

DYNAMIKA RASTU BOROVICE HORSKEJ (*PINUS MUGO TURRA*) POZDĹŽ GRADIENTU NADMORSKEJ VÝŠKY

GROWTH DYNAMIC OF DWARF PINE (*PINUS MUGO TURRA*) ALONG AN ALTITUDE GRADIENT

ZUZANA PAROBEKOVÁ  - JÁN PITTNER - DENISA SEDMÁKOVÁ - MILAN SANIGA

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra pestovania lesa, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika

 e-mail: parobekova@tuzvo.sk

ABSTRACT

The main goals of the study were i) identification of the dwarf pine length and radial increment along an altitude gradient, and ii) analysis of the length and radial increment over time and assessment of the climate impact. In two localities of the orographic unit the Orava Beskydy Mountains (Slovakia), in elevation zones <1450 m, 1450–1600 m and > 1600 m, cross sections of dwarf pine branches were taken and length increments were measured for a more detailed analysis of the growth depending on altitude and climatic conditions. Results do not prove a decrease in the dwarf pine growth in connection with the altitude. Based on different trends of the length and the radial incremental chronologies we assume that the growth of dwarf pine was the result of combination of positive and negative environmental factors (e. g. increase in average temperature, ozone deposition, atmospheric pollution, intraspecific competition) and the species strategy to cope with these factors. An increase in average temperature during the growing season did not appear to be the main factor influencing the growth dynamics of dwarf pine. Nevertheless, the growth of dwarf pine was significantly influenced by temperature of the current and previous growing season and precipitation in April and July.

[For more information see the Summary at the end of the article.](#)

Kľúčové slová: dĺžkový prírastok; hrúbkový prírastok; citlivosť rastu; klimatická zmena

Key words: length increment; radial increment; growth sensitivity; climate change

ÚVOD

Po výraznej redukcii horských smrečín (50%) vplyvom veterných a hmyzích kalamít (SANIGA et al. 2011; KUCBEL et al. 2014; MEZEI et al. 2017; JALOVIAK et al. 2020) prudko vzrástol význam borovice horskej – kosodreviny v ekologickej stabilite krajiny, kde poskytuje množstvo ekosystémových služieb, predovšetkým zníženie rizika erózie, zvýšenie celkovej miery evapotranspirácie a stabilizácie vodného režimu (BŘEČKOVÁ et al. 2019). Súčasná plocha porastov borovice horskej na Slovensku tvorí len približne 1 % výmery lesov, čo predstavuje 20,8 tis. ha (ŠEBEŇ 2017), no vzhľadom na skutočnosť, že v minulosti boli porasty kosodreviny z dôvodu rozšírenia možností pre pastvu hospodárskych zvierat systematicky likvidované, dochádza v súčasnej dobe k sekundárnej rekolonizácii potenciálne vhodných stanovišť (MIHAJ et al. 2007; ŠVAJDA et al. 2011; SOLÁR, JANIGA 2013; DAI et al. 2017; PAROBEKOVÁ et al. 2018). Vysoká kompetičná schopnosť, hustý zápoj a vegetatívna regenerácia kosodreviny sú predpokladom toho, že jej expanziou v subalpínskom vegetačnom stupni dôjde k priamemu ovplyvneniu horskej bioty a alpínskej biodiverzity (BUREŠ, BUREŠOVÁ

1989; KURAS et al. 2001). Dynamika šírenia polykormónov borovice horskej môže byť preto jednou z významných otázok ochrany prírody, a to z dvoch hľadísk: zabezpečovania ekosystémových služieb a zachovania biodiverzity vysokohorských oblastí (WILD, WILDOVÁ 2002; PALOMBO et al. 2010; TREML et al. 2010).

Vo vysokohorských ekosystémoch je výskyt živých organizmov priamo determinovaný stanovištnými faktormi. Hoci je pásmo kosodreviny považované za pomerne málo narušované abiotickými a biotickými stresovými faktormi, predsa len je vystavené zvýšenej kontaminácii atmosféry škodlivými látkami a ozónom (CHROPEŇOVÁ et al. 2016; BŘEČKOVÁ et al. 2019), ako aj zmene klímy. V rokoch 1881–2017 bol zaznamenaný nárast priemernej ročnej teploty o 1,74 °C, pričom priemerný pokles zrážok predstavoval 0,5 % (MESR 2017). Výrazné zvýšenie priemerných teplôt vo vegetačnom období sa pravdepodobne prejaví vo zvýšenej dynamike rastu jedincov kosodreviny (WADA et al. 2005), expanzii ich výškových hraníc (TREML et al. 2010; CUDLÍN et al. 2017; CALDERARO et al. 2020) a pozmenením ich fenologických trendov (ŠKVARENINOVÁ 2008). Keďže už menšie výkyvy klimatic-

kých podmienok od priemerných hodnôt majú za následok senzitivnú rastovú odozvu drevín (SCHWEINGRUBER 1996; BENISTON, INNES 1998), zmena tempa a intenzity ich rastu v oblasti hornej hranice lesa je vhodným indikátorom ich reakcie na aktuálne prebiehajúce klimatické zmeny (BÄR et al. 2006). Predstavujú výnimočný potenciál pre komparatívny výskum odzrkadľujúci dlhodobý vplyv zmeny klímy a iných faktorov na rast a rozširovanie drevín nie len v globálnom, ale aj mikrotopografickom meradle (TREML et al. 2010; CUDLÍN et al. 2017; CALDERARO et al. 2020).

Borovica horská rastúca nad hornou hranicou lesa nadobúda väčšinou poliehavú rastovú formu (DAI et al. 2017) a jej radiálny rast je charakteristický výskytom tlakového dreva a chýbajúcimi letokruhmi. Chýbajúce letokruhy sú typické hlavne pre spodnú časť kmeňa, ktorá je pritlačená k zemi (WILMKING et al. 2012). To spôsobuje možné nepresnosti pri meraní radiálneho rastu, ktoré však môžu byť čiastočne korigované doplnkovým meraním dĺžkových prírastkov (WADA et al. 2005; KYNCL 2006; ŠPINLEROVÁ, MARTINKOVÁ 2006; MADĚRA et al. 2011; LUKÁČIK et al. 2014). Dĺžkové prírastky sú pravidelné a ľahko detekovateľné na základe jaziev na kôre (TAKAHASHI, YOSHIDA 2009).

V práci sme sa preto zamerali na analýzu dĺžkového a hrúbkového rastu kosodreviny a na analýzu vplyvu klimatických charakteristík na tieto ukazovatele. Z komplexu informácií bude možné posúdiť schopnosť prežívania a šírenia borovice horskej v rôznych nadmorských výškach a v meniacich sa ekologických podmienkach. Hlavným cieľom práce je i) identifikovať dĺžkový a hrúbkový prírastok borovice horskej pozdĺž gradientu nadmorskej výšky a ii) analyzovať dĺžkový a hrúbkový prírastok v čase a posúdiť vplyv klimatických charakteristík.

MATERIÁL A METODIKA

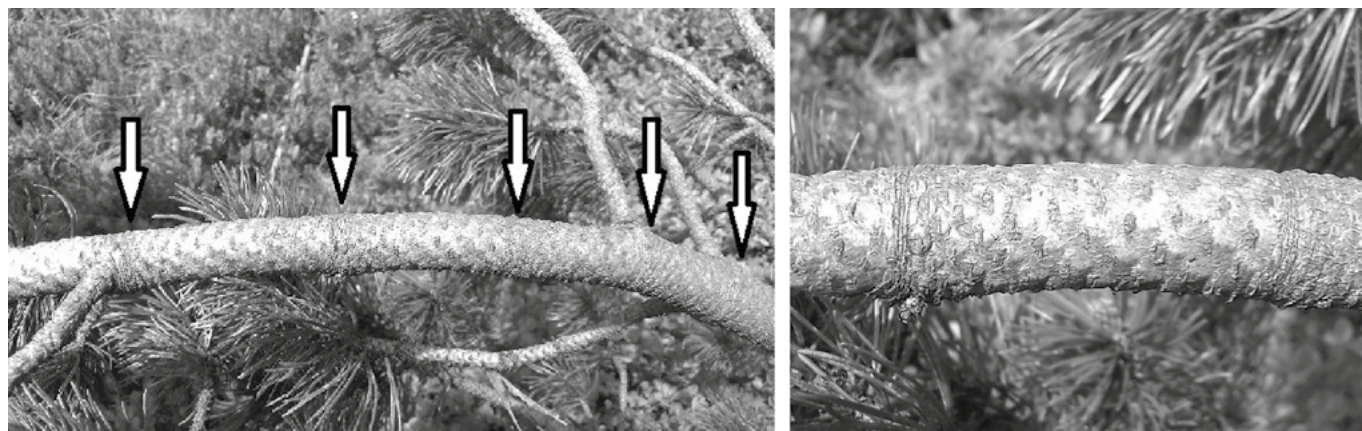
Popis lokality

Babia hora s nadmorskou výškou 1725 m je najvyšším vrcholom orografického celku Oravské Beskydy. Samostatný masív Oravských Beskyd tvorí Pilsko (1557 m n. m.). Oravské Beskydy sú budované paleogénnymi flyšovými horninami s prevahou pieskovca. Z pôdnych

typov prevládajú pôdy s výraznými znakmi podzolizácie. Na svahovinách sa vyskytujú podzoly kambizemné, na bohatších svahovinách sú vytvorené podzoly nenasýtené a oglejené. Vo vyšších polohách sa vyskytujú humusovo-železité podzoly. Klimaticky patrí územie do chladnej oblasti s priemernou ročnou teplotou 0–2 °C, vo vegetačnom období 6 °C. Ročné úhrny zrážok dosahujú 1200–1400 mm, vo vegetačnom období 600–700 mm. Obdobie so snehovou pokrývkou trvá priemerne od 1. októbra do 21. mája (LUKNIŠ 1972). Podľa fytoecologickej charakteristiky patrí oblasť do triedy Loiseleurio-Vaccinieta Egger ex Schubert 1960, radu Rhododendro-Vaccinietalia Br.-Bl. et Jenny 1926 a zväzu Vaccinion myrtilli Krajina 1933 s dominantnými druhmi *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Luzula luzuloides*, *Luzula sylvatica*, *Festuca supina*, *Avenella flexuosa* príp. *Juniperus nana* (KLIMENT, VALACHOVIČ 2007).

Metodika

V pilotnom prieskume počas prebudovy a komplexnej údržby turistických chodníkov v predmetných oblastiach v rokoch 2011–2013 bolo vo výškových zónach jednotlivých oblastí (< 1450 m n. m.; 1450–1600 m n. m.; > 1600 m n. m.) náhodne odobratých 5 konárov kosodreviny pre podrobnejšiu analýzu a nastavenie metodiky, ktorá je využitá v tejto štúdiu. Analýza dĺžkových prírastkov a kotúčových rezov (cross-sections), ktoré boli odoberané v mieste za poslednou meranou dĺžkovou sekciou na konári nám poslúžili na overenie správneho zisťovania počtu dĺžkových prírastkov a na stanovenie minimálneho rozsahu výberového súboru (BARTLETT et al. 2001). Zistili sme, že počet letokruhov a počet zistených dĺžkových prírastkov sa zhoduje v postačujúcich 96 %. Keďže kosodrevina pravdepodobne nevytvára zdvojený ročný kruh (KYNCL, WILD 2004), vo zvyšných 4 % išlo o stratu jedného ročného dĺžkového prírastku, ktorý sa buď z rôznych dôvodov nevytvoril, alebo nebola viditeľná typická jazva ohraničujúca ročný prírastok (obr. 1). Priemerný minimálny počet ročných dĺžkových prírastkov, ktoré bolo potrebné namerať v jednom roku na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ s prípustnou chybou intervalového odhadu aritmetického priemeru základného súboru $d = 0,5$, bol 40. Z uvedeného vyplýva, že bolo potrebné zmerať 40 konárov v každej výškovej zóne.



Obr. 1.

Kôrové jazvy ohraničujúce ročný dĺžkový prírastok konárov borovice horskej; foto: Z. Parobeková
Bark scars bordering the annual length increment of dwarf pine branches; photo: Z. Parobeková

Podrobné merania sa uskutočnili na začiatku vegetačného obdobia roku 2014, v období začiatku predĺžovania terminálnych púčikov, t. j. pred ukončením samotného dĺžkového prírastku. V oblasti Babej hory boli jedince merané v troch líniiach reprezentujúcich výškové zóny < 1450 m n. m. (v ďalšom zóna 1400 m), 1450–1600 m n. m. (v ďalšom zóna 1500 m) a > 1600 m n. m. (v ďalšom zóna 1600 m). V oblasti Pilska v dvoch líniiach < 1450 m n. m. (v ďalšom zóna 1400 m) a > 1450 m n. m. (v ďalšom zóna 1500 m). Každá línia bola vytýčená v horizontálnom smere po vrstevnici. Dĺžkový prírastok bol meraný na 40 konároch, pretínajúcich líniový transekt s presnosťou na 1 mm od konca konárov smerom k miestu zakorenenia. Počet meraných ročníkov prírastkov (n) bol rôzny (tab.1) a závisel od počtu zreteľných presne merateľných sekcií na každom konári (obr. 1). Vzhľadom k neukončenému, resp. začínajúcemu dĺžkovému rastu v čase merania, dĺžkový prírastok z roku 2014 nebol zahrnutý do ďalšieho štatistického spracovania výsledkov.

K vyhodnoteniu hrúbkových prírastkov sme použili kotúčové rezy z piatich konárov, ktoré boli odobierané pre jednotlivé výškové zóny v pilotnom prieskume. Rezy boli odobierané v mieste za poslednou merateľnou dĺžkovou sekciou na konári, obyčajne v mieste, kde sa menil rast z polievavého na vystúpavý. Kotúčové rezy sme spracovali podľa štandardnej dendrochronologickej metodiky (COOK, KAI-

RIUKSTIS 1992). Vzorky boli skenované skenerom Epson Expression 10,000 XL. Šírky letokruhov boli merané s presnosťou na 0,001 mm použitím WinDENDROT.M. Keďže vek jednotlivých konárov nedosahoval 50 rokov, letokruhovú sériu boli krížovo datované metódou Skeletonových diagramov (CROPPER 1979). Pre odstránenie rastového trendu boli letokruhovú sériu detrendované Hegershoffovou funkciou.

Pre zistenie konkrétnych klimatických faktorov, ktoré vplývali na rast kosodreviny, boli vypočítané korelácie medzi chronológiami dĺžkových a hrúbkových prírastkov s priemernými mesačnými charakteristikami klímy (mesačný úhrn zrážok, priemerná mesačná teplota). Uvedené korelácie boli stanovené pre obdobie 1989–2013 (dĺžka najkratšej chronológie). Korelácie boli robené v 17-mesačnom okne, od apríla minulého roka do augusta príslušného roka. Klíma počas tejto periódy má najväčší vplyv na dĺžkový prírastok kosodreviny v príslušnom roku (RYBNÍČEK et al. 2012). Mesačné úhrny zrážok a priemerné mesačné teploty boli získané z klimatickej databázy CRU TS3.21 (interpolované body v mriežke 0,5 × 0,5 km) dostupnej na KNMI Climate Explorer (HARRIS et al. 2014).

Na zistenie významnosti rozdielov hrúbkových a dĺžkových prírastkov v jednotlivých výškových zónach bola použitá jednocestná analýza variácie. Na určenie trendov v časových radoch prírastkov bola použitá metóda Mann-Kendall testu (MANN 1945; KENDALL 1948). Analýza

Tab.1.

Korelačné koeficienty korelácií ročných dĺžkových (li) a hrúbkových (ri) prírastkov a korelácií ročných dĺžkových a hrúbkových prírastkov s prírastkami predchádzajúceho roka (n-1) v jednotlivých výškových zónach lokalít Babia hora a Pilsko

Zóna	BH1400 li	BH1500 li	BH1600 li	P1400 li	P1500 li	BH1400 ri	BH1500 ri	BH1600 ri	P1400 ri	P1500 ri	
Obdobie n	33	29	40	39	29	33	31	39	39	24	
c	BH1400 li	1,000									
	BH1500 li	0,056	1,000								
	BH1600 li	0,380	0,519	1,000							
	P1400 li	0,569	0,403	0,548	1,000						
	P1500 li	0,218	0,735	0,554	0,615	1,000					
	BH1400 ri	0,090	0,164	0,052	0,080	0,475	1,000				
	BH1500 ri	0,171	0,537	0,201	0,017	0,633	0,056	1,000			
	BH1600 ri	0,009	0,118	0,004	0,327	0,035	0,325	0,471	1,000		
	P1400 ri	0,112	0,061	0,244	0,487	0,179	0,571	0,299	0,174	1,000	
	P1500 ri	0,518	0,492	0,258	0,360	0,442	0,236	0,765	0,523	0,212	1,000
n-1	BH1400 li	0,600	-0,225	0,254	0,324	-0,088	0,043	-0,136	-0,137	-0,124	-0,561
	BH1500 li	-0,264	0,656	0,474	0,408	0,417	0,105	0,558	0,189	-0,106	0,580
	BH1600 li	0,208	0,117	0,648	-0,255	0,076	0,197	-0,013	0,002	-0,232	0,018
	P1400 li	0,223	-0,313	-0,266	0,620	0,036	-0,012	-0,113	0,233	0,547	-0,266
	P1500 li	0,288	0,362	0,469	-0,099	0,324	0,012	0,325	0,372	0,279	0,404
	BH1400 ri	-0,051	-0,124	-0,043	0,088	-0,161	0,164	-0,297	-0,269	-0,097	-0,290
	BH1500 ri	-0,331	0,400	0,237	-0,128	0,268	-0,241	0,087	0,142	0,091	0,436
	BH1600 ri	-0,095	0,474	0,062	0,204	0,477	-0,080	0,034	0,283	0,252	0,371
	P1400 ri	-0,121	-0,112	-0,274	0,330	0,244	-0,311	-0,096	0,354	0,405	0,306
	P1500 ri	-0,432	0,777	0,310	-0,384	0,591	-0,275	0,650	0,344	0,191	0,533

Correlation coefficients of annual length (li) and radial (ri) increments correlations and correlations of length and radial increments with previous year increments (n-1) per elevation zones for localities Babia hora and Pilsko

Zóna/Zone; BH – Babia hora; P – Pilsko; 1400–1600 – výškové zóny/altitude zones; Obdobie/Time period; hrubé písmo predstavuje štatistickú významnosť korelácie ($P \leq 0.05$)/bold numbers indicate statistically significant correlations ($P \leq 0.05$)

variácie, testovanie trendov a korelácie medzi hrúbkovým a dĺžkovým prírastkom, ako aj medzi prírastkami a charakteristikami klímy boli počítané pomocou softvéru STATISTICA 7.

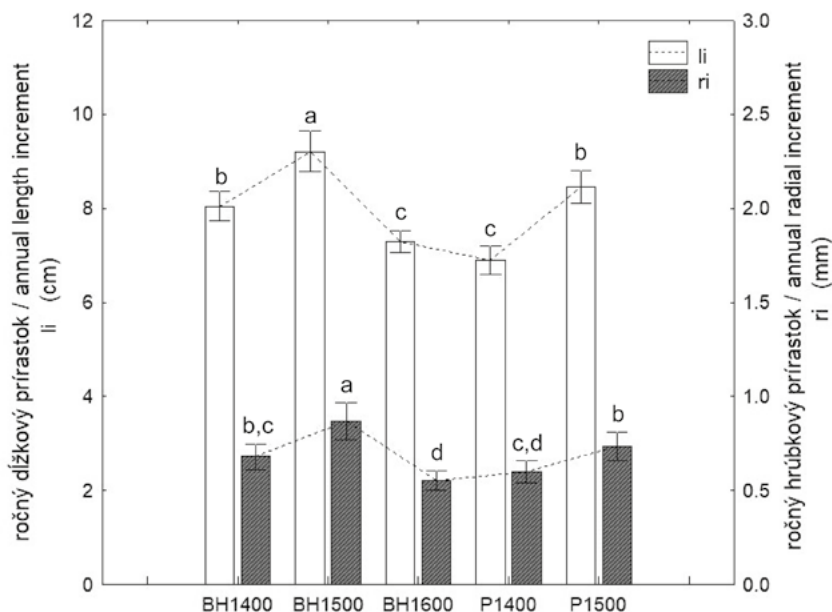
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Jednofaktorová analýza variácie preukázala štatisticky významné rozdiely hodnôt priemerného dĺžkového a hrúbkového prírastku medzi jednotlivými výškovými zónami skúmaných lokalít (obr. 2). Na oboch lokalitách pozorujeme najvyšší dĺžkový prírastok borovice horskej v nadmorskej výške 1500 m (Babia hora – $9,2 \pm 1,2 \text{ cm.rok}^{-1}$, Pilsko – $8,51 \pm 0,83 \text{ cm.rok}^{-1}$) a jeho pokles so stúpajúcou (Babia hora 1600 m – $7,30 \pm 0,77 \text{ cm.rok}^{-1}$), ale aj klesajúcou nadmorskou výškou (Babia hora 1400 m – $8,04 \pm 0,92 \text{ cm.rok}^{-1}$, Pilsko 1400 m – $6,90 \pm 0,96 \text{ cm.rok}^{-1}$).

Hodnoty priemerného dĺžkového prírastku borovice horskej v skúmaných orografických celkoch korešpondujú s výsledkami MADĚRU et al. (2011), kde autori uvádzajú prírastok konárov kosodreviny v Jeseníkoch na úrovni 6,4 cm až 8,6 cm.rok⁻¹. KYŇCL (2006) pri hodnotení rastovej dynamiky porastov borovice horskej v oblasti Východných Sudet uvádza dĺžkový prírastok borovicových konárov blížiaci sa k 8 cm za rok. Najvyššie hodnoty priemerného dĺžkového prírastku uvádzajú LUKÁČIK et al. (2014), pri nepriamej analýze rýchlosti pozdĺžneho rastu kmeňa vzorníkovou metódou v dvoch diferencovaných lokalitách Vysokých a Belianskych Tatier. Vekový rozdiel medzi dvoma sekciami vzdialenými od seba 1 meter bol približne 7 rokov, čo v prepočte predstavuje priemerne 14 cm.rok⁻¹. Takto zistený vyšší

ročný prírastok však môže súvisieť s odlišnou metódou jeho stanovenia, príp. aj s nižším vekom analyzovaných jedincov, v ktorom je vo všeobecnosti dynamika dĺžkového rastu väčšia. Pri analýze dĺžkového rastu druhu *Pinus pumila* TAKAHASHI, YOSHIDA (2009) uvádzajú ročný dĺžkový prírastok jedincov v rozpätí 6–8 cm.rok⁻¹, pričom bola preukázaná negatívna korelácia dĺžkového prírastku so stúpajúcou nadmorskou výškou. V nami skúmaných lokalitách je menší prírastok vo výškovej zóne 1400 spôsobený pravdepodobne tým, že výskyt kosodreviny je tu viazaný na lokality, na ktorých sa nepresadzuje smrek – lokality s povrchovým skeletom, blokoviská, skalné stupne a terénne depresie s hromadením snehu. Na Babej hore s rastúcou nadmorskou výškou v zóne 1600 už môžeme pozorovať pokles dĺžkového prírastku zhodne so spomínanými autormi.

Hrúbkový prírastok vykazoval s meniacou sa nadmorskou výškou podobný trend ako dĺžkový prírastok, okrem výraznejšieho poklesu hrúbkového prírastku vo výškovej zóne 1600 na Babej hore (obr. 2). Jeho hodnoty v jednotlivých výškových zónach v rámci lokalít boli: Babia hora 1400 – $0,68 \pm 0,2 \text{ mm.rok}^{-1}$, Babia hora 1500 – $0,87 \pm 0,28 \text{ mm.rok}^{-1}$, Babia hora 1600 – $0,73 \pm 0,16 \text{ mm.rok}^{-1}$, Pilsko 1400 – $0,60 \pm 0,18 \text{ mm.rok}^{-1}$ a Pilsko 1500 – $0,73 \pm 0,19 \text{ mm.rok}^{-1}$. Namerané hodnoty sú veľmi blízke hodnotám zisteným vo Vysokých a Belianskych Tatrách 0,59–0,90 mm.rok⁻¹ (LUKÁČIK et al. 2014) a spadajú do rozpätia hrúbkových prírastkov zistených v talianskych Alpách 0,2–1,2 mm.rok⁻¹ v nadmorskej výške 1900 m (PALOMBO et al. 2010) a Východných Karpatoch 0,2–1,1 mm.rok⁻¹ v nadmorskej výške nad 1300 m (ROGOJAN, BALABAȘCIUC 2020). Sú však podstatne nižšie ako napríklad hodnoty zistené v Apenínach v nadmorskej výške 2000–2200 m n. m., kde sa pohybovali až v rozmedzí 0,77–1,89 mm.rok⁻¹ (PALOMBO et al. 2014).



Obr. 2.

Priemerný dĺžkový (li) a hrúbkový (ri) prírastok borovice horskej s 95% intervalom spoľahlivosti v oblasti Babej hory a Pilska. Písmená poukazujú na štatistickú významnosť zistených rozdielov ($P \leq 0.05$) Duncanovým testom. BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400 – 1600 výškové zóny vid. Metodika

Fig. 2.

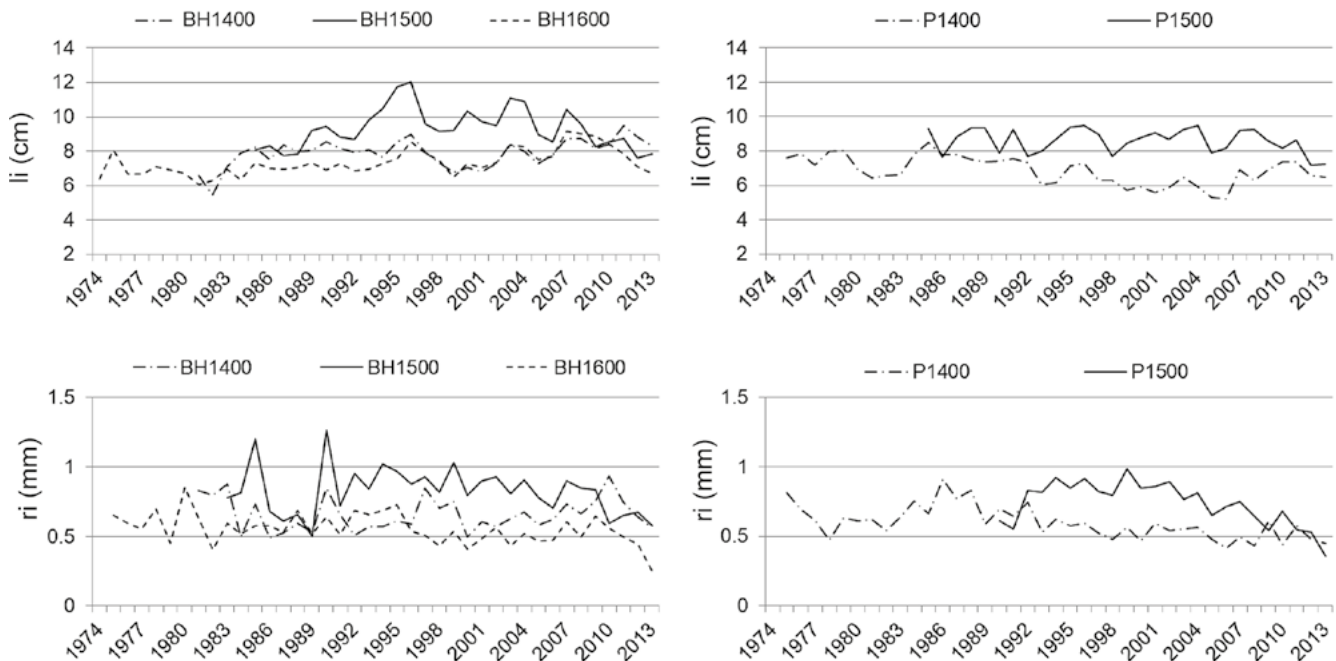
Average length (li) and radial (ri) increment of dwarf pine with a 95% confidence interval in the area of Babia hora and Pilsko. Letters indicate statistically significant differences ($P \leq 0.05$). BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400–1600 elevation zones

Pre každú výškovú zónu v rámci oboch skúmaných oblastí bola vytvorená priemerná krivka dĺžkového a hrúbkového prírastku (obr. 3). Kvôli výraznému medzročnému kolísaniu hodnôt prírastkov bolo vizuálne hodnotenie ich trendu nejednoznačné. Z tohto dôvodu sme použili na hodnotenie trendov metódu Mann-Kendalovho testu, ktorá potvrdila štatistickú významnosť stúpajúcich trendov dĺžkových prírastkov na Babej hore v zónach 1400 a 1600, klesajúceho trendu dĺžkových prírastkov na Pilsku v zóne 1400 a klesajúcich trendov hrúbkových prírastkov na Babej hore v zóne 1600 a v oboch zónach Pilska (tab. 2). Zaujímavá je protichodnosť trendov dĺžkových a hrúbkových prírastkov na lokalite Babia hora v zóne 1600, ktorá sa odráža aj v štatisticky nevýznamných koreláciách hrúbkových a dĺžkových prírastkov (tab. 1).

Nami zachytený trend zvyšovania dĺžkového prírastku v zónach 1400 a 1600 na Babej hore pozoroval aj WADA et al. (2005), ktorý konštatuje postupné zvyšovanie dĺžkového prírastku *P. pumila* počas rokov 1980–2003 v úzkej súvislosti so zmenou klimatických pomerov. Odlišný priebeh však má krivka dĺžkových prírastkov na Pilsku v zóne 1400, kde sa v posledných rokoch prejavil negatívny, klesajúci trend dĺžkového prírastku. Borovica horská v tejto výškovej zóne vytvára rozsiahle zapojené porasty a prakticky vyplní všetky vhodné rastové priestory po prirodzenej či umelej rekolonizácii stanovišť (PAROBEKOVÁ et al. 2018). Pokles dĺžkového prírastku by mohol byť čiastočne vysvetlený nedostatkom rastového priestoru a z toho plynúcej intenzívnej konkurencie medzi jednotlivými konármi polykormónov. K záveru, že rast kosodreviny je do značnej miery podmienený konkurenciou v rámci polykormónov, a to až natolko, že je potlačený vplyv ostatných po-

zitívnych faktorov dospeli viacerí autori (SOUČEK et al. 2001; WILD, WINKLER 2008). V našom prípade však evidujeme súčasne výrazný pokles hrúbkových prírastkov vo viacerých zónach oboch lokalít, ktorý je ešte výraznejší ako pokles dĺžkového prírastku na Pilsku (tab. 2), čo poukazuje aj na dlhodobý vplyv iných negatívnych faktorov, ako napríklad zvýšenej depozície ozónu (BIČÁROVÁ et al. 2019), alebo znečisteniu atmosféry (CHROPEŇOVÁ et al. 2016). Výrazný spoločný pokles hrúbkových a dĺžkových prírastkov v posledných rokoch môže byť spôsobený vplyvom krátkodobějších negatívnych faktorov ako sú napríklad dĺžka trvania snehovej pokrývky (DIRNBÖCK et al. 2003), alebo výskyt škodcov (WILMKING et al. 2012; LUKÁČIK et al. 2014).

Keďže priebeh dĺžkového a hrúbkového prírastku koreloval vo väčšine prípadov stredne silno (Babia hora 1500, Pilsko 1400, 1500) až štatisticky nevýznamne (Babia hora 1400, 1600) (tab. 1), v prípade zóny Babia hora 1600 priebehy prírastkov nadobúdali dokonca až opačný trend (tab. 2), analyzovali sme podrobnejšie schopnosť reakcie dĺžkového a hrúbkového rastu na zmenu bližšie nešpecifikovaných vonkajších podmienok. Porovnali sme veľkosť zmeny prírastku v danom roku s päť-ročným priemerom, teda priemerom v dvoch predchádzajúcich a dvoch nasledujúcich rokoch, čím sme zistili citlivosť, akou bol jedinec schopný zareagovať na prípadnú zmenu podmienok (upravené podľa SCHWEINGRUBER 1996). Zistili sme, že zmena hrúbkového prírastku, ako reakcia na vonkajší podnet, je výraznejšia ako zmena dĺžkového prírastku s častejším výskytom extrémnejších hodnôt (obr. 4). Takto môže dochádzať k vytváraniu hrubších, alebo výrazne tenších letorastov pri súčasnom zachovávaní dĺžkového rastu, čo by mohlo ovplyvniť celkovú morfofogenézu polykormónov borovice horskej. SOMORA



Obr. 3.

Krivky priemerného ročného dĺžkového prírastku (li) a ročného hrúbkového prírastku (ri) v jednotlivých výškových zónach v oblasti Babej hory a Pilska. BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400–1600 výškové zóny

Fig. 3.

Mean length increment (li) and radial increment (ri) chronologies per elevation zones for localities Babia hora and Pilsko. BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400–1600 elevation zones

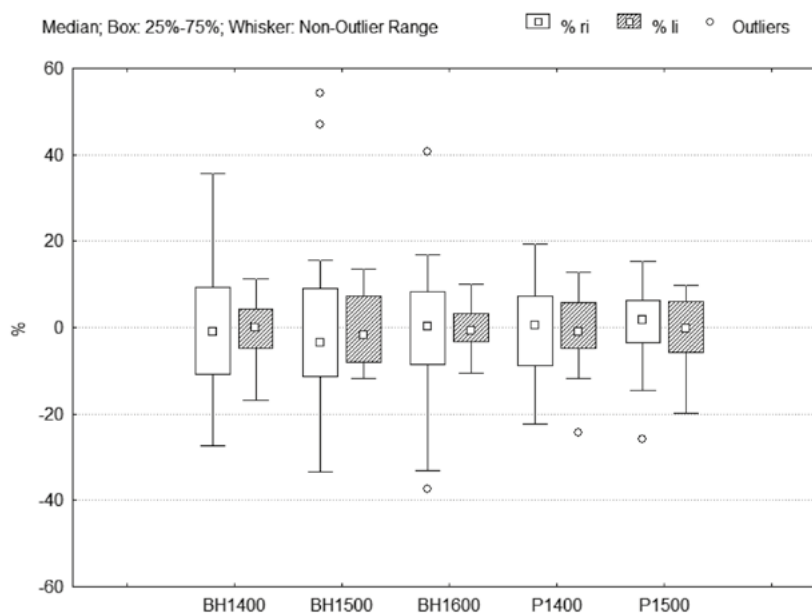
(1981) zhodne so ŠPINLEROVOU, MARTINKOVOU (2006) uvádzajú, že na morfogénu polykormónov borovice horskej môžu výrazne vplyvať vonkajšie činitele prostredia. MARCET (1967) a LUKÁČIK (1993) uvádza väčšie zastúpenie polievavých foriem vo vyšších nadmorských výškach, pričom je však otázne, do akej miery je táto skutočnosť podmienená vonkajšími faktormi prostredia a do akej miery geneticky (HOLUBIČKOVÁ 1965; LUKÁČIK 1999). WILMKING et al. (2012) popisujú schopnosť borovice horskej prispôbiť sa podmienkam na hornej hranici rozšírenia tým, že obmedzuje potrebu vytvárania silnejšieho kmeňa a uprednostňuje bočný dĺžkový rast, čím maximalizuje plochu jedinca a zároveň znižuje vystavenie vetru a iným vplyvom. Práve táto skutočnosť môže vysvetľovať protichodnosť trendov hrúbkového a dĺžkového prírastku borovice horskej na Babej hore v zóne 1600.

Výškové zóny v skúmaných lokalitách vykazujú podľa KNMI Climate Explorer rovnaké klimatické charakteristiky, keďže sú interpolované v sieti nezohľadňujúc nadmorskú výšku. Nadmorská výška by však zásadne nemenila priebeh klimatických charakteristík, len ich celkovú hodnotu, čo by neovplyvnilo ich korelácie s prírastkami. Preto sme hodnotili vplyv klimatických charakteristík na rast kosodreviny súborne za všetky výškové zóny v rámci skúmaných lokalít. Pri analýze vplyvu najvýznamnejších klimatických faktorov prostredia na dynamiku dĺžkového a hrúbkového prírastku sa preukázali ako štatisticky významné korelácie medzi krivkami priemerných prírastkov s priemernými mesačnými teplotami a priemernými mesačnými zrážkami vo viacerých mesiacoch aktuálneho a predchádzajúceho roka (obr. 5). Korelácie prírastkov s klímou predchádzajúceho roka boli očakávané aj na základe korelácií dĺžkových a hrúbkových prírastkov s prírastkami v predchádzajúcej sezóne (n-1) (tab. 1). Odhalili sme výraznú afinitu dĺžkového a hrúbkového rastu k dĺžkovému rastu v predchádzajúcej sezóne. Na Babej hore sa potvrdil štatisticky významný vplyv teplôt v mesiacoch, ktoré predstavujú hlavné vegetačné obdobie, a to apríl, máj, jún a august príslušného roka, kde hodnoty dĺžkového prírastku pozitívne korelovali v intervale korelačného koeficientu (r) od 0,31–0,41. Rovnako boli zaznamenané pozitívne korelácie dĺžkového prírastku s priemernou teplotou v predchádzajúcom vegetačnom období 0,30–0,48. Korelácie medzi mesačným priemerným množstvom zrážok a dĺžkovým prírastkom sa nepreukázali ako štatisticky významné. Hrúbkový prírastok koreloval s klímou podobným spôsobom ako dĺžkový prírastok, a to v mesiacoch máj až august súčasného roka (0,32–0,41) a v mesiacoch apríl a jún až august minulého roka (0,35–0,41). Korelácie so zrážkami boli pozitívne v mesiacoch február a júl (0,34–0,38). Na Pilsku sa potvrdil štatistický významný vplyv teplôt na dĺžkový prírastok v mesiacoch máj súčasného roka (0,49) a v mesiacoch júl a november minulého roka (0,54, 0,35). Ako významné sa preukázali aj pozitívne korelácie s aprílovými zrážkami súčasného a predchádzajúceho roka (0,39, 0,35). Hrúbkový prírastok

Tab. 2. Trendy dĺžkových (li) a hrúbkových (ri) prírastkov určených Mann-Kendall testom
Trends in length (li) and radial (ri) increments determined by the Mann-Kendall test

Zóna	BH1400	BH1500	BH1600	P1400	P1500
MK-S li	0,317	-0,105	0,311	-0,298	-0,190
MK-S ri	0,146	-0,223	-0,368	-0,496	-0,538

Zóna/Zone; BH – Babia hora; P – Pilsko; 1400–1600 výškové zóny/altitude zones; MK-S – Mann-Kendall štatistika/Mann-Kendall statistics; hrubé písmo predstavuje štatistickú významnosť ($P \leq 0,05$)/bold numbers indicate statistically significance ($P \leq 0,05$)



Obr. 4. Percentuálna zmena ročných dĺžkových prírastkov (li) a ročných hrúbkových prírastkov (ri) v porovnaní s ich päťročným priemerom v jednotlivých výškových zónach v oblasti Babej hory a Pilska. BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400–1600 výškové zóny

Fig. 4. Percentage of change of annual radial increment (ri) and annual length increment (li) per elevation zones for localities Babia hora and Pilsko. BH – Babia hora, P – Pilsko, 1400–1600 elevation zones

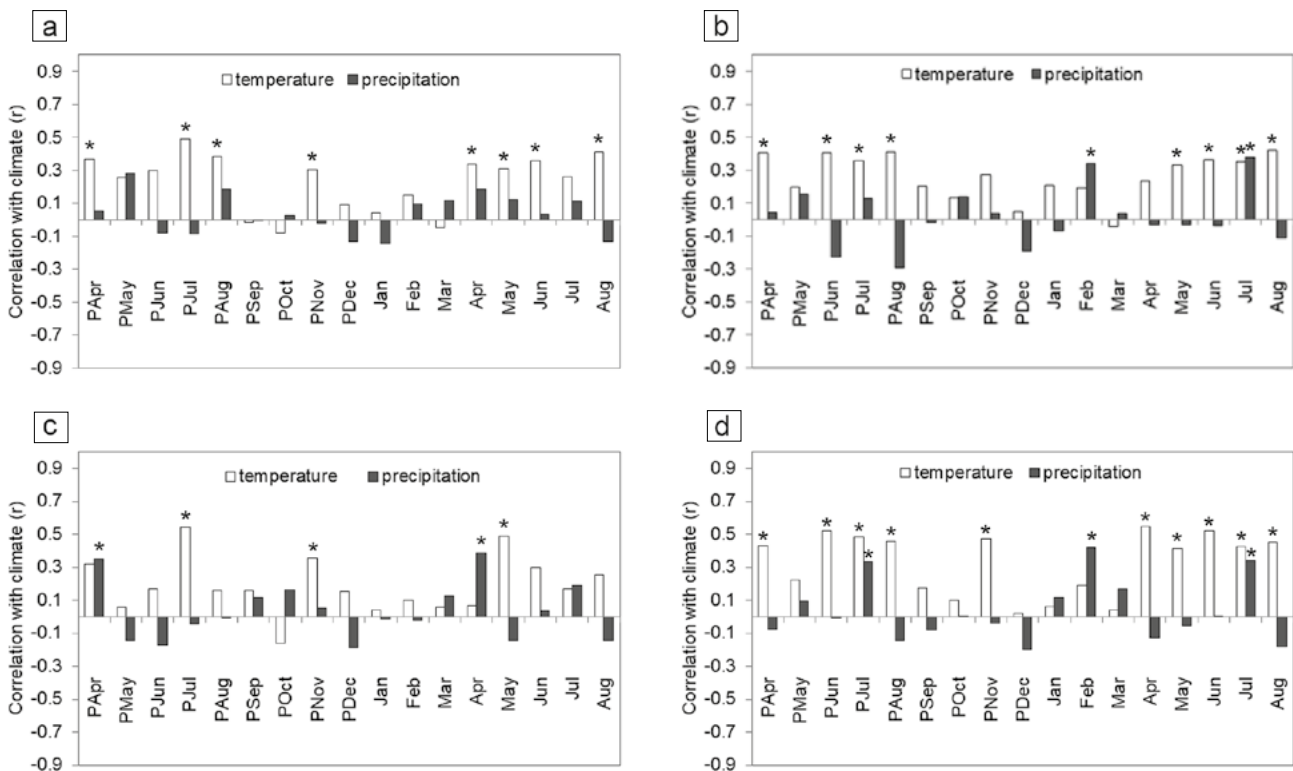
koreloval s teplotami počas celého vegetačného obdobia súčasného roku (0,42–0,54) a s teplotami v mesiacoch apríl, jún až august a november predchádzajúceho roku (0,43–0,52). Zrážky pozitívne korelovali s hrúbkovým prírastkom v mesiacoch júl minulého roku (0,33), február a júl súčasného roku (0,42, 0,34). Výraznejšie korelácie hrúbkového prírastku s klímou na oboch lokalitách poukazujú na jeho vyššiu závislosť na vývoji klímy a jej prípadných odchýlkach. Tento fakt podporuje naše zistenie vyššej citlivosti hrúbkového prírastku na bližšie nešpecifikované vonkajšie podnety a zároveň nás utvrdzuje v tom, že tieto podnety sú hlavne klimatického charakteru.

DIRNBÖCK et al. (2003) tvrdí, že kosodrevina je veľmi dobre adaptovaná na vysokú variabilitu klimatických podmienok vo vysokohorskom prostredí a že najvýznamnejšími faktormi, ktoré ju ovplyvňujú sú teplota, trvanie snehovej pokrývky a množstvo slnečného žiarenia na konci vegetačného obdobia. Produkcia dreva začína v apríli až máji a vrchol dosahuje v júni až júli, teploty koncom vegetačného obdobia vplyvajú na vyzrievanie ihlič, výhonkov a púčikov (BÜNTGEN et al. 2007). Štúdie rastu kosodreviny v talianskych Alpách preukázali, že rast kosodreviny bol významne ovplyvnený klimatickou zmenou a bola potvrdená závislosť hrúbkového rastu s teplotami hlavne v jar-ných mesiacoch (PALOMBO et al. 2010). VOICHIŤA (2014) uvádza pri hodnotení rastovej dynamiky kosodreviny vzhľadom na vysokú nadmorskú výšku výskytu taxónu ako významnú predovšetkým kombináciu priemernej teploty koncom vegetačnej doby predošlého roka

s priemernou teplotou v období máj–august aktuálneho roka. Podobné výsledky dokumentujú aj ROGOJAN, BALABAŠCIUC (2020), ktorí okrem pozitívnych korelácií hrúbkového rastu s teplotou v mesiacoch súčasného a predchádzajúceho roka popisujú aj pozitívne korelácie so zrážkami v mesiacoch predchádzajúceho roka. Naša štúdia sa v značnej miere zhoduje s týmito zisteniami. Dostatok vody je podľa BÜNTGENA et al. (2007) dôležitý najmä v prvej polovici vegetačnej sezóny. Toto tvrdenie vysvetľuje korelácie so zrážkami v našej štúdiu, ktoré boli zistené hlavne v mesiacoch február a apríl. Júlové korelácie hrúbkového prírastku so zrážkami zrejme súvisia s vrcholom produkcie dreva, a teda so zvýšenými nárokmi na dostatok vlhky.

ZÁVER

Predkladaná štúdia síce neposkytuje jednoznačný dôkaz o poklese prírastku borovice horskej v súvislosti s nadmorskou výškou v Oravských Beskydách, no odhaľuje značný vplyv iných bližšie nešpecifikovaných faktorov na jej rast. Na základe rozdielnych trendov v priebehu hrúbkových a dĺžkových prírastkov vo výškových zónach jednotlivých lokalít predpokladáme, že výsledný rast borovice horskej v týchto zónach je výsledkom kombinácie vplyvu komplexu pozitívnych a negatívnych faktorov prostredia (napr. zvýšenie priemerných teplôt vo vegetačnom období, depozícia ozónu, znečistenie atmosféry, vnútrodrohová konkurencia) a stratégie druhu, ako sa s týmto vplyvom vyrovná.



Obr. 5.

Korelácia medzi chronológiami dĺžkových (a – Babia hora, c – Pilsko) a hrúbkových prírastkov (b – Babia hora, d – Pilsko) s priemernými mesačnými teplotami a zrážkovými úhrnmi. Korelácie boli počítané v 17-mesačnom okne od apríla predchádzajúceho roku do augusta roku, v ktorom sa prírastok vyskytol. Mesiace predchádzajúceho roka sú označené písmenom P. Hviezdičkou sú označené štatisticky významné korelácie ($P < 0,05$)

Fig. 5.

Correlations between length increment chronology (a – Babia hora, c – Pilsko) and radial increment chronology (b – Babia hora, d – Pilsko) with mean monthly temperature and precipitation. Correlations are made for 17-month window from April of the previous growing season to August of the growing season when the growth occurred. Months of previous growing season are marked with P. Asterisks indicate statistically significant correlations ($P < 0.05$)

nať. Súčasťou tejto stratégie je nerovnaká intenzita reakcie hrúbkového a dĺžkového rastu a uprednostnenie dĺžkového rastu pred potrebou vytvárania silnejšieho kmeňa, čo sa prejavuje hlavne na hornej hranici výskytu druhu.

Dĺžkový a hrúbkový rast borovice horskej je významne ovplyvnený klimatickými faktormi, a to hlavne priemernou teplotou v mesiacoch súčasného a minulého vegetačného obdobia a zrážkami v jarnom období a v júli, keď kulminuje hrúbkový rast. Napriek tomu, výrazné zvýšenie priemerných teplôt vo vegetačnom období sa neprejavilo ako hlavný faktor ovplyvňujúci dynamiku rastu jedincov kosodreviny, keďže jeho pozitívny vplyv často zaniká v komplexe iných faktorov prostredia.

Podakovanie:

Práca vznikla s podporou projektov VEGA 1/0564/19 a VEGA 1/0385/20.

LITERATÚRA

- BÄR A., BRÄUNING A., LÖFFLER J. 2006. Dendroecology of dwarf shrubs in the high mountains of Norway – A methodological approach. *Dendrochronologia*, 24: 17–27. DOI: 10.1016/j.dendro.2006.05.001
- BARTLETT J.E., KOTRLIK J.W., HIGGINS C.C. 2001. Organizational research: determining appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning and Performance Journal*, 19 (1): 43–50.
- BENISTON M., INNES J.L. 1998. The impacts of climate variability on forests. Berlin, Springer: 329 s.
- BIČÁROVÁ S., SITKOVÁ Z., PAVLEDOVÁ H., FLEISHER P. Jr., FLEISHER P. Sr., BYTNEROWICZ A. 2019. The role of environmental factors in ozone uptake of *Pinus mugo* Turra. *Atmospheric Pollutant Resersearch*, 10: 283–293. DOI: 10.1016/j.apr.2018.08.003
- BÜNTGEN U., FRANK D.C., KACZKA R.J., VERSTEGE A., ZWIJACZ-KOZICA T., ESPER J. 2007. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*, 27 (5): 689–702. DOI: 10.1093/treephys/27.5.689
- BUREŠ L., BUREŠOVÁ Z. 1989. Geobotanická expertíza k provádění experimentální likvidace kleče v SPR Malá kotlina. Manuskript. Ostrava, Správa CHKO Jeseníky, KSPPOP.
- CALDERARO C., COCOZZA C., PALOMBO C., LASSERRE B., MARCHETTI M., TOGNETTI R. 2020. Climate-growth relationships at the transition between *Fagus sylvatica* and *Pinus mugo* forest communities in a Mediterranean mountain. *Annals of Forest Science*, 77 (3): Article number 63 (2020). DOI: 10.1007/s13595-020-00964-y
- COOK E.R., KAIRIUKSTIS, L.A. 1992. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 394 s.
- CROPPER J.P. 1979. Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree-Ring Bulletin*, 39: 47–59.
- CUDLÍN P., KLOPČIČ M., TOGNETTI R., MÁLIŠ F., ALADOS C.L., BEBI P., GRUNEWALD K., ZHIYANSKI M., ANDONOWSKI V., LA PORTA N., BRATANOVA-DONCHEVA S., KACHAUNOVA E., EDWARDS-JONÁŠOVÁ M., NINOT J.M., RIGLING A., HOFGAARD A., HLÁSNY T., SKALÁK P., WIEGOLASKI F.E. 2017. Drivers of treeline shift in different European mountains. *Climate Research*, 73: 135–150. DOI: 10.3354/cr01465
- DAI L., PALOMBO C., VAN GILS H., ROSSITER D. G., TOGNETTI R., LUO G. 2017. *Pinus mugo* krummholz dynamics during concomitant change in pastoralism and climate in the Central Apennines. *Mountain Research and Development*, 37 (1): 75–86. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1
- DIRNBÖCK T., DULLINGER S., GRABHERR G. 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography*, 30 (3): 401–417.
- 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
- HOLUBIČKOVÁ B. 1965. A study of the *Pinus mugo* complex. *Preslia*, 37: 276–288.
- CHROPEŇOVÁ M., KLEMOVÁ GREGUŠKOVÁ E., KARÁSKOVÁ P., PŘIBYLOVÁ P., KUKUČKA P., BARÁKOVÁ D., ČUPR P. 2016. *Pine needles and pollen grains of Pinus mugo* Turra – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination. *Ecological Indicators*, 66: 132–142. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.01.004.
- JALOVÍAR P., ĎURICA P., VENCURIK J., KUCBEL S., PITTNER J., SEDMÁKOVÁ D. 2020. Structure and short-term development dynamics of spruce old-growth forest in the National Nature Reserve Zadna Polana. *Zprávy lesnického výskumu*, 65 (4): 258–264.
- KENDALL M.G. 1948. Rank correlation methods. London, Charles Griffin: 202 s.
- KLIMENT J., VALACHOVIČ M. 2007. *Rastlinné spoločenstvá Slovenska*. 4. Vysokohorská vegetácia. Bratislava, Veda: 388 s.
- KUCBEL S., VENCURIK J., JALOVÍAR P., BAJDICH J. 2014. Návrh modelu diferencovanej štruktúry vysokohorského lesa pre centrálnu časť Nízkych Tatier. In: Štefančík, I. (ed.): *Pestovanie lesa v strednej Európe*. Zborník vedeckých prác. Zvolen, Národné lesnícke centrum: 60–67. *Proceedings of Central European Silviculture*.
- KURAS T., BENEŠ J., KONVIČKA M. 2001. Behaviour and within-habitat distribution of adult *Erebia sudetica sudetica*, endemic of the Hruby Jeseník Mts., Czech Republic (*Nymphalidae*, *Satyrinae*). *Nota Lepidopterologica*, 24: 69–83.
- KYNCL T. 2006. Hodnocení růstové rychlosti klečových porostů. In: Hošek J. (ed): *Vliv výsadby borovice kleče (Pinus mugo) na biotopovou a druhovou diverzitu arkticko-alpínské tundry ve Východních Sudetech (CHKO Jeseníky, NPR Králický Sněžník)*. Návrh managementu těchto porostů. Zpráva z projektu VaV SM/6/70/05. Praha, Ministerstvo životního prostředí.
- KYNCL T., WILD J. 2004. Použití letokruhové analýzy pro datování velkoplošného odumírání kleče v Krkonoších. In: Štursa J. et al. (eds.): *Geoekologické problémy Krkonoš*. Opera Corcontica, 41: 434–440.
- LUKÁČIK I. 1993. Súčasný stav a premenlivosť borovice horskej – kosodreviny (*Pinus mugo* Turra) na Slovensku. Zvolen, Technická univerzita: 45 s. *Vedecké a pedagogické aktuality 4/1993*.
- LUKÁČIK I. 1999. Rast, rozmnožovanie, zdravotný stav a funkčná účinnosť borovice horskej – kosodreviny v Tatrách. In: Kantor P. (ed.): *Pestovanie lesů v podmíenkách antropicky zmeněného prostředí*. Sborník referátů z 1. česko-slovenského vědeckého semináře pedagogickovědeckých a vědeckovýzkumných pracovišť oboru Pěstování lesů. Křtiny, 14. a 15. 9. 1999. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita: 23–26.

- LUKÁČIK I., BUGALA M., BALANDA M. 2014. Dendrochronological analysis of the dwarf-pine (*Pinus mugo* Turra) growth in the High Tatras. *Acta Pruhoniciana*, 109: 5–9.
- LUKNIŠ M. (ed.) 1972. Slovensko 2 – Príroda. Bratislava, Obzor: 914 s.
- MADĚRA P., BUČEK A., CULEK M., FRIEDL M., KIRCHNER K., PECHÁČEK J., ROŠTÍNSKY P., SEDLÁČEK A., ŠENFEDLR M., ŠPINLEROVÁ Z., ŠTYKAR J., TIPPNER A., VAVŘÍČEK D. 2011. Geobiocenózy horní hranice lesa a vliv porostu borovice kleče na horskou krajinu v Hrubém Jeseníku a rizika spojená s jejich odstraněním. Závěrečná správa výzkumného projektu Grantové služby LČR. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně: 215 s.
- MANN H.B. 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245–259. DOI: 10.2307/1907187
- MARCEZ E. 1967. Über den Nachweis spontaner Hybriden von *Pinus mugo* Turra und *Pinus sylvestris* L. aus Grund von Nadelmerkmalen. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*, 77: 314–341.
- MESR. 2017. The Seventh National Communication of the Slovak Republic on Climate Change. Under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol [on-line]. Bratislava, Ministry of Environment of the Slovak Republic [cit. 2021-02-20] Available on: https://www.minzp.sk/files/oblasti/politika-zmeny-klimy/7nc_svk.pdf
- MEZEI P., JAKUŠ R., PENNERSTORFER J., HAVAŠOVÁ M., ŠKVARENINA J., FERENČÍK J., SLIVINSKÝ J., BIČÁROVÁ S., BILČÍK D., BLAŽENEC M., NETHERER S. 2017. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 242: 85–95. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.04.004
- MIHAI B., SAVULESCU I., SANDRIC I. 2007. Change detection analysis 1986–2002 of vegetation cover in Romania. *Mountain Research and Development*, 27 (3): 250–258. DOI: 10.1659/mred.0645
- PALOMBO C., LASEN C., SCIRÉ M., GARFÌ V., LOMBARDI F., TOGNETTI R., MARCHETTI M. 2010. Structural and dendrochronological characterization of mountain pine persistent woodlands on the Monti del Sole – Dolomiti Bellunesi National Park. *L'Italia Forestale e Montana*, 6: 737–749. DOI: 10.4129/ifm.2010.6.04
- PALOMBO C., BATTIPAGLIA G., CHERUBINI P., CHIRICI G., GARFÌ V., LASSERRE B., LOMBARDI F., MARCHETTI M., TOGNETTI R. 2014. Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra subsp. *mugo*). *Journal of Vegetation Science*, 25(2): 571–583. DOI: 10.1111/jvs.12101
- PAROBEKOVÁ Z., BUGALA M., KARDOŠ M., DOVCIÁK M., LUKÁČIK I., SANIGA M. 2018. Long-term changes in dwarf pine (*Pinus mugo* Turra) cover and growth in the Orava Beskid Mountains, Slovakia. *Mountain Research and Development* 38 (4): 342–352. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-18-00049.1
- ROGOJAN C.-C., BALABAȘCIUC M. 2020. Characteristics concerning the radial growth of mountain pine (*Pinus mugo*) from the subalpine ecotone area of Călimani National Park, Romania. *Advances in Agriculture & Botany*, 12 (2): 52–57.
- RYBNÍČEK M., ČERMÁK P., ŽID T., KOLÁŘ T. 2012. Growth responses of *Picea abies* to climate in the central part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Dendrobiology*, 68: 21–30.
- SANIGA M., BALANDA M., KUCBEL S., JALOVÍAR P. 2011. Cyclic changes in tree species composition of mixed-species forest in Western Carpathians: Role of disturbance and tree regeneration. *Polish Journal of Ecology*, 59 (4): 699–708.
- SCHWEINGRUBER F.H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Berne, Haupt: 609 s. Swiss Federal Institute for Forests, Snow and Landscape Research.
- SOLÁR J., JANIGA M. 2013. Long-term changes in dwarf pine (*Pinus mugo*) cover in the High Tatra Mountains, Slovakia. *Mountain Research and Development*, 33 (1): 51–62. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-12-00079.1
- SOMORA J. 1981. Kosodrevina (*Pinus mugo* Turra) v TANAP-e (rozšírenie, vzrastové formy). *Zborník prác o TANAP-e*, 22: 31–76.
- SOUČEK J., LOKVENC T., VACEK S., ŠTURSA J. 2001. Site and stand conditions of dwarf pine stands. *Opera Corcontica*, 38: 43–61.
- ŠEBEŇ V. 2017. Keď kosodrevina už nie je les. *Les & Lesokruhy*, 73: 24–27.
- ŠKVARENINOVÁ J. 2008. Fenologické tendencie vývoja vybraných druhov drevín v Štiavnických vrchoch a na Poľane vplyvom antropogénnych zmien. In: Kunca V. et al. (eds.): *Antropogénny vplyv a biodiverzita vo vybraných neovulkanitoch na strednom Slovensku*. Zvolen, Technická univerzita: 60–69.
- ŠPINLEROVÁ Z., MARTINKOVÁ M. 2006. Growth of mountain pine (*Pinus mugo* Turra) in relation to the use of other tree species. *Journal of Forest Science*, 52 (5): 217–225.
- ŠVAJDA J., SOLÁR J., JANIGA M., BULIAK M. 2011. Dwarf pine *Pinus mugo* and selected abiotic habitat conditions in the western Tatra Mountains. *Mountain Research and Development*, 31 (3): 220–228. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-09-00032.1
- TAKAHASHI K., YOSHIDA S. 2009. How the scrub height of dwarf pine *Pinus pumila* decreases at the treeline. *Ecological Research*, 24: 847–854. DOI: 10.1007/s11284-008-0558-1
- TREML V., WILD J., CHUMAN T., POTŮČKOVÁ M. 2010. Assessing the change in cover of non-indigenous dwarf-pine using aerial photographs, a case study from the Hrubý Jeseník Mts., the Sudetes. *Journal of Landscape Ecology*, 4 (2): 90–104. DOI: 10.2478/v10285-012-0029-9
- VOICHIȚA T.-G. 2014. Dendrochronological series for mountain pine in Rodna Mountains. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Protecția Mediului*, 23: 549–552.
- WADA N., WATANUKI K., NARITA K., SUZUKI S., KUDO G., KUME A. 2005. Climate change and shoot elongation of Alpine dwarf pine (*Pinus pumila* Regel): Comparison between six Japanese mountains. *Phyton – Annales Rei Botanicae*, 45: 253–260.
- WILD J., WILDOVÁ R. 2002. Interactions between dwarf pine shrubs and grassland vegetation under different management. *Opera Corcontica*, 39: 17–34.
- WILD J., WINKLER E. 2008. Krummholz and grassland coexistence above the forestline in the Krkonoše Mountains: Grid-based model of shrub dynamics. *Ecological Modelling*, 213: 293–307. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.12.013
- WILM KING M., HALLINGER M., BOGAERT R. VAN, KYNZL T., BABST F., HAHNE W., JUDAY G. P., DE LUIS M., NOVAK K., VÖLLM C. 2012. Continuously missing outer rings in woody plants at their distributional margins. *Dendrochronologia*, 30 (3): 213–222.

GROWTH DYNAMIC OF DWARF PINE (*PINUS MUGO* TURRA) ALONG AN ALTITUDE GRADIENT

SUMMARY

Dwarf pine (*Pinus mugo* Turra) thickets are a substantial land-cover in European high-elevation mountain ecosystems, where they fulfil important functions in a soil conservation as well as in a wildlife habitat. In many areas across Europe, these thickets have been rapidly expanding over the past decades due to changing environmental conditions. The growth and the spatial spread of dwarf pine became therefore one of the most important issues of nature protection in terms of preserving biodiversity of alpine areas. In the light of these findings the main goals of the study were: i) identification of the dwarf pine length and radial increment along an altitude gradient, and ii) analysis of the length and radial increment over time and assessment of the climate impact.

In two different localities, namely Babia hora and Pilsko, of the orographic unit Orava Beskydy Mountains, in altitude zones <1450 m, 1450–1600 m and > 1600 m (next only zones 1400, 1500, 1600), cross sections of dwarf pine branches were taken, and length increments were measured for a more detailed analysis of the growth depending on the altitude and climatic conditions. By applying dendrochronology we quantified the growth of dwarf pine according to altitude and linked it to species growth responses to climate. We correlated the mean growth chronologies (annual radial increment and annual length increment) with a mean monthly temperature and precipitation for a 17-month window from April of the previous growing season to August of the growing season when the growth occurred, to assess the main climatic factors driving growth.

ANOVA showed statistically significant differences in values of the mean annual length and radial increments between individual altitude zones of the investigated localities. The highest increments were observed in the altitude zone 1500 (length increments: Babia hora – 9.2 ± 1.2 cm.year⁻¹, Pilsko – 8.51 ± 0.83 cm.year⁻¹, radial increments: Babia hora – 0.87 ± 0.28 mm.year⁻¹, Pilsko – 0.73 ± 0.19 mm.year⁻¹) with decreasing trends toward to higher or lower altitude (Fig. 2). Results do not confirm a decrease in the dwarf pine growth in connection with altitude probably due to significant impact of other factors, such as habitat conditions or competition within dwarf pine thickets.

An average length and radial incremental chronologies were generated for each zone within both examined localities (Fig. 3) and they were tested by the Mann-Kendall test to demonstrate the significance of trends (Tab. 2). The length incremental chronologies showed an increasing trend in zones Babia hora 1400 and 1600 and decreasing trend in zone Pilsko 1400. The radial incremental chronologies showed decreasing trends in zones Babia hora 1600, Pilsko 1400 and Pilsko 1500. The course of some length and radial incremental chronologies did not correlate significantly (Tab. 1). In the case of the zone Babia hora 1600 the course of chronologies even took the opposite trend (Tab. 2). According to the findings, we analyzed the ability of the length and radial growth in more detail to respond to a change of unspecified external conditions. Another interesting finding was that the radial growth responded more sensitively to external factors than the length growth (Fig. 4). The change in the radial increment was more pronounced than the change in length increment with more frequent occurrence of extreme values.

Increased average temperatures during the growing season did not appear as the main factor influencing the growth dynamics of dwarf pine, as its positive effect often disappeared in a complex of the other environmental factors. Nevertheless, the length and radial growth of dwarf pine in both localities was significantly influenced by climatic factors; mainly by the average temperature in months of the current and previous growing season and precipitation in April and July, when the radial growth culminated (Fig. 5).

Present study does not provide clear evidence of a decrease in the dwarf pine growth in connection with the altitude in the Orava Beskydy Mountains, but it reveals a significant influence of other unspecified factors. Based on different trends of the length and radial incremental chronologies in the zones of individual localities we assume that the growth of dwarf pine is the result of more environmental factors in combination with the species strategy to cope with these factors. Part of this strategy is the unequal intensity of the radial and length growth response and the preference for the length growth over the radial growth, which was reflected mainly in the upper limit of the species' occurrence.

Zasláno/Received: 30. 11. 2020

Přijato do tisku/Accepted: 28. 04. 2021