

ROLE JEDLE BĚLOKORÉ (*ABIES ALBA* MILL.) VE SMÍŠENÝCH POROSTECH V ZÁPADNÍCH ČECHÁCH: POROSTNÍ DIVERZITA, PRODUKČNÍ POTENCIÁL A KLIMATICKÁ REZILIENCE

ROLE OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) IN MIXED STANDS OF WESTERN BOHEMIA: STAND DIVERSITY, PRODUCTION POTENTIAL, AND CLIMATE RESILIENCE

JAN BUDÍNSKÝ¹⁾ - MICHAL BLEDÝ¹⁾ - STANISLAV VACEK¹⁾ - ZDENĚK VACEK¹⁾ - JAKUB ČERNÝ^{1,2,3)} ✉ - JAN CUKOR^{1,2)} - KAROL TOMCZAK^{4,5)} - JOHANA PECHAČOVÁ²⁾ - VOJTĚCH HÁJEK¹⁾ - JOSEF GALLO¹⁾

¹⁾Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 - Suchbát, Czech Republic

²⁾Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

³⁾Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic

⁴⁾Poznań University of Life Sciences, Faculty of Forestry and Wood Technology, Wojska Polskiego 71A, 60-625 Poznań, Poland

⁵⁾Łukasiewicz Research Network - Poznań Institute of Technology, Ewarysta Estkowskiego 6, 61-755 Poznań, Poland

✉ e-mail: cerny@vulhmop.cz

ORCID: J. Budínský 0009-0005-2859-6963
M. Bledý 0009-0002-5745-2609
S. Vacek 0000-0002-5234-1881
Z. Vacek 0000-0002-7269-4174
J. Černý 0000-0002-9954-1506

J. Cukor 0000-0002-0003-3174
K. Tomczak 0000-0001-5192-0294
V. Hájek 0000-0001-8354-1504
J. Gallo 0000-0002-7169-6477

ABSTRACT

Silver fir (*Abies alba* Mill.) represents a key forest tree species whose ecological and silvicultural importance is increasing under conditions of global climate change (GCC) in Europe. This study assessed stand structure, biodiversity, productivity, and radial growth in relation to climatic variables (air temperature and precipitation) in 109–126-year-old mixed stands of silver fir and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the West Bohemian Uplands, Czech Republic (408–602 m a.s.l.). Stand volume in these mature mixed silver fir stands ranged from 237 m³·ha⁻¹ on nutrient-poor pine sites to 459 m³·ha⁻¹ on more fertile sites. Overall biodiversity, expressed as the comprehensive diversity index (B), ranged from 3.87 to 5.76 and increased with a higher proportion of mixed-species admixtures. Climatic fluctuations significantly influenced the radial growth of both species. Silver fir exhibited greater tolerance to variability in air temperature. Still, it was susceptible to late-spring frosts, whereas Norway spruce was negatively affected by the synergistic effects of high air temperatures and summer drought. July emerged as the most influential month for radial growth in terms of air temperature, while February was critical for precipitation. Silver fir demonstrated a stronger growth response to monthly air temperature and precipitation variations compared to Norway spruce, particularly on nutrient-poor sites. These findings confirm silver fir as a keystone species due to its shade tolerance, high ecological plasticity, and resilience to variable climatic conditions, highlighting its potential role in adaptive management of mixed forests under GCC scenarios.

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

Klíčová slova: jedle bělokora; smrk ztepilý; struktura porostů; biodiverzita; datování letokruhů

Key words: silver fir; Norway spruce; stand structure; biodiversity; tree ring dating

ÚVOD

Jedle bělokora (*Abies alba* Mill.) je původní dřevina střední a jižní Evropy (GAZOL et al. 2015). V současnosti roste zájem o její pěstování a o zvýšení jejího zastoupení, což vyplývá z ekologické valence a ekonomické profitability (DINCA et al. 2022; BLEDÝ et al. 2024; MZE 2024). V posledních letech bylo v řadě evropských zemí publikováno několik studií dokládajících postupnou revitalizaci a zlepšování populační dynamiky jedle bělokora, a to z hlediska jak přirozené obno-

vy, tak i růstové a produkční vitality porostů (DĂNESCU et al. 2018; HILMERS et al. 2019). Jedná se o jednu z nejdůležitějších klimaxových jehličnatých dřevin Evropy (DOBROWOLSKA et al. 2017; BOŠELA et al. 2018; DINCA et al. 2022), včetně České republiky (VACEK S. et al. 2015; MIKULENKA et al. 2020; ŠIMŮNEK et al. 2023). V České republice byla jedle nejvíce zastoupenou jehličnatou dřevinou v přirozené druhové skladbě (19,8 %), zatímco v současné skladbě lesů se její podíl pohybuje okolo 1,3 % a za posledních 25 let se její zastoupení zvýšilo o 0,4 % (MZE 2025). Ve druhé polovině 20. století bylo její zastoupení

silně ovlivněno imisní kalamitou (TINNER et al. 2013; BOETTGER et al. 2014; ŠUMICHRAST et al. 2023). Uváděn je též synergismus imisí s výskytem korovnice kavkazské (*Dreyfusia nordmanniana*) a korovnice jedlové (*Dreyfusia piceae*) a nevhodnými, zejména plošnými způsoby obhospodařování (DOBROWOLSKA et al. 2017; SLANAŘ et al. 2017; VACEK Z. 2017). Na pokles zastoupení jedle bělokoré výrazným způsobem působily a působí škody zvěří okusem, loupáním, ohryzem i vytloukáním (KUPFERSCHMID et al. 2013; VACEK Z. et al. 2014; BRABEC et al. 2024).

Z důvodu nižšího úhrnu srážek nemůže jedle prosperovat v nižších nadmořských výškách a teplých oblastech (SCHWARZ, BAUHUS 2019; PALUCH, JASTRZĘBSKI 2023; BLEDÝ et al. 2024). Na vhodných, zejména pak oglejených stanovištích dokáže dobře prosperovat díky dostatečnému množství vzdušné vlhkosti a vyššímu obsahu vody v půdě (POLENO et al. 2009; VITASSE et al. 2019; BLEDÝ et al. 2024). Neroste ovšem na trvale podmáčených stanovištích (KUČERAVÁ et al. 2012; MIKULENKA et al. 2020). V severních oblastech a horských polohách trpí jedle mrazy, které poškozují mladé výhony začátkem vegetačního období (GAZOL et al. 2019). V současnosti je chřadnutí jedle v nižších a teplejších polohách přímo přičítáno změně klimatu (GONZÁLEZ DE ANDRÉS 2019; HERNÁNDEZ et al. 2019), která tak přispívá k častějšímu vláhovému deficitu v létě (BOŠELA et al. 2018; KONŮPKOVÁ et al. 2018; MIKULENKA et al. 2020). Nejvíce se to projevuje odumíráním jedle v jižních částech jejího areálu (BATTIPAGLIA et al. 2009; CAILLERET, DAVI 2011), a to právě v důsledku klimatické změny (HANEWINKEL et al. 2013; VACEK Z. et al. 2023; BLEDÝ et al. 2024). Zvláště periodicky opakující se dlouhodobé sucho má významný dopad na chřadnutí, zdravotní stav a zvýšenou mortalitu jedle bělokoré (KONŮPKOVÁ et al. 2018; VEJPUSTKOVÁ et al. 2023).

Přesto by jedle bělokorá mohla být jednou z dřevin, která by na mnoha místech, a to zejména na oglejených stanovištích, mohla nahradit smrk ztepilý (*Picea abies* [L.] Karst.), který je zde v důsledku mělkého kořenového systému značně nestabilní (MIKULENKA et al. 2020; BLEDÝ et al. 2024). Je to dáno tím, že jedle bělokorá má v porovnání se smrkem ztepilým hlouběji sahající kořenový systém a je odolnější vůči suchu (VITALI et al. 2018; VITASSE et al. 2019). Za optimální jsou pro růst jedle bělokoré považována stanoviště jedlových bučin v centru jejího areálu, typicky v nadmořských výškách od 800 do 1200 m se srážkami nad 1000 mm (MUSIL, HAMERNÍK 2007; POLENO et al. 2009). Druh se vyskytuje v širokém vertikálním rozpětí od 140 do 2100 m n. m., přičemž v nižších polohách je vázán na chladnější a vlhčí stanoviště. Jedle bělokorá je považována za dřevinu, které může probíhající klimatická změna do určité míry vyhovovat, zejména díky potenciálu šíření do vyšších, srážkově bohatých poloh, s výjimkou oblastí s extrémně tuhými zimami (DOBROWOLSKA et al. 2017; BLEDÝ et al. 2024). Optimum srážek pro jedli bělokorou se pohybuje v rozmezí 1000–2500 mm, přičemž rozhodujícím faktorem její konkurenceschopnosti je dostatek letních srážek spíše než nízké teploty vzduchu (TINNER et al. 2013; BLEDÝ et al. 2024).

Cílem výzkumu bylo podrobně zhodnotit strukturu, diverzitu a vývoj smíšených porostů s jedlí bělokorou v západních Čechách s ohledem na probíhající klimatickou změnu. Smíšené porosty s jedlí bělokorou se vyznačují vyšší ekologickou stabilitou, strukturální heterogenitou, produkčním potenciálem a adaptací na klimatický stres ve srovnání s jednodruhovými porosty (VACEK Z. et al. 2021, 2023). Práce je zaměřena na produkci těchto smíšených porostů, jejich strukturální diverzitu a zejména na dendrochronologickou analýzu, ve které byly porovnávány růstové dynamiky jedle bělokoré a smrku ztepilého s cílem vyhodnotit vliv klimatických faktorů (zejména teploty vzduchu a srážek) na jejich růst a odolnost vůči klimatické změně.

MATERIÁL A METODIKA

Zájmové území

Zájmové území spadá pod správu Lesů ČR, s. p., LS Stříbro a nachází se ve výškovém gradientu 408–602 m n. m. V oblasti převažují půdní typy vodou neovlivněné, z nichž nejvýznamnější podíl zaujímají kambezemě, okrajově luvizemě a podzoly. Geologický podklad tvoří převážně metamorfované horniny (fylity a svory), které podmiňují jejich kamenitost, mělký až středně hluboký profil a nižší až střední zásobu živin. Klimatické podmínky území odpovídají podle Köppenovy klasifikace mírnému oceánickému typu (Cfb; PEEL et al. 2007; BECK et al. 2018) s průměrnou roční teplotou 8,7 °C a ročním úhrnem srážek 650 mm (ČHMÚ 2000–2023). Průměrné roční teploty a úhrn srážek za období 1972 až 2023 jsou znázorněny na Obr. 1.

Pro sběr dat a založení čtyř trvalých výzkumných ploch (TVP) byly vybrány čtyři porosty ve věku 109–126 let. Sklon svahu se pohybuje v rozmezí 4–18° v převážně severozápadní expozici. Typologicky se porosty podle VIEWEGH et al. (2003) řadí do 3K (TVP 2 a 3), 4B (TVP 1) a 2M (TVP 4; Tab. 1). Druhové složení porostů podle lesního hospodářského plánu (LHP) je: 25–80 % jedle bělokorá (JD), 3–70 % smrk ztepilý (SM) a 0–10 % borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.). Přimíšeně se v porostech vyskytují buk lesní (*Fagus sylvatica* L.), břiza bělokorá (*Betula pendula* Roth.), modřín opadavý (*Larix decidua* Mill.), olše lepkavá (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) a douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco).

Sběr dat

Na čtyřech TVP o rozměrech 50 m × 50 m (0,25 ha) byla v roce 2024 zaznamenána data včetně pozic všech stromů s průměrem kmene ve výčetní tloušťce (dbh) ≥ 7 cm. Tloušťky stromů byly měřeny kovovou průměrkou KMITEX (Stehelčevs, Česká republika) s přesností 1 mm. Průměr koruny byl měřen alespoň ve 2 směrech kolmo na sebe. Výšky stromů, šířky a délky koruny byly měřeny laserovým výškoměrem Vertex IV (Haglöf, Švédsko) s přesností 0,1 m.

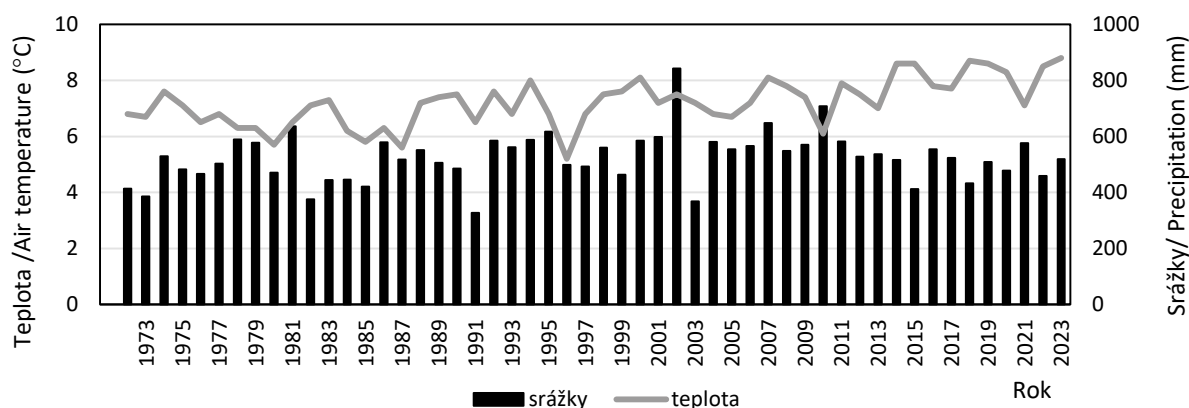
Pro analýzu radiálního růstu bylo odebráno 20 vývrtů ve výšce 1,3 m pomocí Presslerova přírůstového nebozezu (Mora, Švédsko) z živých dominantních a kodominantních jedlí a smrků ve směru svahu (blíže v Tab. 2). Vzorky vývrtů byly odebrány podle STECKEL et al. (2020) na podzim roku 2024. Stromy byly náhodně vybírány z horní porostní etáže, bez známek poškození, s rovným, nezkrouteným kmenem a symetrickou a neporušenou korunou. Vzorky byly připevněny na dřevěné lamely, sušeny za pokojové teploty a broušeny pomocí pásové brusky. Šířky letokruhů byly měřeny s přesností 0,01 mm pomocí binokulárního mikroskopu Olympus na měřicím stole LINTAB a digitálně zaznamenány pomocí softwaru TSAP-Win™ (RINNTECH 2025).

Analýza dat

Základní struktura, biodiverzita a produkční charakteristiky byly pro hlavní dřeviny stromového patra hodnoceny pomocí růstového simulátoru SIBYLA (FABRIKA, ĎURSKÝ 2025). Zásoba porostu byla vypočítána podle objemových rovnic (tabulek; PETRÁŠ, PAJTIK 1991). Jako ukazatel hustoty porostu byl vypočítán relativní index hustoty porostu SDI (REINEKE 1933) a stupeň korunového zápoje CC (CROOKSTON, STAGE 1999). Maximální hodnota SDI byla odvozena z modelu růstových tabulek (HALAJ, PETRÁŠ 1998).

Biodiverzita byla hodnocena pro všechny vyskytující se druhy dřevin na TVP pomocí agregačního indexu R (CLARK, EVANS 1954), vertikálního Arten-profil indexu A (PRETZSCH 2006), diverzity vertikální struktury S (JAEHNE, DOHRENBUSCH 1997), tloušťkové diferenciace TM_d , výškové diferenciace TM_h (FÜLDNER 1995), korunové diferenciace K (JAEHNE, DOHRENBUSCH 1997) a celkové (komplexní) diverzity porostu B (JAEHNE, DOHRENBUSCH 1997). Přehled indexů a vyjádření jejich hodnot je uveden v Tab. 3.

ROLE JEDLE BĚLOKORÉ (*ABIES ALBA* MILL.) VE SMÍŠENÝCH POROSTECH V ZÁPADNÍCH ČECHÁCH:
POROSTNÍ DIVERZITA, PRODUKČNÍ POTENCIÁL A KLIMATICKÁ REZILIENCE



Obr. 1.

Vývoj průměrné roční teploty vzduchu (šedá čára) a úhrnu srážek (černé sloupce). Meteorologická stanice Konstantinovy Lázně, 2025.

Fig. 1.

Development of mean annual air temperature (grey line) and total precipitation (black columns). Konstantinovy Lázně meteorological station, 2025.

Tab. 1.

Stanovištní a porostní charakteristiky trvalých výzkumných ploch (TVP) 1–4.

Site and stand characteristics of permanent research plots (PRP) 1–4.

TVP/PRP	GPS	Věk/Age (rok/year)	Dřeviny/ Tree species	Nadm. výška/ Altitude (m)	Sklon/Slope (°)	Soubor lesních typů/ Ecosite	Půdní typ/ Soil type	Podloží/ Bedrock
1	49,8936111 S 12,9183333 V	115	JD, SM, BK, OL, OS, BR	602	8°	4B	kambizem rankerová	svor
2	49,8219444 S 12,9127778 V	126	JD, SM	509	4°	3K	kambizem modální	fylit
3	49,8785278 S 13,0996667 V	108	JD, SM, BO, DG, OS	581	4°	3K	kambizem dystrická	fyl. droby, břidlice
4	49,8300000 S 13,0702778 V	108	JD, BO	408	18°	2M	kambizem dystrická	fyl. droby, břidlice

Vysvětlivky: BK – *Fagus sylvatica*; BO – *Pinus sylvestris*; BR – *Betula pendula*; DG – *Pseudotsuga menziesii*; OL – *Alnus glutinosa*; OS – *Populus tremula*; JD – *Abies alba*; SM – *Picea abies*; 2M – *Querceto-Fagetum oligotrophicum*; 3K – *Querceto-Fagetum acidophilum*; 4B – *Fagetum mesotrophicum*.

Explanations: BK – *Fagus sylvatica*; BO – *Pinus sylvestris*; BR – *Betula pendula*; DG – *Pseudotsuga menziesii*; OL – *Alnus glutinosa*; OS – *Populus tremula*; JD – *Abies alba*; SM – *Picea abies*; 2M – *Querceto-Fagetum oligotrophicum*; 3K – *Querceto-Fagetum acidophilum*; 4B – *Fagetum mesotrophicum*; břidlice – slate; fylit – phyllite; fylitové droby – phyllitic greywacke; kambizem dystrická – dystric cambisol; kambizem modální – modal cambisol; kambizem rankerová – ranker cambisol; svor – mica schist.

Tab. 2.

Charakteristiky dendrochronologické analýzy jedle bělokoré (JD) a smrku ztepilého (SM) na trvalých výzkumných plochách (TVP) 1–4.

Characteristics of the dendrochronological analysis of silver fir (JD) and Norway spruce (SM) on permanent research plots (PRP) 1–4.

TVP/PRP	Dřevina/ Tree species	Počet vzorků/ Number of cores	Ø šířka letokruhů/Ø ring width [mm]	Negativně významné roky/Negative pointer years
1	JD	17	2,19	1956, 1978, 1979
	SM	18	2,56	1971, 2004
2	JD	14	2,07	1956, 1972
	SM	15	1,96	1934, 1992, 1998
3	JD	18	1,93	—
	SM	19	2,13	1992
4	JD	13	2,27	1956, 1972, 1974, 1985, 1986, 1987, 1994, 1998, 2022

Pro datování vzorků vývrtů (13–19 analyzovaných vzorků pro každou studovanou dřevinu na každé TVP) a eliminaci chyb spojených s výskytem chybějících letokruhů byl použit program CDendro (LARSSON 2014). Každá letokruhová série byla křížově datována pomocí statistických testů PAST4 (KNIBBE 2007) a následně byla podrobena vizuální kontrole podle YAMAGUCHI (1991). Pokud byl nalezen chybějící letokruh, byl na jeho místo vložen letokruh o šířce 0,01 mm. Věkový trend byl odstraněn ve dvou krocích: v prvním kroku pomocí negativní exponenciální funkce a ve druhém pomocí funkce spline s časovým oknem 0,67n. Detrendování bylo provedeno v programu R (R STUDIO TEAM 2020) pomocí balíčku dplR (BUNN 2008, 2010). Reprezentativnost výsledných chronologií byla ověřena pomocí ukazatele EPS (*Expressed Population Signal*), přičemž za spolehlivé byly považovány chronologie dosahující hodnot $EPS \geq 0,85$ (WIGLEY et al. 1984).

Analýza negativních významných let (*Negative Pointer Years*, NPY), které charakterizují extrémně nízké radiální přírůsty, byla provedena podle SCHWEINGRUBER (1996). Pro každou posuzovanou dřevinu na TVP byl testován ukazatel negativních let, tj. extrémně úzkých letokruhů, které nedosahují 40 % průměrného radiálního růstu předchozích čtyř let. Výskyt negativních let byl prokázán v případě, že takto silné snížení přírůstu bylo zaznamenáno alespoň u 20 % hodnocených stromů na TVP.

Klimatické faktory (teplota vzduchu a srážky) byly hodnoceny na základě dat z let 1972–2023 z databáze nejbližší meteorologické stanice (srv. Meteorologická stanice Konstantinovy Lázně 2025) v nadmořské výšce 520 m. Vývoj teploty vzduchu a srážkových podmínek byl studován na základě průměrné roční teploty vzduchu, teploty vzduchu ve vegetačním období, teploty vzduchu v jednotlivých měsících, roční sumy srážek, sumy srážek ve vegetačním období a úhrnu srážek v jednotlivých měsících. Standardizované (detrendované) série indexů letokruhů z TVP byly korelovány Pearsonovým korelačním koeficientem s klimatickými daty (teploty vzduchu, srážky) v programu Statistica 14 (TIBCO 2020). Software DendroClim (BIONDI, WAIKUL 2002) byl použit k modelování radiálního růstu v závislosti na měsíčních klimatických charakteristikách.

VÝSLEDKY

Struktura a produkce porostů

Počet jedinců stromového patra se na TVP pohyboval od 176 stromů·ha⁻¹ na TVP 2 do 388 stromů·ha⁻¹ na TVP 3. Stupeň korunového zápoje (CC) vykazoval vysoké hodnoty, přičemž se lišil mezi jednotlivými plochami od 72,3 % na TVP 2 po 97,5 % na TVP 1. Porostní hustota vyjádřená indexem SDI nabývala hodnot v rozmezí od 0,37 na TVP 4 do 0,62 na TVP 1. Nejvyšší průměrný objem středního kmeně byl zaznamenán na TVP 2 (2,36 m³). Zásoba porostu se lišila mezi stanovištně chudou TVP 4 (237 m³·ha⁻¹) a živinově bohatou TVP 1 (556 m³·ha⁻¹). Jedle bělokora dosahovala nejvyššího podílu na zásobě porostu na TVP 1 (444 m³·ha⁻¹; 79,9 %) a na TVP 4 (228 m³·ha⁻¹; 96,2 %), zatímco smrk ztepilý měl dominantní zastoupení na TVP 2 (211 m³·ha⁻¹; 50,7 %) a vysoký podíl na TVP 3 (129 m³·ha⁻¹; 31,9 %). Borovice lesní byla zaznamenána pouze na dvou TVP, přičemž její zastoupení bylo marginální (10,9 % na TVP 3 a 3,8 % na TVP 4). Výčetní kruhová základna dosahovala hodnot od 23,2 m²·ha⁻¹ na TVP 4 do 42,1 m²·ha⁻¹ na TVP 1 (Tab. 4).

Biodiverzita porostů

Z hlediska horizontální struktury se index agregace pohyboval mezi 0,76 a 1,07. TVP 1 vykazovala tendenci k mírné shlukovitosti ($R < 1$), zatímco ostatní plochy vykazovaly náhodnou distribuci stromového patra. Vertikální struktura (A) byla relativně variabilní (0,44–0,71) a pohybovala se od mírně vyrovnané (TVP 1, 2, 4), která se skládala ze dvou pater, až po výrazně diverzifikovanou (TVP 3) se třemi etážemi. Vertikální diverzita dosahovala vyšší hodnoty na TVP 1 (0,71; vysoká diverzita), zatímco ostatní plochy měly nižší hodnoty odpovídající střední až nízké diverzitě. Földnerův index tloušťkové diferenciace ($TM_d = 0,14–0,25$) a výškové diferenciace ($TM_h = 0,08–0,14$) ukazoval na porosty s převážně nízkou strukturální diferenciací. Diferenciace korun (K) byla také nízká až střední na všech TVP. Pokud jde o celkovou diverzitu porostu, TVP 2 a 4 vykazovaly monotónní strukturu ($B = 3,53–3,87$), zatímco TVP 1 a 3 vykazovaly nerovnoměrnou strukturu ($B = 6,82–6,93$; Tab. 5).

Tab. 3.

Přehled indexů popisujících diverzitu porostu a jejich interpretace.

Overview of indices describing stand diversity and their interpretation.

Kritérium/ Criterion	Kvantifikátor/ Quantifier	Označení/ Designation	Reference/ Reference	Hodnocení/ Assessment
Horizontální struktura/ Horizontal structure	Index agregace	R (C&Ei)	CLARK, EVANS (1954)	rozsah 0–2,15; shlukovitost $R < 1$; náhodné (Poissonovo) rozdělení $R = 1$; pravidelnost $R > 1$
Vertikální struktura/ Vertical structure	Arten-profil index	A (Pri)	PRETZSCH (2006)	rozsah 0–1; vyrovnaná vertikální struktura $A < 0,3$; výběrný les $A > 0,9$
	Vertikální diverzita	S (J&Di)	JAEHNE, DOHRENBUSCH (1997)	nízká $S < 0,3$; střední $S = 0,3–0,5$; vysoká $S = 0,5–0,7$; velmi vysoká $S > 0,7$
Strukturální diferenciace/ Structural differentiation	Tloušťková diferenciace	TM_d (Fi)	FÜLDNER (1995)	rozsah 0–1; nízká $TM < 0,3$; velmi vysoká $TM > 0,7$
	Výšková diferenciace	TM_h (Fi)	FÜLDNER (1995)	
	Korunová diferenciace	K (J&Di)	JAEHNE, DOHRENBUSCH (1997)	nízká $K < 1$; střehení $K = 1,0–1,5$; vysoká $K = 1,5–2,0$; velmi vysoká diferenciace $K > 3$
Komplexní diverzita/ Complex diversity	Porostní diverzita	B (J&Di)	JAEHNE, DOHRENBUSCH (1997)	monotónní $B < 4$; nerovnoměrná $B = 6–8$; velmi různorodá $B > 9$

Dynamika radiálního růstu

Nejnižší průměrný radiální růst byl zaznamenán u jedle na TVP 3 (1,93 mm) a u smrku na TVP 2 (1,96 mm). Nejvyšší průměrné přírůsty byly naopak zaznamenány u smrku (2,56 mm) a u jedle (2,19 mm) v obou případech na TVP 1. Celkově průměrná šířka letokruhů na všech TVP činila 2,22 mm u smrku a 2,21 mm u jedle (Tab. 2).

Výskyt NPY byl u obou dřevin obdobný, nicméně se ukázala významně vyšší citlivost na chudém stanovišti 2M oproti ostatním

studovaným porostům (TVP). Na téměř všech TVP ukázala radiální dynamika jedle významně snížený přírůst v roce 1956 (-0,4 SD). Významný negativní rok 1972 s nízkým radiálním přírůstem jedle na TVP 2 a TVP 4 byl způsoben velmi nízkými průměrnými ročními srážkami (412 mm). V roce 1974 byl pak snížený přírůst způsoben roční průměrnou vyšší teplotou (7,6 °C; TVP 4). Snížený přírůst jedle byl rovněž zaznamenán v letech 1985, 1986 a 1987 (na TVP 4) a byl také způsoben výrazně sníženou teplotou (5,9 °C). V letech 1994 a 1998 byly poklesy radiálního růstu způsobeny vysokou teplotou (8,0 °C a 8,1 °C; TVP 4), což se projevilo zejména u smrku na TVP 2.

Tab. 4.

Strukturální a produkční charakteristiky na trvalých výzkumných plochách (TVP) podle sdruženého porostu (1–4) a jednotlivých dřevin (BO – *Pinus sylvestris*; JD – *Abies alba*; SM – *Picea abies*).

Structural and production characteristics on permanent research plots (PRP), differentiated by forest stand (1–4) and by individual tree species (BO – *Pinus sylvestris*; JD – *Abies alba*; SM – *Picea abies*).

TVP PRP	dbh [cm]	h [m]	HDR	v [m³]	N [ks·ha⁻¹]	G [m²·ha⁻¹]	V [m³·ha⁻¹]	CC [%]	SDI
1	39,3	28,43	0,72	1,60	348	42,1	556	97,5	0,62
2	46,2	34,02	0,74	2,36	176	29,4	416	72,3	0,40
3	33,5	27,05	0,81	1,04	388	34,1	405	93,6	0,55
4	33,7	23,31	0,69	0,91	260	23,2	237	82,3	0,37
1JD	45,4	30,98	0,68	2,18	204	33,0	444	93,6	0,47
2JD	45,4	33,10	0,73	2,33	88	14,2	205	50,6	0,20
3JD	31,2	25,91	0,83	0,93	188	14,4	174	75,1	0,24
4JD	33,9	23,37	0,69	0,92	248	22,3	228	81,0	0,36
1SM	33,3	28,07	0,84	1,14	80	6,9	91	42,1	0,10
2SM	46,9	34,95	0,75	2,40	88	15,2	211	43,9	0,20
3SM	35,7	27,78	0,78	1,16	112	11,2	129	49,2	0,16
3BO	32,8	26,05	0,79	1,01	44	3,7	44	18,4	0,07
4BO	30,3	22,03	0,73	0,71	12	0,9	9	6,8	0,02

Vysvětlivky: dbh – průměrná výčetní tloušťka; h – průměrná výška; HDR – štíhlostní koeficient; v – objem středního kmene; N – počet stromů; G – kruhová výčetní základna; V – zásoba porostu; CC – stupeň zápoje; SDI – index hustoty porostu.

Captions: dbh – mean diameter at breast height; h – mean height; HDR – height-to-diameter ratio; v – mean stem volume; N – number of trees; G – basal area; V – stand volume; CC – crown closure; SDI – stand density index.

Tab. 5.

Biodiverzita stromového patra na trvalých výzkumných plochách (TVP) 1–4.

Biodiversity of the tree layer on permanent research plots (PRP) 1–4.

TVP/PRP	R (C&Ei)	A (Pri)	S (J&Di)	TM _d (Fi)	TM _h (Fi)	K (J&Di)	B (J&Di)
1	0,76	0,46	0,71	0,25	0,14	1,48	6,83
2	1,07	0,57	0,28	0,20	0,08	1,31	3,53
3	0,89	0,71	0,50	0,22	0,14	1,48	6,93
4	0,90	0,44	0,36	0,14	0,11	1,23	3,87

Vysvětlivky: R (C&Ei) – index agregace, A (Pri) – Arten-profil index, S (J&Di) – vertikální diverzita, TM_d (Fi) – tloušťková diferenciace, TM_h (Fi) – výšková diferenciace, K (J&Di) – korunová diferenciace, B (J&Di) – porostní diverzita.

Captions: R (C&Ei) – aggregation index, A (Pri) – Arten-profile index, S (J&Di) – vertical diversity, TM_d (Fi) – diameter differentiation, TM_h (Fi) – height differentiation, K (J&Di) – crown differentiation, B (J&Di) – stand diversity.

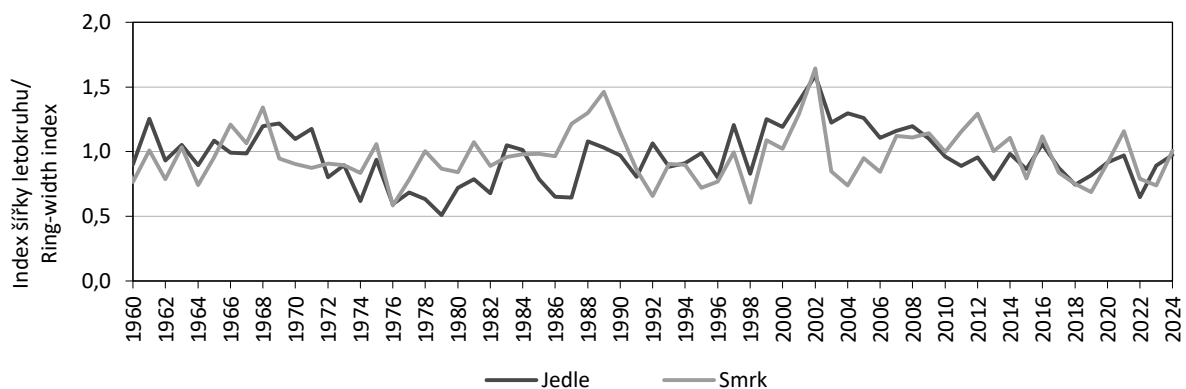
Rok 2022 byl pro jedle kritický na TVP 4 s nižším průměrným ročním úhrnem srážek (458,8 mm). V roce 1995 byla naměřena nejnižší průměrná roční teplota vzduchu (5,2 °C; leden až březen -4,1 °C; Tab. 2; Obr. 1, 2).

Rok 1992 byl charakteristický výrazně zvýšenou teplotou již od brzkého jara (historicky několik max. denních rekordů od března do dubna), což se u smrku projevilo výrazným snížením průměrného přírůstu, a to napříč téměř všemi sledovanými TVP (-0,35 SD). Významnější omezení růstu souviselo také s extrémními klimatickými podmínkami v roce 1998, kdy průměrná teplota dosáhla 7,6 °C (-0,39 SD). Snížený přírůst smrku na TVP 1 v roce 2004 byl spojen s nízkým úhrnem srážek (Tab. 2; Obr. 1, 2). Podobná variabilita radiálního růstu byla obecně pozorována u obou dřevin (jedle $\pm 0,55$ SD, smrk $\pm 0,5$ SD; Obr. 2).

Ve sledovaném období bylo zaznamenáno několik nárůstů radiálního růstu, které byly způsobeny příznivými klimatickými podmínkami (842 mm srážek v roce 2002, +0,64 SD u smrku i jedle), ale také díky lesnickým zásahům, zejména v mladších růstových stádiích studovaných lesních porostů. Od roku 1993 již byla pozorována srovnatelná variabilita růstu u obou sledovaných dřevin (Obr. 1, 2).

Vliv klimatických faktorů na radiální růst

Analýza vztahu průměrných měsíčních teplot vzduchu a měsíčních srážkových úhrnů k radiálnímu růstu jedle ukázala, že z hlediska teploty vzduchu byly nejvýznamněji pozitivně korelované tyto měsíce: duben předchozího roku ($r = 0,31$), květen ($r = 0,32$) a srpen ($r = 0,30$) aktuálního roku. Srážky měly nejvyšší pozitivní vliv na radiální růst je-

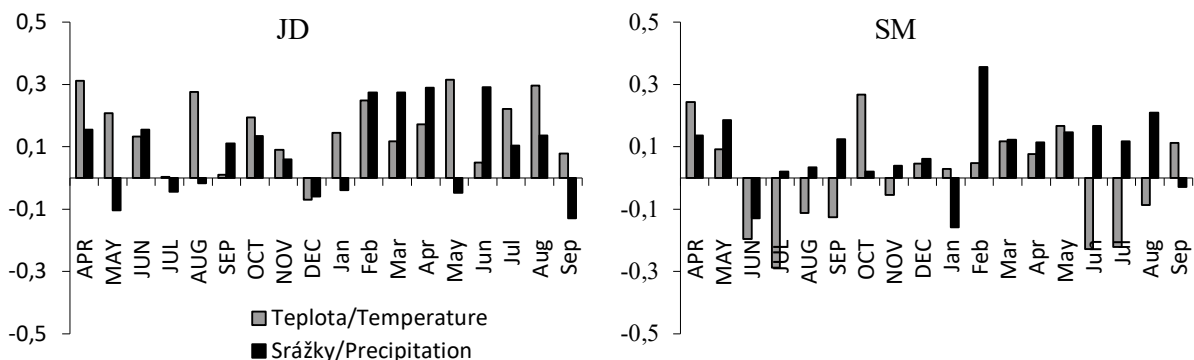


Obr. 2.

Standardizovaná průměrná chronologie jedle bělokoré (černá čára) a smrku ztepilého (šedá čára) v letech 1960–2024 vyjádřená pomocí indexu letokruhů na trvalých výzkumných plochách (TVP) 1–4.

Fig. 2.

Standardized mean chronology of silver fir (black line) and Norway spruce (grey line) for 1960–2024, expressed as the ring-width index on permanent research plots (PRP) 1–4.



Obr. 3.

Korelační koeficienty regionální chronologie s průměrnými měsíčními teplotami vzduchu (šedá barva) a srážkami (černá barva) jedle bělokoré na TVP 1–4 (vlevo) a smrku ztepilého na TVP 1–3 (vpravo) od dubna do prosince předchozího roku (velká písmena) a od ledna do září aktuálního roku (malá písmena) v období 1972–2023.

Fig. 3.

Correlation coefficients of the regional chronology with mean monthly air temperatures (grey colour) and precipitation (black colour) for silver fir on PRP 1–4 (left) and Norway spruce on PRP 1–3 (right) from April to December of the previous year (uppercase letters) and from January to September of the current year (lowercase letters) for the period 1972–2023.

dle v červnu ($r = 0,29$), dubnu ($r = 0,29$) a březnu ($r = 0,27$) aktuálního roku. Signifikantní negativní vliv na radiální růst jedle nebyl prokázán ani u srážek, ani u teplot vzduchu. U smrku byly pozitivně korelovány letokruhové série s měsíčními teplotami zejména v říjnu ($r = 0,27$), dubnu ($r = 0,24$) předchozího roku, resp. negativně s červnovými teplotami předchozího roku ($r = -0,29$) a v červnu ($r = -0,23$) a v červenci ($r = -0,22$) aktuálního roku. Naopak signifikantní pozitivní vliv byl u srážek zjištěn pouze v únoru ($r = 0,36$) aktuálního roku (Obr. 3).

Nejdůležitějším měsícem, který ovlivňoval radiální růst obou dřevin z hlediska teplot vzduchu, byl červenec, zatímco v kontextu srážek byl nejvýznamnější únor. Smrk výrazněji negativně reagoval sníženým přírůstem na vysoké teploty oproti jedli. Radiální růst jedle vykazoval ve srovnání se smrkem silnější pozitivní korelaci se změnami měsíčních teplot a měsíčními úhrny srážek. Významný pozitivní vliv na radiální růst jedle měla především vyšší teplota vzduchu a vyšší srážky v jarních měsících. U smrku byl především výrazný pokles radiálního přírůstu způsobený negativním vlivem vyšších teplot především v letním období. Pozitivní vztah vyšších teplot vzduchu k radiálnímu přírůstu se pak projevoval v období jara a pozdního léta stejně jako u jedle. Vyšší srážky pak pozitivně ovlivňovaly růst smrku v pozdním jaru.

DISKUSE

Struktura a produkce porostů

Z hlediska hustoty porostu byl nejvyšší počet stromů zaznamenán na TVP 3 ($388 \text{ ks}\cdot\text{ha}^{-1}$) a TVP 1 ($348 \text{ ks}\cdot\text{ha}^{-1}$), čemuž odpovídaly i vyšší hodnoty ukazatelů hustoty porostu (SDI i CC). Naopak nejméně stromů bylo na TVP 2 ($176 \text{ ks}\cdot\text{ha}^{-1}$). Ačkoliv stromy na TVP 2 nebyly plně zapojené, dosahovaly nejvyšších průměrných objemů středního kmene ($v = 2,36 \text{ m}^3$) i nejvyšší mechanické stability (HDR = 0,74) v porovnání s ostatními TVP. Nejnížší zásoba ($237 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) byla na TVP 4 (chudé stanoviště 2M) s 96 % jedle, zatímco nejvyšší ($556 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) na TVP 1 (bohaté stanoviště 4B). Podobné výsledky zaznamenal i MIKULENKA et al. (2020) ve své studii z oblasti Jeseníků, kde v mladších smíšených porostech (56–146 let) zjistil při mnohem vyšších počtech ($336\text{--}816 \text{ ks}\cdot\text{ha}^{-1}$) podobný trend závislosti hustoty porostu na sbíhavosti (HDR = 0,59–0,76) a produkci ($486\text{--}594 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Dalo by se tedy konstatovat, že vyšší využití porostního prostoru vede ke zvýšení štíhlostního koeficientu. Tuto hypotézu potvrdili i WYCKOFF, CLARK (2000) a BIGLER, BUGMANN (2003). Zároveň byla porostní zásoba vyšší ve strukturálně diferencovanějších a druhově vyrovnanějších porostech (TVP 1 a 3) než v porostech s monotónnější strukturou, což je v souladu s dalšími studiemi (např. TOÍGO et al. 2015; MINA et al. 2018; VACEK S. et al. 2019).

Z hlediska uhlíkové bilance vykazují porosty s vyšší zásobou dřeva výrazně vyšší potenciál sekvestrace uhlíku, a to jak v podzemní, tak zejména v nadzemní biomase (ČUKOR et al. 2022). Vyšší akumulace uhlíku v těchto porostech tak představuje důležitý příspěvek k tlumení klimatické změny zejména v kontextu dlouhodobého ukládání uhlíku v lesních ekosystémech (ČUKOR et al. 2017; VACEK Z. et al. 2022).

Biodiverzita porostů

Z výsledků dále vyplývá, že hodnoty celkové diverzity vykazují značnou variabilitu mezi TVP 1 a TVP 3 ($B = 6,82\text{--}6,93$) ve srovnání s TVP 2 a TVP 4 ($B = 3,53\text{--}3,87$). Tento jev lze připsat vyšší druhové diverzitě TVP 1 a 3, na kterých se vyskytovalo více druhů vtroušených dřevin, jako jsou olše, topol, bříza nebo douglaska. Vliv druhové pestrosti na diverzitu potvrdila také studie z Krušných hor (HAMMEROVÁ et al. 2025), v níž ve smíšených porostech byla vyšší celková diverzita

($B = 4,72\text{--}5,64$) než v monokulturách ($B = 3,21\text{--}4,66$). Dále se ale na TVP 1 a TVP 3 vyskytovalo vyšší množství jedinců na hektar a vyšší CC i SDI v porovnání s ostatními plochami, což mohlo také nepřímo přispět k vyšší výškové diferenciaci a tvorbě porostních pater. Podobně tomu je i v dalších pracích (např. WOODS 2000; VACEK S. et al. 2015). Naopak vyšší biodiverzitu v porostech s nižším využitím porostního prostoru zaznamenal MIKULENKA et al. (2020).

Obecně je vyšší porostní diverzita, zejména vyšší druhová vyrovnanost a různorodost porostů (nikoli pouze druhová bohatost), spojená se zvýšeným produkčním potenciálem, což je zvláště významné v podmínkách probíhající globální klimatické změny (BRABEC et al. 2023; VACEK Z. et al. 2023). Zároveň strukturálně i druhově diferencované porosty vykazují vyšší ekologickou stabilitu a odolnost vůči klimatickým extrémům, jako jsou epizody sucha, teplotní výkyvy či větrné disturbance, čímž se zvyšuje jejich dlouhodobá funkční stabilita a schopnost adaptace na měnící se environmentální podmínky (VACEK Z. et al. 2020).

Dynamika radiálního růstu

Jako cílová modelová dřevina k jedli bělokoré byl standardně zvolen smrk ztepilý, který byl využit ke komparativnímu hodnocení růstové dynamiky a reakce na klimatické faktory (ČIHÁK, VEJPUŠTKOVÁ 2023; NOVOTNÝ 2023). V současnosti vykazují jedle bělokorá a smrk ztepilý srovnatelný radiální přírůst ($1,93\text{--}2,56 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$). Tento trend potvrzují i další studie (HILMERS et al. 2019; MIKULENKA et al. 2020; PALUCH, JASTRZĘBSKI 2023), které zdůrazňují, že podobnosti v růstové dynamice obou dřevin jsou důsledkem proměny klimatických podmínek, které jedli zvýhodňují. Tyto výsledky ovšem kontrastují se starší literaturou, která na obdobných stanovištích dokumentovala vyšší přírůsty smrku oproti jedli (KORPEL, VINŠ 1965; KORPEL et al. 1982). Jedle předčila smrk v šířce letokruhů pouze na TVP 2 s nižší hustotou, kde měla pravděpodobně dostatek zdrojů k rychlejšímu růstu než ostatní zastoupené dřeviny (POLENO et al. 2009).

Jedle v minulosti trpěla sníženými přírůsty vlivem nižších úhrnů srážek (1956 a 1972), vyšší teploty vzduchu (1974), ale nejvíce nízkými teplotami a pozdními mrazy (1978, 1979). V letech 1985, 1986 a 1987 byla sužována také sníženou teplotou, přičemž další studie prokázaly, že snížený přírůst jedle mohl být v těchto letech způsoben zvýšeným znečištěním ovzduší (RYDVAL, WILSON 2012; MIKULENKA et al. 2020). Trend vývoje šířek letokruhů jedle obecně klesal až do období 1970–1980, nicméně poté byla zaznamenána rostoucí míra přírůstu na všech TVP, přestože studované porosty dosáhly věku 70 let. Schopnost jedle udržet si vitalitu a pokračovat v aktivním radiálním růstu i ve vyšším věku díky svému adaptabilnímu fyziologickému a ekologickému chování byla potvrzena studií BOŠELA et al. (2014). Tento jev ovšem mohl být také způsoben sníženými emisemi po roce 1980 (RYDVAL, WILSON 2012), rostoucími teplotami vzduchu, zvýšenou sekvestrací dusíku, rostoucími koncentracemi atmosférického CO_2 (DE VRIES 2006; BONTEMPS et al. 2011) nebo tím, že v posledních čtyřech desetiletích došlo ke snížení citlivosti růstu stromů na klima (WILSON, ELLING 2004; YOUNGBLUT, LUCKMAN 2013). Jedle celkově vykazovala vyšší variabilitu v radiálním růstu ve srovnání se smrkem a byla také relativně přizpůsobivou dřevinou, která se velmi dobře regenerovala, když tlak stresových faktorů ustoupil (MIKULENKA et al. 2020; BONČINA et al. 2023).

Smrk opakovaně vykazoval snížený přírůst při vyšších průměrných ročních teplotách a s tím i spojenými nižšími srážkami. U smrku byl pak významný negativní rok 1992, kde příčinou pravděpodobně byla vyšší koncentrace SO_2 na začátku vegetačního období (březen–květen 1992; GODEK et al. 2015; VACEK S. et al. 2015, 2019). Ačkoliv měl smrk vyrovnanější růstovou křivku, měl tendenci k ostřejším změnám a v posledních třiceti letech byl mnohem citlivější na projevy současné

klimatické změny (vyšší teploty a nižší srážky) než jedle. Ostřejší reakce růstu smrku v kontextu změn klimatických faktorů v porovnání s jedlí bělokorou potvrzují i MIKULENKA et al. (2020) a RYBAR et al. (2023). V posledních letech byl patrný mírný pokles indexu letokruhů obou druhů, což může souviset s aktuální klimatickou změnou nebo jinými environmentálními faktory (KNUTZEN et al. 2025).

Vliv klimatických faktorů na radiální růst

Radiální růst dřevin je ovlivňován souborem faktorů, mezi něž patří pěstební zásahy a stanovištní podmínky, avšak klíčovou roli hrají klimatické faktory, a to zejména množství a distribuce srážek, teplotní režim a výskyt extrémních klimatických událostí (LEHEJČEK et al. 2024; TSALAGKAS et al. 2024; HORÁK et al. 2025; VACEK Z. et al. 2025). Klimatické faktory způsobily značnou variabilitu v přírůstu jedle během studovaného období: přírůst byl značně negativně ovlivněn nízkými teplotami vzduchu nebo poškozením mrazem v kombinaci s nedostatkem srážek v pozdní zimě (leden až březen). Studie ze středních (CARRER et al. 2012; MIKULENKA et al. 2020) i vyšších poloh (LEBOURGEOIS 2007) ukázaly také vyšší závislost radiálního růstu jedle na teplotě v pozdních zimních měsících. SCHWARZ, BAUHUS (2019), PALUCH, JASTRZĘBSKI (2023) a BLEDÝ et al. (2024) zase zdůrazňují citlivost jedle na sníženou dostupnost vody v letních měsících. Další studie zabývající se změnou klimatu dospěly k podobným výsledkům (GONZÁLEZ DE ANDRÉS 2019; HERNÁNDEZ et al. 2019). Naproti tomu studie MIKULENKA et al. (2020) nepotvrdila významnou závislost mezi srážkami a radiálním přírůstem jedle v jarních měsících. BRÁZDIL et al. (2002) a BIJAK (2010) zjistili, že vyšší průměrné teploty vzduchu v pozdních zimních měsících mají pozitivní vliv na radiální růst jedle, ale naopak vyšší teploty v červenci přírůst spíše snižovaly. Celkově jedle oproti smrku vykazovala vyšší závislost na klimatických faktorech.

Smrk reagoval na rozdíl od jedle na letní přísušek (červen, červenec) poklesem přírůstu a netrpěl pozdními a časnými mrazy. Stejných výsledků dosáhla i studie PRETZSCH et al. (2013), kteří prokázali významně negativní vliv vysokých letních teplot vzduchu a snížené dostupnosti vody. Další práce ukázaly také negativní vliv především vysokých teplot v období léta ve středních (KREJZA et al. 2021) i horských polohách (KRÁL et al. 2015; KRÁLÍČEK et al. 2017). Na základě dlouhodobého výzkumu pak VITALI et al. (2018) potvrdili v nižších nadmořských výškách pozitivní vliv vyššího úhrnu letních srážek a nižších letních teplot vzduchu na radiální přírůst.

Roli však nehraje jen klima, ale i druhová skladba porostu. Ve smíšených porostech s jedlí a smrskem byla citlivost radiálního růstu na letní přísušky nižší než v monokulturách, což naznačuje vyšší odolnost (stabilitu) přírůstu vůči epizodám sucha. Tento tlumící efekt vyšší biodiverzity dřevin na dopady klimatických extrémů potvrzují i další studie (např. KOVÁŘ et al. 2013; VITALI et al. 2017; VACEK S. et al. 2022; HAMMEROVÁ et al. 2025).

Limitační rámec a doporučení

Limitujícím aspektem studie je omezený počet TVP a jejich prostorové rozmístění, což může snižovat zobecnitelnost výsledků na širší území. Výsledky může ovlivňovat také původ použitého sadebního materiálu jedle bělokoré (KOWALKOWSKI et al. 2025). Rozdíly mezi proveniencemi však nebylo možné v rámci této studie detailně zohlednit, přestože mohou výrazně formovat růstovou dynamiku i odolnost vůči klimatickému stresu (FULÍN et al. 2023; ČÁP et al. 2024). Interpretace dendrochronologických výsledků je dále omezena tím, že radiální růst odráží souhrn klimatických, stanovištních a pěstebních faktorů, jejichž individuální vlivy nelze zcela spolehlivě oddělit.

V kontextu probíhající klimatické změny se jako klíčové jeví zaměřit budoucí výzkum na možnosti postupné náhrady a snížení podílu odumírajícího smrku ztepilého v lesích České republiky (ČERNÝ et al. 2025; JABLONICKÁ et al. 2025). Tento směr by měl zohlednit zachování produkčních funkcí porostů, posílení jejich stability a zvýšení potenciálu sekvestrace uhlíku jako významného nástroje klimatické mitigace, a současně reflektovat adaptabilitu dřevin k měnícím se klimatickým podmínkám (PERUNOVÁ et al. 2024; SYNEK et al. 2025). Navazující studie by se rovněž měly zaměřit na komplexní hodnocení role smíšených porostů s jedlí bělokorou (zejména s bukem lesním a smrskem ztepilým) a jejich dlouhodobé stability při rostoucí frekvenci klimatických extrémů (VACEK Z. et al. 2021; FUCHS et al. 2024; ŠEBEK et al. 2024).

ZÁVĚR

Smíšené porosty s jedlí bělokorou mají zásadní vliv na ekologickou stabilitu a produkční schopnosti lesních ekosystémů. Tyto porosty vykazují vysokou biodiverzitu a značný růstový potenciál, což zdůrazňuje význam jedle bělokoré nejen jako významné dřeviny, ale také jako druhu schopného efektivně růst ve stinných podmínkách a odolávat současným klimatickým výzvám. Změny klimatických faktorů, jako jsou rostoucí teploty vzduchu a letní sucha, měly výrazný dopad na radiální přírůst jednotlivých dřevin. Jedle reagovala citlivěji na pozdní jarní mrazy a výkyvy teplot v průběhu minulého století, zatímco smrk ztepilý byl a pravděpodobně bude i do budoucna více ovlivněn vysokými teplotami a dlouhodobými epizodami sucha v letních měsících. Vyšší citlivost jedle byla zvláště patrná na extrémně chudých borových stanovištích. Celkově výsledky potvrzují, že heterogenní struktura porostů představuje účinný nástroj pro trvale udržitelné a přírodě bližší hospodaření, protože zvyšuje odolnost lesa vůči stresovým faktorům, včetně dopadů klimatické změny. Tato studie zdůrazňuje potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na interakce mezi klimatickými faktory a stromovým patrem, aby bylo možné lépe porozumět dynamice lesních ekosystémů v různých stanovištních podmínkách vhodných pro smíšené porosty s jedlí bělokorou a podpořit jejich dlouhodobou stabilitu a udržitelný rozvoj.

Poděkování:

Studie vznikla za finanční podpory projektů Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QL26010390 „Chytré zakládání a pěstované lesy jako významný příspěvek k uhlíkové neutralitě ČR“ a QL26010393 „Udržitelné lesnictví: vliv struktury lesních porostů na růst, přirozenou obnovu, biodiverzitu půd a dlouhodobou stabilitu ekosystémů“.

LITERATURA

- BATTIPAGLIA G., SAURER M., CHERUBINI P., SIEGWOLF R., COTRUFO F. 2009. Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. *Forest Ecology and Management*, 257 (3): 820–828. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.10.015
- BECK H.E., ZIMMERMANN N.E., MCVICAR T.R., VERGOPOLAN N., BERG A., WOOD E.F. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5: 180214. DOI: 10.1038/sdata.2018.214
- BIGLER C., BUGMANN H. 2003. Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 (2): 210–221. DOI: 10.1139/x02-180

- BIJAK S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria*, 35: 91–94. DOI: 10.2478/v10003-010-0001-9
- BIONDI F., WAIKUL K. 2002. DendroClim: program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies [online]. [cit. 2025-01-28]. Dostupné na/Available on: <https://fbiondi.wixsite.com/dendrolab/software>
- BLDÝ M., VACEK S., BRABEC P., VACEK Z., CUKOR J., ČERNÝ J., ŠEVČÍK R., BRYNYCHOVÁ K. 2024. Silver fir (*Abies alba* Mill.): Review of ecological insights, forest management strategies, and climate change's impact on European forests. *Forests*, 15 (6): 998. DOI: 10.3390/f15060998
- BOETTGER T., HAUPT M., FRIEDRICH M., WATERHOUSE J. 2014. Reduced climate sensitivity of carbon, oxygen and hydrogen stable isotope ratios in tree-ring cellulose of silver fir (*Abies alba* Mill.) influenced by background SO₂ in Franconia (Germany, Central Europe). *Environmental Pollution*, 185: 281–294. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.030
- BONČINA A., TRIFKOVIĆ V., FICKO A. 2023. Diameter growth of silver fir (*Abies alba* Mill.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), and black pine (*Pinus nigra* Arnold) in Central European Forests: Findings from Slovenia. *Forests*, 14 (4): 793. DOI: 10.3390/f14040793
- BONTEMPS D., HERVÉ C., LEBAN M., DHÔTE F. 2011. Nitrogen footprint in a long-term observation of forest growth over the twentieth century. *Trees*, 25 (2): 237–251. DOI: 10.1007/s00468-010-0501-2
- BOŠEĽA M., PETRÁŠ R., SITKOVÁ Z., PRIWITZER T., PAJTÍK J., HLAVATÁ H., SEDMÁK R., TOBIN B. 2014. Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environmental Pollution*, 184: 211–221. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.08.036
- BOŠEĽA M., LUKAC M., CASTAGNERI D., SEDMÁK R., BIBER P., CARRER M., KONÓPKA B., NOLA P., NAGEL T.A., POPA I., ROIBU C.C., SVOBODA M., TROTSIUK V., BÜNTGEN U. 2018. Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of the Total Environment*, 615: 1460–1469. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.092
- BRABEC P., BRICHTA J., VACEK Z., VACEK S., ŠIMŮNEK V., HÁJEK V. 2023. Potential of mixed *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus sylvestris* L. forests in lowland areas of Central Bohemia. *Journal of Forest Science*, 69 (11): 470–484. DOI: 10.17221/76/2023-JFS
- BRABEC P., CUKOR J., VACEK Z., VACEK S., SKOTÁK V., ŠEVČÍK R., FUCHS Z. 2024. Wildlife damage to forest stands in the context of climate change – a review of current knowledge in the Czech Republic. *Central European Forestry Journal*, 70: 207–221. DOI: 10.2478/forj-2024-0016
- BRÁZDIL R., ŠTĚPÁNKOVÁ P., KYNCL T., KYNCL J. 2002. Fir tree-ring reconstruction of March–July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376–1996. *Climate Research*, 20: 223–239. DOI: 10.3354/cr020223
- BUNN A.G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26 (2): 115–124. DOI: 10.1016/j.dendro.2008.01.002
- BUNN A.G. 2010. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28 (4): 251–258. DOI: 10.1016/j.dendro.2009.12.001
- CAILLERET M., DAVI H. 2011. Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees*, 25 (2): 265–276. DOI: 10.1007/s00468-010-0503-0
- CARRER M., MOTTA R., NOLA P. 2012. Significant mean and extreme climate sensitivity of Norway spruce and silver fir at mid-elevation mesic sites in the Alps. *PLOS ONE*, 7 (11): e50755. DOI: 10.1371/journal.pone.0050755
- CLARK P., EVANS F. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35 (4): 445–453. DOI: 10.2307/1931034
- CROOKSTON N., STAGE A. 1999. Percent canopy cover and stand structure statistics from the Forest Vegetation Simulator. General Technical Report RMRS-GTR-24. Ogden, UT, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 11 s. DOI: 10.2737/RMRS-GTR-24
- CUKOR J., VACEK Z., LINDA R., BÍLEK L. 2017. Carbon sequestration in soil following afforestation of former agricultural land in the Czech Republic. *Central European Forestry Journal*, 63 (2–3): 97–104. DOI: 10.1515/forj-2017-0011
- CUKOR J., VACEK Z., VACEK S., LINDA R., PODRÁZSKÝ V. 2022. Biomass productivity, forest stability, carbon balance, and soil transformation of agricultural land afforestation: A case study of suitability of native tree species in the submontane zone in Czechia. *CATENA*, 210: 105893. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105893
- ČÁP J., FULÍN M., BERAN F., DOSTÁL J., KOMÁRKOVÁ M. 2024. Comparison of the growth of the provenances of silver fir (*Abies alba* Mill.) on research plots in the regions Novohradské hory and Českomoravská vrchovina at the age of 50 years. *Journal of Forest Science*, 70 (1): 14–23. DOI: 10.17221/113/2023-JFS
- ČERNÝ J., VACEK Z., CUKOR J., BÁŇA D., VACEK S. H. 2025. Leaf area index and soil water content responses to pre-commercial thinning in Norway spruce plantations under climate change. *Journal of Forest Science*, 71 (12): 599–613. DOI: 10.17221/79/2025-JFS
- ČIHÁK T., VEJPUSTKOVÁ M. 2023. Comparison of nutrient and carbon stocks in the aboveground biomass of mature silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) stands. *Journal of Forest Science*, 69 (8): 334–347. DOI: 10.17221/37/2023-JFS
- DĂNESCU A., KOHNLE U., BAUHUS J., WEISKITTEL A., ALBRECHT A. T. 2018. Long-term development of natural regeneration in irregular, mixed stands of silver fir and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 430: 105–116. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.07.055
- DE VRIES W., REINDS G.J., GUNDERSEN P., STERBA H. 2006. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. *Global Change Biology*, 12 (7): 1151–1173. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01151.x
- DINCA L., MARIN M., RADU V., MURARIU G., DRASOVEAN R., CRETU R., GEORGESCU L., TIMIȘ-GÂNSAC V. 2022. Which are the best site and stand conditions for silver fir (*Abies alba* Mill.) located in the Carpathian Mountains? *Diversity*, 14 (7): 547. DOI: 10.3390/d14070547
- DOBROWOLSKA D., BONČINA A., KLUMPP R. 2017. Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): a review. *Journal of Forest Research*, 22 (6): 326–335. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386021
- FABRIKA M., ŽURSÝ J. 2005. Stromové rastové simulátory – SIBYLA. Zvolen, EFRA. [online]. Dostupné na/Available on: <https://etools.tuzvo.sk/sibyla/slovensky/>
- FUCHS Z., VACEK Z., VACEK S., CUKOR J., ŠIMŮNEK V., ŠTEFANČÍK I., BRABEC P., KRÁLÍČEK I. 2024. European beech (*Fagus sylvatica* L.): A promising candidate for future forest ecosystems in Central Europe amid climate change. *Central European Forestry Journal*, 70 (2): 62–76. DOI: 10.2478/forj-2023-0020

- FÜLDNER K. 1995. Strukturbeschreibung in Misch-beständen. Forstarchiv, 66: 235–240.
- FULÍN M., DOSTÁL J., ČÁP J., NOVOTNÝ P. 2023. Evaluation of silver fir provenances at 51 years of age in provenance trials in the Předhoří Hrubý Jeseník and Nízký Jeseník Mts. regions, Czech Republic. Journal of Forest Science, 69 (2): 44–59. DOI: 10.17221/181/2022-JFS
- GAZOL A., CAMARERO J., GUTIÉRREZ E., POPA I., ANDERAU-HAYLES L., MOTTA R., NOLA P., RIBAS M., SANGÜESA-BARRERA G., URBINATI C., CARRER M. 2015. Distinct effects of climate warming on populations of silver fir (*Abies alba*) across Europe. Journal of Biogeography, 42 (6): 1150–1162. DOI: 10.1111/jbi.12512
- GAZOL A., CAMARERO J., COLANGELO M., DE LUIS M., MARTÍNEZ DEL CASTILLO E., SERRA-MALUQUER X. 2019. Summer drought and spring frost, but not their interaction, constrain European beech and Silver fir growth in their southern distribution limits. Agricultural and Forest Meteorology, 278: 107695. DOI: 10.1016/j.agrfor-met.2019.107695
- GODEK M., SOBIK M., BŁAŚ M., POLKOWSKA Ż., OWCZAREK P., BOKWA A. 2015. Tree rings as an indicator of atmospheric pollutant deposition to subalpine spruce forests in the Sudetes (Southern Poland). Atmospheric Research, 151: 259–268. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.09.001
- GONZÁLEZ DE ANDRÉS E. 2019. Interactions between climate and nutrient cycles on forest response to global change: The role of mixed forests. Forests, 10 (8): 609. DOI: 10.3390/f10080609
- HALAJ J., PETRÁŠ R. 1998. Rastové tabuľky hlavných drevín. Bratislava, SAP: 325 s.
- HAMMEROVÁ V., HÁJEK V., VACEK Z., VACEK S., GALLO J., CUKOR J., TROJAN V. 2025. Smíšené lesy jako strategie adaptace na klimatickou změnu: budoucnost hospodaření v Krušných horách. Zprávy lesnického výzkumu, 70 (3): 130–142 DOI: 10.59269/zlv/2025/3/766
- HANEWINKEL M., CULLMANN D., SCHELHAAS M.-J., NABUURS G.-J., ZIMMERMANN N.E. 2013. Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. Nature Climate Change, 3 (3): 203–207. DOI: 10.1038/nclimate1687
- HERNÁNDEZ L., CAMARERO J.J., GIL-PEREGÍN E., SAZ SÁNCHEZ M.Á., CAÑELLAS I., MONTES F. 2019. Biotic factors and increasing aridity shape the altitudinal shifts of marginal Pyrenean silver fir populations in Europe. Forest Ecology and Management, 432: 558–567. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.09.037
- HILMERS T., AVDAGIĆ A., BARTKOWICZ L., BIELAK K., BINDER F., BONČINA A., DOBOR L., FORRESTER D.I., HOBI M.L., IBRAHIMSPAHIĆ A., JAWORSKI A., KLOPČIČ M., MATOVIĆ B., NAGEL T.A., PETRÁŠ R., DEL RÍO 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: An International Journal of Forest Research, 92 (5): 512–522. DOI: 10.1093/forestry/cpz035
- HORÁK P., JABLONICKÁ P., KNOTT R. 2025. Potential of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis lawsoniana* in the context of global climate change in the Czech Republic. Journal of Forest Science, 71 (9): 426–440. DOI: 10.17221/51/2025-JFS
- JABLONICKÁ P., HORÁK P., ČERNÝ J. 2025. Modulating Norway spruce growth and resilience through thinning intensity under climate change conditions. Journal of Forest Science, 71 (10): 482–500. DOI: 10.17221/55/2025-JFS
- JAEHNE S.C., DOHRENBUSCH A. 1997. Ein Verfahren zur Beurteilung der Bestandesdiversität. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 116: 333–345. DOI: 10.1007/BF02766909
- KNIBBE B. VAN DER. 2007. PAST4: personal analysis system for tree-ring research. Vienna, SCIE.M.
- KNUTZEN F., AVERBECK P., BARRASSO C., BOUWER L., GARDINER B., GRÜNZWEIG J., HÄNEL S., HAUSTEIN K., JOHANNESSEN M.R., KOLLET S., MÜLLER M., PIETIKÄINEN J.-P., PIETRAS-COUFFIGNAL K., PINTO J., RECHID D., ROUSI E., RUSSO A., SUAREZ-GUTIERREZ L., VEIT S., WENDLER J., XOPLAKI E., GLIKSMAN D. 2025. Impacts on and damage to European forests from the 2018–2022 heat and drought events. Natural Hazards and Earth System Sciences, 25 (1): 77–117. DOI: 10.5194/nhess-25-77-2025
- KONŔPKOVÁ A., KURJAK D., KMEŤ J., KLUMPP R., LONGAUER R., DITMAROVÁ L., GÖMÖRY D. 2018. Differences in photochemistry and response to heat stress between silver fir (*Abies alba* Mill.) provenance. Trees, 32 (1): 73–86. DOI: 10.1007/s00468-017-1612-9
- KORPEL Š., VINŠ B. 1965. Pěstování jedle. Bratislava, Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry: 340 s.
- KORPEL Š., PAULE L., LAFFÈRS A. 1982. Genetics and breeding of the silver fir (*Abies alba* Mill.). Annales Forestales, 9 (5): 151–184. Zagreb, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti.
- KOVÁŘ K., HRDINA V., BUŠINA F. 2013. Učební texty z předmětu Pěstování lesů. Písek, Vyšší odborná škola lesnická a Střední lesnická škola Bedřicha Schwarzenberga Písek.
- KOWALKOWSKI W., JAGIEŁŁO R., BARANOWSKA M., BARZDAJN W. 2025. Silver fir restitution: The role of seedling stock type in adapting to various environmental conditions. Journal of Forest Science, 71 (7): 358–371. DOI: 10.17221/28/2025-JFS
- KRÁL J., VACEK S., VACEK Z., PUTALOVÁ T., BULUŠEK D., ŠTEFANČÍK I. 2015. Structure, development and health status of spruce forests affected by air pollution in the western Krkonoše Mts. in 1979–2014. Forestry Journal, 61 (3): 175–187. DOI: 10.1515/forj-2015-0026
- KRÁLÍČEK I., VACEK Z., VACEK S., REMEŠ J., BULUŠEK D., KRÁL J., ŠTEFANČÍK I., PUTALOVÁ T. 2017. Dynamics and structure of mountain autochthonous spruce-beech forests: impact of hilltop phenomenon, air pollutants and climate. Dendrobiology, 77: 119–137. DOI: 10.12657/denbio.077.010
- KREJZA J., CIENCIALA E., SVĚTLÍK J., BELLAN M., NOYER E., HORÁČEK P., ŠTĚPÁNEK P., MAREK M.V. 2021. Evidence of climate-induced stress of Norway spruce along elevation gradient preceding the current dieback in Central Europe. Trees, 35 (1): 103–119. DOI: 10.1007/s00468-020-02022-6
- KUČERAVÁ B., DOBROVOLNÝ L., REMEŠ J. 2012. Responses of *Abies alba* seedlings to different site conditions in *Picea abies* plantations. Dendrobiology, 69: 49–58. DOI: 10.12657/denbio.069.006
- KUPFERSCHMID A., ZIMMERMANN S., BUGMANN H. 2013. Browsing regime and growth response of naturally regenerated *Abies alba* saplings along light gradients. Forest Ecology and Management, 310: 393–404. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.08.048
- LARSSON L.-Å. 2014. Softwarové nástroje: CDendro a CooRecorder – Cybis Dendrochronology. [online]. [cit. 2025-01-22]. Dostupné na/Available on: <https://www.cybis.se/forfun/dendro/>
- LEBOURGEOIS F. 2007. Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). Annals of Forest Science, 64: 333–343. DOI: 10.1051/forest:2007010

- LEHEJČEK J., ROMAN M., LEXA M., ASPHOLM P.E., MAŠEK J. 2024. Old Juniper Troll stand – The oldest shrub population from Scandinavia. *Journal of Forest Science*, 70 (4): 176–184. DOI: 10.17221/118/2023-JFS
- MIKULENKA P., PROKŮPKOVÁ A., VACEK Z., VACEK S., BULUŠEK D., SIMON J., ŠIMŮNEK V., HÁJEK V. 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. DOI: 10.2478/forj-2019-0026
- MINA M., DEL RÍO M., HUBER M., THÜRIG E., ROHNER B. 2018. The symmetry of competitive interactions in mixed Norway spruce, silver fir and European beech forests. *Journal of Vegetation Science*, 29 (4): 775–787. DOI: 10.1111/jvs.12664
- MUSIL I., HAMERNÍK J. 2007. Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie 1. Praha, Academia: 352 s.
- MZE. 2024. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2023. Praha, Ministerstvo zemědělství: 126 s. Dostupné na/Available on : <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/publikace/zprava-o-stavu-lesa-a-lesního-hospodarstvi-cr/zprava-o-stavu-lesa-a-lesního-hospodarstvi-2023>
- MZE. 2025. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2024. Praha, Ministerstvo zemědělství: 128 s. Dostupné na/Available on : <https://nli.gov.cz/wp-content/uploads/zprava-o-stavu-lesa-a-lesního-hospodarstvi-cr-v-roce-2024.pdf>
- NOVOTNÝ R. 2023. Nutrition of silver fir (*Abies alba* Mill.) and its comparison with Norway spruce (*Picea abies* L. H. Karst) from the same forest sites in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 69 (2): 60–66. DOI: 10.17221/162/2022-JFS
- PALUCH J., JASTRZĘBSKI R. 2023. Life histories of *Abies alba* and *Picea abies* growing in old-growth forests driven by natural gap-phase dynamics. *European Journal of Forest Research*, 142 (2): 331–352. DOI: 10.1007/s10342-022-01525-w
- PEEL M.C., FINLAYSON B.L., McMAHON T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (5): 1633–1644. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007
- PERUNOVÁ M., ZIMMERMANNOVÁ J., SCHOVÁNKOVÁ T. 2024. Forest carbon and a regional perspective on the effectiveness of financial instruments within the forest bioeconomy. *Journal of Forest Science*, 70 (6): 317–334. DOI: 10.17221/24/2024-JFS
- PETRÁŠ R., PAJTÍK J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek dřevín. *Lesnícky časopis*, 37 (1): 49–56.
- POLENO Z., VACEK S., PODRÁZSKÝ V. 2009. Pěstování lesů. III. Praktické postupy pěstování lesů. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 951 s.
- PRETZSCH H. 2006. Wissen nutzbar machen für das Management von Waldökosystemen. *Der Wald*, 21:1158–1159.
- PRETZSCH H., SCHÜTZE G., UHL E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology*, 15 (3): 483–495. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x
- REINEKE L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forest. *Journal of Agricultural Research*, 46: 627–638.
- RYBAR J., SITKOVÁ Z., MARCIS P., PAVLENDÁ P., PAJTÍK J. 2023. Declining radial growth in major Western Carpathian tree species: Insights from three decades of temperate forest monitoring. *Plants*, 12 (24): 4081. DOI: 10.3390/plants12244081
- RYDVAL M., WILSON R. 2012. The impact of industrial SO₂ pollution on North Bohemia conifers. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223 (9): 5727–5744. DOI: 10.1007/s11270-012-1310-6
- SCHWARZ J.A., BAUHUS J. 2019. Benefits of mixtures on growth performance of silver fir (*Abies alba*) and European beech (*Fagus sylvatica*) increase with tree size without reducing drought tolerance. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2: 79. DOI: 10.3389/ffgc.2019.00079
- SCHWEINGRUBER F.H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Berne, Haupt: 609 s.
- SLANAŘ J., VACEK Z., VACEK S., BULUŠEK D., ČUKOR J., ŠTEFANČÍK I., BÍLEK L., KRÁL J. 2017. Long-term transformation of submontane spruce-beech forests in the Jizerské hory Mts.: dynamics of natural regeneration. *Central European Forestry Journal*, 63 (4): 213–225. DOI: 10.1515/forj-2017-0023
- STECKEL M., DEL RÍO M., HEYM M., ALDEA J., BIELAK K., BRAZAITIS G., ČERNÝ J., COLL L., COLLET C., EHBRECHT M., JANSONS A., NOTHDURFT A., PACH M., PARDOS M., PONETTE Q., REVENTLOW D.O.J., SITKO R., SVOBODA M., VALLET P., WOLFF B., PRETZSCH H. 2020. Species mixing reduces drought susceptibility of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) – site water supply and fertility modify the mixing effect. *Forest Ecology and Management*, 461: 117908. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117908
- SYNEK M., CIENCIALA E., KUBIŠTA J. 2025. Carbon storage and climate mitigation effect in Central European forestry – To be managed, or left unmanaged? *Journal of Forest Science*, 71 (3): 149–158. DOI: 10.17221/74/2024-JFS
- ŠEBEK V., KUPČÁK V., JANÁKOVÁ SUJOVÁ A. 2024. Change in forest species composition and its projections into the economy of forest owners. *Journal of Forest Science*, 70 (7): 368–380. DOI: 10.17221/21/2024-JFS
- ŠIMŮNEK V., PROKŮPKOVÁ A., VACEK Z., VACEK S., ČUKOR J., REMEŠ J., HÁJEK V., D'ANDREA G., ŠÁLEK M., NOLA P., PERICOLO O., HOLZBACHOVÁ Š., RIPULLONE F. 2023. Silver fir tree-ring fluctuations decrease from north to south latitude – total solar irradiance and NAO are indicated as the main influencing factors. *Forest Ecosystems*, 10: 100150. DOI: 10.1016/j.fecs.2023.100150
- ŠUMICHRÁST L., JALOVÍAR P., KOMENDÁK M., TARGOŠ S., KUCBEL S. 2023. Vital rates and their multidecadal trends in the fir-beech old-growth forest of Badínsky prales. *Journal of Forest Science*, 69 (3): 93–100. DOI: 10.17221/167/2022-JFS
- TINNER W., COLOMBAROLI D., HEIRI O., HENNE P.D., STEINACHER M., UNTENECKER J., VESCOVI E., ALLEN J.R.M., CARRARO G., CONEDERA M., JOOS F., LOTTER A.F., LUTERBACHER J., SAMARTIN S., VALSECCHI V. 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83 (4): 419–439. DOI: 10.1890/12-2231.1
- TOÍGO M., VALLET P., PEROT T., BONTEMPS J-D., PIEDALLU C., COURBAUD B. 2015. Overyielding in mixed forests decreases with site productivity. *Journal of Ecology*, 103 (2): 502–512. DOI: 10.1111/1365-2745.12353
- TSALAGKAS D., VAVRČÍK H., GRYC V., GIAGLI K. 2024. Age-related phenological and anatomical response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under severe summer drought conditions. *Journal of Forest Science*, 70 (9): 458–475. DOI: 10.17221/16/2024-JFS
- VACEK S., HŮNOVÁ I., VACEK Z., HEJCMANOVÁ P., PODRÁZSKÝ V., KRÁL J., PUTALOVÁ T., MOSER W.K. 2015. Effects of air pollution

- and climatic factors on Norway spruce forests in the Orlické hory Mts. (Czech Republic), 1979–2014. *European Journal of Forest Research*, 134 (6): 1127–1142. DOI: 10.1007/s10342-015-0915-x
- VACEK S., VACEK Z., ULBRICHOVÁ I., REMEŠ J., PODRÁZSKÝ V., VACH M., BULUŠEK D., KRÁL J., PUTALOVÁ T. 2019. The effects of fertilization on the health status, nutrition and growth of Norway spruce forests with yellowing symptoms. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34 (4): 267–281. DOI: 10.1080/02827581.2019.1589566
- VACEK S., REMEŠ J., VACEK Z., BÍLEK L., ŠTEFANČÍK I., BALÁŠ M., PODRÁZSKÝ V. 2022. Pěstování lesů. 2. vyd. Praha, Česká zemědělská univerzita: 343 s.
- VACEK Z., VACEK S., BÍLEK L., KRÁL J., REMEŠ J., BULUŠEK D., KRÁLÍČEK I. 2014. Ungulate impact on natural regeneration in spruce-beech-fir stands in Černý důl Nature Reserve in the Orlické Hory Mountains, case study from Central Sudetes. *Forests*, 5 (11): 2929–2946. DOI: 10.3390/f5112929
- 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: 23–34. DOI: 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
- VACEK Z., BÍLEK L., REMEŠ J., VACEK S., CUKOR J., GALLO J., ŠIMŮNEK V., BULUŠEK D., BRICHTA J., VACEK O., DRÁBEK O., ZAHRADNÍK D. 2022. Afforestation suitability and production potential of five tree species on abandoned farmland in response to climate change, Czech Republic. *Trees*, 36 (4): 1369–1385. DOI: 10.1007/s00468-022-02295-z
- VACEK Z., VACEK S., CUKOR J. 2023. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management*, 332: 117353. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117353
- VACEK Z., TOMÁŠKOVÁ I., FUCHS Z., ŠIMŮNEK V., VACEK S., CUKOR J., BÍLEK L., GALLO J., ZLATUŠKA K., DUCHAN M. 2025. Impact of technical water retention on European beech (*Fagus sylvatica* L.) resilience and growth dynamics. *Journal of Forest Science*, 71 (3): 124–137. DOI: 10.17221/92/2024-JFS
- VEJPUSTKOVÁ M., ČIHÁK T., FIŠER P. 2023. The increasing drought sensitivity of silver fir (*Abies alba* Mill.) is evident in the last two decades. *Journal of Forest Science*, 69 (2): 67–79. DOI: 10.17221/172/2022-JFS
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M. 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 74–82. DOI: 10.17221/4682-JFS
- VITALI V., BÜNTGEN U., BAUHUS J. 2017. Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology*, 23 (12): 5108–5119. DOI: 10.1111/gcb.13774
- VITALI V., BÜNTGEN U., BAUHUS J. 2018. Seasonality matters – The effects of past and projected seasonal climate change on the growth of native and exotic conifer species in Central Europe. *Dendrochronologia*, 48: 1–9. DOI: 10.1016/j.dendro.2018.01.001
- VITASSE Y., BOTTERO A., REBETEZ M., CONEDERA M., AUGUSTIN S., BRANG P., TINNER W. 2019. What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research*, 138 (4): 547–560. DOI: 10.1007/s10342-019-01192-4
- WIGLEY T.M., BRIFFA K.R., JONES P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23 (2): 201–213. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2
- WILSON R., ELLING W. 2004. Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction. *Trees*, 18 (1): 19–28. DOI: 10.1007/s00468-003-0273-z
- WOODS K.D. 2000. Dynamics in late-successional hemlock-hardwood forests over three decades. *Ecology*, 81 (1): 110. DOI: 10.2307/177138
- WYCKOFF P.H., CLARK J.S. 2000. Predicting tree mortality from diameter growth: a comparison of maximum likelihood and Bayesian approaches. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 (1): 156–167. DOI: 10.1139/x99-198
- YAMAGUCHI D. 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21 (3): 414–416. DOI: 10.1139/x91-053
- YOUNGBLUT D., LUCKMAN B. 2013. Evaluating the temperature sensitivity of radial growth patterns from whitebark pine in the western Canadian Cordillera. *Dendrochronologia*, 31 (1): 16–28. DOI: 10.1016/j.dendro.2012.04.001

Jiné zdroje:

- ČHMÚ 2000. Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí: Územní teploty [online]. [cit. 2025-11-30]. Dostupné na/Available on: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- Meteorologická stanice Konstantinovy Lázně, okr. Tachov. 2025. Počasí Konstantinovy Lázně, okr. Tachov. Soukromá automatická amatérská meteorologická stanice [online]. [cit. 2025-03-29]. Dostupné na/Available on: <https://www.pocasi-konst-lazne.cz/meteo/index.php>
- RINNTech 2025. TSAP-Win: Time Series Analysis and Presentation for Windows [online]. [cit. 2025-01-22]. Dostupné na/Available on: <https://www.rinntech.com/index-52147.html>
- R STUDIO TEAM. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC. [online]. Dostupné na/Available on: <http://www.rstudio.com/>
- TIBCO. 2020. TIBCO Statistica™ 14.0.0 [online]. [cit. 2025-01-22]. Dostupné na/Available on: <https://docs.tibco.com/products/tibco-statistica-14-0-0>

ROLE OF *ABIES ALBA* MILL. IN MIXED STANDS OF WESTERN BOHEMIA: STAND DIVERSITY, PRODUCTION POTENTIAL, AND CLIMATE RESILIENCE

SUMMARY

Global climate change (GCC) is increasingly shaping the dynamics, stability, and long-term functioning of Central European forest ecosystems. Shifts in air temperature regimes, altered precipitation patterns, and the rising frequency of extreme climate events have profound impacts on tree growth, species interactions, and overall forest productivity. Tree species in mid-elevation regions are particularly exposed to these pressures. Silver fir (*Abies alba* Mill.), once heavily reduced by historical clear-cutting management and browsing pressure, has re-emerged as a tree species of high ecological relevance due to its shade tolerance and comparatively stable growth under fluctuating climatic conditions. Nevertheless, fir is not immune to climate stressors, particularly late spring frosts, which can significantly affect its annual radial increment. Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.), historically one of the most economically important species in Central Europe, has become increasingly vulnerable to drought stress, heatwaves, and associated biotic disturbances.

This study investigated the structure, productivity, biodiversity, and radial growth responses of mixed silver fir stands in the West Bohemian Uplands (Czech Republic, 408–602 m a.s.l.). Four 50 m × 50 m permanent research plots (PRPs; Table 1), located in stands aged 109–126 years, were used to assess the interactions between species composition, stand structure, and climatic factors. All trees with dbh ≥ 7 cm were measured for dbh, height, crown projections, and social position using standard forestry instruments. Stand-level characteristics, including basal area, stand volume, tree density, and structural diversity (Table 3), were evaluated using the SIBYLA forest growth simulator. Radial growth was analysed from increment cores collected from both species (fir and spruce), and climatic influences were assessed using long-term air temperature and precipitation data (1972–2023) from the nearest meteorological station (Fig. 1). This multi-parameter approach enabled a comprehensive evaluation of how species mixtures influence forest functioning under GCC.

The results demonstrated that mixed fir stands showed higher productivity on nutrient-rich sites (556 m³·ha⁻¹) than on nutrient-poor sites (237 m³·ha⁻¹; Table 4). Higher tree densities were associated with increased stand volume, basal area, and vertical structural differentiation, contributing to a more heterogeneous and ecologically stable stand environment. Mixed stands with higher diversity also showed improved canopy layering and a more balanced distribution of crown classes, which are key indicators of structural complexity. These structural attributes were reflected in higher values of diversity indices. In contrast, a more uniform forest stand displayed lower structural diversity, reduced species evenness, and a more homogeneous vertical profile. Overall biodiversity, expressed as the comprehensive diversity index (B), ranged from 3.53 to 6.93 and increased with a higher proportion of admixed tree species (Table 5).

Radial growth analysis revealed similar mean ring-width increments of fir and spruce (2.21–2.22 mm·year⁻¹; Table 2) and distinct species-specific responses to climatic variables (Fig. 2). Silver fir showed relatively stable growth across years despite fluctuating air temperatures, indicating a higher tolerance to thermal variability. However, fir growth was negatively affected by late spring frosts, which can damage newly formed tissues and reduce annual increment. Norway spruce, on the other hand, exhibited pronounced growth reductions during summer droughts, highlighting its sensitivity to water deficits (Fig. 3). These contrasting responses underscore the complementary ecological strategies of the two tree species.

Overall, the findings confirm silver fir as a key species for climate-adaptive forest management in Central Europe. Its shade tolerance and ecological plasticity make it a valuable component of mixed stands, particularly in regions where spruce monocultures are increasingly threatened by GCC. Mixed fir–spruce stands demonstrated superior productivity, greater biodiversity, and greater structural complexity than monocultures. These results strongly support promoting mixed-species stands as an effective silvicultural strategy to enhance forest resilience, stability, and long-term productivity under ongoing GCC. Continued long-term monitoring across a broader range of site conditions will be essential to further refine these recommendations and support their implementation in practical forestry.

Zasláno/Received: 11. 02. 2026

Přijato do tisku/Accepted: 01. 03. 2026