

**This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.**

**Author(s):** Sedmáková, Denisa; Sedmák, Robert; Saniga, Milan; Sarvašová, Ivana; Parobeková, Zuzana; Potterf, Mária; Lukáčik, Ivan

**Title:** Reakcia dubov voči klimatickým extrémom v prechodnej zóne dubových a bukových lesov

**Year:** 2021

**Version:** Published version

**Copyright:** © 2021 Forestry and Game Management Research Institute

**Rights:** In Copyright

**Rights url:** <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

**Please cite the original version:**

Sedmáková, D., Sedmák, R., Saniga, M., Sarvašová, I., Parobeková, Z., Potterf, M., & Lukáčik, I. (2021). Reakcia dubov voči klimatickým extrémom v prechodnej zóne dubových a bukových lesov. *Zprávy lesnického výzkumu*, 66(2), 104-114.  
<https://www.vulhm.cz/files/uploads/2021/07/627.pdf>

# REAKCIA DUBOV VOČI KLIMATICKÝM EXTRÉMOM V PRECHODNEJ ZÓNE DUBOVÝCH A BUKOVÝCH LESOV

## RESPONSE OF OAKS TO EXTREME CLIMATE EVENTS IN THE TRANZITION ZONE OF OAK AND BEECH FORESTS

DENISA SEDMÁKOVÁ<sup>1</sup>✉ - ROBERT SEDMÁK<sup>1</sup> - MILAN SANIGA<sup>1</sup> - IVANA SARVAŠOVÁ<sup>1</sup> - ZUZANA PAROBEKOVÁ<sup>1</sup> - MÁRIA POTTERF<sup>2</sup> - IVAN LUKÁČIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic*

<sup>2</sup>*University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Science, P.O. Box 35, 40014 University of Jyväskylä, Finland*

✉ e-mail: [denisa.sedmakova@tuzvo.sk](mailto:denisa.sedmakova@tuzvo.sk)

### ABSTRACT

Forest management might be threatened by declining health status of oaks in the transition zone between oak and beech forests, where drought is the most limiting factor. The aim of the presented paper is to assess the influence of selected climatic characteristics on the radial growth of oak trees with different stem diameter status in the beech-oak and oak-beech forest altitudinal zones within the forest growth area of Poľana Mt. and Zvolen Basin (Slovakia). Our results show that oaks with less favourable stem diameter position (Weisse's middle stems) show slower radial growth, have less pronounced climatic precipitation signal and milder response to extreme climatic events. The findings potentially suggest that not only favourable tree species composition of stands, but also the stand structure can mitigate the negative impacts of climate change on forest growth.

For more information see Summary at the end of the article.

**Kľúčové slová:** dominantný strom; stredný kmeň; klimatické extrémny; radiálny rast

**Key words:** dominant tree; middle stem; extreme climatic events; radial growth

### ÚVOD

Duby (*Quercus* sp.) predstavujú dôležitú súčasť lesných ekosystémov mierneho podnebného pásma (MABBERLEY 2017). V dôsledku klimatickej zmeny aj v tejto oblasti vzrastá význam sucha ako primárneho faktora spôsobujúceho zvýšenú mortalitu stromov (ALLEN et al. 2010; HLÁSNY et al. 2015). Voči suchu sú v súčasných podmienkach teplejšej klímy odolnejšie duby (*Quercus* sp.) v porovnaní s bukmi (*Fagus sylvatica* L.) v zmiešaných spoločenstvách, kde sa v stredoeurópskych lesoch prekrýva ich rozšírenie (CZÚCZ et al. 2011). Narastajúce odumieranie dubov v posledných desaťročiach, doteraz menej evidované v miernom podnebnom pásme, je predmetom zvýšeného vedeckého aj praktického záujmu (DROBYSHEV et al. 2007, 2008; DOLEŽAL et al. 2010; DI FILIPPO et al. 2010; ANDERSSON et al. 2011; SOHAR et al. 2014; HLÁSNY et al. 2015; RYBNÍČEK et al. 2015). Sucho a suchom vyvolané poškodenie patogénmi sú rozhodujúce, priamo vplyvajúce faktory na odumieranie dubín (MCCRACKEN 1985). Za prídružené faktory mož-

no považovať vplyv veku, pôdných podmienok a v neposlednom rade poškodenie mrazom (HELAMA et al. 2009; MÉRIAN et al. 2011).

Hlavnými ukazovateľmi chradnutia dubín sú defoliácia, rastové anomálie a zvýšená mortalita stromov (SIWECKI, UFNALSKI 1998; THOMAS et al. 2002; AREND et al. 2011). Náhly pokles radiálneho prírastku v priebehu jedného roka je reakciou zaznamenanou v letokruhových sériách stromov, ktoré prežili obdobie extrémneho počasia (SCHWEIN-GRUBER et al. 1990). Z titulu dlhovekosti drevín možno považovať letokruhovú sériu za dlhodobý časový rad s dostatočným počtom (frekvenciou) výskytu udalostí náhleho poklesu prírastku vplyvom extrémnych klimatických udalostí, vo svojej podstate udalostí so zriedkavým výskytom (BATTIPAGLIA et al. 2010). Negatívna rastová odchýlka v letokruhovej sérii dubov je najčastejšie zaznamenaná za súčasného výskytu vysokých teplôt a nízkeho množstva zrážok počas vegetačného obdobia (NEUWIRTH et al. 2004). V lesoch mierneho pásma, epizódy extrémneho počasia vyvolávajú významný pokles v rastovej vitalite

stromov. Súčasne patria medzi najdôležitejšie faktory spôsobujúce poruchy v tvorbe a ukladaní uhlíka a zvýšenú mortalitu stromov (LEBOURGEOIS et al. 2010). Je predpoklad, že na základe rastúcich trendov priemerných teplôt a ich zvýšenej variability (SCHÄR et al. 2004) sa pravdepodobnosť výskytu klimatických epizód vyvolávajúcich extrémne rastové reakcie dubov v blízkej budúcnosti zvýši. Zvýšená frekvencia ich výskytu, ako aj mortalita stromov spôsobená exogénnymi faktormi následne ohrozia aj hospodárenie v lesoch (BRÉTEAU-AMORES et al. 2019).

Časový proces odumierania dubov má dlhodobý priebeh (ANDERSSON et al. 2011; SOHAR et al. 2014). V raste a reakcii na klimatické podmienky existujú medzi jedincami dubov rastúcimi ako solitery a v skupine významné rozdiely (DOLEŽAL et al. 2016). Vplyv kompetície a dimenzií dubov je dôležitým faktorom pre ich zdravotný stav (MATULA et al. 2015). Odumreté jedince duba letného sú prevažne menších dimenzií a sú menej osvetlené v porovnaní s vitálnymi jedincami, čo sa potvrdilo na troch lokalitách v južnom Švédsku (ANDERSSON et al. 2011). Ako perspektívne adaptačné opatrenie, ktoré znižuje náchylnosť porastov voči účinkom extrémneho sucha sa javí zníženie kompetičného tlaku prostredníctvom prebierok, napríklad v podmienkach mediteránneho stredného Španielska (ALDEA et al. 2017). Na druhej strane zapojené porasty zmiernujú výkyvy vysokých teplôt a zlepšujú vlhkosť pomery vo vnútri porastu, čo naznačuje, že zápoj porastu môže tlmiť dopady extrémneho sucha v dubových lesoch mierneho podnebného pásma (BHATTA, VETAAS 2016). To, aká miera uvoľnenia zo zatienenia korún a z kompetičného tlaku jedincov duba v poraste je prospešná v kontexte súčasnej klimatickej zmeny nie je doteraz známe. Celkovo je vplyv hrúbkového postavenia dubov v poraste na rastovú odozvu voči klimatickým extrémom menej preskúmaný. Cieľom predkladaného článku je porovnať extrémne rastové reakcie jedincov duba v rôznom hrúbkovom postavení v poraste v bukovo-dubovej a dubovo-bukovej prechodnej rastovej zóne. Presnejšie preskúmať reakciu dubov s domi-

nantným hrúbkovým postavením, menej ovplyvnených konkurenciou a viac ovplyvnených klímou v porovnaní s reakciou stromov so stredným hrúbkovým postavením (stredné Weisseho kmene), ovplyvnených viac konkurenciou a menej vonkajšími klimatickými faktormi.

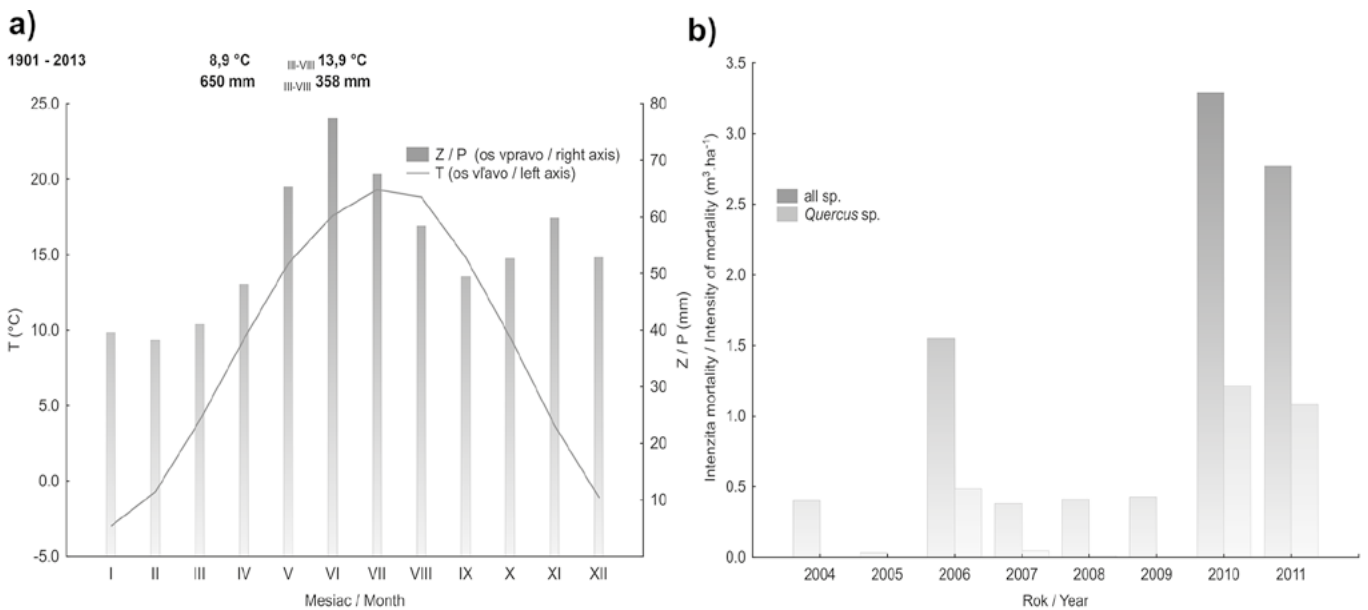
## MATERIÁL A METÓDIKA

### Charakteristika lokality

Skúmaná oblasť zaberá submontánne pásmo druhého a tretieho lesného vegetačného stupňa (LVS) západnej a juhozápadnej časti orografického celku Poľana (48°38'N, 19°29'E) a priľahlej časti Zvolenskej kotliny. Lokalitu možno charakterizovať ako prechodnú oblasť medzi teplou panónskou a horskou karpatskou klímou s prevahou úrodných mezofilných pôd. Podľa dostupných klimatických údajov priemerná ročná teplota dosahuje v danej oblasti 8–9 °C a priemerný ročný úhrn zrážok okolo 650 mm (obr. 1). Priemerné hodnoty Ellenbergovho klimatického kvocientu predstavujú hodnoty 30 (2. LVS) a 26 (3. LVS). Hodnotu nad 30 možno považovať za limitnú, indikujúcu absenciu buka lesného, alebo jeho slabú rastovú vitalitu, kým hodnoty v rozpätí 15–20 indikujú jeho dominanciu. Podmienky stanovišťa na hodnotených plochách v rámci 2. a 3. LVS sú porovnateľné z hľadiska sklonu, veku porastov, porastovej kruhovej základne a zastúpenia duba zimného v predmetných porastoch. Menej vhodné rastové podmienky pre dub sa vyskytujú v 3. LVS (bonita 21 ± 3 m) v porovnaní s 2. LVS (bonita 23 ± 3 m), čo potvrdzujú aj údaje o kruhovej základni (28 ± 9 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>) oproti 2. LVS (36 ± 11 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>).

### Letokruhovú série

Pre účely predkladanej práce bol použitý empirický materiál zozbieraný v rokoch 2012–2013 v lesných porastoch s vekom nad 80 rokov



Obr. 1

- a) Klimadiagram z dostupnej databázy CRU TS3.21 pre obdobie 1901–2013  
 b) Mortalita stromov v rastovej oblasti Poľana podľa dostupných údajov za obdobie 2004–2011; Z – zrážky, T – teplota

Fig. 1.

- a) Climadiagram from available CRU TS3.21 database for period 1901–2013  
 b) Degree of tree mortality in the growth area Poľana according to available data for period 2004–2011; Z – precipitation, T – temperature

náhodne vyselektovaných, proporcionálne k ich celkovej výmere v danej oblasti. Vývrty boli odoberané prevažne z jedincov duba zimného (*Quercus petraea* (Matt.) L.). Celkovo bolo založených 19 výskumných plôch, jedna v každom vybranom poraste. Z desiatich stromov v najbližšom okolí k stredu založenej plochy boli identifikované dva jedince – hrúbkovo dominantný (D – priemerná hrúbka 10 % najhrubších stromov) a priemerný jedinec (W – Weisseho stredný kmeň) (WEISSE 1880). Z dvoch identifikovaných stromov sme odobrali po jednom vývrte v hrúbke  $d_{1,3}$ . Základné dendrometrické charakteristiky vybraných stromov sú uvedené v tab. 1.

Odobrané vývrty boli nalepené do 5 mm širokých drážok, vysušené a zbrúsené. Tieto boli následne spracované pomocou štandardných dendrochronologických postupov (COOK, KAIRIUKSTIS 1990). Šírky letokruhov boli merané pomocou digitálneho poziciometra s presnosťou 0,01 mm a vizuálne datované prostredníctvom krížového porovnania jednotlivých sérií. Základné informácie pre merané letokruhové série – priemerná dĺžka letokruhovej série, šírka ročného kruhu, senzitivita série, smerodajná odchýlka a autokorelácia prvého rádu (DCH, ŠRK, Ss, Sx, AK1) a zostavené reziduálne chronológie – priemerná korelácia medzi stromami, spoločný extrahovaný signál,

spoločná variabilita (%) pre prvý hlavný komponent PCA analýzy jednotlivých sérií a počet sérií zahrnutých pre výpočet charakteristik reziduálnej chronológie v rámci spoločného časového intervalu (RBT, EPS, HK1, Ns) sú uvedené v tab. 2.

Jednotlivé série nameraných širok ročných kruhov (ŠRK) boli okrem absolútnych a reziduálnych chronológií použité aj na zostavenie priemerných kumulatívnych kriviek radiálneho rastu. Série ŠRK boli zarovnané a spriemerované podľa ich kambiálneho veku. V prípade chýbajúceho stržňa na vývrte bol vek jednotlivých stromov odhadnutý nelineárnym postupom na základe vybraných meraných parametrov (SEDMÁK et al. 2014). Pre každý kambiálny rok bola hodnota kumulatívneho rastu počítaná ako suma ŠRK predchádzajúcich rokov. Výsledné krivky zotriedené podľa LVS a hrúbkového postavenia v poraste boli graficky porovnané a zhodnotené.

**Klimatické údaje**

Časové rady klimatických premenných boli zostavené pre priemerné mesačné teploty a sumy zrážok za obdobie 1901–2012. Priemerné mesačné údaje boli extrahované z databázy CRU TS3.21 (0,5° × 0,5° gride

**Tab. 1.**  
Základný popis empirického materiálu  
Basic description of empirical material

| LVS <sup>1</sup> | Hrúbkové postavenie <sup>2</sup> | Počet stromov <sup>3</sup> | Hrúbka <sup>4</sup> (cm) | Výška <sup>5</sup> (m) | HNK <sup>6</sup> (m) | Vek v stržni <sup>7</sup> (rok) |
|------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 2                | W                                | 10                         | 35±10                    | 25±3                   | 14±2                 | 130±42                          |
|                  | D                                | 10                         | 41±9                     | 26±3                   | 12±5                 | 123±31                          |
| 3                | W                                | 9                          | 34±6                     | 22±4                   | 12±5                 | 117±47                          |
|                  | D                                | 9                          | 45±6                     | 26±6                   | 10±4                 | 135±34                          |

LVS – lesný vegetačný stupeň, HNK – výška nasadenia koruny, W – Weisseho stredný kmeň, D – dominantný kmeň, jednotlivé namerané údaje sú uvádzané ako aritmetický priemer ± smerodajná odchýlka. Pozn.: dimenzionálne rozdiely stromov medzi LVS nie sú štatisticky významné.

<sup>1</sup>Forest altitudinal zone, <sup>2</sup>Stem diameter status, <sup>3</sup>Number of sampled trees, <sup>4</sup>Diameter, <sup>5</sup>Height, <sup>6</sup>Height of the crown base, <sup>7</sup>Pith age (years), W – Weisse middle stem, D – Dominant stem; data are expressed as arithmetic means ± standard deviations. Note: dimensional differences among forest altitudinal zones are not statistically significant.

**Tab. 2.**  
Štatistické charakteristiky meraných širok ročných kruhov (ŠRK) za obdobie 1901–2012 a zostavených reziduálnych chronológií podľa lesných vegetačných stupňov (LVS) a hrúbkového postavenia jedincov duba v poraste  
Statistical characteristics of measured tree-ring widths (TRW) for the period 1901–2012 and compiled residual chronologies according to forest altitudinal zones (FAZ) and stem diameter status of oak individuals in the stand

| LVS <sup>1</sup> | Hrúb. pos. <sup>2</sup> | Abs. chrono.            |              |      |      |      | Resid. chrono. |      |      |        |    |
|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|------|------|------|----------------|------|------|--------|----|
|                  |                         | DCH <sup>3</sup> (roky) | ŠRK/TRW (mm) | Ss   | Sx   | AK1  | Spol. interval | RBT  | EPS  | HK1    | Ns |
| 2                | W                       | 89,9                    | 1,46         | 0,21 | 0,77 | 0,74 | 1947–2012      | 0,22 | 0,69 | 32,0ns | 9  |
|                  | D                       | 98,3                    | 1,86         | 0,21 | 0,71 | 0,64 | 1950–2012      | 0,33 | 0,82 | 40,7*  | 10 |
| 3                | W                       | 89,7                    | 1,58         | 0,25 | 0,69 | 0,64 | 1949–2012      | 0,26 | 0,73 | 37,4*  | 8  |
|                  | D                       | 88,1                    | 1,77         | 0,24 | 0,72 | 0,61 | 1936–2012      | 0,34 | 0,78 | 43,8*  | 7  |

DCH – priemerná dĺžka letokruhovej série, Ss – priemerná senzitivita série, Sx – smerodajná odchýlka, AK1 – priemerná autokorelácia prvého rádu, RBT – priemerná korelácia medzi stromami, EPS – spoločný extrahovaný signál, HK1 – spoločná variabilita (%) pre prvý hlavný komponent PCA analýzy jednotlivých sérií, Ns – počet sérií zahrnutých pre výpočet charakteristik reziduálnej chronológie v rámci spoločného časového intervalu

<sup>1</sup>Forest altitudinal zone, <sup>2</sup>Stem diameter status, <sup>3</sup>Mean length of TRW series (years), Ss – mean sensitivity of TRW series, Sx – standard deviation, AK1 – mean autocorrelation of the 1<sup>st</sup> degree, RBT – mean between tree correlation, EPS – expressed population signal, HK1 – common variability (%) of the first principal component from PCA analysis, Ns – number of series included in calculation of characteristics of residual chronology for the common time interval

interpolované body) dostupnej z webovej lokality KNMI Climate Explorer (HARRIS et al. 2014; <http://climexp.knmi.nl>).

### Rastové disturbancie – analýza významných rokov

Definícia extrémnej udalosti predpokladá extrémnu odchýlku počasia a súčasne extrémnu (pozitívnu alebo negatívnu) rastovú odozvu zaznamenanú v letokruhovej sérii (NEUWIRTH et al. 2004). Extrémne prírastkové odchýlky sme vypočítali ako relatívne rastové odchýlky podľa SCHWEINGRUBER et al. (1990). Do pomeru bol daný prírastok (ŠRK) v danom posudzovanom roku k priemernému prírastku za predchádzajúce štyri roky. Absolútne letokruhové série tak boli transformované na série relatívnych prírastkových odchýlok. Následne bola vykonaná normalizácia ich hodnôt tak, že rozdiel relatívnych prírastkových odchýlok a priemeru série bol daný do pomeru k smerodajnej odchýlke série. Výsledná séria obsahovala hodnoty, ktorých aritmetický priemer bol rovný nule a smerodajná odchýlka jednej za stanovené obdobie 1932–2012 (obdobie s počtom sérií v chronológii  $\geq 5$ ). Týmto bol zároveň dodatočne eliminovaný prípadný dlhodobý rastový trend. Výsledné transformované hodnoty, počítané podobným postupom ako CROPPER (1979), boli označené ako Cxy a reprezentujú medziročne rastové odchýlky. Následne boli zostavené štyri priemerné chronológie Cxy hodnôt podľa LVS a hrúbkového postavenia stromov v poraste. Za extrémnu negatívnu rastovú odozvu boli v našom prípade považované hodnoty Cxy priemerných chronológií menšie ako 0,75. Kalendárne roky, kedy aspoň jedna podskupina (D alebo W) stromov vykázala významný medziročný pokles priemerného prírastku, boli označené ako významné roky pre daný LVS.

Pre interpretačné účely významných rokov boli použité časové série mesačných klimatických údajov (zrážky a teploty za obdobie od predchádzajúceho apríla do septembra). Normalizované hodnoty sme vypočítali ako odchýlky mesačných hodnôt od dlhodobého priemeru (1901–2012), vyjadrené smerodajnou odchýlkou. Normalizované hodnoty, ktoré prekročili  $\pm 1$ -násobok smerodajnej odchýlky boli interpretované ako teplé/chladné, resp. suché/vlhké mesiace (NEUWIRTH et al. 2004). Hodnoty prekračujúce  $\pm 2$ -násobok smerodajnej odchýlky boli interpretované ako extrémne teplé/studené, resp. suché/vlhké.

### Identifikácia významných klimatických činiteľov – rastová odozva

Pre posúdenie rastovej odozvy duba na klímu boli jednotlivé synchronizované série ŠRK štandardizované v rámci štyroch podskupín. Pre výpočty bola vykonaná štandardná dvojitá detrendizácia v programe ARSTAN (COOK 1985; 1- modifikovaná negatívna exponenciálna a 2- kubický spline s dĺžkou zodpovedajúcou 67 % dĺžky série a s 50% variancou zachovanou v sériách). Hodnoty štandardizovaných letokruhových indexov sme vypočítali tak, že sa do pomeru dala nameraná hodnota ŠRK v danom roku a funkciou vyrovnaná hodnota. Zo sérií bola následne autoregresným modelovaním odstránená autokorelácia a robustný priemer sérií bol použitý pre výpočet priemerných hodnôt reziduálnych chronológií pre jednotlivé podskupiny.

Pre identifikáciu klimatických faktorov ovplyvňujúcich rast duba v danej lokalite, korelácie medzi indexami reziduálnej chronológie (RKI) a priemernými mesačnými klimatickými charakteristikami boli počítané pre rovnaké obdobie ako v prípade Cxy odchýlok, a to obdobie 1932–2012 a klimatické okno (minuloročný apríl až tohoročný september).

### Analýza údajov

Mortalita stromov bola odvodená z údajov o výške náhodných ťažieb v danej oblasti za obdobie rokov 2004–2011. Intenzita mortality bola počítaná ako podiel objemu odumretých stromov (kalamity v  $m^3$ ) ku

konkrétnej výmere (v ha). Mortalita duba bola porovnaná s mortalitou ostatných druhov drevín v skúmanej oblasti.

Podobnosť reziduálnych chronológií bola posúdená na základe veľkosti priemerných korelačných koeficientov medzi chronológiami za obdobie 1932–2012.

Rozdiely vo veľkosti rastových odchýlok významných rokov medzi lesnými vegetačnými stupňami a hrúbkovým postavením stromov sme testovali analýzou variancie (ANOVA) s interakciou a interpretovali ako štatisticky významne/nevýznamne odlišná rastová odozva.

Pre posúdenie podobnosti v rastovej odozve voči klíme medzi LVS a hrúbkovým postavením boli takisto počítané korelácie priemerných Cxy hodnôt ako aj RKI hodnôt s teplotou a zrážkami pre určité obdobie v rámci vegetačnej periódy (jún–august a marec–august) za obdobie 1932–2012 ( $n = 81$ ). Obdobie (resp. jeho dĺžka) v rámci vegetačnej periódy bolo stanovené tak, že sledované mesačné klimatické charakteristiky s najsilnejším vplyvom (najvyššími koreláciami) s Cxy boli zosumarizované pre dĺžku daného klimatického obdobia.

V danej oblasti stredných nadmorských výšok prevláda zrážkový klimatický signál. Vyššie priemerné teploty počas predchádzajúceho roka (najmä leto a skorá jeseň) a neskorej jari a leta v aktuálnom roku majú mierny negatívny vplyv na radiálny rast duba. Vyššie priemerné teploty počas neskorej zimy a vyššie množstvo zrážok počas minulého roka, najmä v lete, má na radiálny rast duba mierny pozitívny vplyv. Neskorá jar a leto v aktuálnom roku má pozitívny vplyv (sila korelácie v jednotlivých mesiacoch 0,2–0,4). Pre posúdenie priestorovej variability klimatického signálu zaznamenaného v ŠRK duba sme použili geoštatistické metódy. Priestorovou autokoreláciou sme testovali pôsobenie najdôležitejších klimatických faktorov, a to pre korelácie medzi priemernými RKI hodnotami a zrážkami v rámci vegetačného obdobia (obdobie jún–august a obdobie marec–august) pre dominantné jedince duba spoločne v druhom a treťom LVS. Bodové údaje sme interpolovali základným krígingom. Pre stanovenie hodnôt korelačných koeficientov na predpovedanom mieste bol v obidvoch preverovaných modeloch (zrážky<sub>marec-august</sub> a zrážky<sub>jún-august</sub>) ako najvhodnejší použitý sférický model semivariogramu. Keďže obidva modely poskytli porovnateľné priestorové zobrazenie, pre účely tohto článku sme vybrali model pre korelácie medzi RKI a zrážkami za obdobie marec až august ( $Z_{iii-viii}$ ).

## VÝSLEDKY

V skúmanej oblasti má dub v 3. LVS v porovnaní s 2. LVS mierne horšie stanovištné podmienky nepriamo indikované vyššou nadmorskou výškou ( $t = -1,63$ ;  $p < 0,13$ ) ako aj jeho nižším zastúpením ( $t = 1,94$ ;  $p < 0,07$ ) a nižšou kruhovou základňou ( $t = 1,94$ ;  $p < 0,07$ ). Dub dosahuje v obidvoch LVS podobné dimenzie a rastovú výkonnosť (testované rozdiely pre výšku, hrúbku a HNK nevýznamné,  $p > 0,2$ ; tab. 1; obr. 2). Zdravotný stav dubov je uspokojivý vzhľadom na ich nižšiu mortalitu v porovnaní s ostatnými druhmi drevín (obr. 1). V skúmanej oblasti možno konštatovať zvýšenú mortalitu všetkých druhov v rokoch 2010–2011.

Pre dendrochronologické charakteristiky sme nepotvrdili významné rozdiely medzi lesnými vegetačnými stupňami (tab. 2). Výnimkou je o málo väčšia priemerná senzitivita sérií a vyššia spoločná variabilita v prvom hlavnom komponente PCA analýzy v 3. LVS v porovnaní s 2. LVS a vyššia podobnosť medzi reziduálnymi chronológiami v rámci 3. LVS v porovnaní s 2. LVS (tab. 3). Oproti tomu rozdiely medzi hrúbkovým postavením stromov sú výraznejšie. Pomalší rast stredných kmeňov, resp. ich nižšia vitalita vyplývajúca z menej priaznivého sociologického postavenia je viditeľná z nižších hodnôt ŠRK ( $p < 0,001$  pre obidve skupiny v rámci LVS) pri súčasne porovnateľ-

nom priemernom veku ( $p < 0,4$  pre 2 LVS a  $p < 0,18$  pre 3 LVS; tab. 2, obr. 2). Jedince s priemerným hrúbkovým postavením v poraste (Weisseho kmene), jedince pod vyšším kompetičným zaťažením, vykazujú nižšiu podobnosť štandardizovaných prírastkových sérií (RBT), nižší spoločne extrahovaný populačný signál a aj nižšiu spoločnú variabilitu prvého hlavného komponenta. Celkovo najnižšie hodnoty týchto parametrov majú Weissého kmene v druhom LVS.

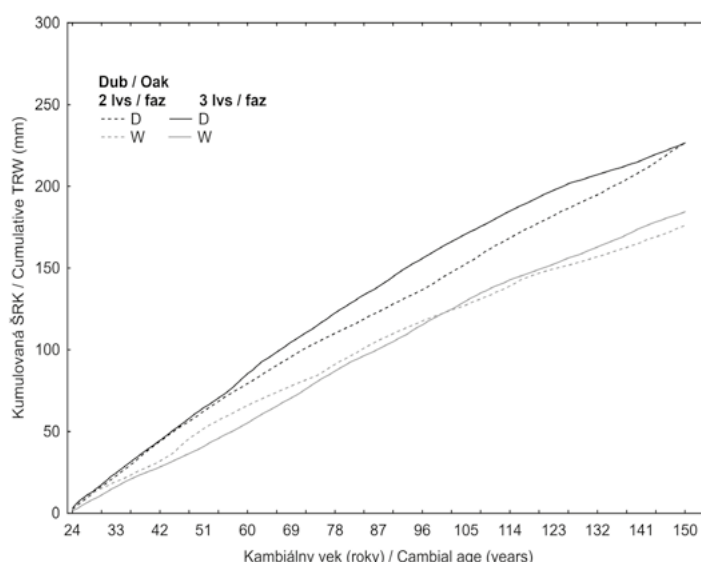
**Tab. 3.**

Podobnosť medzi reziduálnymi chronológiami (RKI hodnoty) pre obdobie 1932–2012 podľa lesného vegetačného stupňa (LVS) a hrúbkového postavenia dubov  
Similarity of residual chronologies (RKI values) for the 1932–2012 time period according to forest altitudinal zones and stem diameter status of oak trees

| LVS <sup>1</sup> | Hrúb. pos <sup>2</sup> | 2    |      | 3    |     |
|------------------|------------------------|------|------|------|-----|
|                  |                        | D    | W    | D    | W   |
| 2                | D                      | 1,00 |      |      |     |
|                  | W                      | 0,79 | 1,00 |      |     |
| 3                | D                      | 0,78 | 0,77 | 1,00 |     |
|                  | W                      | 0,78 | 0,73 | 0,84 | 1,0 |

Pozn.: Všetky korelácie sú významné ( $p > 0,05$ ), D – dominantný, W – Weissého stredný kmeň

Note: All correlations are significant ( $p > 0,05$ ), D – dominant, W – Weisse middle stem, <sup>1</sup>Forest altitudinal zone, <sup>2</sup>Stem diameter status

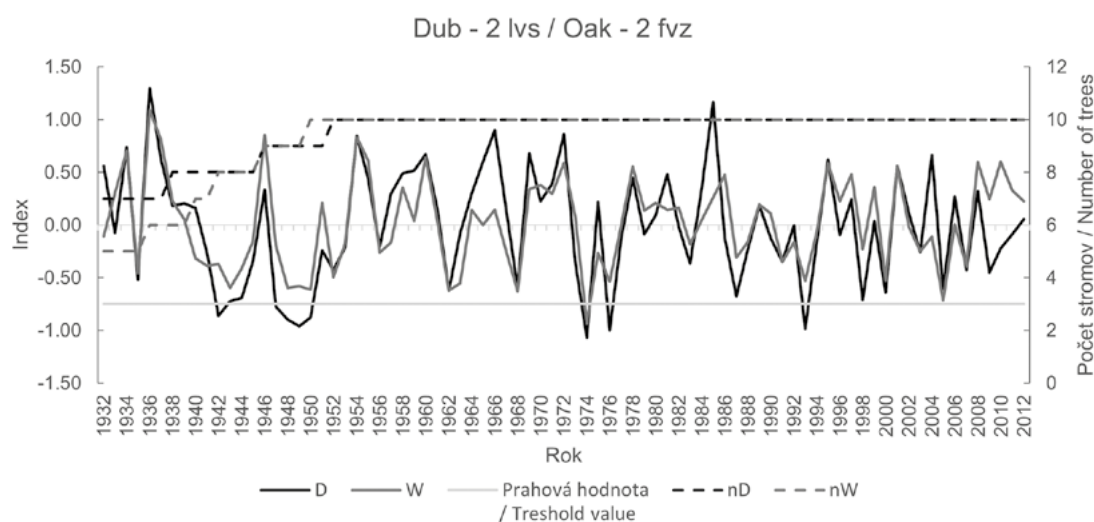


**Obr. 2.**

Kumulatívny radiálny rast duba podľa kambiálneho veku (v stržni) v druhom (prerušovaná čiara) a v treťom (plná čiara) lesnom vegetačnom stupni (lvs) zobrazujúci lepšiu rastovú výkonnosť stromov s dominantným hrúbkovým postavením (D) ako stromov s priemerným hrúbkovým postavením (W – Weissého stredný kmeň); kumulovaná ŠRK zodpovedá polomeru kmeňa v 130 cm nad zemou

**Fig. 2.**

Cumulative radial growth of oak according to cambial age (pith age) in the second (dashed line) and third (full line) forest altitudinal zone showing better growth performance of trees with dominant stem diameter position (D) than trees with average stem diameter position (W – Weisse middle stem); cumulative tree-ring width (TRW) corresponds with stem radii 130 cm above the ground



**Obr. 3.**

Priemerné Cxy chronológie zobrazujúce rastové odchýlky dominantných a Weissého kmeňov v druhom lesnom vegetačnom stupni. Normalizované rastové odchýlky presahujúce plnú vodorovnú sivú čiaru (prahová hodnota s veľkosťou 0,75) sú označené ako významné – negatívne extrémne rastové odchýlky; čiarkované čiary nD a nW označujú počet sérií, z ktorých bola zostavená príslušná chronológia

**Fig. 3.**

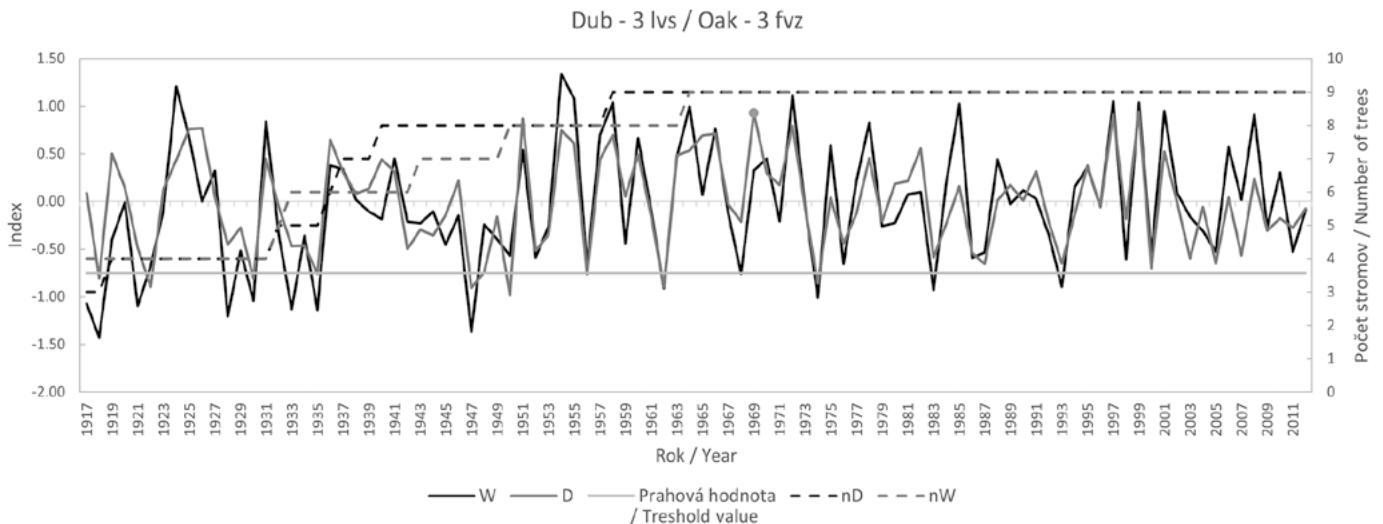
Mean Cxy chronologies displaying growth deviations of dominant and Weisse's stems in the second forest altitudinal zone. Normalized growth deviations exceeding 0.75 threshold (full grey line) are marked as significant – negative extreme growth deviations; Dashed lines nD and nW denote sample depth of respective chronologies

Pre skúmanú oblasť bolo zistených 14 významných rokov, v ktorých aspoň jedna podskupina v rámci LVS (D alebo W kmene) vykázala extrémnu rastovú odchýlku (obr. 3 a 4). Ďalej uvádzame jednotlivé extrémne roky pre jednotlivé LVS, kde „tučné písmo“ označuje extrémne teplé a suché roky v oboch LVS, a podčiarknuté údaje predstavujú chladné až extrémne chladné počasie počas zimy, prípadne aj počas vegetačnej sezóny. Náhlý pokles prírastkovej reakcie v ostatných rokoch vyvolala pravdepodobne kombinácia extrémnych výkyvov počasia v priebehu roka. V 2. LVS to sú roky: 1942, 1947, 1948, 1949, 1950, 1974, 1976, **1993**. V 3. LVS roky: 1933, 1935, **1947**, **1948**, **1950**, 1956,

1962, **1968**, 1974, **1983**, **1993**. Dominantné stromy reagovali väčšou amplitúdou na extrémnu klimatickú udalosť v porovnaní s Weisseho strednými kmeňmi (obr. 3 a 4).

Menej výrazná odozva Weisseho kmeňov je zrejma aj z výsledkov ANOVY (obr. 5; tab. 4). Rozdiel v priemerných Cxy hodnotách medzi LVS nie je signifikantný ( $p < 0,09$ ). Weisseho kmene v 2. LVS sa vyznačujú najvyššími hodnotami Cxy, a teda najmenej výraznou odozvou na extrémne klimatické udalosti.

V 2. LVS Weisseho kmene majú značne nižšiu rastovú odozvu Cxy hodnôt v porovnaní s ostatnými chronológiami, ktorých reakcie sú



**Obr. 4.**

Priemerné Cxy chronologie zobrazujúce rastové odchýlky dominantných a Weisseho kmeňov v treťom lesnom vegetačnom stupni. Normalizované rastové odchýlky presahujúce plnú vodorovnú sivú čiaru (prahová hodnota s veľkosťou 0,75) sú považované za významné – negatívne extrémne rastové odchýlky; čiarkované čiary nD a nW označujú počet sérií, z ktorých bola zostavená príslušná chronológia

**Fig. 4.**

Mean Cxy chronologies displaying growth deviations of dominant and Weisse's middle stems in the 3<sup>rd</sup> forest altitudinal zone. Normalized growth deviations exceeding 0.75 threshold (full grey line) are marked as significant – negative extreme growth deviations; dashed lines nD and nW denote sample depth of respective chronologies

**Tab. 4.**

Test významnosti celého modelu a jednorozmerné testy významnosti pre závislú premennú Cxy (ANOVA s interakciami)

Test of the significance for the whole model and for single groups of variables, dependent variable Cxy (ANOVA with interactions)

| Efekt <sup>1</sup>          | Suma štvorcov celého modelu (SŠ = 0,86), počet stupňov voľnosti (SV = 3), testovacie kritérium $F = 3,13$ a $p < 0,03$ |          |               |              |
|-----------------------------|--|----------|---------------|--------------|
|                             | SŠ   | SV       | F             | p            |
| Abs. člen <sup>2</sup>      | <b>22,92</b>   | <b>1</b> | <b>249,64</b> | <b>0,000</b> |
| LVS <sup>3</sup>            | 0,26   | 1        | 2,83          | 0,098        |
| Hrúb. pos. <sup>4</sup>     | <b>0,56</b>  | <b>1</b> | <b>6,06</b>   | <b>0,017</b> |
| LVS*Hrúb. pos. <sup>5</sup> | 0,05   | 1        | 0,50          | 0,481        |
| Chyba <sup>6</sup>          | 4,77   | 52       |               |              |

<sup>1</sup>Main effect, <sup>2</sup>SŠ – sum of squares, <sup>3</sup>SV – degrees of freedom, <sup>4</sup>Intercept, <sup>5</sup>Forest altitudinal zone, <sup>6</sup>Hrúb. pos. – <sup>4</sup>Stem diameter status, <sup>5</sup>Interaction of LVS\*Hrúb. pos., <sup>6</sup>Error

**Tab. 5.**

Korelácie Cxy hodnôt s teplotou a zrážkami počas vegetačnej periódy za obdobie 1932–2012 (n = 81)

Correlations of Cxy values with temperature and precipitation amounts during the vegetation periods 1932–2012 (n = 81)

| LVS <sup>1</sup>        | 2                       |             | 3           |             |              |
|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|                         | Hrúb. pos. <sup>2</sup> | D           | W           | D           | W            |
| T <sub>(vi–viii)</sub>  |                         | -0,19       | -0,02       | -0,12       | <b>-0,22</b> |
| T <sub>(iii–viii)</sub> |                         | -0,09       | 0,08        | -0,11       | <b>-0,22</b> |
| Z <sub>(vi–viii)</sub>  |                         | <b>0,45</b> | <b>0,38</b> | <b>0,54</b> | <b>0,59</b>  |
| Z <sub>(iii–viii)</sub> |                         | <b>0,47</b> | <b>0,38</b> | <b>0,49</b> | <b>0,51</b>  |

Pozn.: Tučným písmom sú zvýraznené korelácie významné na hladine  $p < 0,05$ ; LVS – lesný vegetačný stupeň, D – dominantný, W – Weisseho, rímske číslice korešpondujú s označením kalendárnych mesiacov, pre ktoré bola počítaná suma T – teplota a Z – zrážok

<sup>1</sup>Forest altitudinal zone, <sup>2</sup>Stem diameter status, D – dominant stem, W – Weisse middle stem, T – temperature, Z – precipitation. Bold letters mark correlations significant at  $p < 0,05$

podobné (tab. 5). Najdôležitejším limitujúcim klimatickým faktorom je nedostatok zrážok. Súčasne výskyt vysokých teplôt má menší vplyv. Korelácie Cxy hodnôt a korelácie RKI indexov s teplotou a zrážkami vykázali porovnateľné reakcie stromov na klímu (tab. 5 a 6).

Rastová odozva duba na skúmanom území vykazuje priestorovú závislosť a je modifikovaná reliéfom terénu (obr. 6). Na citlivosť duba voči nedostatku zrážok počas obdobia marec – august vplyva exponovanosť plochy voči južnému vplyvu panónskej klímy. Lokality z hľadiska mikroreliéfu umiestnené v údoliach vykazujú menšiu citlivosť na zrážky ako mikroreliéfne viac exponované lokality. Najslabší klimatický signál ( $r < 0,22$ ) sme zaznamenali v Hrochofskej doline, ktorá lemuje riečku Hučava v pohorí Polana.

## DISKUSIA

Naše výsledky indikujú, že nárast teplôt počas vegetačnej doby mohol prispieť k nedávno zistenej vyššej mortalite dubov a presychaniu korún (ALLEN et al. 2010; HLÁSNÝ et al. 2015). Očakávaná vyššia frekvencia extrémnych klimatických udalostí ako následok klimatickej zmeny (SCHÄR et al. 2004) pravdepodobne nepriaznivo ovplyvní radiálny rast a zároveň zvýši pravdepodobnosť poškodenia podkôrným a drevokazným hmyzom. Kombinácia týchto faktorov môže v budúcnosti spôsobiť ich výraznejší úhyn (THOMAS et al. 2002; KUNCA et al. 2013). Dominantné stromy rastúce bez menšej ochrany okolitého porastu môžu byť vystavené väčšiemu vodnému stresu (môžu vyžadovať väčšie množstvo vody) a môžu byť citlivejšie na klímu a extrémne klimatické udalosti. Následne môžu byť aj menej odolné voči pôsobeniu exogénnych faktorov ako mráz či hubové a parazitické patogény priamo naviazané na pletivá vedúce vodu v stromoch (MCCRACKEN 1985; DOLEŽAL et al. 2010). V našom prípade dominantné stromy v poraste reagovali na suchu vyšším poklesom prírastku v porovnaní so stromami s horším hrúbkovým postavením. Vzhľadom na ich väčšiu vitalitu v porovnaní s Weisseho kmeňmi, dominantné stromy môžu byť schopné aj rýchlejšej regenerácie, a vykazovať tak väčšiu pružnosť, resp. životaschopnosť voči pôsobeniu exogénnych vplyvov (MARTÍN-BENITO et al. 2008).

Senzitivita, resp. negatívna odozva radiálneho rastu dubov na teplé a suché počasie je dobre známa a často uvádzaná v mnohých európskych krajinách (ČUFAR et al. 2008; KERN et al. 2012; RYBNÍČEK et al. 2016). V skúmanej oblasti sme najsilnejšiu rastovú odozvu na klímu zaznamenali v prípade zrážok počas vegetačnej periódy (marec – august), pričom omnoho nižšie korelácie boli zaznamenané pre teplotu. Podobné zistenia pre rastovú odozvu duba vo Východopanónskej panve v Maďarsku reportoval ÁRVAI et al. (2018). Dub je citlivý na vodný stres, preto periódy narastajúceho sucha počas vegetačnej sezóny povedú k zvýšenému výskytu rokov s extrémne nízkym prírastkom (RYBNÍČEK et al. 2016) a potencionálne k jeho zvýšenej mortalite (THOMAS et al. 2002; GEA-IZQUIERDO et al. 2014). Náchylnosť

Tab. 6.

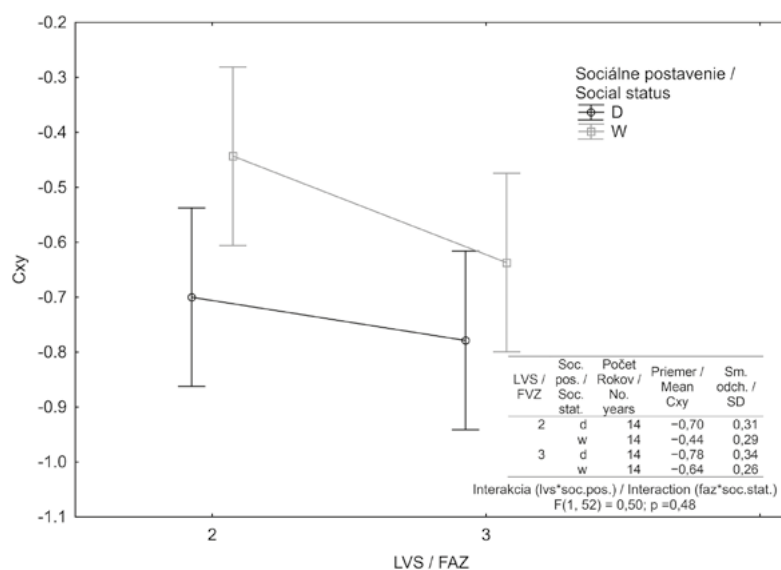
Korelácie RKI s teplotou a zrážkami počas vegetačnej periódy za obdobie 1932–2012 (n = 81)

Correlations of RWIs with temperature and precipitation amounts during the vegetation periods 1932–2012 (n = 81)

| LVS <sup>1</sup>        | 2           |             | 3           |             |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Hrúb. pos. <sup>2</sup> | D           | W           | D           | W           |
| T <sub>(vi–viii)</sub>  | -0,17       | -0,02       | -0,18       | -0,20       |
| T <sub>(iii–viii)</sub> | -0,06       | 0,10        | -0,12       | -0,15       |
| Z <sub>(vi–viii)</sub>  | <b>0,44</b> | <b>0,41</b> | <b>0,50</b> | <b>0,47</b> |
| Z <sub>(iii–viii)</sub> | <b>0,49</b> | <b>0,38</b> | <b>0,50</b> | <b>0,40</b> |

Pozn.: Tučným písmom sú zvýraznené korelácie významné na hladine  $p < 0,05$ ; LVS – lesný vegetačný stupeň, D – dominantný, W – Weisseho; rímske číslice korešponujú s označením kalendárnych mesiacov, pre ktoré bola počítaná suma T – teplota a Z – zrážok

<sup>1</sup>Forest altitudinal zone, <sup>2</sup>Stem diameter status, D – dominant stem, W – Weisse middle stem, T – temperature, Z – precipitation. Bold letters mark correlations significant at  $p < 0.05$



Obr. 5.

Zobrazenie Cxy hodnôt významných negatívnych rastových udalostí podľa LVS a hrúbkového postavenia stromov v poraste (počet významných rokov n = 14). Pripojená tabuľka zobrazuje základný popis Cxy hodnôt; vertikálne úsečky označujú 0,95 intervaly spoľahlivosti

Fig. 5.

Representation of Cxy values for extreme climatic events according to forest altitudinal zone and stem diameter status of trees in stands (number of event years n = 14). Embedded table shows basic description of Cxy values; vertical lines denote 0.95 confidence intervals



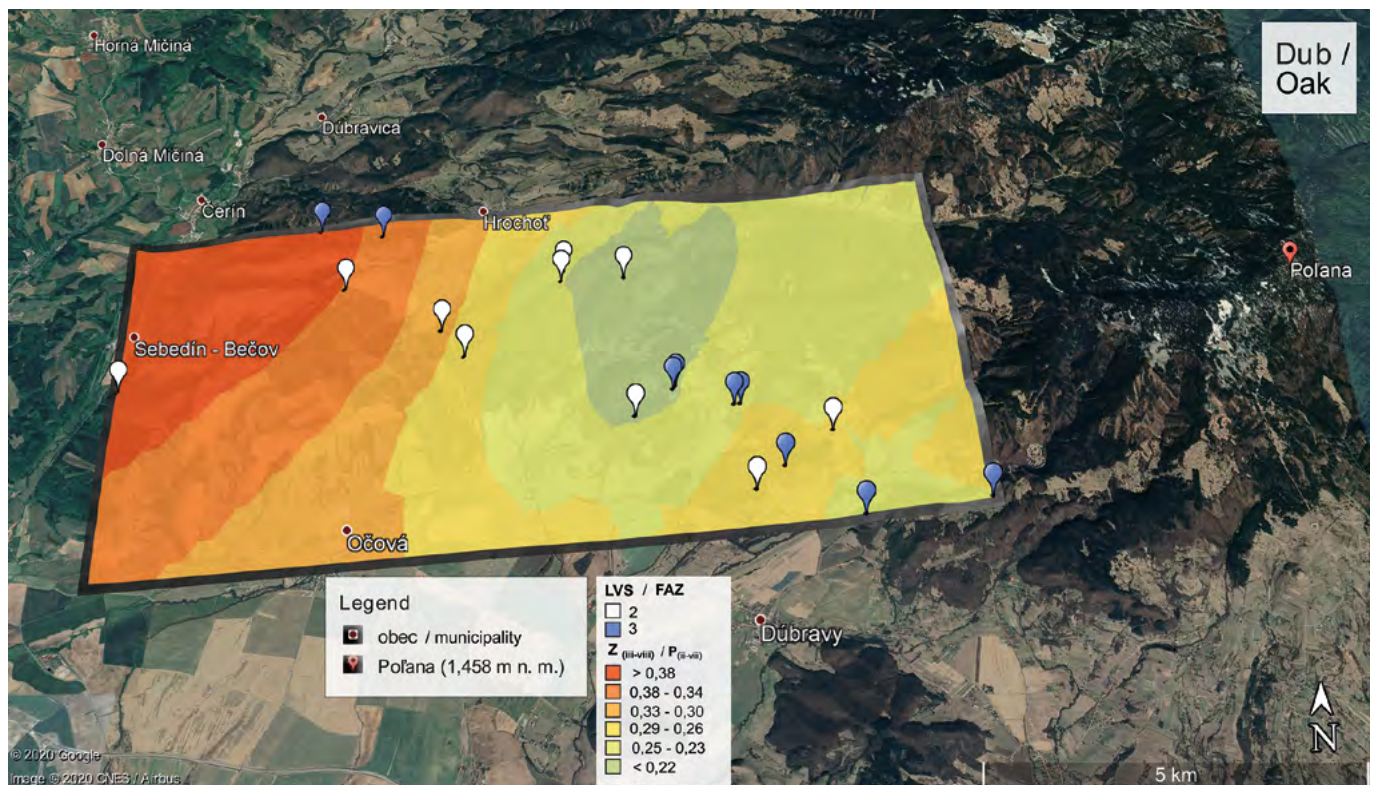
lesov na poškodenie pod vplyvom extrémnych výkyvov počasia je regionálne (priestorovo) špecifická (LINDNER et al. 2010). Extrémne klimatické udalosti s nadregionálnym významom, ktoré v európskych podmienkach vyvolali extrémne rastové odozvy bez ohľadu na stanovišťne a druhovo podmienenú reakciu stromov sú totožné s našimi zisteniami (ČEJKOVÁ, KOLÁŘ 2009; RYBNÍČEK et al. 2010; PETRÁŠ, MECKO 2011; BABST et al. 2012). Zaujímavosťou je druhovo špecifická odozva duba na rok 2003. Dub a ani buk na rozdiel od smreka nevykázali v roku 2003 extrémny pokles prírastku v submontánnej oblasti pohoria Polana a časti Zvolenskej kotliny (nepublikované data). Druhovo špecifickú reakciu možno vysvetliť fyziologicky podmienenou oneskorenou rastovou odozvou duba na vlhkosťne veľmi priaznivé podmienky počas predchádzajúceho roka 2002 a začiatkom roka 2003 (WERF et al. 2007; BABST et al. 2012). Dub začína kambiálnu aktivitu pomerne skoro na jar ešte v čase pred rozvitím listov. Minulá jeseň a skorá jar má teda významný vplyv na jeho skorú intra-anuálnu aktivitu, na tvorbu pomernej časti letokruhu. Oproti tomu kambiálny rast u buka začína súhlasne s fenologickou fázou rašenia listov (MICHELOT et al. 2012). Smrek v porovnaní s bukom a dubom rastie v 2. a 3. LVS mimo areálu prirodzeného rozšírenia. Jeho extrémne negatívna reakcia na klimatické podmienky v roku 2003 potvrdzuje, že ide o drevinu najmenej odolnú voči epizodám sucha (RYBNÍČEK et al. 2010).

Okrem sucha aj iné klimatické udalosti môžu výrazne ovplyvniť zdravotný stav dubov (HELAMA et al. 2009; MÉRIAN et al. 2011). Chladná až extrémne chladná zima, v potenciálnej kombinácii s chladným až

extrémne chladným počasím počas vegetačného obdobia, spôsobila náhly pokles prírastkov v rokoch 1942, 1956 a 1962. Naše výsledky ukazujú, že stúpajúca frekvencia výskytu extrémnych klimatických udalostí v budúcnosti negatívne ovplyvní rast a zdravotný stav dubov.

Najmenej výraznou negatívnou odozvou na extrémne klimatické udalosti ako aj najslabší vplyv vybraných klimatických parametrov na radiálny rast duba sme zaznamenali u Weisseho kmeňov v 2. LVS. Postupujúca klimatická zmena môže mať paradoxne miernejší negatívny vplyv na jedince s menej priaznivým hrúbkovým postavením. Naše zistenia sú v rozpore so zisteniami, že kompetíciou oslabené jedince budú v porovnateľných stanovištných podmienkach menej odolné voči extrémnym vplyvom klímy (MARTIN-BENITO et al. 2011) a následne náchylnejšie na poškodenie exogénnymi faktormi (ANDERSSON et al. 2011). V našom prípade je otáznе všeobecné odporúčanie, že zásahy vo forme prebierok sú vhodné opatrenie pre adaptáciu lesných porastov na klimatickú zmenu z dôvodu pozitívneho vplyvu na odozvu stromov na suchu (MAATEN 2013; ALDEA et al. 2017). Potenciálne priaznivý vplyv mikroklimatických podmienok vo vnútri porastu na schopnosť duba odolať a zregenerovať znížený prírastok vplyvom klimatických extrémov ako aj možný nepriaznivý vplyv vnútro a medzi-druhovej kompetície, si vyžaduje podrobnejší výskum.

Posúdenie dopadov vplyvu extrémnych udalostí na radiálny rast umožňuje zhodnotiť stav dubových porastov, obzvlášť ak nie sú k dispozícii dlhodobé merania a sledovania zdravotného stavu. Predpokladaný rozdiel v rastovej odozve medzi 2. a 3. LVS nebol v našom



**Obr. 6.**

Priestorová kros-korelácia znázorňujúca rastovú odozvu duba na skúmanom území v druhom (biely symbol) a treťom (modrý/tmavý symbol) lesnom vegetačnom stupni (LVS) vo vzťahu k úhrnu zrážok v období marec-august ( $Z_{(iii-viii)}$ ) vyjadrenú veľkosťou korelačných koeficientov (priemer za obdobie 1901–2012)

**Fig. 6.**

Spatial cross-correlation showing growth response of oak on investigated area in the second (white symbol) and third (blue/dark) symbol forest altitudinal zone (FAZ) in relation to precipitation sum in period march-august ( $P_{(iii-viii)}$ ) expressed by size of correlation coefficients (average of time period 1901–2012)

případe potvrzený. Stromy, rostúce na nutrične bohatom vulkanickom podloží pravdepodobne dokážu kompenzovať rast v menej priaznivých klimatických podmienkach (ZIACO et al. 2012). Vysoký produkčný potenciál stanovišta v danej oblasti môže kompenzovať možné dlhšie trvajúce a intenzívnejšie epizódy sucha v 2. LVS v porovnaní s 3. LVS. Nad prípadnými zonálnymi rozdielmi vegetačných stupňov prevažuje aj vplyv tvaru reliéfu. Vplyv stanovištných podmienok na veľkosť a konzistentnosť klimatického signálu je pomerne dobre známy, mikro-topografické podmienky môžu ovplyvňovať rastovú odzvu stromov na klímu (BOURIAUD, POPA 2007).

Vplyv klímy v inetrakcii s kompetíciou na radiálny rast duba nebol doteraz predmetom širšieho vedeckého záujmu. V kontexte vplyvu narastajúceho sucha v rámci klimatickej zmeny (SCHÄR et al. 2004) cieľenejšie pestovateľské opatrenia môžu v budúcnosti umožniť zlepšenie stability lesných porastov v prechodnej zóne dubových a bukových lesov. Naše výsledky nepriamo indikujú, že nielen druhové zloženie porastov, ale primárne aj vhodná porastová štruktúra môže významne zmierňovať negatívne dopady klimatickej zmeny na rast lesa.

#### Podakovanie:

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektov VEGA 1/0564/19 a APVV-15-0270.

## LITERATÚRA

- ALDEA J., BRAVO F., BRAVO-OVIEDO A., RUIZ-PEINADO R., RODRÍGUEZ F., DEL RÍO M. 2017. Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238: 371–383. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.02.009
- ALLEN C.D., MACALADY A.K., CHENCHOUNI H., BACHELET D., MCDOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., (TED)HOGG E.H., GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVA N., LIM J-H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCI A., COBB N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
- ANDERSSON M., MILBERG P., BERGMAN K.O. 2011. Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.) – Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science*, 68 (1): 159–168. DOI: 10.1007/s13595-011-0017-y
- AREND M., KUSTER T., GÜNTHARDT-GOERG M. S., DOBBERTIN M. 2011. Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*). *Tree Physiology*, 31 (3): 287–297. DOI: 10.1093/treephys/tpr004
- ÁRVAI M., MORGÓS A., KERN Z. 2018. Growth-climate relations and the enhancement of drought signals in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring chronology in Eastern Hungary. *iForest*, 11 (2): 267–274. DOI: 10.3832/ifer2348-011
- BABST F., CARRER M., POULTER B., URBINATI C., NEUWIRTH B., FRANK D. 2012. 500 years of regional forest growth variability and links to climatic extreme events in Europe. *Environmental Research Letters*, 7 (4): 045705. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/045705
- BATTIPAGLIA G., FRANK, D., BÜNTGEN U., DOBROVOLNÝ P., BRÁZDIL R., PFISTER C., ESPER J. 2010. Five centuries of Central European temperature extremes reconstructed from tree-ring density and documentary evidence. *Global and Planetary Change*, 72 (3): 182–191. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2010.02.004
- BHATTA K.P., VETAAS O.R. 2016. Does tree canopy closure moderate the effect of climate warming on plant species composition of temperate Himalayan oak forest? *Journal of Vegetation Science*, 27 (5): 948–957. DOI: 10.1111/jvs.12423
- BOURIAUD O., POPA I. 2007. Site and species influence on tree growth response to climate in Vrancea Mountains. *Proceedings of the Romanian Academy, Series B*, 9 (1): 63–72.
- BRÈTEAU-AMORES S., BRUNETTE M., DAVI H. 2019. An economic comparison of adaptation strategies towards a drought-induced risk of forest decline. *Ecological Economics*, 164: 106294. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.04.006
- COOK E.R. 1985. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Palisades, NY, Tree-Ring Laboratory: 171 s.
- COOK E.R., KAIRIUKSTIS L.A. (eds.) 1990. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Kluwer: 394 s.
- CROPPER J.P. 1979. Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree-Ring Bulletin*, 39: 47–59.
- CZÚCZ B., GÁLHIDY L., MÁTYÁS C. 2011. Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science*, 68 (1): 99–108. DOI: 10.1007/s13595-011-0011-4
- ČEJKOVÁ A., KOLÁŘ T. 2009. Extreme radial growth reaction of Norway spruce along an altitudinal gradient in the Šumava Mountains. *Geochronometria*, 33: 41–47. DOI: 10.2478/v10003-009-0012-6
- ČUFAR K., DE LUIS M., ECKSTEIN D., KAJFEŽ-BOGATAJ L. 2008. Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. *International Journal of Biometeorology*, 52 (7): 607–615.
- DI FILIPPO A., ALESSANDRINI A., BIONDI F., BLASI S., PORTOGHESI L., PIOVESAN G. 2010. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Annals of Forest Science*, 67: 706–706. DOI: 10.1051/forest/2010031
- DOLEŽAL J., MAZÚREK P., KLIMEŠOVÁ J. 2010. Oak decline in southern Moravia: the association between climate change and early and late wood formation in oaks. *Preslia*, 82 (3): 289–306.
- DOLEŽAL J., LEHEČKOVÁ E., SOHAR K., ALTMAN J. 2016. Oak decline induced by mistletoe, competition and climate change: A case study from central Europe. *Preslia*, 88 (3), 323–346.
- DROBYSHEV I., LINDERSON H., SONESSON K. 2007. Relationship between crown condition and tree diameter growth in southern Swedish oaks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128 (1–3): 61–73. DOI: 10.1007/s10661-006-9415-2
- DROBYSHEV I., NIKLASSON M., EGGERTSSON O., LINDERSON H., SONESSON K. 2008. Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 65 (5): 512–512. DOI: 10.1051/forest:2008033
- GEA-IZQUIERDO G., VIGUERA B., CABRERA M., CAÑELLAS I. 2014. Drought induced decline could portend widespread pine mortality at the xeric ecotone in managed mediterranean pine-oak woodlands. *Forest Ecology and Management*, 320: 70–82. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.02.025
- HARRIS I., JONES P.D., OSBORN T.J., LISTER D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623–642. DOI: 10.1002/joc.3711
- HELAMA S., LÄÄNELAID A., RAISIO J., TUOMENVIRTA H. 2009. Oak decline in Helsinki portrayed by tree-rings, climate and soil data.

- Plant and Soil, 319 (1–2): 163–174. DOI: 10.1007/s11104-008-9858-z
- HLÁSNÝ T., BARKA I., SITKOVÁ Z., BUCHA T., KONÔPKA M., LUKÁČ M. 2015. MODIS-based vegetation index has sufficient sensitivity to indicate stand-level intra-seasonal climatic stress in oak and beech forests. *Annals of Forest Science*, 72 (1): 109–125. DOI: 10.1007/s13595-014-0404-2.
- KERN Z., PATKÓ M., KÁZMÉR M., FEKETE J., KELE S., PÁLYI Z. 2012. Multiple tree-ring proxies (earlywood width, latewood width and  $\delta^{13}\text{C}$ ) from pedunculate oak (*Quercus robur* L.), Hungary. *Quaternary International*, 293: 257–267.
- KUNCA A., FINĐO S., GALKO J., GUBKA A., KAŠTIER P., KONÔPKA B. 2013. Výskyt škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska za rok 2012 a ich prognóza na rok 2013. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen: 120 s.
- LEBOURGEOIS F., RATHGEBER C.B.K., ULRICH E. 2010. Sensitivity of French temperate coniferous forests to climate variability and extreme events (*Abies alba*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). *Journal of Vegetation Science*, 21 (2): 364–376. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2009.01148.x
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698–709. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- MAATEN E. VAN DER 2013. Thinning prolongs growth duration of European beech (*Fagus sylvatica* L.) across a valley in southwestern Germany. *Forest Ecology and Management*, 306: 135–141. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.06.030
- MABBERLEY D.J. 2017. *Mabberley's plant-book: a portable dictionary of plants, their classification and uses*. Cambridge, Cambridge University Press: 573 s.
- MARTÍN-BENITO D., CHERUBINI P., DEL RÍO M., CAÑELLAS I. 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees – Structure and Function*, 22: 363–373. DOI: 10.1007/s00468-007-0191-6
- MARTIN-BENITO D., KINT V., DEL RÍO M., MUYS B., CAÑELLAS I. 2011. Growth responses of West-Mediterranean *Pinus nigra* to climate change are modulated by competition and productivity: Past trends and future perspectives. *Forest Ecology and Management*, 262 (6): 1030–1040. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.05.038
- MATULA R., SVÁTEK M., PÁLKOVÁ M., VOLAŘÍK D., VRŠKA T. 2015. Mistletoe infection in an oak forest is influenced by competition and host size. *PloS One*, 10 (5): e0127055. DOI: 10.1371/journal.pone.0127055
- MCCRACKEN F.I. 1985. Oak decline and mortality in the south. In: *Proceedings. Third Symposium on Southeastern Hardwoods*. Atlanta (USA). 16-17 Apr 1985. Dothan, USDA Forest Service: 77–81.
- MÉRIAN P., BONTEMPS J.D., BERGÈS L., LEBOURGEOIS F. 2011. Spatial variation and temporal instability in climate-growth relationships of sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) under temperate conditions. *Plant Ecology*, 212 (11): 1855–1871. DOI: 10.1007/s11258-011-9959-2
- MICHELOT A., SIMARD S., RATHGEBER C., DUFRÈNE E., DAMESIN C. 2012. Research paper Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, 32: 1033–1043. DOI: 10.1093/treephys/tps052
- NEUWIRTH B., ESPER J., SCHWEINGRUBER F.H., WINIGER M. 2004. Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Lötschental, Switzerland. *Dendrochronologia*, 21 (2): 69–78. DOI: 10.1078/1125-7865-00040
- PETRÁŠ R., MECKO J. 2011. Effect of climatic factors on the dynamics of radial increments of Norway spruce, European beech and sessile oak. *Journal of Forest Science*, 57: 293–302.
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., ŽID T., KOLÁŘ T. 2010. Radial growth and health condition of Norway spruce (*Picea Abies* (L.) Karst.) stands in relation to climate (Silesian Beskids, Czech Republic). *Geochronometria*, 36: 9–16. DOI: 10.2478/v10003-010-0017-1
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., ŽID T., KOLÁŘ T., TRNKA M., BÜNTGEN U. 2015. Exploring growth variability and crown vitality of sessile oak (*Quercus petraea*) in the Czech Republic. *Geochronometria*, 42 (1): 17–27. DOI: 10.1515/geochr-2015-0003
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., PROKOP O., ŽID T., TRNKA M., KOLÁŘ T. 2016. Oak (*Quercus* spp.) response to climate differs more among sites than among species in central Czech Republic. *Dendrobiology*, 75 (April): 55–65.
- SCHÄR C., VIDALE P.L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.A., APPENZELER C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427 (6972): 332–336.
- SCHWEINGRUBER F.H., ECKSTEIN D., SERRE-BACHET F., BRÁKER O.U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 9–38.
- SEDMÁK R., SEDMÁKOVÁ D., BOŠELA M., MARUŠÁK R., JEŽÍK M., MURGAŠ V., BLAŽENEC M. 2014. Age estimation of Norway spruce using incomplete increment cores: Testing new and improved methods. *Dendrochronologia*, 32 (4): 327–335. DOI:10.1016/j.dendro.2014.07.005
- SIWECKI R., UFNALSKI K. 1998. Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. *European Journal of Forest Pathology*, 28 (2): 99–112. DOI: 10.1111/j.1439-0329.1998.tb01171.x
- SOHAR K., HELAMA S., LAANELAID A., RAISIO J., TUOMENVIRTA H. 2014. Oak decline in a Southern Finnish forest as affected by a drought sequence. *Geochronometria*, 41 (1): 92–103. DOI: 10.2478/s13386-013-0137-2
- THOMAS F.M., BLANK R., HARTMANN G. 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*, 32 (4–5): 277–307. DOI: 10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x
- WERF G.W. VAN DER, SASS-KLAASSEN U.G.W., MOHREN G.M.J. 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands. *Dendrochronologia*, 25: 103–112. DOI: 10.1016/j.dendro.2007.03.004
- WEISE W. 1880. *Ertragstafeln für die Kiefer*. Berlin, Springer: 125 s.
- ZIACO E., BIONDI F., DI FILIPPO A., PIOVESAN G. 2012. Biogeoclimatic influences on tree growth releases identified by the boundary line method in beech (*Fagus sylvatica* L.) populations of southern Europe. *Forest Ecology and Management*, 286: 28–37. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.09.005

## RESPONSE OF OAKS TO EXTREME CLIMATE EVENTS IN THE TRANSITION ZONE OF OAK AND BEECH FORESTS

### SUMMARY

Forest management measures taken under the current climate impact may not be sufficient to maintain the projected presence of oak in forest stands in the future. The simultaneous impact of competition and climate on the radial growth of oak is little understood under the changing environmental conditions, especially in the context of increasing drought. The aim of this article is to compare the growth responses of oak individuals in different stem diameter positions in the beech-oak and oak-beech forest zones to variation of selected climatic factors.

The empirical material used in this study was collected in 2012–2013 in the Poľana orographic unit and respective part of the Zvolen basin (Slovakia). In total, 19 sampling plots were established in stands of age over 80 years with presence of oak. Growth performance, growth response and growth disturbances were analysed in relation to the identified main climatic factors and compared between the second and third forest altitudinal zone (FAZ), and within the FAZs between the dominant and middle Weisse stems.

In the studied area, oak in the third FAZ has slightly worse growth conditions indirectly indicated by lower site index as well as by its lower proportion and lower basal area compared to the second FAZ. Oak reaches similar dimensions and growth performance in both FAZs (Table 1; Fig. 2). The health status of oaks is satisfactory due to their lower mortality compared to other tree species (Fig. 1). In the studied area, all tree species experienced an increased mortality in the years 2010–2011. Significant differences between FAZs are not confirmed for growth parameters of trees (Tab. 2 and 3). In contrast, the differences between the stem diameter status of trees are more pronounced. Slower growth of middle stems compared to dominant trees, more precisely their lower vitality resulting from less favourable social status is visible from lower values of tree-ring widths at comparable ages (Tab. 2; Fig. 2). A less pronounced response of the Weisse middle stems to extreme weather events is also evident from the results of the ANOVA (Fig. 5; Table 4). Weisse middle stems in the 2<sup>nd</sup> FAZ are characterized by the lowest values of Cxy (year-to-year relative growth deviations), and thus the least significant response to extreme climatic events. For the examined area, 14 pointer years were detected, during which at least one subgroup (dominant or Weisse stem) within the FAZ manifested an extreme growth deviation (Fig. 3 and 4). The most important limiting climatic factor is the lack of precipitation. Meanwhile, the occurrence of high temperatures at the same time has a smaller effect (Table 5 and 6). The growth response of oak trees in the studied area shows a spatial correlation and is modified by the relief of the terrain (Fig. 6).

Assessing the impacts of extreme events on the radial growth makes it possible to evaluate the condition of oak stands, especially when the long-term measurements and monitoring of health status are not available. Our results confirm that oaks with a less competitive position show slower radial growth, have a less pronounced climatic precipitation signal and a milder response to extreme weather events. The expected difference in the growth response between the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> FAZ was not confirmed. In the study area, oak trees in the 2<sup>nd</sup> FAZ in comparison to the 3<sup>rd</sup> FAZ can compensate possible longer lasting and more intense episodes of drought because of the high production potential of forest area. Our findings suggest that an appropriate stand structure can mitigate the negative effects of the increasing impact of drought on forest growth, allowing more targeted silvicultural measures to be taken to improve forest stability in the transition zone of beech and oak forests.

*Zasláno/Received: 18. 08. 2020*

*Přijato do tisku/Accepted: 26. 10. 2020*