

## DLHODOBÉ ZMENY ŠTRUKTÚRY PORASTOV V PREBUDOVE NA VÝBERKOVÝ LES A RASTOVÉ TRENDY VYBRANÝCH DREVÍN

### LONG-TERM CHANGES IN STAND STRUCTURE IN THE CONVERSION TO SELECTION FOREST AND GROWTH TRENDS OF SELECTED TREE SPECIES

Anna Petrová<sup>1</sup>, Denisa Sedmáková<sup>1</sup>, Ján Pittner<sup>1</sup>,  
Stanislav Kucbel<sup>1</sup>, Jaroslav Vencurik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, Masarykova 24, 960 01 Zvolen, Slovensko

#### Abstrakt

Cieľom príspevku bolo analyzovať dlhodobé zmeny porastovej štruktúry a vykonať dendrochronologickú analýzu v dvoch porastoch v prebudove na výberkový les. Výskumné merania prebiehali na dvoch trvale výskumných plochách (50 × 50 m) v objekte Pro Silva Donovaly – Mistríky v rokoch 1979, 1999, 2013 a 2024. Na stromoch s hrúbkou d 1,3 > 8 cm boli merané znaky ako hrúbka, výška, pozície stromov technológiou Field-Map a zároveň boli z vybraných jedincov smreka a jedle odobraté vývrty na vykonanie dendrochronologickej analýzy. Prirodzená obnova bola monitorovaná na tranzektoch podľa výškových kategórií. Výsledky poukázali, že porasty sa približujú k výberkovému modelu, s členitou vertikálnou a hrúbkovou štruktúrou. V prirodzenej obnove bol najzastúpenejší smrek, naopak zastúpenie jedle klesá, ostatné dreviny sú zastúpené minimálne. Dendrochronologická analýza ukázala negatívny trend prírastku smreka, pri jedli bol zaznamenaný pozitívny rastový vývoj. Zistenia sú prínosom pre pochopenie výberkových procesov a plánovanie hospodárskych zásahov.

Kľúčové slová: výberkový les, prebudova, prirodzená obnova, rastové procesy, dendrochronológia

#### Abstract

The study aimed was to analyze long-term changes in stand structure and to perform a dendrochronological analysis in two stands converted to selection forest. Research measurements were carried out on two permanent research plots (50 × 50 m) in the Pro Silva Donovaly – Mistríky area in the years 1979, 1999, 2013, and 2024. On trees with a diameter at 1.3 m > 8 cm were measured for attributes such as diameter, height, and tree positions using Field-Map technology and simultaneously increment cores were taken from selected spruce and fir individuals for dendrochronological analysis. Natural regeneration was monitored on transects by height categories. The results showed that the stands are approaching a selection model, with a diverse vertical and diameter structure. In natural regeneration Norway spruce was the most dominant species, while silver fir showed a decline, other species are minimally represented. Dendrochronological analysis showed a negative growth trend in spruce, while a positive growth development was recorded for fir. The findings contribute to a better understanding of selection forest dynamics and support planning of silvicultural interventions.

Keywords: selection forest, conversion, natural regeneration, growth processes, dendrochronology

## 1 ÚVOD

Výberkové lesy sú stabilné ekosystémy, odolnejšie voči vetrovým kalamitám, suchu, podkôrnemu hmyzu a podporujú biodiverzitu (Boncina *et al.*, 2002). Prebudova na výberkové lesy predstavuje prechod rovnovekých a málo diferencovaných porastov na štruktúrne rozmanitejšie a stabilnejšie lesy (Schmidt *et al.*, 1997; Schütz, 2001; Saniga, 2019). Tento proces je dlhodobý a vyžaduje systematické sledovanie. Výberkový hospodársky spôsob, založený na prirodzenej obnove, je alternatívou k holorubnému systému (Brang *et al.*, 2014). Dlhodobé záznamy z trvalých výskumných plôch (ďalej len TVP) poskytujú cenné údaje o zmenách porastových charakteristík, drevinového zloženia a prirodzenej obnovy. Dendrochronologická analýza hodnotí rastovú dynamiku a reakciu drevín na environmentálne podmienky, čím prispieva k hodnoteniu úspešnosti prebudovy a porozumeniu dynamike výberkového lesa (Castagneri *et al.*, 2010). Cieľom príspevku je vyhodnotiť vývoj porastových charakteristík, dynamiku prirodzenej obnovy a rastové trendy analyzovaných stromov.

## 2 MATERIÁL A METODY

### 2.1 Charakteristika výskumných objektov

Objektom výskumu bol porast v objekte Pro Silva Donovaly-Mystríky, (50,3 ha), v juhovýchodnej časti Nízkyh Tatier (48°52'N, 19°14'E). Porasty sa nachádzajú v nadmorskej výške 860–1050 m n. m. Produkčný porast (3,98 ha) patrí do kategórie lesy osobitného určenia, má severozápadnú expozíciu a sklon 30 %, ochranný porast (2,52 ha) patrí medzi ochranné lesy a má severnú expozíciu so sklonom 85 %. Priemerná ročná teplota je 4,2–4,8 °C, ročný úhrn zrážok 860–1100 mm. Geologické podložie tvoria žula a fylity, na ktorých vznikli kambizeme a rankre. Lokalita leží v 6. lesnom vegetačnom stupni. Dominantnou drevinou je smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.). Primiešané sú dreviny jedľa biela (*Abies alba* Mill.) a buk lesný (*Fagus sylvatica* L.). Jednotlivé prímies tvoria jarabina vtáčia (*Sorbus aucuparia* L.) a smrekovec opadavý (*Larix decidua* Mill.). Prevládajúce skupiny lesných typov sú *Fagetum-abietino-piceosum* a *Piceetum abietinum*.

### 2.2 Zber dát

V porastoch boli založené dve TVP, s výmerou 50 × 50 m (0,25 ha), s meraniami v rokoch 1979, 1999, 2013 a 2024. V strede každej TVP sa nachádzal transekt s rozmermi 10 × 50 m na sledovanie prirodzenej obnovy. Na stromoch s hrúbkou  $d_{1,3} > 8$  cm boli merané znaky ako hrúbka a výška. Pri meraniach v 2013, 2024 boli zaznamenané pozície stromov technológiou Field-Map. Objem jednotlivých stromov ( $d_{1,3} > 8$  cm) bol vypočítaný podľa dvoch parametrov (hrúbka a výška stromu), použitím rovníc odvodených od Petráša, Pajtíka (1991). Prirodzená obnova na transektoch sa začala monitorovať až po roku 1999, evidovali sa jedince podľa dreviny a výškovej kategórie: obnova (výška 21–130 cm) a dorast (hrúbka  $d_{1,3}$  0,1–8,0 cm).

### 2.3 Odber a vyhodnotenie vývrvtov

Na TVP boli z vybraných živých jedincov smreka (29 jedincov v produkčnom poraste a 36 jedincov v ochrannom poraste) a jedle (31 jedincov v produkčnom poraste a 20 jedincov v ochrannom poraste) s hrúbkou  $d_{1,3}$  nad 8 cm odobraté dva vývrty, pod uhlom 45° od línie svahu, aby sa predišlo reakčnému drevu. Odobraté vzorky boli vložené do plastových bužírok, označené kódom a spracované v laboratóriu podľa štandardných dendrochronologických metód (Cook, Kariukstis, 1990). Dendrochronologická analýza bola zameraná na vekovú štruktúru a rastovú dynamiku drevín. Vývrty sa digitalizovali (Epson Expression 10000 XL) a ročné kruhy boli identifikované v programe WinDendro®. Proces zahŕňal automatickú identifikáciu, vizuálnu kontrolu a manuálne opravy chýb. Synchronizácia ročných kruhov bola vykonaná vizuálne a opticky (Grissino-Mayer, 2001).

Pre odstránenie biologického trendu pri analýze prírastkových dát bola použitá metóda detrendizácie pomocou funkcie „AgeDepSpline“ v balíku DplR („Dendrochronology Program Library in R“; Bunn, 2008). Metóda využíva kubickú funkciu „spline“ s odstránením 50% rozptylu zo série (Cook, Kairiukstis, 1990).

### 3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

#### 3.1 Vývoj porastovej štruktúry a prirodzenej obnovy

Produkčný porast mal v roku 1979 vek 85 rokov. Drevinové zloženie podľa objemu hrubiny tvorilo 85 % smreka a 15 % jedle. Počiatočná zásoba bola  $373 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Tab. 1). Ochranný porast mal 135 rokov, čiastočne rôznoveký, s prevahou smreka. Počiatočná zásoba bola  $257 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Saniga *et al.*, 2021).

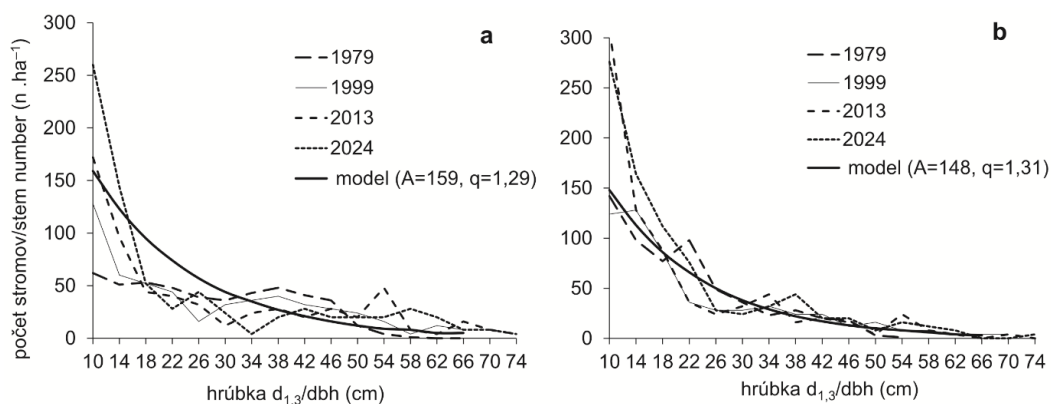
V oboch porastoch stúpali počas prebudovy hodnoty kruhovej základne (v produkčnom poraste o 37 % a v ochrannom o 42 %) a zásoby porastov (v produkčnom poraste o 35 % a v ochrannom o 36 %). Nárast je zrejme dôsledkom realizácie sanitárnych zásahov, ktoré nedokázali formovať výberkovú štruktúru. Počas prebudovy mierne stúplo zastúpenia jedle (v priemere o 23 % z počtu stromov a 14 % zo zásoby) a ostatných drevín na úkor smreka. Prirodzená obnova

**Tab. 1:** Vývoj porastových charakteristík a prirodzenej obnovy v období rokov 1979–2024  
Development of stand characteristics and natural regeneration in the period 1979–2024

|                                                                     | Produkčný porast <sup>1</sup> |         |          |         | Ochranný porast <sup>2</sup> |          |          |          |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------|----------|---------|------------------------------|----------|----------|----------|
|                                                                     | 1979*                         | 1999    | 2013     | 2024    | 1979                         | 1999     | 2013     | 2024     |
| Stromy (hrúbka $d_{1,3} > 8,0 \text{ cm}$ ) <sup>3</sup>            |                               |         |          |         |                              |          |          |          |
| Početnosť ( $\text{ks ha}^{-1}$ ) <sup>4</sup>                      | 474                           | 532     | 608      | 732     | 593                          | 566      | 760      | 844      |
| smrek/jedľa/ostatné (%) <sup>5</sup>                                | 85/15/0                       | 62/33/5 | 54/38/8  | 44/48/8 | 99/1/0                       | 86/13/1  | 87/11/2  | 84/14/2  |
| kruhovú základňa ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) <sup>6</sup> | 34                            | 41      | 51       | 53      | 25                           | 33       | 36       | 43       |
| smrek/jedľa/ostatné (%) <sup>5</sup>                                | 85/15/0                       | 62/35/3 | 63/33/4  | 54/40/6 | 99/1/0                       | 96/4/0   | 97/3/0   | 93/6/1   |
| Zásoba ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) <sup>7</sup>           | 373                           | 465     | 570      | 572     | 257                          | 328      | 338      | 402      |
| smrek/jedľa/ostatné (%) <sup>5</sup>                                | 85/15/0                       | 61/36/3 | 63/33/4  | 56/39/5 | 99/1/0                       | 97/3/0   | 98/2/0   | 96/4/0   |
| Obnova <sup>8</sup>                                                 |                               |         |          |         |                              |          |          |          |
| Početnosť ( $\text{ks ha}^{-1}$ ) <sup>4</sup>                      | n/a                           | 940     | 2080     | 3200    | n/a                          | 540      | 2320     | 3000     |
| smrek/jedľa/ostatné (%) <sup>5</sup>                                | n/a                           | 26/74/0 | 43/46/11 | 75/25/0 | n/a                          | 34/35/31 | 44/47/9  | 70/27/3  |
| Dorast <sup>9</sup>                                                 |                               |         |          |         |                              |          |          |          |
| Početnosť ( $\text{ks ha}^{-1}$ ) <sup>4</sup>                      | n/a                           | 2769    | 3142     | 2400    | n/a                          | 2920     | 1800     | 2304     |
| smrek/jedľa/ostatné (%) <sup>5</sup>                                | n/a                           | 24/74/2 | 24/75/1  | 84/13/2 | n/a                          | 42/30/28 | 46/27/28 | 33/27/40 |

<sup>1</sup>production stand, <sup>2</sup>protection stand, <sup>3</sup>stems (dbh > 8 cm), <sup>4</sup>stem density, <sup>5</sup>spruce/fir/others, <sup>6</sup>basal area, <sup>7</sup>stand volume, <sup>8</sup>regeneration, <sup>9</sup>ingrowth

\*celoplošné priemerkovanie



**Obr. 1:** Zmeny hrúbkovej štruktúry v produkčnom (a) a ochrannom (b) poraste v priebehu sledovaného obdobia 1979–2024

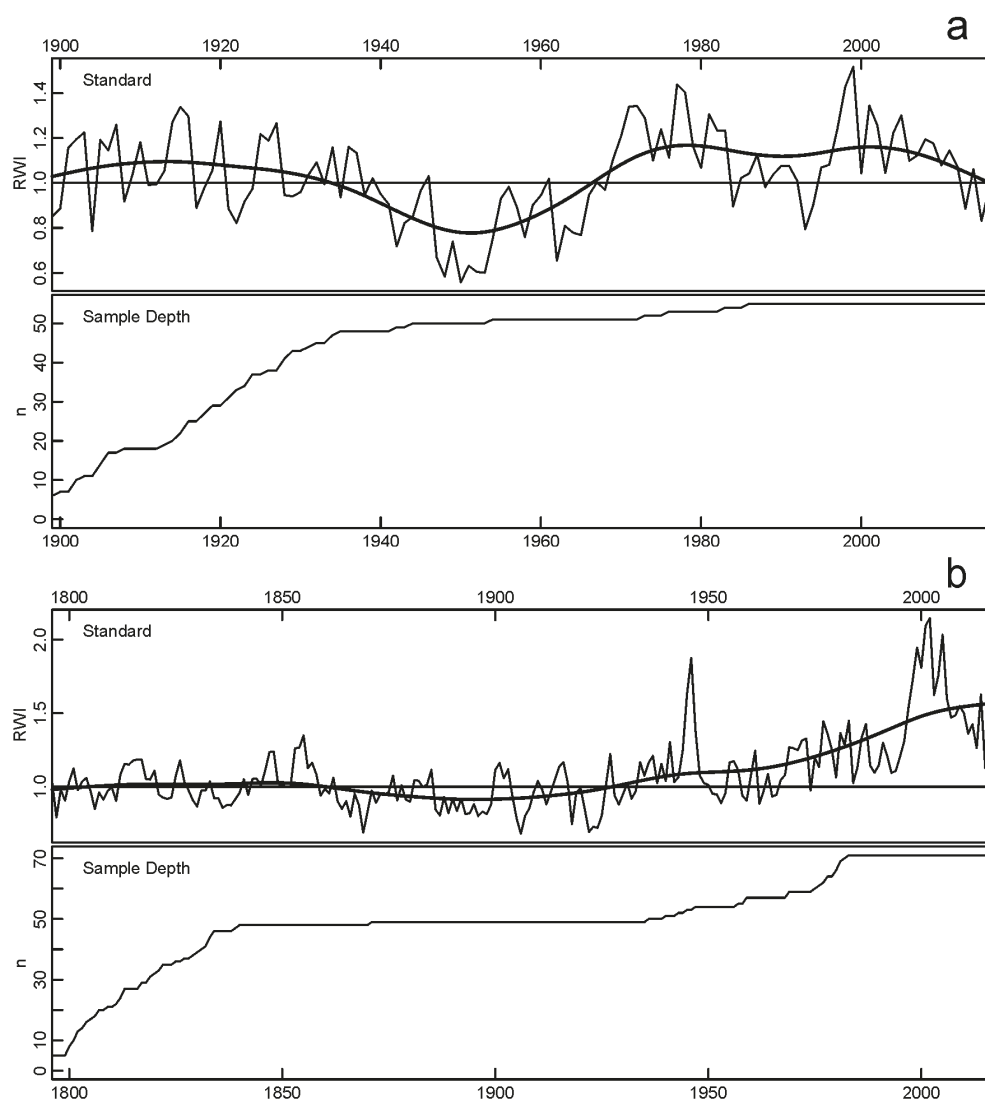
Changes in diameter structure in the production (a) and protection (b) stand during the observed period 1979–2024

pozostávala zo smreka a jedle, ich podiel sa v čase menil. V produkčnom poraste sa zastúpenie smreka v prirodzenej obnove zvýšilo o 49 % a v doraste o 60 % na úkor jedle. Dorast iných drevín prebiehal počas celého obdobia v malých množstvách. Vývoj v ochrannom poraste ukázal nárast smreka v prirodzenej obnove o 36 %, v doraste jeho početnosť klesla o 13 %. Jedľa vzrástla od 1999 do 2013 o 12 %, po r. 2013 klesla o 20 %. Analýza prirodzenej obnovy a dorastu ukázala citlivosť jedle na klimatické podmienky a pôsobenie emisií (Mikulenka *et al.*, 2020). Ostatné dreviny tvorili takmer 30 % dorastu a v poslednom roku stúpili o 12 % na úkor smreka.

Na začiatku sledovania v produkčnom poraste bola početnosť stromov v najnižších hrúbkových triedach nízka, čo naznačovalo nedostatočnú rezervu pre dorastanie (Obr. 1). Stromy s priemerom >50 cm, boli zastúpené minimálne alebo vôbec. Po roku 1999 však pribudli jedince v najnižších hrúbkových triedach, čo poukazuje na začínajúci proces dorastania. Podľa merania v roku 2024 sa štruktúra porastu začala približovať modelovej výberkovej štruktúre. Pre ideálny stav je potrebné redukovať jedince v hornej vrstve a odstrániť stromy nad cieľovú hrúbku (66 cm), znížiť zásobu, uvoľniť priestor pre jedince z dolnej vrstvy, najmä v poddimenzovanej strednej vrstve (Schütz, 2001, Pukkala *et al.*, 2015). Počas celého obdobia sa štruktúra výrazne nemenila, čo poukazuje na stabilizovaný a vyvážený vývoj porastu.

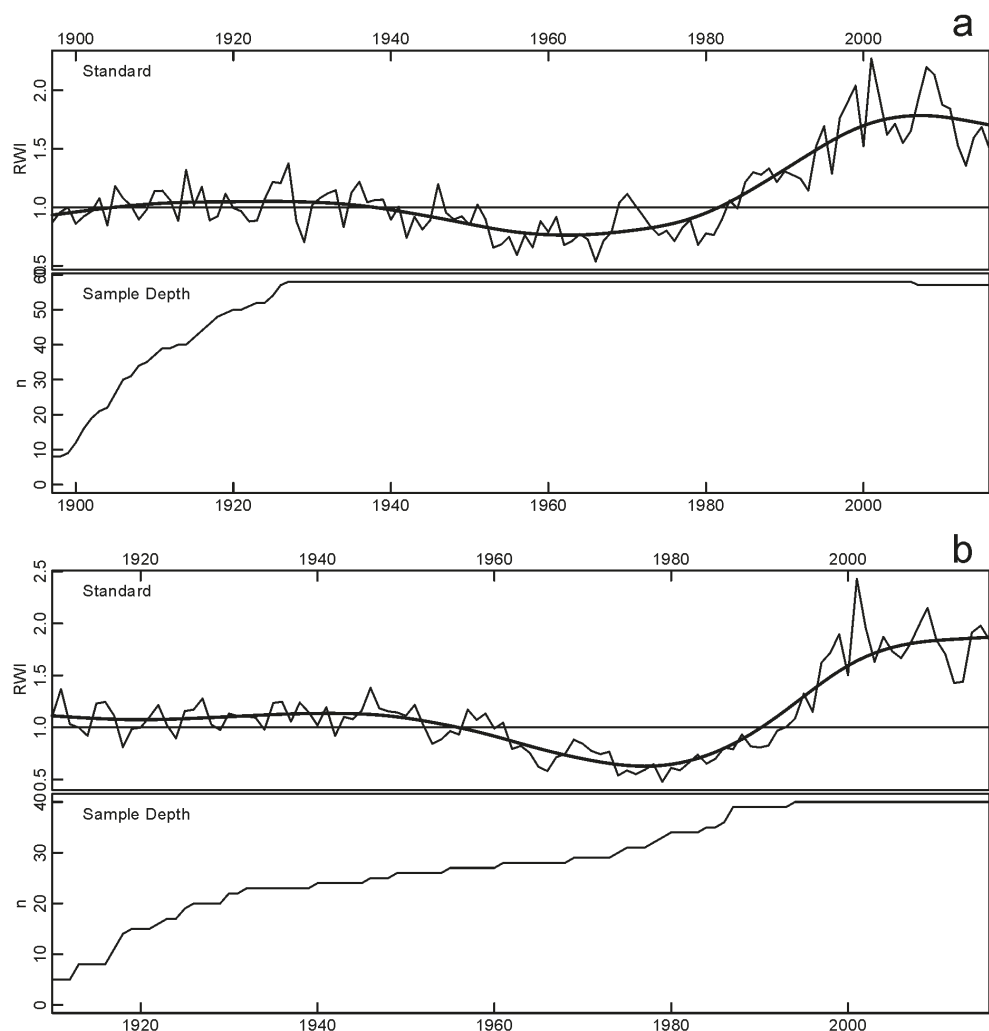
### 3.2 Dendrochronologická analýza

Výsledky dendrochronologickej analýzy ukázali, že smrek mal v produkčnom poraste spočiatku nadpriemerný prírastok, okolo roku 1940 výrazne klesol, od 1970 do 2000 rástol a následne opäť klesal. V ochrannom poraste bol rast okolo priemeru, po poklese okolo 1850 začal od 1940 trvalo rásť (Obr. 2). Jedľa v produkčnom poraste mala kolísavý prírastok, pokles od 1940 a nárast od 1980, ktorý pretrváva dodnes. V ochrannom poraste bol prírastok spočiatku nadpriemerný, no okolo 1960 klesol a od 1990 opäť rastie (Obr. 3).



**Obr. 2:** Porovnanie priebehu radiálneho prírastku smreka v produkčnom (a) a ochrannom (b) poraste po vykonaní detrendizácie letokruhových sérií (RWI–letokruhový index; Sample Depth–počet letokruhových sérií–n; čierna hrubá krivka–vyrovnaný priebeh detrendizovaných hodnôt prírastkov „spline“ funkciou; čierna krivka–štandardizovaná priemerná chronológia po odstránení vekového trendu vyjadreného indexom šírky letokruhov (RWI, resp. indexom radiálnych prírastkov) s priemerným rastom približne 1–čierna vodorovná čiara)

Comparison of the radial growth increments of Norway spruce in the production (a) and protection (b) stand after detrending of tree-ring series (RWI –ring-width index; Sample Depth–number of tree-ring series–n; thick black curve–smoothed trend of detrended growth values using a spline function; black curve–standardized mean chronology after removing the age-related trend expressed by the ring-width index (RWI, or radial growth index), with average growth approximately equal to 1–black horizontal line).



**Obr. 3:** Porovnanie priebehu radiálneho prírastku jedle v produkčnom (a) a ochrannom (b) poraste po vykonaní detrendizácie letokruhových sérií (RWI- letokruhový index; Sample Depth-počet letokruhových sérií-n; čierna hrubá krivka- vyrovnaný priebeh detrendizovaných hodnôt prírastkov „spline“ funkciou; čierna krivka- štandardizovaná priemerná chronológia po odstránení vekového trendu vyjadreného indexom šírky letokruhov (RWI, resp. indexom radiálnych prírastkov) s priemerným rastom približne 1-čierna vodorovná čiara)

Comparison of the radial growth increments of silver fir in the production (a) and protection (b) stand after detrending of tree-ring series (RWI -ring-width index; Sample Depth-number of tree-ring series-n; thick black curve-smoothed trend of detrended growth values using a spline function; black curve-standardized mean chronology after removing the age-related trend expressed by the ring-width index (RWI, or radial growth index), with average growth approximately equal to 1-black horizontal line).

## 4 ZÁVER

Porastová štruktúra je rôznorodá, formovanie si vyžaduje zásahy počas procesu prebudovy. Nízka intenzita zásahov môže nepriaznivo ovplyvniť jej vývoj. Prebudova umožňuje upraviť drevinové zloženie. Výsledky dendrochronologickej analýzy ukázali súčasný pokles prírastku smreka a nárast prírastku jedle. Prechod k výberkovej štruktúre podporuje ekologickú stabilitu, biodiverzitu a adaptabilitu, no ide o dlhodobý proces závislý od stanovištných podmienok a obhospodarovania.

## LITERATÚRA

- BONCINA, A., DIACI, J., CENCIC, L. 2002. Comparison of the two main types of selection forests in Slovenia: Distribution, site conditions, stand structure, regeneration and management. *Forestry*. 75, 365-373.
- BRANG, P. *et al.* 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*. 87(4), 492-503.
- BUNN, A. G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*. 26, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- CASTAGNERI, D. *et al.* 2012. Temporal variability of size-growth relationships in a Norway spruce forest: the influences of stand structure, logging, and climate. *Canadian Journal of Forest Research*. 42(3), 550-560.
- COOK, E. R., KARIUKSTIS, L. A. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 394 p.
- GRISSINO-MAYER, H. D. 2001. Research Report. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha. *Tree-Ring Research*. 57(2), 205-221.
- MIKULENKA, P. *et al.* 2020. Effect of climate and air pollution on radial growth of mixed forests: *Abies alba* Mill. vs. *Picea abies* (L.) Karst.. *Central European Forestry Journal*. 66(1), 23-36. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-0026>
- PETRÁŠ, R., PAJTÍK, J. 1991. Sústava československých objemových tabuliek. *Lesnícky časopis*. 37, 49-56.
- PUKKALA, T., LÄHDE, E., LAIHO, O. 2015. Which trees should be removed in thinning treatments?. *For. Ecosyst.* 2, 32. <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0056-1>
- SANIGA, M. *et al.* 2021. Prebudova rúbaňového lesa na výberkový les – 40-ročná časová štúdia. *Zprávy lesníckeho výzkumu*. 66(4), 213-225.
- SANIGA, M. 2019. *Pestovanie lesa*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 331 p.
- SCHMIDT, M., SCHÜTZ, J. P., GADOW, K. 1997. Strukturanalyse in vier Plenterüberführungsbeständen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. 148, 335-352.
- SCHÜTZ, J. P. 2001. *Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder*. Berlin: Parey, 207 p.

## Poděkování

Táto práca bola podporená Internou projektovou agentúrou Technickej univerzity vo Zvolene v rámci projektu IPA 16/2025, Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu VEGA 1/0183/25 a Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-21-0199.

## Kontakty | Contact Information

Jaroslav Vencurik: e-mail: [jaroslav.vencurik@tuzvo.sk](mailto:jaroslav.vencurik@tuzvo.sk)