

# VÝVOJ VYBRANÝCH ZMIEŠANÝCH IHLIČNATO-LISTNATÝCH PORASTOV V REŽIME BEZZÁSAHOVOSTI

## DEVELOPMENT OF SELECTED MIXED CONIFEROUS-BROADLEAVED STANDS UNDER SELF-DEVELOPMENT REGIME

IGOR ŠTEFANČÍK

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav, Masarykova 22, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

e-mail: igor.stefancik@nlcsk.org

ORCID: I. Štefančík 0000-0002-4577-067X

### ABSTRACT

The climate change has an adverse impact on tree species and forest stands. Different tree species tolerance and changes in tree species composition are considered as one of the climate change consequences. The paper deals with assessment and comparison of tree species composition and basal area increment in mixed (spruce-fir-beech) stands, which were left to self-thinning during 45–55 years. The large-scale experimental basis of older thinning permanent research plots established, in the past, in mixed stands situated in the 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> altitudinal forest zone was used in the research. At the same time the detected changes were compared to long-range goal and tree species models specified for a given forest type. The results showed increased proportion of beech and sycamore maple contrary to decreased share of fir and spruce. At the same time, fir also recorded the highest percentage of loss by self-thinning. The comparison of the current tree species composition with the models showed slight differences in all areas in favour of spruce at the expense of beech. Similarly, the basal area increment of beech was the highest everywhere.

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

**Kľúčové slová:** smrek; jedľa; buk; drevinové zloženie; samovývoj

**Key words:** spruce; fir; beech; tree species composition; self-development

### ÚVOD

Zmiešané smrekovo-jedľovo-bukové porasty sú v európskych podmienkach významným porastovým typom zmiešaných lesných komplexov vo vyšších polohách oblastí Alp a Karpát. Zmiešané horské lesy buka lesného (*Fagus sylvatica* L.), smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst) a jedle bielej (*Abies alba* Mill.) v Európe celkovo pokrývajú viac ako 10 miliónov hektárov (HILMERS et al. 2019). Na Slovensku sa takéto porasty v minulosti vyskytovali na výmere vyše 250 tis. ha, najmä v 4. a 5. lesnom vegetačnom stupni (HLADÍK 1996). V súčasnosti sa zmiešané porasty smreka, jedle a buka (spoločné zastúpenie je aspoň 51 %) vyskytujú v troch porastových typoch (NLC 2009) tvorených týmito drevinami s výmerou vyše 128 tis. ha (NLC 2021).

Rozsiahle odumieranie smrekových monokultúr v ostatných desaťročiach (HLÁSNY, SITKOVÁ 2010; HLÁSNY et al. 2017), resp. vysoký podiel kalamitnej ťažby v dôsledku abiotických (vietor, sneh) a biotických (hmyz, huby, zver) škodlivých činiteľov na Slovensku (KUNCA et al. 2019) už v minulosti apelovali na zakladanie, resp. vytváranie zmiešaných ihličnato-listnatých porastov (PRETZSCH et al. 2014, 2015), ktoré sa všeobecne považujú za odolnejšie (VACEK S. et al. 2017; VACEK Z. et al. 2020). Ide najmä o tzv. karpatskú zmes, ktorú tvorí

smrek, jedľa a buk. Zmiešaný porast môže lepšie využívať stanovište a jeho dispozičný priestor, najmä ak zastúpené drevinové majú rôzne biologické vlastnosti a ekologické požiadavky (KORPEE 1989; VACEK S. et al. 2017).

Dnes sa všeobecne uznávajú prednosti zmiešaných porastov pred nezmiešanými z viacerých aspektov, napr. fyziologických procesov (FORRESTER 2017), biodiverzity (BUONGIORNO et al. 1995; ISBELL et al. 2015), resp. drevinového zloženia (KANTOR, PAŘÍK 1998; KNOTT, KANTOR 2000; KANTOR, HURT 2003; BOSELA et al. 2015) a spôsobu zmiešania drevín (PRETZSCH 2009; BOSELA et al. 2015). Ale tiež z hľadiska rastu a produktivity (PRETZSCH 2003; PRETZSCH et al. 2010; SPRAUER, NAGEL 2015; PRETZSCH, FORRESTER 2017), porastovej štruktúry (PRETZSCH 2017a; VACEK Z. 2017), ekologickej (von LÜPKE et al. 1997; BAUHUS et al. 2017) a statickej stability (NOVÁK et al. 2017) a odolnosti proti škodlivým činiteľom (von LÜPKE 2004). Výsledky výskumov konštatujú priaznivý účinok vhodného zmiešania drevín najmä z hľadiska odolnosti voči vetru a snehu (SCHÜTZ et al. 2006; KONÓPKA, KONÓPKA 2019).

Výskum zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov sa spočiatku zamerával hlavne na sledovanie výškového alebo hrúbkového rastu

jednotlivých drevín (MONSERUD, STERBA 1996; PETRÁŠ et al. 2014a). Pozornosť sa venovala aj zhodnoteniu výsledkov objemovej produkcie a prírastkov (KENNEL 1965, 1966; MÍCHAL 1969; PRUDIČ 1971; HINK 1972; PRETZSCH 1992; PRETZSCH, SCHÜTZE 2009; LÉBOURGEOIS et al. 2014; PETRÁŠ et al. 2014b; RÖSSIGER et al. 2019) a konkurencie (PRETZSCH 1992; BACHMANN 1997). Pri skúmaní príčin rozdielného rastu a produkcie zmiešaných porastov sa väčšina autorov zameriavala na stanovište, klímu, zastúpenie drevín, sociálne postavenie stromov, spôsob zmiešania a vek porastov (MAGIN 1954; KENNEL 1965; HAUSER, TROEGER 1967; HINK 1972; KRAMER et al. 1988; PRETZSCH 2009; PRETZSCH et al. 2010; BOSELA et al. 2015; SPRAUER, NAGEL 2015). Takto získané výsledky sa väčšinou odvodili z meraní vykonaných na simultánných plochách v rovnorodých alebo zmiešaných častiach porastov, resp. simulovania vývoja a rastu prostredníctvom "rastových simulátorov" (KAHN, PRETZSCH 1997). Pomerne menej výsledkov je z trvalých výskumných plôch založených a vychovávaných v mladých zmiešaných porastoch (ŠTEFANČÍK L. 1977; PAUMER 1978; NOVÁK et al. 2017). Väčšia pozornosť sa venovala prebierkam, resp. dlhodobému vplyvu výchovy na ich štruktúru, produkciu a stabilitu (ASSMANN 1961; MOLOTKOV 1966; FREIST 1967; HOCKENJOS 1968; LEIBUNDGUT et al. 1971; ŠTEFANČÍK L. 1977, 1990; HLADÍK 1992; ŠTEFANČÍK I. 1999; ŠTEFANČÍK, ŠTEFANČÍK 2001, 2002, 2003; PRETZSCH 2003; ADAMIC et al. 2017; BAUHUŠ et al. 2017; NOVÁK, SLODIČÁK 2009; NOVÁK et al. 2017; HILMERS et al. 2019).

V poslednom období sa prejavujú dopady globálnej klimatickej zmeny (GOISSER et al. 2016; RÖTZER et al. 2017) na lesné porasty. Za určité východisko z tejto situácie sa považuje tvorba, resp. podpora zmiešaných porastov, ktoré majú viacero predností v porovnaní s rovnorodými porastami (PRETZSCH et al. 2017b; BRAVO-OVIEDO et al. 2018). Preto v súčasnosti prevláda snaha o zachovanie čo najpestrejšieho drevinového zloženia, vekovej rôznorodosti a priestorovej štruktúry lesných porastov. Na druhej strane treba spomenúť, že na rozdiel od minulosti sa často uvažuje aj s nepôvodnými drevinami (FRISCHBIER et al. 2019), ktoré by plnili predovšetkým funkciu prípravných drevín ako súčasť mitigačných opatrení v súvislosti s klimatickou zmenou. V literatúre často vyvstáva otázka, ako ovplyvnia dopady klimatickej zmeny drevinové zloženie lesných porastov (KLOPČIČ et al. 2017; WALENTOWSKI et al. 2017; ČERMÁK et al. 2018; CASTAÑO-SANTAMARÍA et al. 2019), pričom názory na tento problém nie sú jednoznačné, resp. častokrát rozdielne.

Cieľom tejto práce bolo zistiť zmeny drevinového zloženia na dlhodob sledovaných trvalých výskumných plochách v zmiešaných (smrekovo-jedľovo-bukových) porastoch 5. a 6. lesného vegetačného stupňa, ktoré boli ponechané cca 50 rokov na samovývoj.

## MATERIÁL A METODIKA

### Charakteristika územia

Objektom výskumu boli trvalé výskumné plochy (TVP) založené v minulosti prof. Ing. L. Štefančíkom, DrSc. pre výskum problematiky pestovno-produkčných vzťahov v zmiešaných (sm-jd-bk) porastoch 5. a 6. lesného vegetačného stupňa. Základná charakteristika TVP je uvedená v tab. 1.

### Zber údajov

Každá zo sérií TVP sa skladá z niekoľkých čiastkových plôch, na ktorých sú stromy očíslované s označením meriska hrúbky vo výške 1,3 m. V rámci každej série TVP je vždy jedna čiastková plocha kontrolná (bez zásahov) označená ako "0". Na všetkých plochách sa číslovaním registrujú všetky žijúce stromy s hrúbkou  $d_{1,3}$  3,6 cm a väčšou.

Do založenia TVP sa na plochách nevykonali takmer žiadne systematické výchovné zásahy. Pokiaľ sa do porastov zasiahlo, tak len slabým zásahom výlučne za účelom odstránenia odumierajúcich a suchých jedincov (ŠTEFANČÍK L. 1977). Plochy majú výmeru 0,10 až 0,50 ha a sú usporiadané v závislosti od terénnych podmienok, pričom medzi sebou sú oddelené minimálne 10 m širokým pásom stromov, tzv. izolačným pásom. Na všetkých výskumných plochách sa opakovane vykonali merania, resp. hodnotenia v pravidelných 5-ročných intervaloch. Doteraz sa vykonalo 11 alebo 12 štandardných biometrických meraní kvantitatívnych parametrov (hrúbka  $d_{1,3}$ ; výška nasadenia koruny a celého stromu, rozmery korún pri horizontálnej projekcii) a tiež hodnotenia kvalitatívnych znakov podľa pestovnej a hospodárskej klasifikácie s orientáciou na pestovanie nádejných (cieľových) stromov. Experimentálny materiál spracovaný v tomto príspevku pochádza zo 4 sérií TVP, resp. 6 čiastkových plôch ponechaných na samovývoj.

### Spracovanie údajov

Základom metodického postupu spracovania výsledkov bolo zistenie drevinového zloženia (podľa kruhovej základne) na jednotlivých TVP v čase ich založenia a po vykonaní posledného merania, čo predstavuje obdobie 45 až 55 rokov. Zistené zmeny sme porovnali z hľadiska drevinového zloženia s výhľadovým cieľom pre konkrétny lesný typ podľa HANČINSKÉHO (1972) a tiež podľa modelov obhospodarovania lesa (RIZMAN et al. 2007). Z nameraných hrúbok  $d_{1,3}$  sa vypočítal ich aritmetický priemer. Z kruhovej základni na každej TVP sa z dvoch susedných opakovaných meraní vypočítal celkový bežný ročný prírastok na kruhovej základni:

$$CBP_t = \frac{BA1_{t_2} - BA2_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

kde  $CBP_t$  – celkový bežný ročný prírastok na kruhovej základni ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ),

$BA1_{t_2}$  – kruhová základňa združeného porastu vo veku  $t_2$ ,

$BA2_{t_1}$  – kruhová základňa hlavného porastu vo veku  $t_1$ ,

$t_2, t_1$  – vek porastu pri opakovanom a predchádzajúcom meraní.

Celková produkcia kruhovej základne (CGPt) na každej TVP sa vypočítala ako súčet kruhovej základne hlavného porastu (Gt) pri poslednom meraní a úbytku samoprievádzaním (Si) za celé sledované obdobie (i).

$$CGPt = Gt + \sum_{i=1}^t Si$$

Podkladový materiál bol spracovaný bežnými biometrickými a štatistickými metódami v zmysle štandardných metodík (SCHEER, SEDMÁK 2014). Pre výpočet základných štatistických charakteristík sa použil program Excel a QC Expert, verzia 3.3 (KUPKA 2013).

## VÝSLEDKY

### Drevinové zloženie

Percentuálne zastúpenie drevín podľa kruhovej základne na jednotlivých sériách TVP uvádza tab. 2. Na TVP *Stará Píla* bol pri východiskovom stave podiel ihličnanov na ploche I-0 50 % a na ploche II-0 to bolo 80 %. V rámci jednotlivých drevín mala jedľa biela najväčšie zastúpenie na ploche II-0 a buk lesný na I-0. Naopak najmenšie zastúpenie na oboch plochách mal smrek obyčajný (16 % a 20 %) spolu s ostatnými listnáčmi (javor horský, vrba rakyta, brest horský, jarabina mukyňa, jarabina vtáčia), ktoré tvorili menej ako 1 %.

**Tab. 1.**  
Základné charakteristiky o trvalých výskumných plochách (TVP)  
Basic characteristics of permanent research plots (PRP)

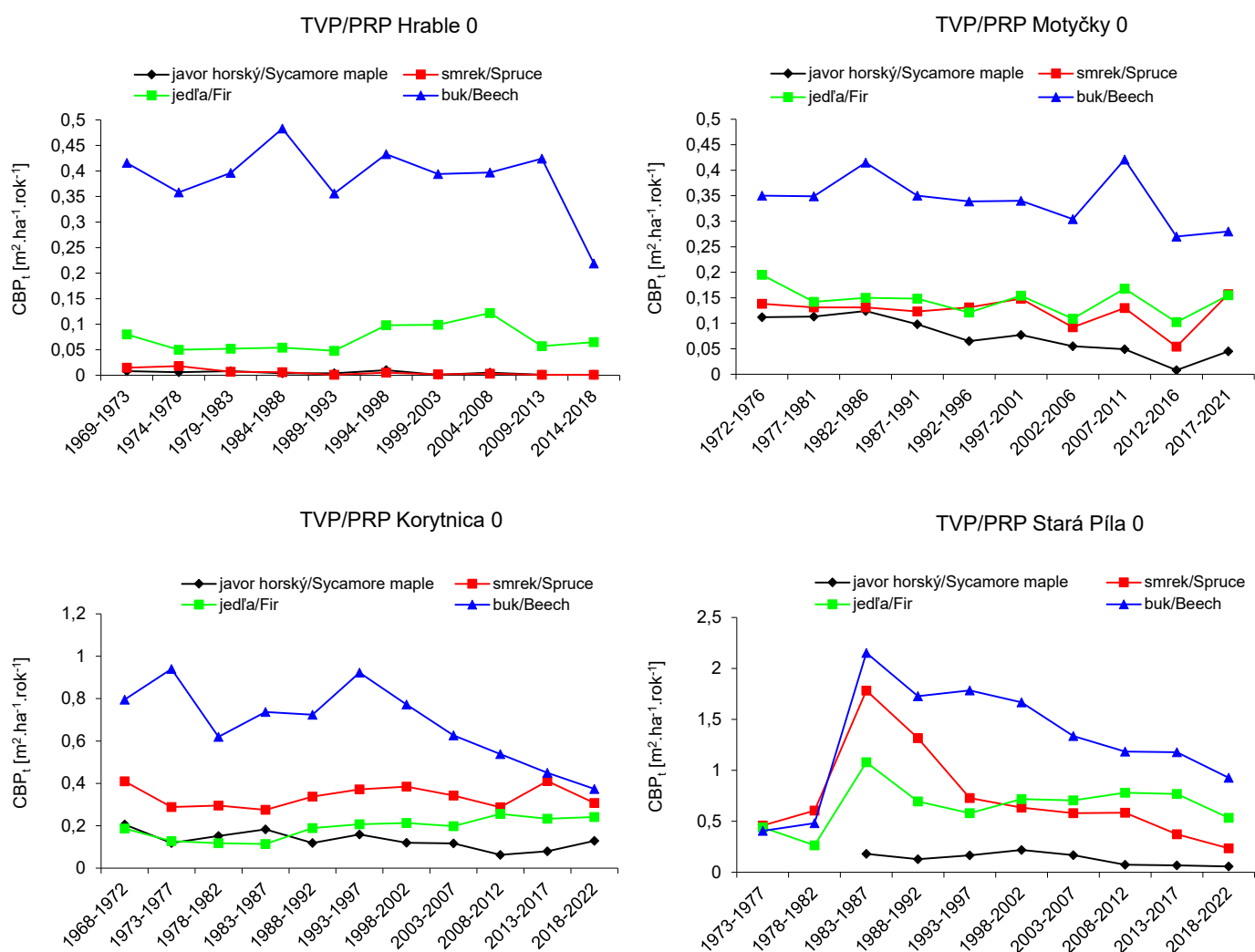
Charakteristika/Characteristics	TVP/PRP Stará Píla I	TVP/PRP Stará Píla II	TVP/PRP Motyčky	TVP/PRP Korytnica I, II, III	TVP/PRP Hrable
Založenie TVP (rok)/ Establishment of PRP (year)	1972	1972	1971	1967	1968
Vek/age (roky/years)	sm 17, jd 17, bk 15	sm 17, jd 19, bk 15	sm 46, jd 41, bk 48	sm 58, jd 50, bk 50	sm 80, jd 82, bk 74
Geomorfologický celok/ Geomorphologic unit	Nizke Tatry	Nizke Tatry	Veľká Fatra	Nizke Tatry	Volovské vrchy
Expozícia/Exposition	Z/West	V/East	SV/North-East	SV/North-East	Z/West
Nadmorská výška/Altitude (m)	690–720	690–720	810–870	930–970	820–840
Sklon/Inclination (stupeň/degree)	40	30–40	30	30–35	25
Geologický podklad/Parent rock	Micaschist slope deposits	Micaschist slope deposits	Dolomite	Triassic Schist	Phyllite and quartzo-phyllite slope deposits
Pôdny typ/Soil unit	Cambisol	Cambisol	Rendzic Leptosol/Calcaric Cambisol	Cambisol/Umbritic Leptosol	Haplic Cambisol/Dystric Cambisol
Lesný vegetačný stupeň/ Altitudinal forest zone	5. jedľovo-bukový/Fir-Beech	5. jedľovo-bukový/Fir-Beech	5. jedľovo-bukový/Fir-Beech	6. smrekovo-bukovo-jedľový/ Spruce-Beech-Fir	5. jedľovo-bukový/Fir-Beech
Ekologický rad/Ecological rank	A/B	B/C	B/C	B/C	B
Hospodársky súbor/Management complex	55	55	55	65	55
Hospodársky súbor lesných typov/ Management complex of forest types	511 Fertile fir beechwoods	511 Fertile fir beechwoods	511 Fertile fir beechwoods	611 Fertile beech-fir sprucewoods	511 Fertile fir beechwoods
Skupina lesných typov/Ecosite	<i>Fageto-Abietum</i> n.st.	<i>Fageto-Aceretum</i> n.st.	<i>Fageto-Aceretum</i> n.st.	<i>Fageto-Aceretum</i> v.st.	<i>Abieto-Fagetum</i> n.st.
Priemerná ročná teplota/ Average annual temperature (°C)	6,8	6,8	5,8	4,2	6,0
Priemerný ročný úhrn zrážok/Sum of average annual precipitation (mm.rok <sup>-1</sup> )	1100	1100	1085	1200	900

Captions: sm – spruce; jd – fir; bk – beech

**Tab. 2.**  
Drevinové zloženie podľa kruhovej základne na trvalých výskumných plochách (TVP)  
Tree species composition according to basal area on permanent research plots (PRP)

TVP/PRP	Plocha/ Subplot	Vek/Age (roky/years)	Drevina/Tree species (%)			
			Buk/Beech	Jedľa/Fir	Smrek/Spruce	Ostatné/Others
Stará Píla	I-0	17–21	50,0	33,9	16,1	-
		61–65	75,4	18,9	5,1	0,6
	II-0	17–21	19,6	60,1	19,6	0,7
		61–65	31,1	30,0	26,9	12,0
Motyčky	II-0	41 – 48	23,5	50,9	15,7	9,9
		86 – 93	47,8	20,8	18,8	12,6
Korytnica	I-0	50 – 58	46,2	25,3	24,3	4,2
		105 – 113	47,3	18,1	30,9	3,7
	III-0	50 – 58	55,7	17,1	16,3	10,9
		105 – 113	51,9	11,5	23,4	13,2
Hrable	0	74 – 82	59,8	24,3	3,0	12,9
		124 – 132	80,5	17,9	-	1,6

Vysvetlivky/Captions: 0 – kontrolná plocha/plot with no treatment (control)



**Obr. 1.**  
Pribeh celkového bežného ročného prírastku na kruhovej základni (CBP<sub>t</sub>) na trvalých výskumných plochách (TVP)

**Fig. 1.**  
Course of total current annual basal area increment (CBP<sub>t</sub>) on permanent research plots (PRP)

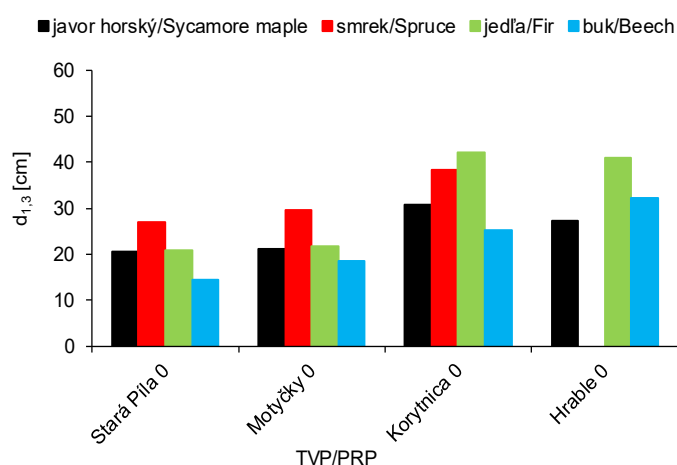
Na TVP *Motyčky* bol pri východiskovom stave podiel ihličnanov 67 %. Z jednotlivých drevín mala najvyššie zastúpenie jedľa biela (52 %). Druhou najzastúpanejšou drevinou bol buk lesný (24 %). V poradí treťou drevinou bol smrek obyčajný s 16 % zastúpením. Ostatné dreviny mali charakter prímies (borovica lesná 2 %, javor horský 7 %), resp. ojedinelý výskyt (jarabina vtáčia, jarabina mukyňa).

Pri východiskovom stave na TVP *Korytnica* (I-0) bol podiel ihličnanov 50 %. Podľa drevín mal na začiatku najvyššie zastúpenie buk lesný 46 %. Zastúpenie smreka obyčajného a jedle bielej bolo vyrovnané a činilo 25 %. Z ostatných drevín mal menšie zastúpenie ešte javor horský (3 %). Na ploche III-0 bol podiel ihličnanov 33 % a najvyššie zastúpenie z drevín mal buk lesný (56 %) a najnižšie javor horský 11 %.

Na TVP *Hrable*, ktorá bola založená v najstaršom zmiešanom poraste z analyzovaných TVP, bol pri východiskovom stave podiel ihličnanov 27 %. Najviac zastúpený bol buk lesný (60 %) a potom jedľa biela (24 %).

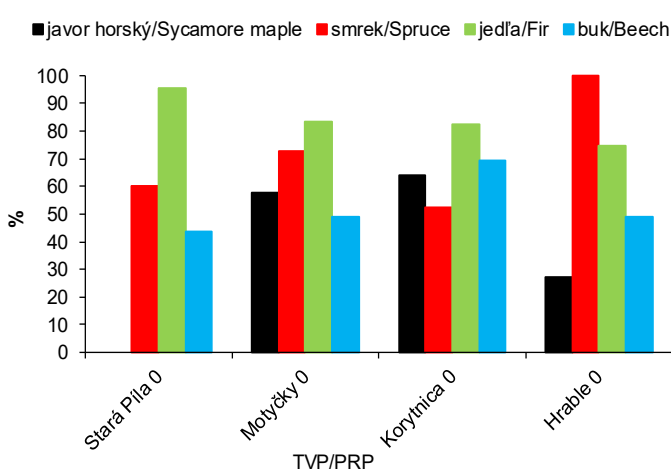
**Celkový bežný ročný prírastok na kruhovej základni (CBP<sub>t</sub>)**

Na obr. 1 je znázornený priebeh CBP<sub>t</sub> na sledovaných TVP. Pre TVP, ktoré majú po dve kontrolné plochy (*Stará Píla* a *Korytnica*) uvádzame jeden graf, kde sme zlúčili obe kontrolné plochy. Na všetkých TVP dosiahol buk lesný najvyššie hodnoty CBP<sub>t</sub> (tab. 3) hoci jeho priemerná hrúbka  $d_{1,3}$  (tab. 3) bola okrem najstaršej (*TVP Hrable*) na všetkých plochách najnižšia (obr. 2).



**Obr. 2.** Hodnoty priemernej hrúbky  $d_{1,3}$  na trvalých výskumných plochách (TVP) pri poslednom meraní

**Fig. 2.** Values of mean diameter at breast height on permanent research plots (PRP) at the last measurement



**Obr. 3.** Percento samopriedovania z celkovej produkcie podľa počtu stromov za celé obdobie sledovania

**Fig. 3.** Percentage of self-thinning from the total production according to the number of trees for the entire investigated period

**Tab. 3.** Hodnoty dendrometrických charakteristík na trvalých výskumných plochách (TVP) pri poslednom meraní  
Values of measured characteristics on permanent research plots (PRP) at the last measurement

TVP/PRP	Drevina/Tree species											
	Buk/Beech			Jedľa/Fir			Smrek/Spruce			Javor horský/Sycamore maple		
	CBP <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )	$d_{1,3}$ (cm)	PS %	CBP <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )	$d_{1,3}$ (cm)	PS %	CBP <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )	$d_{1,3}$ (cm)	PS %	CBP <sub>t</sub> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )	$d_{1,3}$ (cm)	PS %
Stará Píla	0,927	14,6 ±8,1	43,6	0,535	20,8 ±11,8	95,3	0,235	27,1 ±12,3	60,1	0,057	20,5 ±8,8	-
Motyčky	0,280	18,6 ±11,0	48,8	0,155	21,6 ±9,2	83,5	0,157	29,7 ±14,3	72,7	0,045	21,1 ±6,3	57,6
Korytnica	0,374	25,2 ±12,7	69,3	0,241	42,3 ±16,0	82,5	0,308	38,3 ±15,3	52,3	0,129	30,7 ±8,8	64,0
Hrable	0,219	32,1 ±12,3	49,1	0,065	41,0 ±19,5	74,6	0,001	-	100	0,001	27,2 ±0,9	27,3

Vysvetlivky/Captions: CBP<sub>t</sub> – Celkový bežný ročný prírastok na kruhovej základni/Total current annual basal area increment; PS – Percento samopriedovania/Percentage of self-thinning

## Samopreriedovanie

Proces samopreriedovania počas celého sledovania na TVP sme vyjadрили percentuálnou hodnotou z celkovej produkcie podľa počtu stromov (obr. 3). Potvrdil sa najvyšší úbytok jedle bielej s výnimkou najstaršej TVP Hrable, kde smrek vymizol. Taktiež úbytok samopreriedovaním listnatých drevín bol okrem TVP Korytnica nižší v porovnaní s ihličnatými drevinami.

## DISKUSIA

Na TVP Stará Píla došlo po 45 rokoch k zníženiu podielu ihličnanov, a to na 24 % na I-0 a 57 % na II-0. V rámci jednotlivých drevín najväčší úbytok zaznamenala jedľa biela o 15 % na I-0, kým na II-0 až o 30 %. Na druhej strane sa na oboch plochách zvýšilo zastúpenie buka lesného, a to na I-0 o vyše 15 % a na ploche II-0 o takmer 12 %. Čo sa týka smreka obyčajného, na I-0 sa znížil jeho podiel o 11 %, ale na II-0 sa zvýšil o 7 %. Zaznamenali sme aj zvýšenie podielu ostatných listnatých drevín na takmer 8 % na II-0, pričom najviac pri javore horskom. Porovnanie zisteného zastúpenia drevín s výhľadovým cieľom pre daný lesný typ podľa HANČINSKÉHO (1972) ukázalo, že II-0 sa len minimálne odlišuje od požadovaného zloženia pri nižšom podiele smreka obyčajného na úkor vyššieho podielu jedle bielej (5 %). Na I-0 sú rozdiely od výhľadového cieľa výraznejšie, lebo smreka obyčajného i jedle bielej je oveľa menej ako buka lesného, kde je jeho zastúpenie dominantné (75 %). Porovnanie s modelmi RIZMANA et al. (2007) ukázalo prakticky rovnaký trend na oboch plochách, len percentuálne rozdiely boli vyššie oproti modelovému drevinovému zloženiu.

Zistené zmeny v zastúpení drevín potvrdzujú známu skutočnosť o celkovom ústupe jedle bielej z lesných porastov v ostatných desaťročiach (MÁLEK 1983; BECKER 1987), keď jej pôvodné zastúpenie v lesoch Slovenska 14,01 % (VLADOVIČ 2003) kleslo na súčasných 4,0 % (Zelená správa 2021). Ďalšou príčinou je tiež silná konkurenčná schopnosť buka lesného voči iným drevinám v oblastiach svojho rastového optima (živné stanovištia, nadmorská výška 400–700 m), ktorá je v ostatných rokoch výrazne zvýšená v súvislosti s posunom areálov drevín v dôsledku dopadov klimatickej zmeny (Noss 2001). Treba podotknúť, že vývoj drevinového zloženia na TVP Stará Píla bol súčasťou ovplyvnený aj snehovou kalamitou v roku 1993. V dôsledku nej sa z jednotlivých drevín zaznamenal najväčší úbytok smreka obyčajného (ŠTEFANČÍK I. 1999).

Na TVP Motyčky klesol po 45 rokoch podiel ihličnanov na 40 %. V rámci jednotlivých drevín sa znížilo zastúpenie jedle bielej až o 30 %, kým percentuálne zastúpenie smreka obyčajného, buka lesného a javora horského sa zvýšilo. V prípade smreka iba o 3 %, ale v prípade buka dvojnásobne, t. z. o 24 %. Minimálne sa zvýšilo aj zastúpenie borovice lesnej a javora horského. Porovnanie zastúpenia drevín s výhľadovým cieľom podľa HANČINSKÉHO (1972) potvrdilo nižšie zastúpenie smreka obyčajného a javora horského, resp. optimálne zastúpenie jedle bielej, ale vyššie zastúpenie buka lesného. Celkovo však odchýlky od výhľadového drevinového zloženia nepresiahli 13 %. Porovnanie s modelmi RIZMANA et al. (2007) ukázalo malý rozdiel iba v zastúpení jedle bielej (minimálne odporúčané je 5 %). V súvislosti s drevinovým zložením uvádza ŠTEFANČÍK L. (1990) pre dané prírodné pomery na TVP Motyčky ako vhodné 30–40 % zastúpenie jedle bielej, 14–18 % zastúpenie smreka obyčajného s tým, že by nemalo klesnúť pod 10 %. Z hľadiska ekologickej stability považuje ako vhodné zastúpenie buka 30–40 % a pre javor 6 %. Vidno, že s výnimkou nižšieho zastúpenia jedle bielej sa súčasné drevinovú zloženie prakticky zhoduje so stanoveným modelom ŠTEFANČÍK L. (1990), čo je v súlade s konštatovaniami KONÔPKU, KODRÍKA (1976), ktorí tiež pre zvýšenie stability lesných porastov voči vetru a snehu odporúčajú minimálne 30 % zastúpenie listnatých drevín.

Po 55 rokoch sa na TVP Korytnica podiel ihličnanov prakticky nezmenil, resp. tvoril 49 % na I-0, resp. 35 % na ploche III-0. V rámci jednotlivých drevín sa na oboch plochách zvýšil podiel smreka obyčajného o 7 % a tiež buka lesného o 1 % na ploche I-0. Na druhej strane sa znížilo zastúpenie buka na ploche III-0 a jedle bielej na oboch plochách o 7 %, resp. 6 %. Porovnanie zastúpenia drevín na tejto TVP s výhľadovým cieľom podľa HANČINSKÉHO (1972) rovnako aj s modelmi RIZMANA et al. (2007) ukázalo trochu vyšší podiel buka lesného a nižší podiel javora horského. Uvedený vývoj zastúpenia drevín na TVP Korytnica možno vysvetliť tým, že rastové podmienky na tejto ploche (6. lesný vegetačný stupeň, nadmorská výška 930–970 m) sa viac približujú k optimálnym pre smrek obyčajný. Pokiaľ ide o jedlu bielu, na jej znížení zastúpenia vplývala aj skutočnosť, že predmetné porasty boli v mladom a strednom veku pestovne zanedbané, čo sa pri jedli bielej prejavilo v redukcii korún, ich preriedovaní, resp. úbytku asimilačných orgánov (ŠTEFANČÍK L. 1977).

Naše výsledky o úbytku jedle bielej zo zmiešaných porastov korešpondujú aj s poznatkami KANTORA, PAŘÍKA (1998), ktorí vyhodnotili 35-ročné zmeny drevinového zloženia zmiešaného porastu smreka, jedle, borovice, smrekovca a buka vo veku 65 rokov, ktorý bol ponechaný na samovývoj. Autori zistili výrazný pokles zastúpenia jedle bielej za 20 rokov z 28 % na 17 %. Buk lesný a smrek obyčajný naopak zaznamenali zvýšenie zastúpenia, a to o 5 %, resp. o 9 %, čo v prípade smreka obyčajného korešponduje s našim zistením na TVP Korytnica.

Na TVP Hrable bol zaujímavý vysoký podiel brezy previsnutej, čo je výsledkom pestovného zanedbania porastu v jeho mladších rastových fázach. Za 50 rokov došlo k zníženiu podielu ihličnanov na 18 %, pričom smrek obyčajný úplne vymizol. Súvisí to s celkovým odumieraním smreka obyčajného v tejto oblasti Spiša, ktoré sa tu pozoruje od konca 70. rokov minulého storočia. Za príčinu tohto javu sa v minulosti považoval najmä vplyv imisií (ŠTEFANČÍK L. et al. 1987). V súčasnosti je odumieranie smreka obyčajného celoeurópskym problémom (HLÁSNY, SÍTKOVÁ 2010; PAJTIK et al. 2018). Podiel jedle bielej sa znížil o 6 %. Za 50 rokov buk lesný zvýšil svoje zastúpenie až o 20 %. Je to opäť dôsledok ekologických podmienok, ktoré najlepšie vyhovujú buku lesnému, pred jedľou bielou a smrekom obyčajným. Rovnaké poznatky uvádzajú aj KONÔPKA et al. (1997), ktorí zistovali v danej oblasti poškodenie porastov. Zistili tu zhoršovanie zdravotného stavu ihličnatých drevín za obdobie 1988–1995 a zlepšenie zdravotného stavu buka lesného. Naše výsledky korešpondujú aj s poznatkami KANTORA, PAŘÍKA (1998), ktorí zistili výrazný pokles zastúpenia jedle bielej (79 % za obdobie 35 rokov) pri hodnotení zmien drevinového zloženia 65-ročného zmiešaného porastu smreka, jedle, borovice, smrekovca a buka, ktorý bol ponechaný na samovývoj. Porovnanie zastúpenia drevín s výhľadovým cieľom podľa HANČINSKÉHO (1972) ukázalo výrazné odlišnosti od navrhovaného zloženia (žiadne zastúpenie smreka obyčajného na úkor dvojnásobne zvýšeného podielu buka lesného). Podobne značne odlišné bolo aj drevinové zloženie v porovnaní s modelom RIZMANA et al. (2007) pre daný lesný typ.

Napriek tomu, že v našej štúdii sa buk ukázal ako jednoznačne najvitalnejšia drevina v rámci skúmanej porastovej zmesi existujú práce, ktoré spochybňujú adaptabilitu buka v súvislosti s klimatickou zmenou, napr. RENNENBERG et al. (2005), GESSLER et al. (2007), DIACONU et al. (2017) upozorňujú na citlivosť buka na suchu, resp. na druhej strane na nasýtenie vodou a záplavy. To všetko podľa uvedených autorov robí buk rizikovým a pestovné postupy s tým musia počítať v rámci trvalo udržateľného rozvoja lesa. Podobne ČERMÁK (2010) varuje pred prílišným optimizmom pre drevinu buk ako náhrady za smrek v súvislosti s klimatickou zmenou. Argumentuje, že pri obmedzenej dostupnosti vody môže dôjsť k embólii v xyléme a tiež môže byť obmedzená absorpcia živín. Problematické je aj uplatnenie buka na kyslých stanovištiach. Upozorňuje, že reakcie buka sú ovplyvnené ekotypom,

nadmorskou výškou a vegetačným stupňom. Rizikom sú aj biotické faktory, najmä napadnutie hubami rodu *Phytophthora*. Preto odporúča nepoužívať buk ako plošnú náhradu miesta smreka chradnúceho, ale preferovať bohatú drevinovú skladbu. Pri odolnosti buka na sucho záleží aj na jeho proveniencii (ROSE et al. 2009), pričom z hľadiska pôsobenia klimatickej zmeny sa považuje zastúpenie buka v zmesi s jedľou a smrekom za priaznivé (GOISSER et al. 2016; MARTIN-BLANGY et al. 2021).

Otázkou je tiež optimálne zastúpenie buka v predmetnej porastovej zmesi. V našej štúdii je to značne variabilné, keď sa pohybuje od 31 % vo veku 61 rokov až do 80 % vo veku 124 rokov. V tejto súvislosti AMMER et al. (2005) považujú 30 %-né zastúpenie buka v Nemecku za vhodné v súvislosti s klimatickou zmenou. MARKIV, PITIKIN (1990) odporúčajú 20–30 %-ný podiel buka, resp. PASTERNAK et al. (1979) rovnako 30 %. AMBROS (1968) odporúča 30–50 %-ný podiel listnatých drevín. Podobne 20 % odporúčajú aj (JAWORSKI et al. 2001). Rovnaký trend zvýšenia zastúpenia buka po 35 rokoch o 30 % a zníženie podielu jedle o 50 % zistili v zmiešanom poraste aj KNOTT, KANTOR (2000). Po 45 rokoch zistil AMBROS et al. (2007) ústup jedle a naopak zvýšenie podielu buka v CHKO BR Poľana.

Smrek sa ukázal ako drevena s viac-menej vyrovnaným až mierne zvýšeným podielom za sledované obdobie. Aj keď na najstaršej TVP *Hrable* už smrek vymizol, čo je však dôsledok jeho vysokého veku, a tým aj jeho hrúbkových dimenzií. Potvrdili to výsledky DING et al. (2017), ktorí zistili, že odolnosť voči suchu sa u jedincov smreka obyčajného výrazne znížila s veľkosťou jedincov. Tiež konštatujú, že smreku prospieva druhová zmes s bukom.

Extrémne sucho výrazne znížilo rast smreka, ale nie rast buka (RÖTZER et al. 2017).

Najväčší úbytok jedle samoprirodzením sa potvrdil na takmer všetkých sledovaných plochách okrem smreka na TVP *Hrable*. Jeho prírastok na kruhovej základni bol spolu s jedľou vždy nižší ako pri buku. Výsledky výskumu ďalších autorov (SPRAUER, NAGEL 2015; VACEK et al. 2021) potvrdili, že výška prírastku v zmiešanom poraste závisela od percentuálneho zamiešania, veku, stanovišťa a zakmenenia. BOŠEĽA et al. (2013) zistili najvyšší hrúbkový rast jedle pri hrúbke jedle DBH 58 cm, kým prírastok smreka klesal po dosiahnutí maxima medzi 50 až 60 cm dbh. Buk dosiahol maximálny potenciálny hrúbkový prírastok oveľa skôr ako ihličnany pri dbh 27 cm. To zodpovedá aj výsledkom z našich TVP.

## ZÁVER

V príspevku sa porovnal vývoj drevinového zloženia v štyroch sériách zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastoch, ktoré sa dlhodobo ponechali na samovývoj. Vyhodnotili sa zmeny drevinového zloženia za obdobie 45 až 55 rokov, ktoré sa porovnali s výhľadovým cieľom pre konkrétny lesný typ podľa HANČINSKÉHO (1972) a modelmi obhospodarovania lesa podľa RIZMANA et al. (2007). Na všetkých TVP sme zistili určité odchýlky od „požadovaného“ drevinového zloženia. Zistili sme najmä vyššie zastúpenie buka lesného na úkor smreka obyčajného a na niektorých plochách aj na úkor jedle bielej a cenných listnáčov (javor horský). Tento trend sa potvrdil aj pri celkovom bežnom ročnom prírastku na kruhovej základni za celé sledované obdobie, keď najvyšší bol vždy pre drevinu buk. Podobne aj pri samoprirodzenom úbytku sa potvrdil najvyšší úbytok jedle bielej s výnimkou najstaršej TVP *Hrable*, kde smrek vymizol. Úbytok samoprirodzením listnatých drevín bol okrem TVP *Korytnica* všade nižší v porovnaní s ihličnatými drevinami.

Zistené zmeny v zastúpení drevín potvrdili známu skutočnosť o celkovom ústupe jedle bielej z lesných porastov v ostatných desaťročiach.

Ďalšou príčinou je tiež silná konkurenčná schopnosť buka voči iným drevinám v oblastiach svojho rastového optima (živné stanovišťa, nadmorská výška 400–700 m). K rozdielnej tolerancii drevín prispievajú tiež účinky klimatickej zmeny.

## Podakovanie:

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy APVV-15-0032 a APVV-17-0416, resp. projektu „EPRIBLES“, financovaný z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301) a projektu FOMON (ITMS 313011V465).

## LITERATÚRA

- ADAMIC M., DIACI J., ROZMAN A., HLADNIK D. 2017. Long-term use of uneven-aged silviculture in mixed mountain Dinaric forests: a comparison of old-growth and managed stands. *Forestry* (Oxford), 90: 279–291. DOI: 10.1093/forestry/cpw052
- AMBROS Z. 1968. Effect of various mixtures of tree species on certain soil properties and on timber production. *Lesnícky časopis*, 14 (11–12): 973–984. [In Slovak]
- AMBROS Z., UJHÁZY K., UJHÁZOVÁ M., NIČ J. 2007. Změny vegetace horských smíšených lesů v CHKO-BR Poľana za posledních 45 let. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, XLIX: 7–29.
- AMMER C., ALBRECHT L., BORCHERT H., BROSINGER F. et al. 2005. Future suitability of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Central Europe: critical remarks concerning a paper of Rennenberg et al. (2004). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 176 (4): 60–67. [In German]
- ASSMANN E. 1961. *Waldetragskunde*. München-Bonn-Wien, BVL Verlagsgesellschaft: 490 s.
- BACHMANN M. 1997. Zum Einfluss von Konkurrenz auf das Einzelbaumwachstum in Fichten-Tannen-Buchen Bergwäldern. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 168: 127–130.
- BAUHUS J., FORRESTER D.I., PRETZSCH H. 2017. From observations to evidence about effects of mixed-species stands. In: Pretzsch H. et al. (eds.): *Mixed-species forests. Ecology and management*. Berlin, Springer: 27–71.
- BECKER M. 1987. Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Étude écologique et dendrochronologique. *Annals of Forest Science*, 44: 379–402.
- BOŠEĽA M., PETRÁŠ R., ŠEBEŇ V., MECKO J., MARUŠÁK R. 2013. Evaluating competitive interactions between trees in mixed forests in the Western Carpathians: Comparison between long-term experiments and Sibyla simulations. *Forest Ecology and Management*, 310: 577–588. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.09.005
- BOSELA M., TOBIN B., ŠEBEŇ V., PETRÁŠ R., LAROCQUE G. 2015. Different mixtures of Norway spruce, silver fir, and European beech modify competitive interactions in central European mature mixed forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 45 (11): 1577–1586.
- BRAVO-OVIEDO A., PRETZSCH H., DEL RIO M. (eds.) 2018. *Dynamics, silviculture and management of mixed forests*. Cham, Springer International Publishing: 420 s.
- BUONGIORNO J., PEYRON J-L., HOULLIER F., BRUCIAMACCHIE M. 1995. Growth and management of mixed-species, uneven-aged forests in the French Jura: implications for economic returns and tree diversity. *Forest Science*, 41 (3): 397–429. DOI: 10.1093/forestscience/41.3.397

- CASTAÑO-SANTAMARÍA J., LÓPEZ-SÁNCHEZ C.A., OBESO J.R., BARRIO-ANTA M. 2019. Modelling and mapping beech forest distribution and site productivity under different climate change scenarios in the Cantabrian Range (North-western Spain). *Forest Ecology and Management*, 450: 117488. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117488
- ČERMÁK P. 2010. Potenciální rizika pěstování buku lesního v podmínkách klimatických změn. *Lesnická práce*, 89 (12): 776–777.
- ČERMÁK P., MIKITA T., TRNKA M., ŠTĚPÁNEK P., JUREČKA F., KUSBACH A., ŠEBESTA J. 2018. Changes in climate characteristics of forest altitudinal zones within the Czech Republic and their possible consequences for forest species composition. *Baltic Forestry*, 25 (2): 234–248.
- DIACONU D., KAHLE H-P., SPIECKER H. 2017. Thinning increases drought tolerance of European beech: a case study on two forested slopes on opposite sides of a valley. *European Journal of Forest Research*, 136: 319–328. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1033-8>
- DING H., PRETZSCH H., SCHÜTZE G., RÖTZER T. 2017. Size-dependence of tree growth response to drought for Norway spruce and European beech individuals in monospecific and mixed-species stands. *Plant Biology*, 19 (5): 709–719. DOI: 10.1111/plb.12596
- FORRESTER D.I. 2017. Ecological and physiological processes in mixed versus monospecific stands. In: Pretzsch H et al. (eds.): *Mixed-species forests*. Ecology and Management. Berlin, Springer: 73–115.
- FREIST H. 1967. Die Durchforstung der Mischbestände aus Buche und Fichte. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 22 (30): 510–511.
- FRISCHBIER N., NIKOLOVA P.S., BRANG P., KLUMPP R., AAS G., BINDER F. 2019. Climate change adaptation with non-native tree species in Central European forests: early survival in a multi-site field trial. *European Journal of Forest Research*, 138: 1015–1032. DOI: 10.1007/s10342-019-01222-1
- GESSLER A., KEITEL C., KREUZWIESER J., MATYSSEK R., SEILER W., RENNENBERG H. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0107-x>
- GOISSER M., GEPPERT U., RÖTZER T., PAYA A., HUBER A., KERNER R., BAUERLE T., PRETZSCH H. H., PRITSCH K., HÄBERLE K.H., MATYSSEK R., GRAMS T.E.E. 2016. Does belowground interaction with *Fagus sylvatica* increase drought susceptibility of photosynthesis and stem growth in *Picea abies*? *Forest Ecology and Management*, 375: 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.032>
- HANČINSKÝ L. 1972. Lesné typy Slovenska. Bratislava, *Príroda*: 307 s.
- HAUSSER K., TROEGER R. 1967. Beitrag zur Frage der Massen und Wertleistung gepflanzter Weisstannen und Fichtenbestände auf gleichen Standorten. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 138 (7): 150–157.
- HILMERS T., AVDAGIĆ A., BARTKOWICZ L., BIELAK K., BINDER F., BONČINA A., DOBOR L., FORRESTER D.I., HOBI M.L., IBRAHIMPAHIĆ A., JAWORSKI A., KLOPČIČ M., MATOVIĆ B., NAGEL TH. A., PETRÁŠ R., DEL RIO M., STAJIĆ B., UHL E., ZLATANOV T., TOGNETTI R., PRETZSCH H. 2019. The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry*, 92: 512–522. DOI:10.1093/forestry/cpz035
- HINK V. 1972. Das Wachstum von Fichte und Tanne auf den wichtigsten Standortseinheiten des Einzelwuchsbezirks „Flächenschwarzwald“ (Südwürttemberg-Hohenzollern). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 143 (3/4): 80–85.
- HLADÍK M. 1992. Vývoj štruktúry a produkcie zmiešaného smrekovo-jedľovo-bukového porastu pri uplatňovaní zásad výberného hospodárskeho spôsobu. In: *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 34: 205–220.
- HLADÍK M. 1996. Prírodné podmienky hospodárenia, súčasná štruktúra lesného fondu. In: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. Bratislava, MŽP SR a SHMÚ: 12–18.
- HLÁSNY T., SITKOVÁ Z. (eds.) 2010. Spruce forest decline in the Beskids. Zvolen, National Forest Centre – Forest Research Institute Zvolen: 181 s. – ISBN 978-80-8093-127-8
- HLÁSNY T., TROMBIK J., BOŠELA M., MERGANIČ J., MARUŠÁK R., ŠEBEŇ V., ŠTĚPÁNEK P., KUBIŠTA J., TRNKA M. 2017. Climatic drivers of forest productivity in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234: 258–273. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.12.024
- HOCKENJOS F. 1968. Waldbauliche Erfahrungen im Fichten-Tannen-Buchenwald des Westschwarzwaldes. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 139: 13–18.
- ISBELL F., CRAVEN D., CONNOLLY J., LOREAU M., SCHMID B., BEIERKUHNEIN C., BEZEMER T.M., BONIN C., BRUELHEIDE H., DE LUCA E., EBELING A., GRIFFIN J.N., GUO Q., HAUTIER Y., HECTOR A., JENTSCH A., KREYLING J., LANTA V., MANNING P., MEYER S.T., MORI A.S., NAEEM S., NIKLAUS P.A., POLLEY H.W., REICH P.B., ROSCHER C., SEABLOOM E.W., SMITH M.D., THAKUR M.P., TILMAN D., TRACY B.F., VAN DER PUTTEN W.H., VAN RUIJVEN J., WEIGELT A., WEISSER W.W., WILSEY B., EISENHAEUER N. 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526: 574–577. DOI: 10.1038/nature15374
- JAWORSKI A., KOŁODZIEJ Z., STRZESKA T. 2001. Species composition, setup and structure of tree stands in the Osza Nature Reserve. *Sylvan*, 145 (4): 5–32.
- KAHN M., PRETZSCH H. 1997. Das Wachstumsmodell SILVA – Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 168 (6/7): 115–123.
- KANTOR P., PAŘÍK T. 1998. Produkční potenciál a ekologická stabilita smíšených lesních porostů v pahorkatinách – I. Jehličnatý porost s příměsí buku na kyselém stanovišti ŠLP Křtiny. *Lesnictví-Forestry*, 44: 488–505.
- KANTOR P., HURT V. 2003. Production potential and ecological stability of mixed forest stands in uplands – V. A mixed spruce/beech stand on a nutrient-rich site of the Křtiny Training Forest Enterprise. *Journal of Forest Science*, 46 (2): 61–75.
- KENNEL R. 1965. Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im rein- und Mischbestand. Teil I. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 136 (7): 149–161. Teil II. 173–189.
- KENNEL R. 1966. Soziale Stellung, Nachbarschaft und Zuwachs. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 85 (7/8): 193–204.
- KLOPČIČ M., MINA M., BUGMANN H., BONČINA A. 2017. The prospects of silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) in mixed mountain forests under various management strategies, climate change and high browsing pressure. *European Journal of Forest Research*, 36: 1071–1090. DOI: 10.1007/s10342-017-1052-5
- KNOTT R., KANTOR P. 2000. Produkční potenciál a ekologická stabilita smíšených lesních porostů v pahorkatinách – II. Bukojedlový



- porost na živném stanovišti ŠLP Křtiny. *Journal of Forest Science*, 46 (2): 61–75.
- KONÓPKA B., PAULENKA J., KONÓPKA J. 1997. Poškodenie ihličnatých porastov na Spiši. *Lesnictví-Forestry*, 43: 381–388.
- KONÓPKA J., KODRÍK J. 1976. Zásady ochrany lesných porastov voči mechanickému pôsobeniu vetra, snehu a námrazy. Zvolen, VÚLH: 43 s.
- KONÓPKA J., KONÓPKA B. 2019. Statická stabilita smrekových porastov – výsledky z dlhodobých meraní na výskumných plochách. Zvolen, NLC: 97 s. *Lesnícke štúdie č. 67/2019*.
- KORPEL Š. 1989. *Pralesy Slovenska*. Bratislava, Veda: 332 s.
- KRAMER H. et al. 1988. *Waldwachstumslehre*. Hamburg, Berlin, Verlag Paul Parey: 374 s.
- KUNCA A., ZÚBRIK M., GALKO J., VAKULA J., LEONTOVÝČ R., KONÓPKA B., NIKOLOV CH., GUBKA A., LONGAUEROVÁ V., MAĽOVÁ M., RELL S., LALÍK M. 2019. Salvage felling in the Slovak Republic's forests during the last twenty years (1998–2017). *Central European Forestry Journal*, 65 (1): 3–11.
- KUPKA K. 2013. QC.Expert 3.1. Uživatelský manuál. Pardubice, TryloByte: 266 s.
- LEBOURGEOIS F., EBERLÉ P., MÉRIAN P., SEYNAVE I. 2014. Social status-mediated tree-ring responses to climate of *Abies alba* and *Fagus sylvatica* shift in importance with increasing stand basal area. *Forest Ecology and Management*, 328: 209–218. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.05.038
- LEIBUNDGUT H., AUER C., WIELAND C. 1971. Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930-1965 im Sihlwald. In: *Mitteilungen Schweizische Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 47: 257–389.
- MAGIN R. 1954. Ertragskundliche Untersuchungen in montanen Mischwäldern. *Forstwissen Centralblatt*, 73 (3/4): 103–113.
- MÁLEK J. 1983. Problematika ekologie jedle bělokore a jejího odumírání. Praha, Academia: 112 s. *Studie ČSAV č.11/83*
- MARKIV P.D., PITIKIN A.I. 1990. Productivity of the silver fir forests of the Carpathian mountains. *Lesnoje chozjajstvo*, 12: 16–18. [In Russian]
- MARTIN-BLANGY S., CHARRU M., GÉRARD S., JACTEL H., JOURDAN M., MORIN X., BONAL D., 2021. Mixing beech with fir or pubescent oak does not help mitigate drought exposure at the limit of its climatic range. *Forest Ecology and Management*, 482: 118840. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118840
- MÍČHAL I. 1969. Vliv různé dřevinné skladby na stav půdy a dřevní produkci v lesních typech jedlových bučin. II část. *Lesnictví*, 15 (5): 403–427.
- MOLOTKOV P.I. 1966. Bukovyje lesa i chozjajstvo v nich. Moskva, Izd. Lesn. Prom.: 224 s. [In Russian]
- MONSERUD R.A., STERBA H. 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even and uneven aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 80: 57–80. DOI: 10.1016/0378-1127(95)03638-5
- NLC. 2009. Pracovné postupy hospodárskej úpravy lesov. Zvolen, NLC: 147 s.
- NLC. 2021. Súhrnné informácie o stave lesov SR 2021. Zvolen, Národné lesnícke centrum – Ústav lesných zdrojov a informatiky. [Nepublikované]
- Noss R.F. 2001. Beyond Kyoto: Forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology*, 15 (3): 578–590. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2001.015003578.x
- NOVÁK J., SLODIČÁK M. 2009. Thinning experiment in the spruce and beech mixed stands on the locality naturally dominated by beech – growth, litter-fall and humus. *Journal of Forest Science*, 55 (5): 224–233.
- NOVÁK J., DUŠEK D., SLODIČÁK M., KACÁLEK D. 2017. Importance of the first thinning in young mixed Norway spruce and European beech stands. *Journal of Forest Science*, 63 (6): 254–262.
- PAJTÍK J., ČIHÁK T., KONÓPKA B., MERGANIČOVÁ K., FABIÁNEK P. 2018. Annual tree mortality and felling rates in the Czech Republic and Slovakia over three decades. *Central European Forestry Journal*, 64 (3-4): 238–248.
- PASTERNAK P.S., ČERNYAVSKI N.V., PRICHOĐKO N.N. 1979. Role of beech in accelerating soil processes in the mixed spruce forests of the Ukrainian Carpathians. *Lesovodstvo i Agrolesomeliacija*, 54: 33–38. [In Russian]
- PAUMER V. 1978. Analýza vekových a rastových pomerov v zmiešanej jedľovo-smrekovo-bukovej húštine. *Lesnícky časopis*, 24 (4): 273–283.
- PETRÁŠ R., BOŠELA M., MECKO J., OSZLÁNYI J., POPA I. 2014a. Height-diameter models for mixed-species forests consisting of spruce, fir, and beech. *Folia Forestalia Polonica, series A*, 56: 93–104.
- PETRÁŠ R., MECKO J., BOŠELA M., ŠEBEŇ V. 2014b. Objemové prírastky zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov. In: Štefančík I. (ed.): *Pestovanie lesa v strednej Európe*. Zvolen, Národné lesnícke centrum: 143–149. *Proceedings of Central European Silviculture*.
- PRETZSCH H. 1992. *Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände*. München, Frank: VIII, 332, 7 s. *Forstliche Forschungsberichte München*, 115.
- PRETZSCH H. 2003. The elasticity of growth in pure and mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Forest Science*, 49 (11): 491–501.
- PRETZSCH H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield, from measurement to model*. Berlin, Springer: 664 s.
- PRETZSCH H., SCHÜTZE G. 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research*, 128: 183–204. DOI: 10.1007/s10342-008-0215-9
- PRETZSCH H., BLOCK J., DIELER J., DONG P.H., KOHNLE U., NAGEL J., SPELLMANN H., ZINGG A. 2010. Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science*, 67 (7): 712 DOI: 10.1051/forest/2010037
- PRETZSCH H., BIBER P., SCHÜTZE G., UHL E., RÖTZER T. 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5: 4967. DOI: 10.1038/ncomms5967
- PRETZSCH H., BIBER P., UHL E., DAUBER E. 2015. Long-term stand dynamics of managed spruce-fir-beech mountain forests in Central Europe: structure, productivity and regeneration success. *Forestry (Oxford)*, 88 (4): 407–428. DOI: 10.1093/forestry/cpv013
- PRETZSCH H. 2017a. Size-structure dynamics in mixed versus monospecific stands. In: Pretzsch H. et al. (eds.): *Mixed-species forests. Ecology and management*. Berlin, Springer: 211–269.

- PRETZSCH H. 2017b. Individual tree structure and growth in mixed compared with monospecific stands. In: Pretzsch H. et al. (eds.): Mixed-species forests. Ecology and management. Berlin, Springer: 271–336.
- PRETZSCH H., FORRESTER D.I. 2017. Stand dynamics of mixed-species stands compared with monocultures. In: Pretzsch H. et al. (eds.): Mixed-species forests. Ecology and management. Berlin, Springer: 117–209.
- PRUDIČ Z. 1971. Vliv porostní skladby na produkci jedlobočin a odvození výhledového provozního cíle. Lesnictví, 17 (3): 271–286.
- RENNENBERG H., SEILER W., MATYSSEK R., GESSLER A., KREUZWIESER J. 2005. European beech (*Fagus sylvatica* L.) – a forest tree without future in the south of Central Europe? Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 175 (10/11): 210–224. [In German]
- RIZMAN I., FLACHBART V., HATALA N., DUPKALA J., HRONČEK J., KLIMENT P. 2007. Poznatková báza o zastúpení drevin v lesných typoch Slovenska, základný predpoklad pre tvorbu modelov TUOL. In: Lesnícka typológia a zisťovanie stavu lesa. Zborník zo seminára. Zvolen 3. 2. 2007. Zvolen, NLC: 36–37. – ISBN 978-80-8093-033-2
- RÖSSIGER J., KULLA L., BOŠELA M. 2019. Changes in growth caused by climate change and other limiting factors in time affect the optimal equilibrium of close-to-nature forest management. Central European Forestry Journal, 65 (3–4): 180–190.
- RÖTZER T., BIBER P., MOSER A., SCHÄFER C., PRETZSCH H. 2017. Stem and root diameter growth of European beech and Norway spruce under extreme drought. Forest Ecology and Management, 406: 184–195. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.09.070
- ROSE L., LEUSCHER CH., KÖCKEMANN B., BUSCHMANN H. 2009. Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? European Journal of Forest Research, 128 (4): 335–343. DOI: 10.1007/s10342-009-0268-4
- SCHEER L., SEDMÁK R. 2014. Biometria. Zvolen, Technická univerzita: 310 s.
- SCHÜTZ J.-P., GÖTZ M., SCHMID W., MANDALLAZ D. 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. European Journal of Forest Research, 125 (3): 291–302. DOI: 10.1007/s10342-006-0111-0
- SPRAUER S., NAGEL J. 2015. Aboveground productivity of pure and mixed Norway spruce and European beech stands. European Journal of Forest Research, 134: 781–792. DOI: 10.1007/s10342-015-0889-8
- ŠTEFANČÍK I. 1999. Vplyv snehovej kalamity na vývoj zmiešanej smrekovo-jedľovo-bukovej žrdoviny na výskumnej ploche Stará Píla. Lesnícky časopis-Forestry Journal, 45 (4): 181–204.
- ŠTEFANČÍK I., ŠTEFANČÍK L. 2001. Assessment of tending effect on stand structure and stability in mixed stands of spruce, fir and beech on research plot Hrable. Journal of Forest Science, 47: 1–14.
- ŠTEFANČÍK I., ŠTEFANČÍK L. 2002. Assessment of long-term tending in mixed stands of spruce, fir and beech on research plot Korytnica. Journal of Forest Science, 48: 100–114.
- ŠTEFANČÍK I., ŠTEFANČÍK L. 2003. Effect of long-term tending on qualitative and quantitative production in mixed stands of spruce, fir and beech on Motyčky research plot. Journal of Forest Science, 49: 108–124.
- ŠTEFANČÍK L. 1977. Prečistky a prebierky v zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastoch. Bratislava, Príroda: 92 s. Lesnícke štúdie č.25/1977.
- ŠTEFANČÍK L. et al. 1987. Technológia obhospodarovania lesov na strednom Spiši. (Záverečná správa). Zvolen, VÚLH: 96 s.
- ŠTEFANČÍK L. 1990. Vplyv prebierok na štruktúru a stabilitu zmiešaných smrekovo-jedľovo-bukových porastov. In: Vedecké práce VÚLH vo Zvolene, 39. Bratislava, Príroda: 111–128.
- VACEK S., ČERNÝ T., VACEK Z., PODRÁZSKÝ V., MIKESKA M., KRÁLÍČEK I. 2017. Long-term changes in vegetation and site conditions in beech and spruce forests of lower mountain ranges of Central Europe. Forest Ecology and Management, 398: 75–90. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.05.001
- VACEK Z. 2017. Structure and dynamics of spruce-beech-fir forests in Nature reserves of the Orlické hory Mts, in relation to ungulate game. Central European Forestry Journal, 63 (1): 23–34. <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0006>
- VACEK Z., PROKŮPKOVÁ A., VACEK S., CUKOR J., BÍLEK L., GALLO J., BULUŠEK D. 2020. Silviculture as a tool to support stability and diversity of forests under climate change: study from Krkonoše Mountains. Central European Forestry Journal, 66 (2): 116–129. DOI: 10.2478/forj-2020-0009
- VACEK Z., PROKŮPKOVÁ A., VACEK S., BULUŠEK D., ŠIMŮNEK V., HÁJEK V., KRÁLÍČEK I. 2021. Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. Forest Ecology and Management, 488: 119019. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119019
- VLAĐOVIČ J. 2003. Oblastné východiská a princípy hodnotenia drevinového zloženia a ekologickej stability lesov Slovenska. Bratislava, Príroda: 160 s. Lesnícke štúdie č. 57/2003.
- VON LŮPKE B., SPELLMANN H., VON LŮPKE B. 1997. Aspekte der Stabilität und des Wachstums von Mischbeständen aus Fichte und Buche als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen. Forstarchiv, 68 (5): 167–179.
- VON LŮPKE B. 2004. Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: Ein Spannungsfeld. Forstarchiv, 75 (2): 43–50.
- WALENTOWSKI H., FALK W., METTE-KUNZ J., BRÄUNING A., MEINARDUS C., ZANG C., SUTCLIFFE L., LEUSCHNER C. 2017. Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods: a case study in southern Germany. Annals of Forest Research, 60 (1):101–126.
- Zelená správa 2021. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2020 – Zelená správa. Bratislava, Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky; Zvolen, Národné lesnícke centrum, 21: 66 s.

## DEVELOPMENT OF SELECTED MIXED CONIFEROUS-BROADLEAVED STANDS UNDER SELF-DEVELOPMENT REGIME

### SUMMARY

In European conditions, mixed spruce-fir-beech stands are an important stand type of mixed forest complexes at higher altitudes in the Alps and Carpathian regions. Mixed mountain forests of European beech (*Fagus sylvatica* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst), and silver fir (*Abies alba* Mill.) cover a total area of more than 10 million hectares in Europe. The aim of this work was to determine the changes in the tree composition on long-term investigated permanent research plots in mixed (spruce-fir-beech) stands of the 5th and 6th forest vegetation zone, which were left to self-development for about 50 years.

The object of the research were permanent research plots (PRP) established in the past by Professor L. Štefančík for research into the issue of cultivation-production relations in mixed (spruce-fir-beech) stands of the 5th and 6th forest vegetation zone. The experimental material processed in this paper comes from 4 series of PRP and 6 subplots left for self-development. The basic characteristics of the PRP are shown in Table 1.

The basis of the methodological procedure for processing the results was the determination of the tree species composition (according to the basal area) on individual PRPs at the time of their establishment and after the last measurement, which represents a period of 45 to 55 years. We compared the detected changes from the tree species composition perspective with the long-range goal for a specific forest type according to HANČINSKÝ (1972) and also according to forest management models (RIZMAN et al. 2007). Their arithmetic mean was calculated from the measured DBH. From the basal area of each PRP, the total current annual basal area increment was calculated from two adjacent repeated measurements. The experimental material was processed using common biometric and statistical methods in accordance with standard methodologies (SCHEER, SEDMÁK 2014). Table 2 shows the percentage proportion of tree species according to the basal area on individual series of PRP.

We found certain deviations from the “required” tree species composition on all PRPs. In particular, we found a higher proportion of beech at the expense of spruce, and in some areas also at the expense of fir and valuable deciduous trees (*Sycamore maple*). This trend was also confirmed in the total current annual basal area increase for the whole monitored period, when it was always the highest for beech (Fig. 1), although the average diameter of beech was the lowest in all subplots except for the oldest PRP Hřable (Fig. 2). Similarly, even during self-thinning, the highest loss of fir was confirmed, with the exception of the oldest PRP Hřable, where the spruce disappeared. The decrease of deciduous trees by self-thinning was everywhere lower than that of conifers, except for PRP Korytnica (Fig. 3). The detected changes in the tree species composition confirmed the well-known fact about the general decrease of fir and spruce from most forest stands in recent decades and, on the contrary, an increase in the proportion of beech at the expense of the mentioned conifers.

Zasláno/Received: 27. 03. 2023

Přijato do tisku/Accepted: 26. 05. 2023