local climate and vegetation. The conspicuous differences between the total annual increments and the courses of their seasonal formation at the low altitude site resulted mainly from positive influence of temperature in May and moisture conditions in summer, above all in June. In the extremely dry and hot vegetation period 2003 we registered very untypical course of seasonal diameter increment. The increment was remarkably reduced after May. In summer and autumn we also recorded shrinkage of tree stems. At the high altitude site the main factor controlling the diameter growth was the temperature. In the year 2003 we also recorded precipitation deficits and dry episodes here. While the increment curves at the low altitude site reached their peaks from the beginning of May to the beginning of July, the peaks at the high altitude site, where increment creation started in June, were recorded in July and August.

Keywords: diameter increment, weather conditions, drought

1. ÚVOD

Stromy mierneho pásma zväčšujú svoju hrúbku prevažne periodicky v priebehu vegetačnej sezóny činnosťou druhotných laterálnych delivých pletív - kambia a felogénu. Hrúbkový rast je spojený najmä s činnosťou kambia, ktoré tvorí smerom dovnútra bunky dreva a smerom navonok bunky lyka. Podľa FRITSA (1958) a POŽGAJA *et al.* (1997) sa na stranu dreva vytvára podstatne viac buniek (asi 10x) ako na stranu lyka. Ako uvádzajú napr. KOZLOWSKI *et al.* (1991) a LARCHER (2001), aktivita týchto meristematických pletív súvisí so základnými fyziologickými procesmi stromov, ktoré ju ovplyvňujú buď priamo, alebo prostredníctvom metabolitov a hormonálnych rastových regulátorov. Senzitivita hrúbkového rastu na vonkajšie faktory prostredia dala vzniknúť oborom dendrochronológie a dendroklimatológie (FRITTS 1976; COOK-KAIRIUKSTIS, 1990; SCHWEINGRUBER 1996).

Ročný kruh a jeho charakteristiky ako sú šírka, hustota, pomer medzi jarným a letným

drevom alebo izotopmi uhlíka sa používajú na analýzy a rekonštrukcie fluktuácií klímy a priebehu počasia, znečistení atmosféry, prirodzených areálov drevín a ich proveniencií, výskytu prirodzených disturbancií a zásahov človeka do lesných ekosystémov.

Viacero prác sa zaoberá hrúbkovým rastom, jeho dynamikou v priebehu vegetačného obdobia a vzťahom ku fyziologickým procesom, prípadne faktorom klímy, fluktuáciám počasia a zdravotnému stavu. (napr. KRAMER, 1982; TATARINOV a ČERMÁK, 1999; ZWEIFEL *et al.*, 2000; OFFENTHALLER *et al.*, 2001; TARDIF *et al.* 2001; JEŽÍK a VOŠKO 2002; KNOTT 2004).

Krátkodobé (v priebehu dňa príp. niekoľkých dní) kolísanie hrúbky drevín je tiež silne ovplyvnené vodnou bilanciou dreviny. V tomto prípade kmeň stromu a jeho pletivá (kôra, lyko, xylém) slúži ako zásobník vody pre transpiráciu a denné zmeny hrúbky kmeňa (spôsobené zmršťovaním a napúčaním) tak odrážajú vodnú bilanciu a potenciál týchto pletív (ZWEIFEL a HÄSLER, 2001;

ZWEIFEL *et al.*, 2001; DESLAURIERS *et al.*, 2003).

Buk patrí medzi typické „tienne“ a „roztrúsenopórovité“ dreviny. Kambiálna aktivita buka každoročne začína na vrcholoch kmeňa a konárov, aktivovaná auxínmi produkovanými fyziologicky aktívnymi pupeňmi a až po vypučaní listov pokračuje smerom nadol ku báze kmeňa (KOZLOWSKI *et al.* 1991; LARCHER 2001).

Predkladaná štúdia sa zaoberá zmenami hrúbky dospelých jedincov buka na strednom Slovensku, ich sezónnou dynamikou a vzťahom k faktorom klímy a počasia na základe meraní dendrometrami v priebehu troch vegetačných sezón. Skúmané stromy pochádzali z 2 stanovišť s rozdielnou nadmorskou výškou a tým aj klimaticko-vegetačnými pomermi.

2. MATERIÁL A METÓDY

Lokality

Experimentálne merania sa uskutočnili na strednom Slovensku na dvoch lokalitách s vulkanickým (andezitovým) podložíom prakticky v rovnakej zemepisnej šírke, vzdušná vzdialenosť lokalít je 29 km a výškový rozdiel je 880 m.

Prvá lokalita sa nachádza na kontrolnej ploche Ekologického experimentálneho stanovišťa v **Kremnických vrchoch** (EES) (48°38'06" SZŠ, 19°04'12" VZD, 470 m n. m.). Výskumná plocha je na svahu s orientáciou na západo-juho-západ so sklonom 12-20° a hĺbkou pôdy okolo 65 cm. Pôdny typ je kambizem andozemná. Lesný porast je zapojený rovnoveký so zápojom 0,9. Dominantnou drevinou porastu je buk (90 %); jedľa, dub a hrab sú vtrúsené. V roku 2003 bol porast vo veku 100 rokov. Počas experimentu sme merali biometrické charakteristiky na 6-tich úrovňových stromoch buka. Výška stromov bola 28,5 - 30,5 m a hrúbka ($d_{1,3}$) 32 – 36 cm.

Druhá lokalita je umiestnená na **Prednej Poľane** (PP) (48°37'45" SZŠ, 19°27'48" VZD, 1347 m n. m.). Výskumná plocha je časťou Biosférickej rezervácie Poľana a Národnej prírodnej rezervácie Zadná Po-

ľana. Výskumná plocha je blízko vrcholu juho-západne orientovaného svahu so sklonom 5-25°. Pôdny typom sú kambizeme. Dominantnou drevinou je smrek (93 %) s prímiesou buka (4%) a jarabiny. Je to rôznoveký prales, kde najstaršie stromy smreka majú vek 150-190 rokov. Porast má mozaikovitú štruktúru s veľkou hrúbkovou a výškovou diferencovanosťou so zápojom okolo 0,6. Jedince buka tu rastú na hornej hranici svojho výskytu v podmienkach Slovenska. Vyskytujú sa tu v krovitej forme v podúrovni pod dominantnou smrekovou vrstvou, alebo vo forme stromov, najmä na miestach kde je hlavná vrstva tvorená smrekmi otvorená. Pre sledovanie sme vybrali 5 jedincov buka v stromovej forme. Vybrané stromy boli 8,0-13,5 m vysoké s hrúbkou ($d_{1,3}$) 14-23 cm. Ich vek určený na základe vývrtov kôliše od 55 do 80 rokov.

Klimatické charakteristiky

Pre lokalitu v Kremnických vrchoch sme použili klimatické charakteristiky z najbližšej stanice Slovenského hydrometeorologického ústavu. Stanica Sliač sa nachádza 6,2 km východne od EES v nadmorskej výške 315 m n. m.. Dlhodobý priemer (LTAvg) teploty za roky 1951-1980 predstavoval 7,9 °C, vo vegetačnom (apríl až september) období 14,5 °C. Dlhodobý priemer zrážok je 715 mm, počas vegetačného obdobia 406 mm.

Klimatické dáta z lokality Predná Poľana pochádzajú z priamych kontinuálnych meraní na výskumnej ploche za obdobie apríl až október. Priemerná ročná teplota tejto lokality sa pohybuje medzi 3,5-4,0° C a dlhodobý úhrn zrážok 900-1100 mm.

Meranie hrúbky kmeňa

Zmeny hrúbky kmeňa sme registrovali v prsnej výške (1,3 m) s použitím obvodových dendrometrov Dial-dendro. Dendrometer registruje zmeny obvodu kmeňa s presnosťou 0,1 mm. Bližšie informácie nájdeme v práci ANDRAE (1994). Údaje o zmene obvodu kmeňa boli prepočítavané na zmeny hrúbky. V práci sa zaoberáme prírastkovými

zmenami a rastovým procesom počas 3 vegetačných sezón v r. 2003 až 2005.

Na EES sa merania uskutočňovali každý rok v rovnakých 14-dňových intervaloch medzi 8. a 9. hodinou dopoludnia. Na PP sa merania uskutočňovali medzi 9. a 10. hodinou dopoludnia. Intervaly medzi meraniami neboli rovnaké a od mája do 1. tretiny septembra sa v jednotlivých rokoch pohybovali od 13 do 24 dní. V zostávajúcom období do konca meraní (1. polovica novembra), keď sa už zmeny hrúbky blížili k nule, sa merania uskutočnili aj v dlhších intervaloch.

Pre porovnanie prírastkových zmien medzi EES a PP ako aj jednotlivými rokmi sme hodnoty prírastkov prepočítavali na denné prírastky, aby rôzna dĺžka intervalov na PP neovplyvňovala jeho veľkosť. Použité absolútne prírastkové krivky tak vlastne vyjadrujú intenzitu prírastku (mm.deň^{-1}) v sledovaných úsekoch. Pri rastových krivkách používame reálne hodnoty ku jednotlivým dňom merania od začiatku vegetačnej sezóny. Relatívne prírastkové a rastové krivky vyjadrujú podiel prírastku a rastu k jednotlivým dňom merania z celkovej sumy v danom roku.

Pre porovnanie ročných prírastkov sme použili relatívny ročný prírastok, ktorý vyjadruje pre každý strom percentuálny podiel zo sumy prírastku v sledovaných 3 rokoch.

Na testovanie štatistickej významnosti rozdielov výberových priemerov sme používali neparametrický Mann-Whitney U test.

Priemerný denný prírastok (mm.deň^{-1}) sme porovnávali s priemernou teplotou a úhrnom zrážok za obdobia 14, 28 a 35 dní pred dňom merania. Na PP sme analyzovali aj vplyv teploty a zrážok za jednotlivé úseky merania. Za účelom zistenia existencie a sily vzťahu sme požívali Spearmanov poradový korelačný koeficient (ORWIG a ABRAMS, 1997; DITMAROVÁ *et al.*, 2004, 2006).

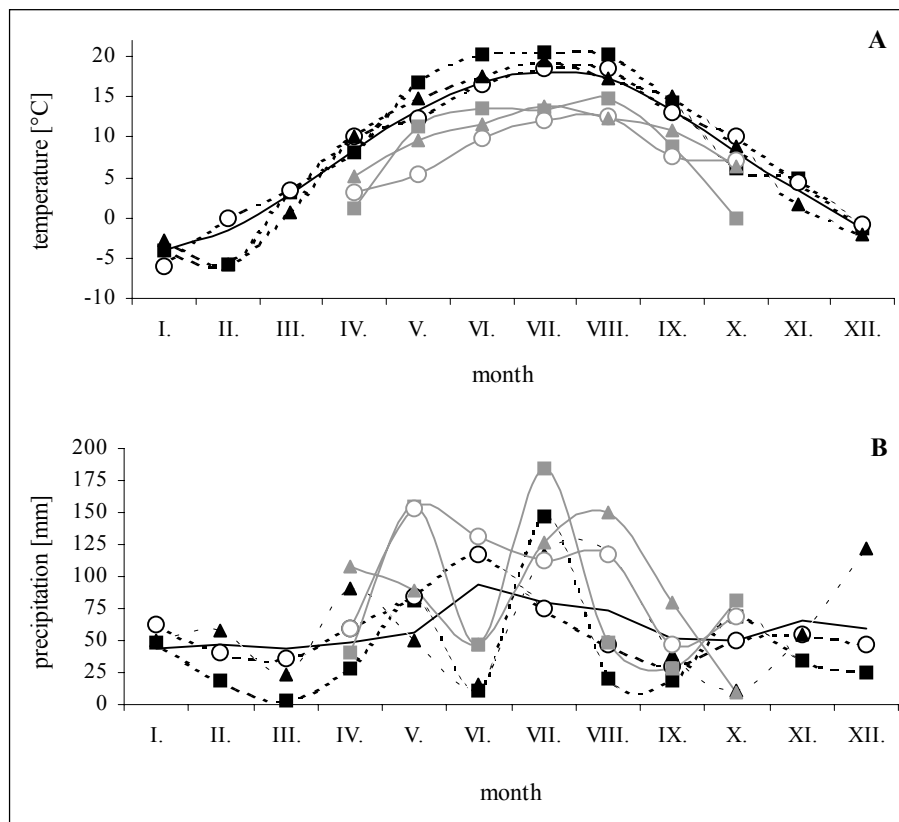
3. VÝSLEDKY

Na obr. 1 môžeme sledovať priebeh počasia v jednotlivých rokoch na EES a vo vegetačnom období na PP. Počas vegetačných období 2003 a 2004, 2005 bolo počasia značne

odlišné. Zatiaľ čo vegetačné obdobie 2004 a 2005 boli viac – menej typické pre dané polohy, vegetačné obdobie roku 2003 bolo značne netypické s extrémnymi teplotami a periódami extrémneho sucha (obr. 1 a 2). Vyskytla sa dlhá teplá a suchá s deficitom zrážok okolo 150 mm od začiatku februára do 20. júla na obidvoch lokalitách (EES a PP). Sucho sa zmiernilo až v tretej dekáde júla. V auguste nedostatkom zrážok však opäť došlo veľmi rýchlo k preschnutiu fyziologickej časti pôdneho profilu. Zatiaľ čo v júni boli vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia vyvolané hlavne intenzívnym slnečným žiarením, v druhej polovici hodnoteného obdobia, najmä v priebehu mesiaca augusta, zvyšovala evaporačné požiadavky ovzdušia nízka vlhkosť vzduchu. Takýto jav je najmä pre lokalitu PP vzhľadom na jej vysokú nadmorskú výšku a charakter lesného porastu neobvyklý. Výsledkom boli vysoké hodnoty potenciálnej evapotranspirácie, ktoré prekračovali v prevažnej časti hodnoteného obdobia 3 mm.deň^{-1} (obr. 3). V nižšie položenej lokalite EES sa pôdne sucho objavilo už v jarných mesiacoch a pretrvávalo až do konca vegetačného obdobia. Už v mesiaci máj vlhkosť pôdy klesala pod 20 objemových percent takmer k bodu trvalého vädnutia. V horskej lokalite Poľana možno analyzované obdobie rozdeliť na dve nerovnaké časti. Spočiatku, počas celého mesiaca júna, bol porast dobre zásobený pôdnou vodou, pričom sa hodnoty priemernej vlhkosti pôdy v koreňovej zóne pohybovali v intervale 30 - 40 objemových percent (obr. 3). V prvej polovici júla však vlhkosť pôdy rýchlo klesala a jej hodnoty sa už v polovici tohto mesiaca priblížili k bodu trvalého vädnutia. Ďalšie obdobie silného pôdneho sucha sa vyskytlo v polovici augusta, keď vlhkosť pôdy znovu poklesla pod 20%. Celkove možno konštatovať, že porasty v lokalite PP od polovice júla až do konca hodnoteného obdobia sledovaný porast prevažne; trpel vodným stresom. V lokalite EES bukový porast trpel vodným stresom prakticky od začiatku vegetačného obdobia. K hodnoteniu priebehu počasia v r.

2003-2005 sa ešte vrátíme pri sledovaní jeho

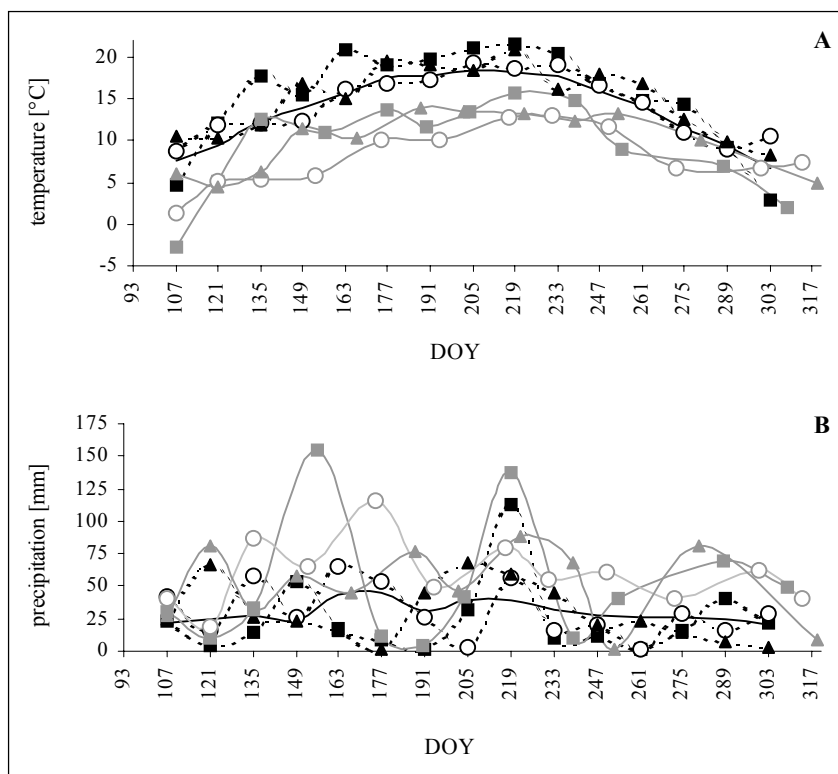
vzťahu s dynamikou hrúbkového rastu.



Obrázok 1: Priemerné mesačné teploty (A) a úhrny zrážok (B) na stanici Sliach (čierna čiara) a na Prednej Poľne (šedá čiara) v jednotlivých rokoch (plná čiara – dlhodobý priemer - Sliach, čiarkovaná a šedá – štvorce 2003, prázdne kruhy 2004 a trojuholníky 2005)

Všeobecne majú sezónne rastové krivky tvar pretiahnutého písmena S (obr. 4). Počas sledovaných troch rokov bol celkový priemerný ročný prírastok meraných stromov na PP vyšší a zároveň variabilnejší ako na EES. V roku 2003 predstavoval priemerný ročný prírastok na EES 50 % z prírastku na PP, v roku 2004 63 % a v roku 2005 53 %. Vyšší prírastok stromov na PP pripisujeme ich nižšiemu veku, a najmä predchádzajúcemu vývoju. Stromy na EES sú všetky úrovňové a rastú v hlavnej homogénnej vrstve porastu. Stromy na PP boli v prírodnom smrekovom

horskom lese dlhodobo potlačené. Nedosahujú dimenzie hlavného smrekového porastu a z hľadiska výškovej diferenciácie rastú v podúrovni, pri rôznom stupni mozaikovitého uvoľnenia hlavnej smrekovej etáže. Dva jedince sú výraznejšie uvoľnené, z čoho v súčasnosti jeden rastie vo vzťahu k pohybu Slnka v prakticky solitérnom postavení. Priemerný ročný prírastok na kruhovej základni meraných jedincov predstavoval v r. 2003 na EES 88 % prírastku na PP, v r. 2004 110 % a v r. 2005 91 %.

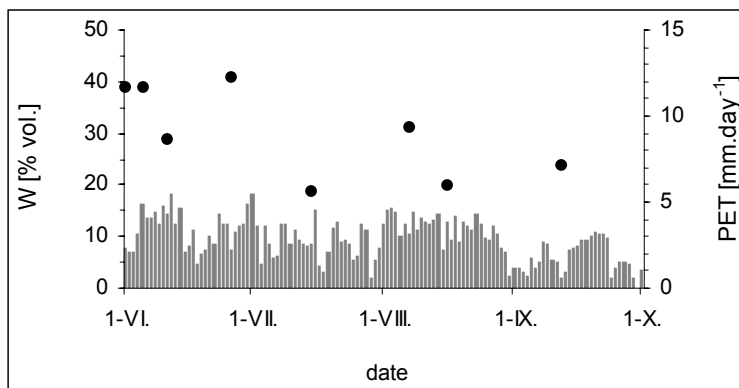


Obrázok 2: Priemerné teploty (A) and zrážkové úhrny (B) na stanici Sliač (čierné čiary) a na Prednej Poľane (šedé čiary) v jednotlivých rokoch vo vegetačnom období (plná čiara - dlhodobý priemer Sliač, čiarkované a šedé čiary – štvorce 2003, prázdne kruhy 2004 a trojuholníky 2005)

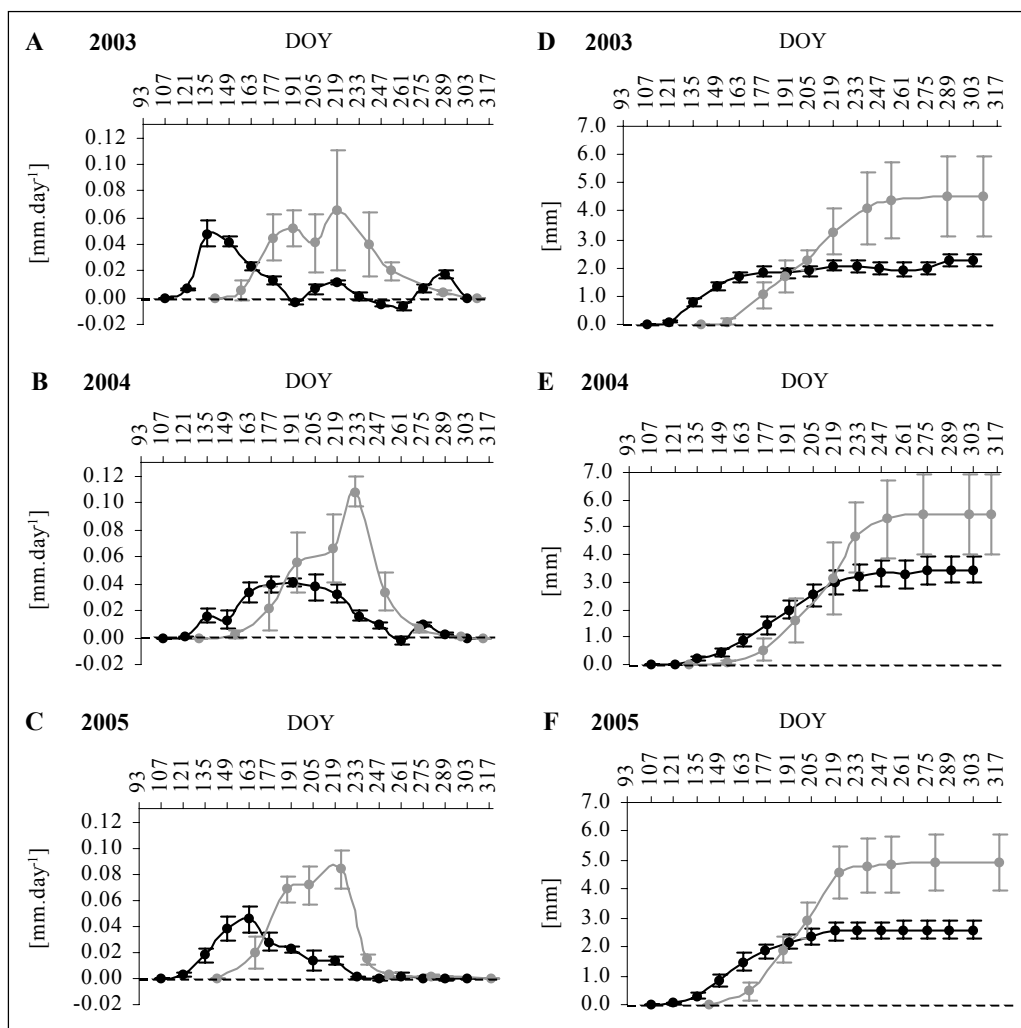
Najvyšší priemerný prírastok sa na EES aj na PP vytvoril v r. 2004 a najnižší v r. 2003. Rozdiely medzi prírastkami v jednotlivých rokoch boli väčšie na EES ako na PP. Prírastok v roku 2003 predstavoval na EES len 65 % z prírastku v r. 2004, v r. 2005 to bolo 75 %. Na PP to bolo 83 % v r. 2003, resp. 90 % v r.2005.

Na obr. 5 sú zobrazené štatistické charakteristiky relatívnych ročných prírastkov. V

rámci EES bola variabilita medzi jednotlivými rokmi podstatne vyššia a tvorila až 87 % z celkovej variability. Na PP bol podiel variability medzi rokmi 41 %. Na EES boli relatívne prírastky v r. 2003 a 2005 štatisticky významne ($P < 0,01$) nižšie ako v r. 2004. Prírastok v r. 2003 bol nižší ako v r. 2005 na hladine $P < 0,05$. V rámci PP bol štatisticky významný iba rozdiel medzi rokmi 2003 a 2004 na hladine $P < 0,05$.



Obrázok 3: Potenciálna evapotranspirácia (stĺpce, pravá os Y) a objemová vlhkosť pôdy (body, ľavá os Y) vo fyziologicky aktívnom profile pôdy na Prednej Poľane v suchom roku 2003



Obrázok 4: Priemerný denný prírastok (A, B, C) a priemerné rastové krivky (D, E, F) s 95%-ným intervalom spoľahlivosti na EES (čierna čiara) a PP (šedá čiara) v jednotlivých rokoch

Vzniknuté rozdiely pripisujeme najmä vplyvu počasia a z toho vyplývajúceho priebehu prírastkových a rastových (obr. 4) kriviek v jednotlivých rokoch. Na základe hodnôt koeficienta Spearmanovej poradovej korelácie (obr. 6) môžeme vyvodit' že teplota aj zrážky mali na oboch stanovištiach pozitívny vplyv na veľkosť prírastku k jednotlivým dňom merania. Teplota v rámci EES na prírastok vplývala najmä v 14-dňových úsekoch v ktorých sa uskutočňovali merania. Vplyv úhrnu zrážok sa najvýraznejšie prejavoval najmä za obdobie 35 dní pred dňom merania. V rámci PP nám výsledky analýzy poukazujú na veľmi silný vplyv teploty na prírastok vo všetkých ana-

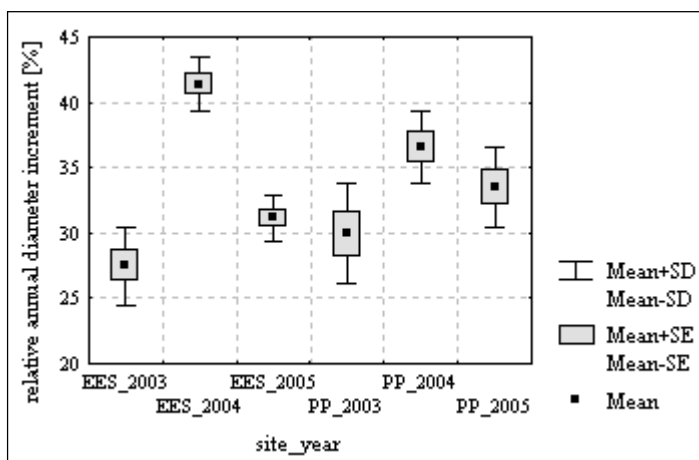
lyzovaných časových obdobiach. Vplyv zrážok bol výrazne nižší ako na EES a prevažne štatisticky nevýznamný. Výraznejší sa javí len u 2 stromov vplyv úhrnu za 35 dní pred dňom merania. V tomto prípade sa jednalo o už spomínané 2 najviac uvoľnené jedince.

Na PP je tak jednoznačne rozhodujúcim faktorom pre dynamiku a oscilácie prírastku v rámci vegetačnej sezóny teplota. Epizodicky sa môže prejavovať vplyv extrémneho sucha. Pri hodnotení výsledkov na EES musíme byť opatrnejší. Na začiatku vegetačnej sezóny by mala prírastok ovplyvňovať najmä teplota, neskôr v priebehu leta by sa mal pridať vplyv zrážok, ktorých význam by

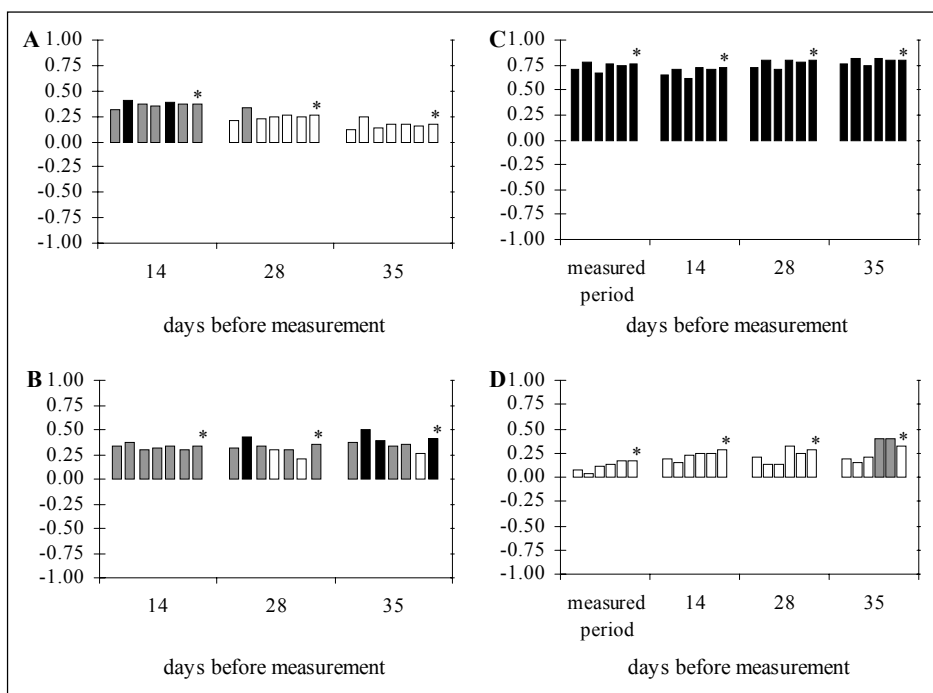
mal rásť v obdobiach sucha. To je zrejme aj náš prípad, najmä počas extrémne suchého r. 2003.

Z pozorovania priemerných (obr. 4) a individuálnych prírastkových kriviek vyplýva, že na EES sme prvú, aj keď minimálnu zmenu hrúbky zaznamenávali ku dňu 121 (1. máj). Na základe merania dendrometriami je ťažké určiť priamo počiatok kambiálnej aktivity a tieto zmeny dávame do súvislosti predovšetkým s rozvíjaním pupeňov a začínajúcou transpiráciou, čo súvisí s vedením

vody a napúčaním kmeňa. Začiatok kambiálnej aktivity na EES tak kladieme medzi dňom 121 a 135 (15. máj). Na PP sme prvú zmenu hrúbky jedincov zaznamenávali v r. 2003 ku dňu 156 (5. jún), v r. 2004 ku dňu 153. K jednoznačnej tvorbe prírastku však dochádza až v nasledujúcich úsekoch ku dňu 177 (26. jún) resp. 175. V r. 2005 sa 2. meranie na PP uskutočnilo ku dňu 167 (16. jún). Pri všetkých jedincoch sme už zaznamenali prírastkové zmeny, výrazne vyššie pri 2 najviac uvoľnených jedincoch.



Obrázok 5: Štatistické charakteristiky relatívneho ročného prírastku na EES a PP (SE – stredná chyba, SD – smerodajná odchýlka)



Obrázok 6: Spearmanove korelačné koeficienty medzi dennými prírastkami jednotlivých stromov a ich priemernou hodnotou (označenou *) a teplotou (A, C) a zrážkovými úhrnmi (B, D) v obdobiach pred

meraním prírastkov na EES (A, B) a PP (C, D), (šedé stĺpce - štatisticky významné na $P < 0.05$, čierne stĺpce na $P < 0.01$)

Pri porovnaní absolútnych (obr. 4) a relatívnych (obr. 7) prírastkových kriviek vidíme, že v r. 2003 prírastok ku dňu 135 na EES už vrcholí. Vytvorilo sa priemerne až 30% z ročného hrúbkového prírastku. Je to veľmi neobvyklé, keďže sa jedná o začiatok prírastkového obdobia. Zároveň to bol v rámci EES absolútne ako aj relatívne najvyšší zaznamenaný dvojtýždňový prírastok v rámci sledovaných rokov. Približne rovnaký prírastok sa v r. 2003 vytvoril ku dňu 149 (29. máj). Odôvodňujeme to tým, že výrazne nadpriemerné teploty stimulovali hrúbkový rast v máji. Teplota ku dňu 135 (obr. 2) sa dokonca rovnala dlhodobému priemeru ku dňu 191 (10. júl). Po deň 149 dochádza počas júna a začiatkom júla k prudkému poklesu prírastkovej krivky ku dňu 191 (10. júl), kedy prírastok dokonca dosahuje záporné hodnoty. V tomto období sa začína prejavovať extrémne sucho. V čase od dňa 149 do dňa 199 (18. júl) sme pri vysokých teplotách zaznamenali iba 14 dní so zrážkami, pričom žiadny denný úhrn nepresiahol 3 mm. Následne krivka opäť stúpa a dosahuje svoj mierny 2. vrchol ku dňu 219 (7. august). V tomto období sa zrážkové pomery zlepšili. Je však potrebné upozorniť, že vysoký zrážkový úhrn (113,2 mm) ku dňu 219 je tvorený najmä zrážkami počas 1 dňa (210, 80,5 mm). Nasleduje 6-týždňový úsek poklesu, keď sú hodnoty prírastku nulové až záporné, ku dňu 261 (18. september). Toto obdobie zrážkami nadväzuje na predchádzajúci deficit. Následne prírastková krivka opäť stúpa a dosahuje svoj 3. vrchol ku dňu 289 (16. október). V tomto období sa zrážkové pomery zlepšili a pri súčasnom poklese teplôt zrejme dochádzalo k napúčaniu predtým zoschnutých kmeňov. Ku dňu 289 (30. október) dosiahol prírastok všetkých meraných stromov hodnotu 0 a naše merania sa ukončili. V tomto období už došlo k pokročilej senescencii a opadu listov. Na PP dochádza v r. 2003 po deň 156 pri teplom a prakticky bez zrážkovom počasí

(obr. 2) k prudkému vzostupu prírastkovej krivky ku dňu 177 (26. jún). V období od dňa 177 po deň 239 (27. august) sa k jednotlivým meraniam tvorilo od 15 % do 24 % z ročného prírastku.

Zároveň boli hodnoty prírastkov na PP v r. 2003 značne variabilné v porovnaní s EES.

Ku dňu 204 sme zaznamenali výrazný pokles prírastku u 2 už spomínaných najviac uvoľnených jedincov. Ich prírastok potom prudko stúpal ku dňu 219. Sú to práve 2 stromy ktoré na PP vykazujú najväčší súvis oscilácií prírastku so zrážkami. Je preto možné, že aj u nich sa už prejavoval vplyv sucha. Medzi dňami 154 a 204 sa vyskytol jediný deň so zrážkovým úhrnom vyšším ako 5 mm, 18. júla (deň 199) – 34 mm. Medzi dňami 204 a 219 dosiahol zrážkový úhrn až 137 mm. Podobne ako na EES však až 91 mm spadlo počas dňa 210. Pri porovnaní relatívnych rastových kriviek (obr. 7) vidíme, že najväčšie rozdiely medzi EES a PP nastali práve v r. 2003. Na EES sa ku dňu 149 vytvorilo už 60 % prírastku. Na PP sa v období ku dňu 156 dajú registrovať iba prvé nepatrné zmeny hrúbky, zrejme súvisiace z napúčaním kmeňov. Ku DOY 177 (26. jún) priemerný prírastok predstavoval na EES 82 %, na PP iba 23 % z ročného prírastku. Prírastok na EES bol pri extrémne suchom počasí následne len nepatrný a výrazne osciloval medzi zápornými a kladnými hodnotami. V období od dňa 177 do konca prírastkového obdobia hrúbka vzrástla o približne 18 %. Na PP predstavoval prírastok od dňa 177 do konca prírastkového obdobia 77 % z ročného prírastku. Zároveň môžeme sledovať, že relatívna rastová krivka na EES sa v r. 2003 na rozdiel od r. 2004 a 2005 odchyľuje od typického tvaru pretiahnutého S.

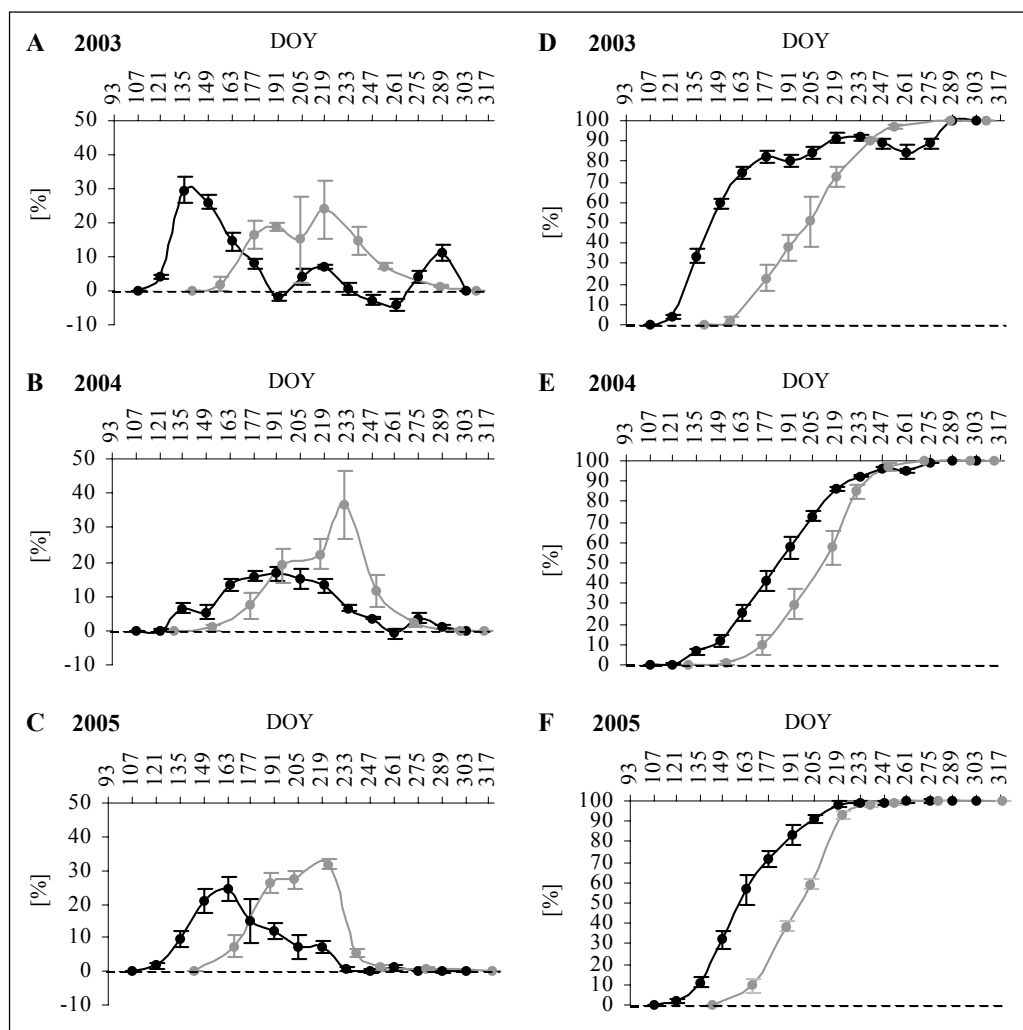
V r. 2004 bol priemerný prírastok (obr. 4) na EES ku dňu 135 a 149 podstatne nižší ako v r. 2003. Ku dňu 149 sa vytvorilo od začiatku vegetačnej sezóny priemerne okolo 12 % z ročného prírastku (obr. 7). Na obr. 2 môžeme sledovať, že teplota v tomto období

bola podstatne nižšia ako počas r. 2003 . Po deň 149 nasledovalo 5 dvojtýždňových období počas ktorých prírastková krivka tvorí plochý vrchol, až ku dňu 219 (7. august). Priemerná prírastková krivka vrcholila ku dňu 191 (10. júl). Suma prírastku za toto 10 týždňové obdobie predstavovala až 74 % z celkového ročného prírastku. Pri porovnaní s obr. 2 môžeme konštatovať, že celkovo bolo zmienené obdobie teplotne priemerné s najväčšou odchýlkou ku dňu 205. Čo sa týka úhrnov zrážok, v uvedenom období spadlo o 7 mm viac ako je dlhodobý priemer. Výraznejší zrážkový deficit vznikol iba ku dňu 205, kedy spadlo počas jednej zrážkovej udalosti iba 2,5 mm. Následne boli ku dňu 219 zrážky opäť nadpriemerné. Po dni 219 mala priemerná prírastková krivka (obr. 4 a 7) klesajúci trend a ku dňu 261 (18. september) dosahovala záporné hodnoty, aj keď výrazne miernejšie ako v r. 2003. V tomto období sa prejavil zrážkový deficit (obr. 2). So zlepšením zrážkových pomerov a poklesom teplôt sme zaznamenali mierny vzostup krivky ku dňu 275 a následný pokles k nule ku dňu 303.

Na PP v r. 2004 prírastková krivka začína výraznejšie stúpať medzi dňom 153 (2. jún) a 175 (24. jún). Pri podstatne chladnejšom počasí ako v r. 2003 (obr. 2) sa vytvorilo okolo 7 % z ročného prírastku. Prírastková krivka následne prudko stúpala ku dňu 194 (13. júl) a prírastok bol prakticky rovnaký aj ku dňu 217 (5. august). Intenzita tvorby prírastku prudko a výrazne vrcholila medzi dňami 217 a 231 (19. august). Tento vrchol bol zároveň absolútne aj relatívne najvyšší v rámci PP počas 3 sledovaných rokov. Počas 14 dní sa predstavovala prírastková intenzita relatívne až 36,5 % z prírastku v r. 2004. Prírastková krivka potom prudko klesala ku dňu 250 (7. september). Prírastková intenzita však bola stále vyššia ako na začiatku prírastkového obdobia ku dňu 175, rovnako ako teplota (obr. 2). Medzi dňami 250 a 272

sme už zaznamenali iba malé zmeny hrúbky. Pri porovnaní s priebehom teplôt a zrážok (obr. 2) vidíme, že obdobie rastu bolo na PP vlahovo dobre zabezpečené. Na rast ku dňu 175 a 194 postačovala priemerná teplota 10 resp. 10,1 °C, ktorá následne vzrastá na 12,8, resp. 13 °C ku dňu 217 a 231. Z uvedeného vyvodzujeme, že významnú úlohu v dynamike hrúbkového prírastku na PP zrejme zohráva nielen priemerná teplota, ale aj suma teplôt a žiarenia za určité obdobie. Tento fakt sa logicky najvýraznejšie prejavil v dynamike rastu v r. 2004, ktorý bol v úsekoch od dňa 135 až po deň 194 najchladnejší v rámci sledovaných rokov. Počas „veľkého rastového obdobia“ sa na PP medzi dňom 175 a 231 vytvorilo až okolo 75 % z ročného prírastku. Od dňa 175 do konca prírastkového obdobia 91 %. Na EES v r. 2004 priemerne vzrástla hrúbka od dňa 177 do konca prírastkového obdobia o 59 %, čo je podstatne viac ako počas extrémne suchého r. 2003 (18 %). Zároveň môžeme sledovať, že priebeh relatívnych rastových kriviek na EES a PP bol najsynchronnejší v rámci sledovaných rokov.

V r. 2005 bol priemerný prírastok na EES (obr. 4) ku dňu 135 podstatne nižší ako v r. 2003 a prakticky rovnaký ako v r. 2004. Prakticky rovnaká bola aj teplota (obr. 2) v r. 2004 a v r. 2005. Následne ku dňu 149 teplota prudko vzrástla. Úhrny zrážok sa v týchto obdobiach rovnali dlhodobému priemeru. Podobne ako teplota sa správa ku dňu 149 aj prírastok. Ku dňu 149 sa vytvorilo od začiatku vegetačnej sezóny priemerne okolo 32 % z ročného prírastku (obr. 7). Následne prírastková krivka mierne stúpala a vrcholila ku dňu 163 (12. jún). V tomto dvojtýždňovom období sa vytvorilo okolo 25 % a od začiatku vegetačnej sezóny už 57 % z ročného prírastku. Ku dňu 177 (26. jún) prírastková krivka už klesá a pokles pokračuje až ku dňu 219 (7. august).



Obrázok 7: Relatívne krivky priemerného denného prírastku (A, B, C) a priemerné relatívne rastové krivky (D, E, F) s 95%-ným intervalom spoľahlivosti na EES (čierna) a PP (šedá) v jednotlivých rokoch

Až 72 % z ročného prírastku sa vytvorilo počas 8 týždňov medzi dňom 135 a 191. Po dni 219 sme už prakticky nezaznamenali žiadne prírastkové zmeny. Po dni 149 (obr. 2) došlo ku dňu 163 k poklesu priemernej teploty, ktorá však už bola o 3,2 °C vyššia ako ku dňu 135. Nasledovalo teplotne nadpriemerné obdobie ku dňu 177 a 191. Najvyššia priemerná teplota bola v r. 2005 zaznamenaná ku dňu 219. Ku dňu 233 následne teplota klesla až o 4,9 °C, 1,6 °C pod úroveň dlhodobého priemeru. Potom teplota opäť stúpila ku dňu 247 a 261 na výrazne nadpriemerné hodnoty. Čo sa týka charakteristiky zrážkového zabezpečenia, po zrážkovo priemernom máji sa v júni ku dňu 163 a 177 vytvoril zrážkový deficit. Od dňa

149 do dňa 177 sme zaznamenali iba 17 mm, čo predstavuje len 19 % z dlhodobého priemeru. Celkovo sa deficit vytváral už od dňa 138 (18. máj) do dňa 186 (5. júl), s najvyšším úhrnom 6,8 mm ku dňu 159. Nasledovalo zrážkovo nadpriemerné obdobie, keď od dňa 186 do dňa 233 predstavoval úhrn zrážok až 154 % z dlhodobého priemeru. September bol zrážkovo prakticky normálny a október deficitný. V súvislosti s uvedeným priebehom počasia si myslíme, že výrazný deficit zrážok medzi dňom 138 a 185 bol príčinou poklesu prírastkovej krivky po dni 163. Po dni 185 sa zrážkové pomery zlepšili a úhrny v jednotlivých úsekoch boli nadpriemerné. Zaznamenané prírastky hrúbky po dni 219

(7. august) boli už len nepatrné a štatisticky sa rovnali 0. Príčinou ukončenia rastu mohlo byť aj samotné júnové sucho. Po ňom nasledovali 4 dvojtypné obdobia s nadpriemernými úhrnmi zrážok, čo mohlo spoločne so skracujúcou sa dĺžkou dňa spôsobovať deficit slnečného žiarenia. Ďalším spolupôsobiacim faktorom mohol byť prudký pokles teploty po dni 219 ku dňu 233. Po zrážkovo nadpriemernom júli a auguste (obr. 1) a mierne podpriemernom septembri zároveň nedochádza k napúčaniu predtým zoschnutých kmeňov.

Na obr. 4 a 7 môžeme sledovať, že variabilita prírastkových a rastových kriviek bola v r. 2005 v rámci PP najnižšia spomedzi sledovaných rokov. Rastový proces sledovaných jedincov bol veľmi podobný. V prvom meranom úseku medzi dňom 143 (23. máj) a 167 (16. jún) sa vytvorilo 7 % z ročného prírastku. Po dni 167 dochádza k prudkému vzostupu prírastkovej krivky ku dňu 188 (7. júl). Vysoký a prakticky rovnaký prírastok sa tvoril aj ku dňu 202 (27. júl) a prírastková krivka mierne vrcholí ku dňu 222 (10. august). Počas zmien tých troch úsekov sa vytvorilo priemerne od 26 do 32 % z ročného prírastku (obr. 7). Tieto prírastky boli v rámci PP absolútne aj relatívne najvyššie po prírastku ku dňu 231 v r. 2004. Do dňa 222 sa vytvorilo až 93 % z ročného prírastku. Na obr.3 môžeme sledovať, že teplota bola ku dňu 188, 202 a 222 prakticky rovnaká. V máji, júni a júli výrazne (obr. 1) vyššia ako v r. 2004 a v auguste mierne nižšia. Júlová priemerná teplota bola dokonca vyššia ako v r. 2003. Takisto ako na EES sme v období od dňa 138 (18. máj) do dňa 186 (5. júl), zaznamenali iba 12 dní so zrážkami avšak celkovo v tomto období spadlo na PP o 49 mm zrážok viac ako na EES. Prírastková krivka následne po deň 222 prudko klesla ku dňu 239 (27. august), po ktorom sme už prakticky nezaznamenali žiadne prírastky a prírastkové krivky sa blížila k nule. Od dňa 167 do konca prírastkového obdobia sa vytvorilo 91 % z ročného hrúbkového prírastku. Na EES v r. 2005 vzrástla priemerne hrúbka od dňa 163 do konca prírastkového

obdobia o 43 %. Po dni 177 hrúbka vzrástla v rámci roka na EES o 28 %, čo bolo podstatne menej ako v r. 2004 (59 %), avšak o 10 % viac ako v r.2003.

DISKUSIA A ZÁVER

Buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) je najviac zastúpenou listnatou v lesov strednej Európy (Elleneberg 1996). Je typickou roztrúsene pórovitou drevinou, ktorá začína kambialnú aktivitu v apikálnych častiach kmeňa a vetiev pomocou auxínov produkovaných vo fyziologicky aktívnych púčikoch. Neskôr po rozpučení púčikov kambialna aktivita postupuje smerom dole ku báze kmeňa (KOZLOWSKI *et al.* 1991; LARCHER 2001). Medziročná variabilita kambialnej aktivity buka lesného a jej vzťah ku klimatickým faktorom bola skúmaná napr. v mediteránnych podmienkach BIONDI (1993), PIUTTI a CESCATTI (1997, 1998), PIOVESAN a SCHIRONE (2000), PIOVESAN *et al.* (2003, 2005), ROZAS (2001). Spomínaní autori najmä vplyv množstva zrážok v aktuálnom a predchádzajúcom roku na hrúbkový rast, ktorý sa líšil v závislosti od lokality, nadmorskej výšky a konkurenčnej úrovne. V horských podmienkach centrálnych Apenín hlavným limitujúcim radiálneho rastu bol deficit vody počas letných mesiacov, najmä v júni a júli. BOURIAUD *et al.* (2004) zistili vo východnom Francúzku, že hrúbka letokruhov bola silne korelovaná s deficitom pôdnej vody od júna do septembra aktuálneho roka. Okolo 40% z ročného prírastku bolo vytvorené do konca mája, 70% do konca júna a okolo 90% do konca júla. DITTMAR *et al.* (2003) zistili, že v nižších nadmorských výškach strednej Európy nižšie teploty a vyššiu úhrny zrážok počas vegetačného obdobia (najmä v júni a v júli) podporili formovanie širokých letokruhov na buku. Vysoké teploty a nízke zrážky počas týchto mesiacov podporili rast hrúbkový rast vo vyšších nadmorských výškach. Hrúbkový rast buka vo vyšších nadmorských výškach podľa ich výskumu pozitívne reagoval na dĺžku trvania slnečného svitu.

KRAMMER (1982) sledoval hrúbkový prírastok buka pomocou dendrometrov v regióne Dolné Sasko v Nemecku. Zistil, že tvorba hrúbkového prírastku začala koncom apríla až do stredy mája a končila koncom augusta. Malé kolísanie hrúbky však bolo zaznamenané až do konca októbra. Najvyšší prírastok bol vytvorený v júni a júli. V lokalitách s vysokými zrážkami boli denné prírastky silne ovplyvnené dennou sumou radiácie a teplotou vzduchu. ĎURSKÝ a MOZOLOVÁ (2001) sledovali tvorbu prírastku na stromoch v blízkosti našej experimentálnej plochy na Prednej Poľane (5 km vzdialená plocha) v nadmorskej výške 850 m. Hrúbková prírastok na tejto ploche sa začal vytvárať v strede mája a končil v priebehu septembra. Najvyššie hodnoty prírastku zaznamenali tiež v júni a júli. JEŽÍK a VOŠKO (2002) skúmali sezónnu dynamiku hrúbkového prírastu bukov počas štyroch vegetačných období (1994-1997) na EES v Kremnických vrchoch. Najvyšší podiel prírastku bol vytvorený v júni, nasledoval júl a v niektorých prípadoch to bol máj. Publikované výsledky a tiež naše experimentálne pozorovania ukazujú, že zreteľné rozdiely medzi celkovými ročnými prírastkami a priebehom ich tvorby počas sezóny na EES vyplývali najmä z pozitívneho vplyvu teploty v máji a vlhkostných pomerov počas leta (predovšetkým v júni). Počas extrémne teplého roka 2003 buky na EES vytvorili najnižší prírastok s veľmi netypických sezónnym priebehom: 60% bolo vytvorených počas extrémne teplého mája, ktorý pozitívne vplýval na intenzitu prírastku. Intenzita tvorby prírastku bola výrazne redukovaná počas horúceho a suchého leta a tiež suchej jesene, kedy sme zaznamenali zosychanie a následné napučovanie kmeňov, ktoré nie je možné rozlíšiť od rastového procesu na základe meraní dendrometrami. Tento fenomén bol spomínaný vo svojich prácach aj KRAMMER (1982), ZWEIFEL *et al.* (2006), a tiež je dobre známy z meraní denných zmien priemeru stromov (DESLAURIERS *et al.* 2003; GOLDHAMER a FERERES 2004; HERZOG *et al.* 1995;

OFFENTHALLER *et al.* 2001; ORTUÑO *et al.* 2006; TARDIF *et al.* 2001; ZWEIFEL *et al.* 2001; ZWEIFEL a HÄSLER 2001).

SKOMARKOVA *et al.* (2006) dospeli k podobným výsledkom v Nemecku. Následkom silného sucha v roku 2003 okolo 60% z ročného prírastku sa vytvorilo do konca mája a rast bol potlačený počas leta. Takmer 90% prírastku sa vytvorilo do konca júna. Rast bol pozitívne korelovaný s májovou teplotou a júnovými zrážkami. Autori zistili že 10 až 20% z hrúbky letokruhov je ovplyvnená tvorbou zásob uhlíohydrátov počas predchádzajúcej jesene. Vyčerpanie týchto rezerv je významným faktorom redukcie rastu buka počas nasledujúceho roka, čo je ovplyvnené počasím (PIOVESAN a SHIRONE 2000; Piovesan and Adams 2001). Tento fakt sa spája s asimiláciou a procesom tvorby zásob uhlíohydrátov, ktoré sú silne ovplyvnené vodivosťou prieduchov počas období sucha (napr. Aranda *et al.* 2000; BOURIAD *et al.* 2004; HSIAO a ACEVEDO 1974; RAFTOYANNIS a RADOGLU 2002). Silne redukovaný hrúbkový rast buka počas extrémneho sucha v roku 2003 popísali LÖW *et al.* (2006) v južnom Nemecku. ZWEIFEL *et al.* (2006) popísali radiálny rast duba, borovice a smreka vo Švajčiarsku počas sucha 2003. Zdôrazňujú silnú závislosť rastu od aktuálneho stavu zásobovania vodou a sekundárne od bilancie uhlíka.

Záverom môžeme konštatovať, že v podmienkach Prednej Poľany neboli také výrazné rozdiely v prírastkoch a priebehu ich tvorby medzi jednotlivými skúmanými rokmi. Hlavným faktorom, ktorý ovplyvňoval hrúbkový prírastok bola teplota (pravdepodobne spolu so slnečným žiarením a jeho sumou). V roku 2003 sme zaznamenali výrazný deficit zrážok a epizódy sucha aj v tejto lokalite, napriek jej vysokej nadmorskej výške. Na základe skúmania priebehu prírastkových kriviek si myslíme, že epizódy sucha neumožnili profitovať z vysokého rastového potenciálu podmieneného vysokou teplotou v júli a auguste. Do úvahy prichádza aj možné poškodenie ozónom

(BORTIER *et al.* 2000; DITTMAR *et al.* 2003; LÖW *et al.* 2006). Prírastkové krivky na Ekologickom experimentálnom stacionári v Kremnických vrchoch vrcholili v závislosti na priebehu počasia od prvej polovice mája v r. 2003 do začiatku júla v r.

2004, na Prednej Poľane, kde prírastok začínal v júni, vrcholil v júli až auguste. Chladnejší jún a júl 2004 bol nasledovaný teplým obdobím v auguste, kedy sme zaznamenali prudké vrcholenie intenzity tvorby prírastku prakticky v strede augusta.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- ANDRAE, F., 1994: Fragen zur Zuwachsfeinmessung mit Banddendrometern, insbesondere mit dem Dial-Dendro. Wien, Institut für Waldwachstumsforschung: p 14 (In German)
- ARANDA, I., GIL, L., PARDOS, J.A., 2000: Water relations and gas exchange in *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. In a mixed stand at their southern limit of distribution in Europe. *Trees*, 14: 344-352
- BIONDI, F., 1993: Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from the central Apenines, Italy. *Acta Oecologica*, 14: 57-71
- BOURIAUD, O., BRÉDA, N., MOGUÉDEC, G., NEPVEU, G., 2004: Modeling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. *Trees*, 18: 264-276
- BORTIER, K., CEULEMANS, R., TEMMERMAN, L., 2000: Effects of ozone exposure on growth and photosynthesis of beech seedlings (*Fagus sylvatica*). *New Phytol.*, 146: 271-280
- COOK, E.R., KAIRIUKSTIS, L.A., 1990: *Methods of dendrochronology (Applications in the Environmental Sciences)*. Kluwer Academic publishers, Netherlands, p 394
- 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 Québec (Canada). *Trees*, 17: 477-484
- DITMAROVÁ, L., KMEŤ, J., STŘELCOVÁ, K., GÖMÖRY, D., 2004: Effects of temperature on selected physiological parameters of young beech trees under stress conditions. *Ekológia (Bratislava)*, 23, 2: 152-161
- DITMAROVÁ, L., KMEŤ, J., STŘELCOVÁ, K., GÖMÖRY, D., 2006: Effects of drought on selected physiological parameters of young beech trees under stress conditions. *Ekológia (Bratislava)*, 25, 1: 1-11
- DITTMAR, CH., ZECH, W., ELLING, W., 2003: Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe-a dendroecological study. *Forest Ecology and Management*, 173: 53-78
- ĎURSKÝ, J., MOZOLOVÁ, Z., 2001: Dynamika hrúbkového rastu stromov horského lesa počas vegetačného obdobia. In CD: Perspectives of the ecological research in mountain forest ecosystems, ISBN 80-88853-45-1, Poľana 22.-25. Október 2001: p 11
- ELLENBERG, H., 1996: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Ulmer, Stuttgart: p 1095
- FRITTS, H.C., 1956: Radial growth of beech and soil moisture in a central ohio forest during the growing season of 1952. *The Ohio Journal of Science* 56 (1): 17-28
- FRITTS, H.C., 1976: *Tree-rings and climate*. Academic Press, London, p 567
- GOLDHAMER, D.A., FERERES, E., 2004: Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrig Sci*, 23: 11-19
- HERZOG, M., HÄSLER, R., THUM, R., 1995: Diurnal changes in the radius of a subalpine Norway spruce stem: their relation to the sap flow and their use to estimate evapotranspiration. *Trees*, 10: 94-101
- HSIAO, T., C., ACEVEDO, E., 1974: Plant responses to water deficits, wateruse efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, 14: 59-84

- JEŽÍK, M., VOŠKO, M., 2002: Diameter increment and its dynamics in the course of vegetation period in submountain beech forest. *Ekológia* (Bratislava), 21, 1: 50-60
- KRAMER, H., 1982: Kurzfristige Zuwachsreaktionen bei Buche in Abhängigkeit von Witterung und verschiedenen Baummerkmalen. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 153, 4: 57- 67 (in German, summary in English)
- LARCHER, W., 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. UTB, Stuttgart: p 408
- LÖW, M., HERBINGER, K., NUNN, A.J., HÄBERLE, K.H., LEUCHNER, M., HEERDT, C., WERNER, H., WIPFLER, P., PRETZSCH, H., TAUSZ, M., MATYSSEK, R., 2006: Extraordinary drought of 2003 overrules ozone impact on adult beech trees (*Fagus sylvatica*).
- NIELSEN, N.CH., JÖRGENSEN, V.F., 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
- OFFENTHALLER, I., HIETZ, P., RICHTER, H., 2001: Wood diameter indicates diurnal and long-term patterns of xylem water potential in Norway spruce. *Trees*, 15: 215-221
- ORTUÑO, F.M., GARCÍA-ORELLANA, Y., CONEJERO, W., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., ALARCÓN, J.J., TORTECILLAS, A., 2006: Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, 20: 1-8
- ORWIG, D.A., ABRAMS, M.D., 1997: Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. *Trees*, 11: 474-484
- PIOVESAN G., ADAMS, J.M., 2001: Mastling behaviour in beech: linking reproduction and climatic variation. *Can. J. Bot.*, 79: 1039-1047
- PIOVESAN, G., BIONDI, F., BERNABEI, M., FILIPPO, A., SCHIRONE, B., 2005: Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta Oecologica*, 27: 197-210
- PIOVESAN, G., BERNABEI, M., FILIPPO, A., ROMAGNOLI, M., SCHIRONE, B., 2003: A long-term tree ring beech chronology from a high- elevation old-growth forest of Central Italy. *Dendrochronologia*, 21, 1: 13-22
- PIOVESAN, G., SCHIRONE, B., 2000: Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.). *Int. J. Biometeorol*, 44: 121-127
- PIUTTI, E., CESCATTI, A., 1997: A quantitative analysis of the interactions between climatic response and intraspecific competition in European beech. *Can. J. For. Res.*, 27: 277-284
- PIUTTI, E., CESCATTI, A., 1998: Silvicultural alternatives, competition regime and sensitivity to climate in a European beech forest. *Forest Ecology and Management*, 102: 213-223
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1997: Structure and attributes of wood. *Príroda*, Bratislava: p 485 (in Slovak)
- RAFTOYANNIS, Y., RADOGLU, K., 2002: Physiological Responses of Beech and Sessile Oak in a Natural Mixed Stand During a Dry Summer. *Annals of Botany*, 89: 723-730
- ROZAS, V., 2001: Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Ann. For. Sci.*, 58: 237-251
- SKOMARKOVA, M.V., VAGANOV, E.A., MUND, M., KNOHL, A., LINKE, P., BOERNER, A., SCHULZE, E.D., 2006: Inter-annual and seasonal variability of radial growth, wood density and carbon isotope ratios in tree rings of beech (*Fagus sylvatica*) growing in Germany and Italy. *Trees*, 20: 571-586
- TARDIF, J., FLANNIGAN, M., BERGERON, Y., 2001: An analysis of the daily radial activity of 7 boreal tree species, northwestern Quebec. *Environmental Monitoring and Assessment*, 67: 141-160

- TATARINOV, F., ČERMÁK, J., 1999: Daily and seasonal variation of stem radius in oak. *Ann. For. Sci.*, 56: 579-590
- 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
- ZWEIFEL, R., HÄSLER, R., 2001: Dynamics of water storage in mature subalpine *Picea abies*: temporal and spatial patterns of change in stem radius. *Tree Physiology*, 21: 561-569
- ZWEIFEL, R., ITEM, H., HÄSLER, R., 2001: Link between diurnal stem radius changes and tree water relations. *Tree Physiology*, 21: 869-877
- ZWEIFEL, R., ZIMMERMANN, L., ZEUGIN, F., NEWBERRY, D.M., 2006: Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. *Journal of Experimental Botany*, 57, 6: 1445-1459

POĎAKOVANIE

Autori príspevku ďakujú za finančný príspevok grantovým agentúram Slovenskej republiky. Táto práca bola vypracovaná v rámci riešenia grantových úloh VEGA 1/2357/05 a VEGA 1/3524/06.

KONTAKTNÉ ADRESY AUTOROV

Ing. Marián Ježík, PhD.
Ústav ekológie lesa SAV
Štúrova 2
960 53 Zvolen
e-mail : jezik@sav.savzv.sk

doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
SR
e-mail: strelcov@vsld.tuzvo.sk