

VLIV PĚSTEBNÍHO MANAGEMENTU NA ODOLNOST BOROVÝCH POROSTŮ VŮČI KLIMATICKÉ ZMĚNĚ

THE EFFECT OF THE SILVICULTURE MANAGEMENT ON THE RESISTANCE OF SCOTS PINE STANDS TO CLIMATE CHANGE

Petra Jablonická¹, Pavel Horák¹, Jakub Černý^{1,2}

¹Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav zakládání a pěstění lesů, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika

²Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika

Abstrakt

Borovice lesní je jednou z nejvýznamnějších hospodářských dřevin v České republice. Nicméně, velká část borových porostů se již rozpadla vlivem probíhající klimatické změny (GKZ). Proto je důležité zaměřit se na zvyšování odolnosti borovice vůči těmto GKZ. Tento výzkum si kladl následující otázky: Který lesnický přístup je nejvhodnější pro stále se vyskytující čisté porosty borovice lesní v České republice? Jsou tyto porosty za adekvátního lesnického managementu v ČR udržitelné v nadcházejících desetiletích? Naše výsledky ukazují, že negativní efekt klimatické změny lze omezit výchovou na chudých stanovištích pouze částečně.

Klíčová slova: klimatický signál, dendrochronologie, klimatická změna, letokruhová analýza

Abstract

The Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the most important economic tree species in the Czech Republic. Large part of pine stands has declined during the current ongoing global climate change (GCC). Therefore, it is important to focus on increasing pine stands resistance to GCC. This research asked the following questions: Which silvicultural approach is the most appropriate for still occurring pure Scots pine stands in the Czech Republic? Are these stands under adequate silvicultural management sustainable in the CZ in the upcoming decades? Our results show that the negative effects of climate change on nutrient/water poor sites in lower altitudes can only be partially mitigated by the silvicultural management.

Keywords: climate signal, dendrochronology, climate change, tree ring analysis

1 ÚVOD

V Evropě se borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) vyskytuje na ploše převyšující 28 mil. ha hospodářského lesa (Čihák, Vejprustková, 2021). Jedná se o pionýrskou dřevinu, která úspěšně obsazuje plochy po disturbancích jak antropogenního, tak přírodního původu. Borovice je dřevinou tolerantní k suchu a nenáročnou na živiny (Eilmann *et al.*, 2009; Camarero *et al.*, 2015; Pretzsch *et al.*, 2015). Kint *et al.* (2012) upozorňuje na citlivost borovice k přísuškům na počátku vegetační sezóny, projevující se snížením tloušťkového přírůstu. Přibližně od počátku druhého desetiletí jednadvacátého století tak lze v mnoha oblastech pozorovat zhoršování zdravotního stavu borových porostů, a to v souvislosti s klimatickou změnou, především s nerovnoměrnou distribucí srážek a pozvolným nárůstem průměrných teplot vzduchu (Strohmenger *et al.*, 2022), čímž narůstá frekvence period půdního sucha (Raisanen, 2022).

Jednou z nejzásadnějších otázek současného lesního hospodářství je vliv klimatické změny na lesní ekosystémy (Vacek *et al.*, 2023). Mezi hlavní adaptivní opatření, která slouží ke snížení náchylnosti lesních porostů ke změně klimatu, patří snížení zakmenění porostu prostřednictvím výchovných zásahů (Spittlehouse, Stewart, 2003).

Výchovné zásahy zvyšují růst ponechaných jedinců, především snížením konkurence o živiny potřebné k růstu a o vodu. Po provedeném výchovném zásahu může být rovněž zvýšena dostupnost vody v půdě díky nižší intercepci porostu a nižší spotřebě vody transpirací u ponechaných jedinců, což se také projeví vyšší dostupností živin (Lagergren *et al.*, 2008; Gebhardt *et al.*, 2014). Pozitivní vliv výchovného zásahu, jako adaptačního opatření v rámci zvyšování odolnosti porostů vůči suchu, byl v poslední době zaznamenán u několika druhů dřevin, včetně borovice lesní. Tyto výsledky se ovšem liší v závislosti na stanovišti, režimu pěstební výchovy a struktury porostů (Sohn *et al.*, 2016; Ammer, 2017). Pozitivní vliv pěstební výchovy prokázali v porostech borovice lesní např. Del Río *et al.* (2017), kteří ve své studii zaznamenali nižší dopad extrémního sucha na růst stromů ve vychovávaných porostech.

Cílem výzkumu je prokázání takovéhoho vlivu výchovných zásahů na odolnost borových porostů vůči klimatickým proměnným a zjistit, která z probírek je pro borovici lesní vhodnější na vybraném stanovišti.

2 MATERIÁL A METODY

Pro daný výzkum byly použity dlouhodobé výzkumné plochy provozované Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM, Oddělení pěstování lesů – Výzkumná stanice Opočno). V tomto příspěvku byla hodnocena lokalita Strážnice III, popis lokality viz Tab. 1. Na dané lokalitě byly založeny tři dílčí plochy – 1 (kontrolní – bez výchovy, provádí se pouze zdravotní výběr – ST1), 2 (úrovňová probírka s pozitivním výběrem – ST2) a na ploše 3 (podúrovňová probírka s negativním výběrem – ST3). Plochy jsou o velikosti 50 × 50 m (s ochranným pásmem o šířce 10–15 m pro oddělení jednotlivých pěstebních variant a pro zamezení okrajového efektu).

Výzkumné plochy jsou sledovány od 60. let 20. století v rámci pravidelných 5letých inventur a pravidelně jsou měřeny následující parametry stromů: šířka kmene v prsní výšce, výška stromů, výška nasazení koruny a další. Podrobný popis pěstební historie studovaných borových porostů, design měření a způsob stabilizace výzkumných ploch v terénu je uveden v Dušek, Novák, Slodičák (2011).

Pro účely výzkumu bylo odebráno 20 vývrtů z každé dílčí plochy na dané lokalitě. Odběr byl proveden Presslerovým přírůstovým nebozezem ve výšce 1,3 m nad povrchem terénu ve dvou protilehlých směrech (od západu a východu); v případě svahu byly vzorky odebírány ze vzájemně opačných směrů po směru vrstevnice, aby byl vyloučen efekt reakčního dřeva (Steckel *et al.*, 2020). Připravené (zbroušené) vzorky byly skenovány a následně měřeny a datovány v softwaru Coorecorder a CDendro, následně vyexportovány ve formátu .rwl. Poté byla data zpracována v softwaru R studio (R Studio Team, 2024), kde se nejprve provedl výpočet základních statistických parametrů (např. délka letokruhových sérií, počet stromů, EPS – expres population signal,

Tab. 1: Informace o lokalitě
Information about locations

Lokalita (Locality)	Nadmořská výška (Altitude)	Roční srážky (Annual Precipitation)	Průměrná roční teplota (Average Annual Temperature)	Půdní Typ (Soil Type)	Slt (Group of Forest Types)	Rok Založení (Year of Establishment)
Strážnice	190 m n. m.	664,3 mm	11°	Podzol arenický	1M	1962

SNR – signal to noise ratio). Následně byl vypočítán přírůst kruhové základny (BAI; Bunn, 2010). Data byla detrendována pomocí spline funkce o vlnové délce 30 let pro klimatickorůstové analýzy a negativní exponenciálou pro detekování pointer years (Bunn, 2010). Vypočtené chronologie byly využity pro analýzy klimatických signálů mezi přírůsty a klimatickými proměnnými: měsíční úhrny srážek, průměrné denní teploty vzduchu. Dále byly identifikovány pointer years (tj. roky s významnou negativní růstovou reakcí dřevin vyvolanou extrémními klimatickými podmínkami; Schweingruber *et al.*, 1990). Pro tyto roky byly vypočteny a následně porovnány indexy resilience (resistence, recovery, resilience, average relative growth reduction viz Lloret *et al.*, 2011).

Pro výše uvedené analýzy byla využita veřejně dostupná klimatická data z databáze E-OBS verze 30.0e (Cornes *et al.*, 2018) pro období 1920–2024.

Analýzy dat byly provedeny prostřednictvím balíčku dplR (Bunn, 2015), treeclim (Zang, Biondi, 2015), dendroTools (Jevšenak, 2020) a pointRes (Van Der Maaten-Theunissen *et al.*, 2021).

3 VÝSLEDKY

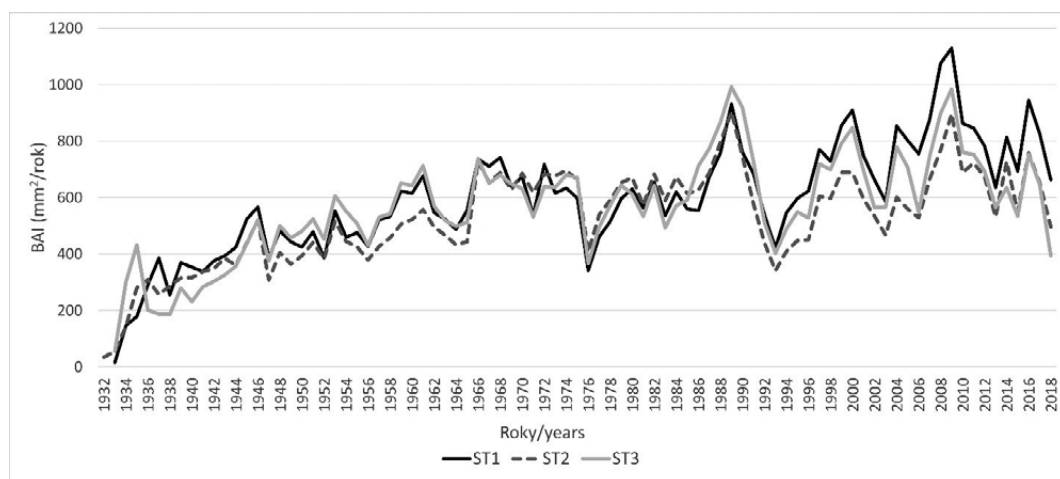
Z grafu na Obr. 1 je patrné, že nejvyšších přírůstů kruhové základny dosáhla podplocha ST1, kontrolní plocha.

Na obrázku 3 je znázorněn graf růstových trendů a srážek s vyznačenými pointer years. Jedná se o roky, kdy je přírůst výrazně nižší vlivem nepříznivých klimatických faktorů. Za účelem srovnání byly vybrány roky pro obě lokality stejné, jedná se o roky 1947, 1956, 1964, 1976, 1993, 2003, 2013 a 2018.

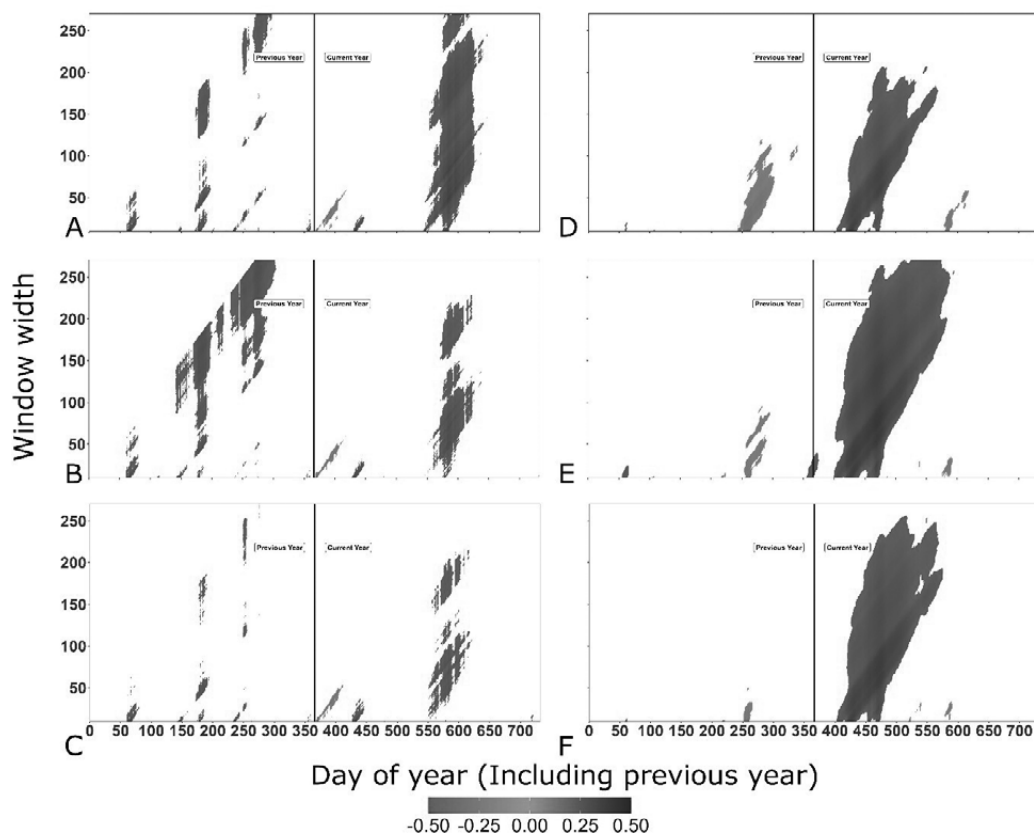
Z Tab. 2 je patrné, že nebyly zaznamenány významné rozdíly ve sledovaných indexech mezi vybranými druhy výchovy. Je patrná statistická významnost pouze v roce 1947 ve sledovaných indexech mimo recovery.

4 DISKUZE

Z pohledu dendrochronologických analýz je zřejmý podobný trend ve velikost přírůstu kruhové základny napříč variantami. Toto tvrzení potvrzuje i Dušek *et al.* (2011) při inventarizaci stejného porostu. Nevýrazný efekt výchovný zásahů v borových porostech potvrzuje i Juodvalkis *et al.* (2005), který uvádí, že intenzita výchovy má vliv na produkci borových porostu pouze mezi 10. a 20. rokem věku porostu. Pirogowicz (1983) a Huss (1983) také uvádí, že výchovné zásahy po 50 roce věku nemají významný vliv na objemovou produkci.



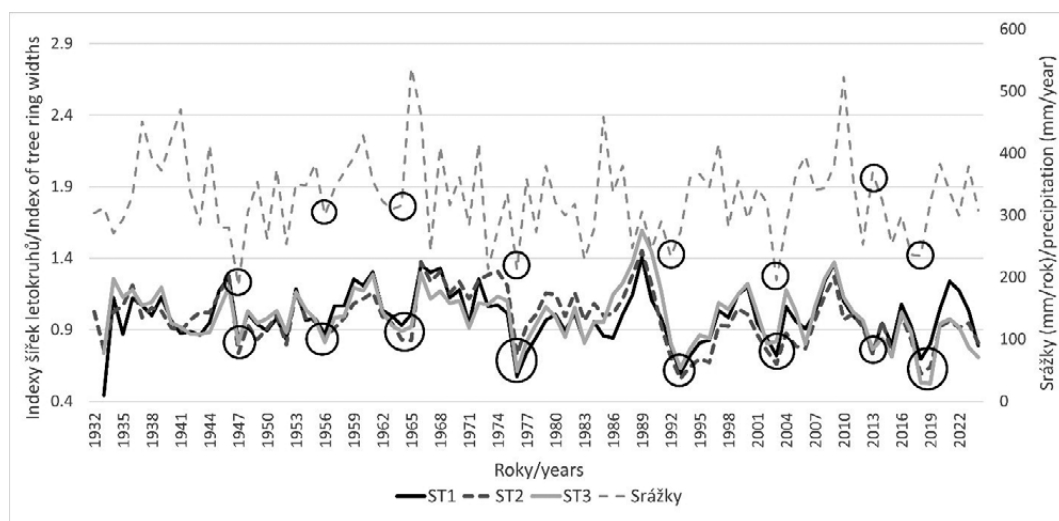
Obr. 1: Přírůst kruhové základny ST1, ST2, ST3
Basal area increment ST1, ST2, ST3



Obr. 2: Míra korelace mezi indexy šířek letokruhů reziduální chronologie s denním úhrnem srážek ST1, ST2, ST3 (A, B, C) a průměrné denní teploty ST1, ST2, ST3 (D, E, F) pro lokalitu za období 1933–2024. Osa y reprezentuje počet po sobě následujících agregovaných dnů, osa x vyjadřuje den v roce vzniku letokruhu (včetně roku předchozího). Plná čára odděluje rok předcházející tvorbě letokruhu a rok tvorby letokruhu. Výše hodnoty korelačního koeficientu je vyjádřena barevnou škálou. V grafu jsou vyobrazeny pouze statisticky významné hodnoty

Correlation between residual chronology tree ring width indices with day precipitation totals for the ST1, ST2, ST3 (A, B, C) and average day temperatures for the ST1, ST2, ST3 (D, E, F) sites for the period 1933–2024. The y axis represents the number of consecutive aggregated days; the x-axis represents the day of the year (including previous year). Vertical lines separate the previous and current years. The value of the correlation coefficient is expressed by a color scale. Only statistically significant values are highlighted in the graph

Z pohledu korelace radiálního přírůstu s klimatem je zřejmá významná pozitivní korelace se srážkami (Obr. 2 A-C) v letním období (červenec-srpen) roku tvorby letokruhu. Tato korelace je nejvýraznější u kontrolní varianty bez zásahu, kdy se narozdíl od probírkových variant objevuje i při agregaci delšího období. Tyto výsledky se shodují s tvrzením např. Fernández-De-Uña *et al.*, 2016 a Aldea *et al.*, 2017, kteří ve svých modelech predikují vyšší negativní dopad klimatické změny v porostech s vyšší kompeticí. Srážky v roce předcházejícím měly zanedbatelný, až nulový vliv na přírůst. Tuto skutečnost lze vysvětlit především charakterem stanoviště, kdy na půdách s nižším sorpčním komplexem dřeviny využívají ve velké míře jen aktuální srážky (Anderegg *et al.*, 2013). V případě průměrných denních teplot (Obr. 2 D-F), je přírůst všech tří variant pozitivně ovlivněn



Obr. 3: Vztah indexů šířek letokruhů (standartní chronologie, křivky standardizované negativní exponenciálou) a srážek. Tyto grafy prezentují výběr roků (znázorněno kruhy), kdy docházelo k redukci růstu v důsledku nedostatku srážek. Růstová data z vybraných let byla využita pro výpočet indexů resilience

Tree-ring width (standard chronology, curves standardised by negative exponential) and precipitation. Selected years with reduced growth because of precipitation lack are marked by circles. Growing data were used to calculate resilience indices in selected years

Tab. 2: Hodnoty indexů rezistence, recovery, resilience a average relative growth reduction a jejich srovnání mezi výzkumnými plochami s různými druhy probírek prostřednictvím ANOVY. Tučně vyjádřené p hodnoty znázorňují statisticky významné rozdíly mezi pěstebními variantami.

Resistance, resilience, recovery, average relative growth reduction indices values, and their inter-comparison among research plots with different thinning through ANOVA. Bold p values signify significant differences between observed silviculture treatments.

Resilience					Recovery				Resistance				Average relative growth reduction			
Rok (Year)	ST1	ST2	ST3	P hodnota (p value)	ST1	ST2	ST3	P hodnota (p value)	ST1	ST2	ST3	P hodnota (p value)	ST1	ST2	ST3	P hodnota (p value)
1947	0,99	1,00	1,30	0,000	1,25	1,64	1,34	0,108	0,83	0,75	0,98	0,015	13,02	18,82	9,12	0,037
1956	1,26	1,22	1,14	0,548	1,39	1,29	1,38	0,386	0,91	0,93	0,84	0,411	9,36	7,64	14,57	0,109
1964	1,19	1,28	1,07	0,084	1,43	1,46	1,31	0,126	0,84	0,86	0,82	0,790	13,14	16,77	16,83	0,553
1976	0,88	0,89	0,89	0,972	1,68	1,53	1,64	0,501	0,54	0,59	0,57	0,659	27,68	26,83	26,82	0,978
1993	0,86	0,72	0,75	0,179	1,53	1,36	1,46	0,422	0,57	0,52	0,52	0,328	28,44	29,48	29,74	0,921
2003	1,02	0,95	0,99	0,630	1,48	1,35	1,31	0,160	0,71	0,72	0,77	0,595	24,33	22,84	18,49	0,349
2013	0,88	0,87	0,79	0,591	1,28	1,26	1,17	0,313	0,68	0,70	0,69	0,962	17,80	23,02	24,44	0,279
2018	1,16	1,00	1,11	0,305	1,59	1,48	1,69									

průměrnými jarními teplotami v roce tvorby letokruhu, a také zimními teplotami v případě započtení vyššího počtu předcházejících dní. Všechny tři varianty jsou dále negativně ovlivněny vyššími průměrnými teplotami v pozdním létě roku předcházejícího tvorbě letokruhu. Nejvyšší negativní korelace přírůstu s teplotami v pozdním létě roku předcházejícího dosahuje kontrolní bezzásahová varianta, kdy u jedinců v porostech s vyšší kompeticí dochází k nižší akumulaci zásobních látek pro další vegetační období, jak zmiňuje McDowell *et al.* (2008).

Z hlediska reakcí k tzv. pointer years byly porovnány jednotlivé režimy výchovy. S výjimkou roku 1947 nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly reakcí porostů v jednotlivých letech. Rozdíl v daném roce nelze ovšem přisoudit odlišnému výchovnému režimu, výchovný experiment byl založen na plochách později (1962). Lze tedy konstatovat, že z hlediska reakce na extrémní výkyvy klimatu byl efekt výchovy potlačen půdními vlastnostmi. Námi zjištěné výsledky korespondují se zjištěním Sohn *et al.* (2016), kdy výchovné zásahy sice ovlivnily přírůst, ale měly zanedbatelný vliv na resistenci.

5 ZÁVĚR

Z pohledu vlivu klimatických proměnných (průměrné měsíční teploty, měsíční úhrny srážek) na růst je patrná podobná odezva napříč variantami s vyšší odezvou u bezzásahové varianty. Mezi odezvami jednotlivých variant nebyl pozorován významný rozdíl. Z výsledků lze konstatovat, že negativní efekt klimatické změny na chudých stanovištích nižších poloh lze výchovou porostů omezit pouze částečně.

LITERATURA

- ALDEA, J. *et al.* 2017. Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 237, 371–383.
- AMMER, C. 2017. Unraveling the importance of inter- and intraspecific competition for the adaptation of forests to climate change. In: CÁNOVAS, F. M. *et al.* (eds.). *Progress in Botany*. Cham: Springer, 78, 345–367.
- ANDEREGG, W. R. L., KANE, J. M., ANDEREGG, L. D. L. 2013. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change*. 3(1), 30–36.
- BUNN, A. G. 2010. Statistical and visual cross-dating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*. 28(4), 251–258.
- BUNN, A. *et al.* 2015. *Package, dplR*. Dendrochronology Program Library in R, Version 1.3., 2015.
- CAMARERO, J. J., GAZOL, A., SANGÜESA-BARREDA, G., OLIVA, J., VICENTE-SERRANO, S. M. 2015. To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology*. 103(1), 44–57. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12295>
- CORNES, R. C., VAN DER SCHRIER, G., VAN DEN BESSELAAR, E. J. M., JONES, P. D. 2018. An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 123(17), 9391–9409.
- ČIHÁK, T., VEJPUŠKOVÁ, M. 2021. Produkční charakteristiky borovice lesní v české republice na základě informací z druhého cyklu národní inventarizace lesů (2011–2015). *Reports of Forestry Research/Zprávy Lesnického Výzkumu*. 66(2), 126–137.
- DEL RÍO, M., BRAVO-OVIEDO, A., PRETZSCH, H., LÖF, M., RUIZ-PEINADO, R. 2017. A review of thinning effects on Scots pine stands: from growth and yield to new challenges under global change. *Forest Systems*. 26(2), eR035. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11325>
- DUŠEK, D., NOVÁK, J., SLODIČÁK, M. 2011. Experimenty s výchovou borovice lesní na jižní Moravě – Strážnice I a Strážnice III. *Zprávy lesnického výzkumu*. 56, 283–290.
- EILMANN, B., ZWEIFEL, R., BUCHMANN, N., FONTI, P., RIGLING, A. 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology*. 29(8), 1011–1020. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp035>
- FERNÁNDEZ-DE-UÑA, L. *et al.* 2016. Disentangling the effect of competition, CO₂ and climate on intrinsic water-use efficiency and tree growth. *Journal of Ecology*. 104(3), 678–690.

- GEBHARDT, T., HÄBERLE, K. H., MATYSSEK, R., SCHULZ, C., AMMER, C. 2014. The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning intensities. *Agricultural and Forest Meteorology*. 197, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.05.013>
- HUSS, J. 1983. Durchforstungen in Kiefernjungbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 102, 1–17.
- JEVŠENAK, J. 2020. New features in the dendroTools R package: bootstrapped and partial correlation coefficients for monthly and daily climate data. *Dendrochronologia*. 63, 125753.
- JUODVALKIS, A., KAIRIUKSTIS, L., VASILIAUSKAS, R. 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *European Journal of Forest Research*. 124, 187–192.
- KINT, V., AERTSEN, W., CAMPIOLI, M., VANSTEENKISTE, D., DELCLOO, A., MUYS, B. 2012. Radial growth change of temperate tree species in response to altered regional climate and air quality in the period 1901–2008. *Climatic Change*. 115(2): 343–363. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0465-x>
- LAGERGREN, F., LANKREIJER, H., KUČERA, J., CIENCIALA, E., MÖLDER, M., LINDROTH, A. 2008. Thinning effects on pine–spruce forest transpiration in central Sweden. *Forest Ecology and Management*. 255(7), 2312–2323. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.047>
- LLORET, F., KEELING, E. G., SALA, A. 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*. 120(12), 1909–1920.
- MCDOWELL, N. G. et al. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*. 178(4), 719–739.
- PIROGOWICZ, T. 1983. Wpływ trzebieży na produktywność i strukturę drzewostanów sosnowych na przykładzie stałych powierzchni doświadczalnych położonych w nadleśnictwach Ruciane, Krutyń i Ryjewo. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa*. 38(3), 621–625.
- PRETZSCH, H. et al. 2015. Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research*. 134(5), 927–947. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>
- RAISANEN, J. 2022. Probabilistic forecasts of near-term climate change: verification for temperature and precipitation changes from years 1971–2000 to 2011–2020. *Climate Dynamics*. 3–4, 1175–1188. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06182-8>
- RSTUDIO TEAM. 2024. *RStudio: Integrated development for R*. Boston, MA: RStudio, PBC [cit. 2025-06-09]. <http://www.rstudio.com/>
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1990. *Tree rings and environment*. Dendroecology. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research; Berne, Stuttgart, Vienna: Paul Haupt Publishers, 609 s.
- SOHN, J. A. et al. 2016. Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in *Pinus sylvestris* forests. *Ecological Applications*. 26(7), 2190–2205.
- SPITTLEHOUSE, D. L., STEWART, R. B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *BC Journal of Ecosystems and Management*. 4(1), art1.
- STECKEL, M. et al. 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.
- STROHMENGER, L., ACKERER, P., BELFORT, B., PIERRET, M. C. 2022. Local and seasonal climate change and its influence on the hydrological cycle in a mountainous forested catchment. *Journal of Hydrology*. 610, 127914. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127914>

Poděkování

Výsledek vznikl za finanční podpory projektů Interní grantové agentury č. IGA-LDF-24-IP-008 a institucionální podpory MZE-RO0123.

Kontakty | Contact Information

Petra Jablonická: e-mail: petra.jablonicka@mendelu.cz