

KLIMATICKO RŮSTOVÉ VZTAHY DOUGLASKY TISOLISTÉ NA BÝVALÉ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ

CLIMATE GROWTH RELATIONSHIPS OF THE DOUGLAS FIR AT FORMER AGRICULTURAL LAND

Pavel Horák¹, Petra Jablonická¹, Pavlína Pancová Šimková²

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

²Ústav ochrany lesů a myslivosti, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika

Abstrakt

Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) je jednou z nejčastěji využívaných nepůvodních druhů dřevin v evropském lesnictví. Stále častěji je využívána také k zalesňování původních zemědělských půd. Porosty douglasky na bývalé zemědělské půdě a na trvalých lesních stanovištích vykazují významné dlouhodobé vlivy historického využití půdy na vztah mezi klimatem a růstem. Na lokalitách založených na bývalé zemědělské půdě je růst stromů silně korelovan s klimatickými proměnnými v aktuálním roce tvorby letokruhu. Naproti tomu na lesních půdách je růst výrazněji ovlivněn klimatickými podmínkami z předchozího roku. V případě citlivosti na extrémní klimatické události (tzv. pointer years), výrazné rozdíly byly pozorovány pouze v počáteční fázi vývoje porostu na zemědělských půdách; tyto rozdíly postupně mizely, jak dochází k modifikaci půdního prostředí.

Klíčová slova: klimatický signál, dendrochronologie, douglaska, letokruhová analýza

Abstract

The Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) is one of the most used non-native tree species in European forestry. It is increasingly being used for the afforestation of agricultural land. Douglas-fir stands on both former agricultural land and permanent forest soils have shown significant long-term effects of historical land use on climate-growth relationships. On the site established on former agricultural land, tree growth showed a strong correlation with climatic variables in the current year of ring formation. In contrast, on forest soil, growth was more strongly influenced by climate conditions from the previous year. In terms of sensitivity to extreme climatic events (pointer years), notable differences were observed only in the initial development stage on agricultural soils; these differences diminished as the soil environment gradually transformed.

Keywords: climate signal, dendrochronology, Douglas fir, tree ring analysis

1 ÚVOD

Zalesňování zemědělské půdy, ať už spontánní nebo úmyslné, probíhá již po staletí a jeho intenzita se mění v závislosti na využívání krajiny, její historii a vývoji. V Evropě lze od poloviny 20. století pozorovat rozsáhlé změny ve využívání půdy. Tyto změny lze charakterizovat mimo jiné i rozsáhlým zalesněním méně hodnotných zemědělských půd (Johann, 2004; Mather, 2001). Zalesňování je prováděno nejčastěji s cílem hospodářsky využít méně bonitní zemědělské pozemky, případně je prováděno s protierozním záměrem (Rejšek *et al.*, 2010; Podrázský *et al.*, 2016).

Biologicky nejvhodnější postup při zalesňování zemědělských půd je využití pionýrských rychle rostoucích dřevin, které vytvoří vhodné stanovištní podmínky pro následný porost (Podrázský *et al.*, 2009).

Pro zalesnění zemědělských půd jsou často využívány jehličnaté dřeviny, zejména smrk, s cílem rychlé produkce ekonomicky zhodnotitelné dřevní hmoty. Tyto porosty jsou ovšem často nestabilní a dochází k jejich časnému rozpadu (Vacek *et al.*, 2020).

V posledních letech se začíná při zalesňování zemědělských půd uplatňovat z jehličnanů i douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) díky vyššímu produkčnímu potenciálu a příznivějšímu vlivu na půdu než domácí jehličnany. Nezanedbatelná je také její vyšší odolnost k biotickým a abiotickým faktorům při zhoršené vodní bilanci stanoviště (Podrázský *et al.*, 2010).

Dostupné studie se zaměřují na vyhodnocení mladých výsadb do 40 let věku se zaměřením na efekt douglasky na půdní prostředí, případně její objemovou produkci ve srovnání s domácími druhy (Podrázský *et al.*, 2009; Zeidler *et al.*, 2017).

Vyhodnocení dlouhodobé perspektivy a stability porostů založených na zemědělské půdě chybí jak v domácích, tak zahraničních podmínkách. Cílem prezentovaného výzkumu je zhodnotit dlouhodobou perspektivu porostu založeného na bývalé zemědělské půdě ve srovnání s porostem založeným na trvalé lesní půdě.

2 MATERIÁL A METODY

Pro daný výzkum byly využity dva porosty douglasky tisolisté na majetku MENDELU v podobných půdně klimatických podmínkách. Porost Křtiny (dále jen „KR“) byl založen na trvalé lesní půdě a porost Habrůvka (dále jen „HB“) byl založen na do té doby zemědělsky obhospodařované půdě s navazujícím porostem buku. V obou případech se jedná o nesmíšený porost bez vtroušených dřevin, popis lokalit viz Tab. 1.

Pro účely výzkumu byly odebrány vývrty z 15 jedinců na každé 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, měřeny a datovány v softwaru Coorecorder a CDendro a následně byly vyexportovány ve formátu .rwl. Poté byla data zpracována v softwaru R studio (R Studio Team, 2024), kde byl nejprve proveden výpočet základních statistických parametrů (např. délka letokruhových sérií, EPS – expressed population signal, SNR – signal to noise ratio). Následně byl vypočítán přírůst kruhové výčetní základny (BAI; Bunn, 2010). Následně byly naměřené šířky letokruhů detrendovány pomocí spline funkce o vlnové délce 30 let (Bunn *et al.*, 2010). Nakonec byly vypočítány residuální letokruhové chronologie, u nichž byla odstraněna autokorelace pomocí autoregresního modelu (Cook a Kairiukstis, 2013). Tyto chronologie byly následně využity pro analýzy klimatických signálů mezi přírůsty a klimatickými proměnnými

Tab. 1: Informace o lokalitách

Information about locations

Lokalita (Location)	Nadmořská výška (Altitude)	Roční srážky (Annual precipitation)	Průměrná roční teplota (Average annual temperature)	Půdní typ (Soil type)	SLT (Forest type)	Expozice svahu (Slope exposure)	Sklon svahu (Slope)
KR	500 m n. m.	576,2 mm	7,8 °C	Kambizem modální	3B1	J-Z	2,1°
HB	490 m n. m.	562,3 mm	7,9 °C	Kambizem modální	3B1	J-V	1,5°

(měsíční srážky a průměrné měsíční teploty vzduchu). Poté byly identifikovány tzv. pointer years (tj. roky s významnou růstovou reakcí dřevin vyvolanou extrémními klimatickými podmínkami; Schweingruber *et al.*, 1990). V těchto letech byly vypočítány a následně porovnány indexy resilience (resistance, recovery, resilience, average relative growth reduction dle Lloret *et al.*, 2011 a van der Maaten-Theunissen *et al.*, 2021).

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, 2010), treeclim (Zang, Biondi, 2015), dendroTools (Jevšenak, 2020) a pointRes (van der Maaten-Theunissen *et al.*, 2021).

3 VÝSLEDKY

V tabulce 2 jsou uvedeny základní charakteristiky letokruhových sérií.

Grafy (Obr. 1) ukazují při srovnání jednotlivých lokalit vyšší korelace ročních přírůstků s průměrnými měsíčními srážkami v roce tvorby letokruhu na lokalitě HB (zemědělská půda) než na lokalitě KR (trvalá lesní půda). V případě průměrných měsíčních teplot lze hovořit o pozitivním vlivu na růst v zimních a jarních měsících na lokalitě KR, na lokalitě HB je patrný negativní vliv vyšších teplot v počátku vegetační sezony.

Na Obr. 2 je znázorněn průběh indexů šířek letokruhů a ročních úhrnů srážek s vyznačenými pointer years. Jedná se o roky, kdy je přírůstek výrazně nižší vlivem nepříznivých klimatických faktorů. Za účelem srovnání byly vybrány roky pro obě lokality stejné, jedná se o roky 1976, 1993, 2003, 2013 a 2018.

Z Obr. 3 je patrné, že v roce 1976 byly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi lokalitami u všech sledovaných indexů vyjma recovery. V daném roce vykazovala lokalita HB (bývalá zemědělská půda) výrazně příznivější růstovou odezvu k disturbanci. V ostatních letech jsou výsledky téměř bez statistické významnosti. Výjimku tvoří rok 1993, kdy lokalita KR vykazovala výrazně vyšší hodnotu recovery a lokalita HB hodnoty resistance. Statisticky významné rozdíly lze pozorovat také u indexů resilience a resistance, kdy příznivější reakci vykazovala lokalita KR.

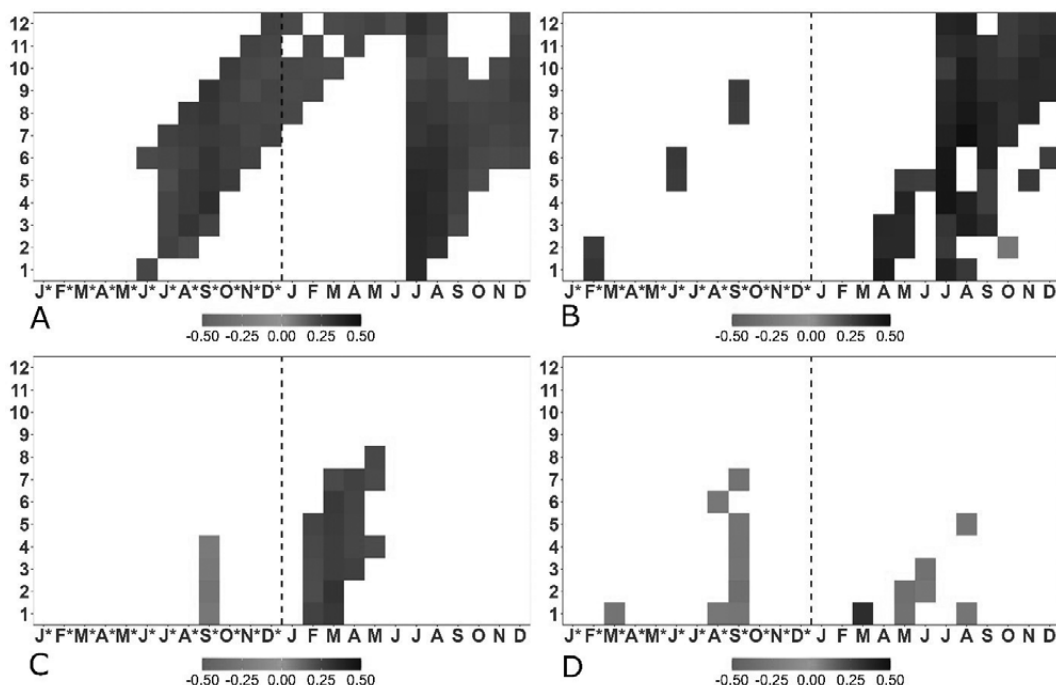
4 DISKUSE

Z dendroklimatických analýz je mezi lokalitami patrný rozdíl v korelacích radiálního růstu s klimatickými proměnnými. V případě lokality KR lze pozorovat významné pozitivní korelace růstu se srážkami v roce předcházejícím tvorbě letokruhu, kdy se při agregaci vyššího počtu měsíčních úhrnů stává významný úhrn během celé vegetační periody. V roce tvorby letokruhu lze pozorovat pozitivní korelaci se srážkami nejdříve v měsíci červenci i při agregaci vyššího počtu předcházejících měsíců. Lokalita HB naopak nevykazuje korelace se srážkami v roce předcházejícím, ale je korelována při nižší agregaci již v předjarním období roku tvorby letokruhu.

Tab. 2: charakteristika letokruhových sérií, Mean StD (Ar1) – průměrná autokorelace 1. řádu; rbar – průměrná mezisériová korelace; EPS – expressed population signal; SNR – signal-to-noise ratio

Tree ring series characteristics, Mean StD (Ar1) – first-order autocorrelation; rbar – the mean inter-series correlation; EPS – expressed population signal; SNR – signal-to-noise ratio

Lokalita (Locality)	Počet letokruhových séřií (Nr. of series)	Průměrná délka série (Avg. Ser. Lng.)	Délka chronologie (Timespan)	Mean StD (Ar1)	rbar	EPS	SNR
KR	14	77,57	1938–2024	0,711	0,493	0,931	13,595
HB	15	52,13	1968–2024	0,754	0,385	0,904	9,398

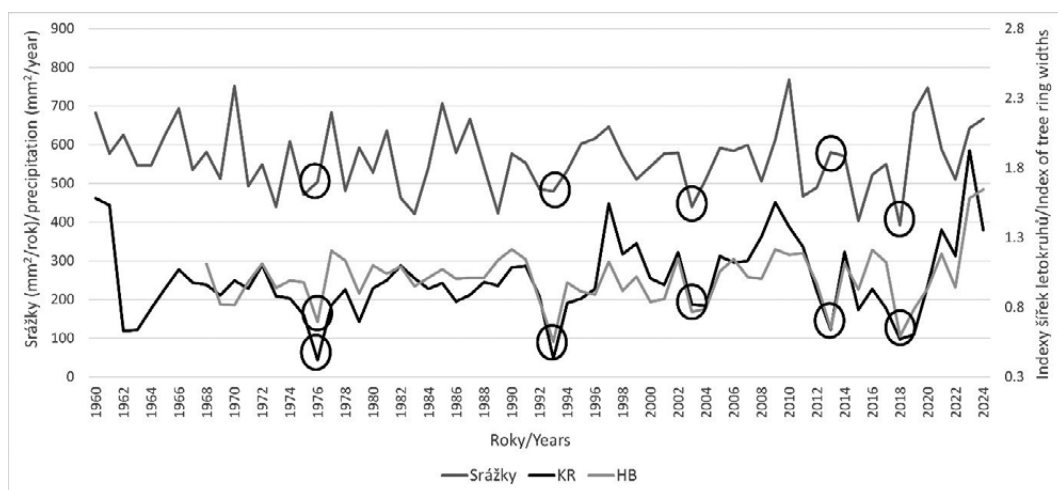


Obr. 1: Míra korelace mezi indexy šířek letokruhů reziduální chronologie s měsíčním úhrnem srážek a průměrnými měsíčními teplotami pro lokalitu KR (A;C) a HB (B;D) za období 1968–2024. Osa y reprezentuje počet po sobě následujících agregovaných měsíců, osa x vyjadřuje měsíce v roce vzniku letokruhu, měsíce označené (*) náleží do roku před vznikem 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 monthly precipitation totals and average monthly temperatures for the KR (A;C) and HB (B;D) sites for the period 1968–2024. The y axis represents the number of consecutive aggregated months, the x-axis represents the months of the year, the months marked (*) belong to the year before the formation of the tree ring. The value of the correlation coefficient is expressed by a color scale. Only statistically significant values are shown in the graph

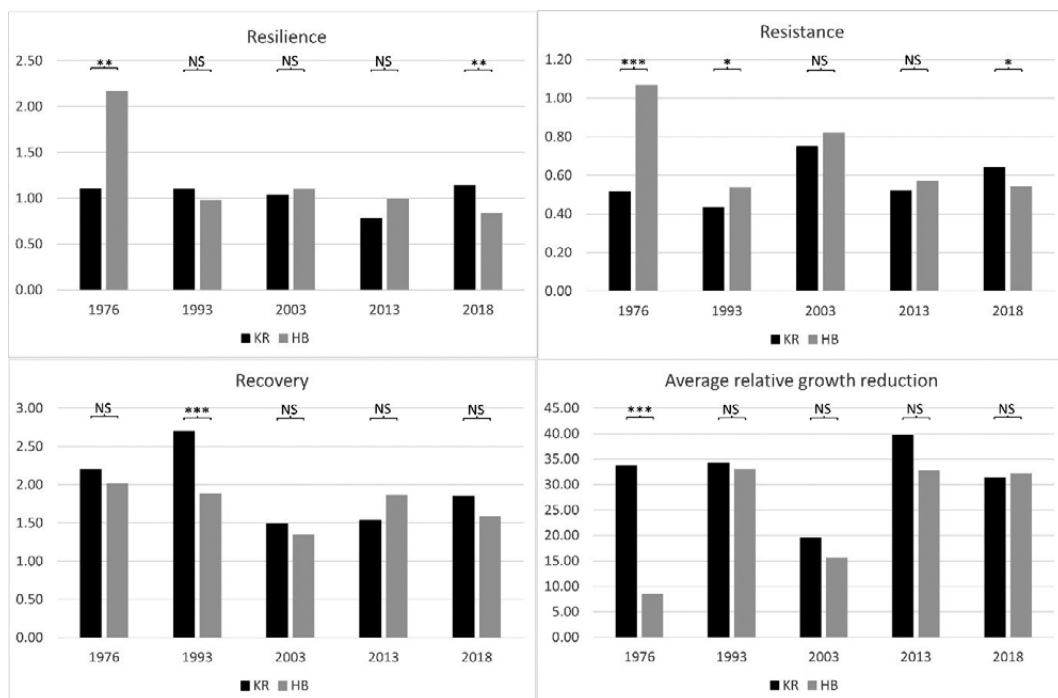
a stejně jako lokalita KR v letním období. Rozdíl v časovém rozdělení a intenzitě korelací naznačují výrazně nižší retenční kapacitu bývalé zemědělské půdy (lokalita HB) a tím pádem reakci pouze na srážky z aktuální vegetační sezóny, zejména v předjaří a létě. Výrazně nižší retenční kapacitu původně zemědělské půdy v první generaci lesa zmiňuje v tuzemských podmínkách Podrázský *et al.* (2016). Tyto výsledky korespondují s výsledky studií, které provedli např. Nicolescu *et al.* (2013) a Niessner *et al.* (2024), kteří uvádí výrazné negativní ovlivnění růstu douglasky již při krátkodobé epizodě sucha na půdách nižší retenční kapacity. Z analýz korelace růstu s průměrnými měsíčními teplotami vyplývá, že přírůst na obou lokalitách je negativně ovlivněn vyššími teplotami na konci přecházejícího vegetačního období. V případě agregace více měsíců, se negativně projevují i teploty ve zbytku vegetačního období předcházejícího roku. Tyto negativní korelace lze vysvětlit faktem, že vysoké teploty, které často doprovází suchá perioda, negativně ovlivňují tvorbu a ukládání zásobních látek a tím i růst v následujícím roce (např. Kannenberg *et al.*, 2019; McDowell *et al.*, 2008).

Byly porovnány reakce jednotlivých porostů ve vybraných letech, tzv. pointer years. Nejvýznamnější rozdíly byly zaznamenány v roce 1976. V tomto roce byla pozorována příznivější odezva v případě porostu rostoucího na bývalé zemědělské půdě (HB). Rozdíly v daném roce z pohledu jednotlivých indexů resilience jsou způsobeny pravděpodobně rozdílným věkem



Obr. 3: Vztah indexů šířek letokruhů (standardní chronologie, křivky standardizované negativní exponenciálou) KR a HB a ročních úhrnů 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 standardized by negative exponential) KR and HB and yearly sum of precipitation. Selected years with reduced growth because of precipitation lack are marked by circles. Growing data was used to calculate resilience indices in selected years



Obr. 2: Hodnoty indexů resistance, recovery, resilience a average relative growth reduction a srovnání jejich statistické významnosti mezi lokalitami prostřednictvím t-testů v daných letech. Statistická významnost je označena následovně: $p < 0,001$ (***), $p < 0,01$ (**), $p < 0,05$ (*), statisticky nevýznamné (NS)

Values of resistance, recovery, resilience and average relative growth reduction indices and comparison of their statistical significance between locations using t-tests in given years. Statistical significance is indicated as follows: $p < 0.001$ (***), $p < 0.01$ (**), $p < 0.05$ (*), statistically insignificant (NS)

porostů. Vyšší resilienci a rezistenci u mladších jedinců uvádí např. Lucas-Borja *et al.* (2021). Ztráta rozdílu v reakcích porostů v průběhu času souvisí s postupnou změnou charakteru půdy na lokalitě HB na půdu lesní. Po zalesnění zemědělské půdy lze pozorovat výrazné změny v jejích vlastnostech již po relativně krátké době, jak uvádí např. Kacálek *et al.* (2007, 2013).

5 ZÁVĚR

Z pohledu klimatického signálu (průměrné měsíční teploty, měsíční úhrny srážek) je u obou porostů patrný výrazný dlouhodobý vliv různého historického využití půdy. Na lokalitě HB (bývalá zemědělská půda) lze pozorovat výraznou korelaci růstu s klimatickými proměnnými v roce tvorby letokruhu, zatímco na trvalé lesní půdě (KR) se projevuje výrazně také vliv roku předchozího. Z hlediska reakce dřevin v tzv. pointer years byly pozorovány významné rozdíly jen v iniciálním stádiu vývoje porostu na zemědělské půdě, s vyšším věkem porostů a postupnou přeměnou půdního prostředí rozdíly mizí.

Na základě zjištěných poznatků lze tvrdit, že porosty douglasky tisolisté založené na bývalých zemědělských půdách jsou dlouhodobě udržitelné a není nutné s nimi pracovat jen jako s porosty přípravnými.

LITERATURA

- BUNN, A. G. 2010. Statistical and visual cross-dating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*. 28(4), 251–258.
- COOK, E. R., KAIRIUKSTIS, L. A. (Eds.). 2013. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer Science & Business Media.
- JOHANN, E. 2004. *Forest history in Europe. Biological resources and migration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 73–82.
- JEVŠENAK, J. 2020. New features in the DendroTools R package: Bootstrapped and partial correlation coefficients for monthly and daily climate data. *Dendrochronologia*. 63, 125753.
- KACÁLEK, D., NOVÁK, J., ŠPULÁK, O., ČERNOHOUS, V., BARTOŠ, J. 2007. Přeměna půdního prostředí zalesněných zemědělských pozemků na půdní prostředí lesního ekosystému – přehled poznatků. *Zprávy lesnického výzkumu*. 52, 334–340.
- KACÁLEK, D., DUŠEK, D., NOVÁK, J., BARTOŠ, J. 2013. The impact of juvenile tree species canopy on properties of new forest floor. *Journal of Forest Science*. 59(6), 230–237.
- KANNENBERG, S. A., NOVICK, K. A., PHILLIPS, R. P. 2019. The importance of drought legacy effects in influencing tree growth. *New Phytologist*. 223(4), 1435–1446.
- 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.
- LUCAS-BORJA, M. E., BOSE, A. K., ANDIVIA, E., CANDEL-PÉREZ, D., PLAZA-ÁLVAREZ, P. A., LINARES, J. C. 2021. Assessing tree drought resistance and climate-growth relationships under different tree age classes in a *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* forest. *Forests*. 12(9), 1161.
- MATHER, A. S. 2001. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. *Scottish Geographical Journal*. 117(1), 67–74.
- MCDOWELL, N., POCKMAN, W. T., ALLEN, C. D., BRESHEARS, D. D., COBB, N., KOLB, T., PLAUT, J., SPERRY, J., WEST, A., WILLIAMS, D. G., YEPEZ, E. A. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*. 178(4), 719–739.
- NICOLESCU, V. N., MASON, W. L., BASTIEN, J. C., VOR, T., PETKOVA, K., PODRÁZSKÝ, V., ĐODAN, M., PERIĆ, S., LA PORTA, N., BRUS, M., ANDRAŠEV, S., SLÁVIK, M., MODRANSKÝ, J., PÁSTOR, M., RÉDEI, K., CVJETKOVIČ, B., SIVACIOĞLU, A., LAVNYI, V., BUZATU-GOANȚĂ, C., MIHĂILESCU, G. 2023. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Europe: An overview of management practices. *Journal of Forestry Research*. 34(4), 871–888.
- NIESSNER, A., EHEKIRCHER, S., ZIMMERMANN, R., HORNA, V., REICHLE, D., LAND, A., SPANGENBERG, G., HEIN, S. 2024. Soil drought sets site specific limits to stem radial growth and sap flow of Douglas-fir across Germany. *Frontiers in Plant Science*. 15, 1401833.

- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., ZAHRADNÍK, D. 2009. Produkce a vývoj humusových forem v lesních porostech založených na zemědělských půdách – oblast Kostelec nad Černými lesy. *Zprávy lesnického výzkumu*. 54(4), 253–260.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., ČERNÝ, J. 2010. Vliv douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) na vlastnosti půdy při zalesňování zemědělských půd. *Lesnická práce*. 89(6), 20–23.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., KODEŠOVÁ, R. 2016. Changes of agricultural land characteristics as a result of afforestation using introduced tree species. *Journal of Forest Science*. 62(2), 51–59.
- RSTUDIO TEAM. 2024. *RStudio: Integrated development for R*. Boston, MA: RStudio, PBC, 2024. [cit. 2025-06-09] <http://www.rstudio.com/>
- REJŠEK, K., VRANOVÁ, V., FORMÁNEK, P., FIALA, K. 2010. The role of trees and tree roots in influencing soil structure and infiltration. *Biologia*. 65(3), 502–506.
- 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.
- VACEK, S., KRÁL, J., BULUŠEK, D., BÍLEK, L. 2020. Stability and health condition of spruce forests under climate change in the Czech Republic. *Forests*. 11(2), 191.
- VAN DER MAATEN-THEUNISSEN, M., *et al.* 2021. pointRes 2.0: New functions to describe tree resilience. *Dendrochronologia*. 70, 125899.
- ZANG, C. H., BIONDI, F. 2015. treeclim: An R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*. 38(4), 431–436.
- ZEIDLER, A., REMEŠ, J., PODRÁZSKÝ, V. 2017. Comparison of Douglas-fir and Norway spruce wood quality from agricultural and forest sites. *Journal of Forest Science*. 63(11), 510–518.

Kontakty | Contact Information

Pavel Horák: e-mail: pavel.horak@mendelu.cz