

VLIV PĚSTEBNÍHO ZÁSAHU A NADMOŘSKÉ VÝŠKY NA VODNÍ STRES U MLADÝCH POROSTŮ SMRKU ZTEPILÉHO (*PICEA ABIES* (L.) H. KARST)

EFFECT OF THINNING AND ALTITUDE ON WATER STRESS IN YOUNG NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* (L.) H. KARST) STANDS

Jana Hacurová¹, Nikola Švorc Štěpánová¹, David Dušek¹,
Jan Leugner¹, Jakub Černý¹

¹Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, Jíloviště 252 02, Česká republika

Abstrakt

Významným prvkem adaptace lesních porostů na projevy klimatických změn mohou být optimální pěstební (výchovné) zásahy. Tento příspěvek hodnotí míru vodního stresu mladých nesmíšených smrkových porostů ve vegetačním období 2023 na dvou ekologicky odlišných lokalitách (Křivina 402 m n. m. a Říčky 920–930 m n. m.) v závislosti na intenzitě výchovných zásahů. Vodní stres byl měřen pomocí Scholanderovy tlakové komory. Přestože se předpokládalo, že výchovný zásah zlepší dostupnost vody díky rozvolnění korunového zápoje, výsledky neprokázaly významné rozdíly mezi variantami zásahu. Překvapivě vyšší hodnoty vodního stresu byly zaznamenány na klimaticky vhodnější lokalitě Říčky. Výsledky podtrhují důležitost kombinace ekologických, fenologických a fyziologických faktorů při hodnocení dopadů sucha na lesní porosty.

Klíčová slova: vodní potenciál, Scholanderova tlaková komora, půdní vlhkost, prořezávka

Abstract

For the adaptation of forest stands to the effects of climate change can be important optimal silvicultural (tending) interventions. This study evaluates the water stress level in pure young Norway spruce stands in the 2023 growing season at two ecologically distinct sites (Křivina 402 m a.s.l. and Říčky 920–930 m a.s.l.) in relation to the intensity of thinning interventions. Water stress was assessed using a Scholander pressure chamber. Although it was assumed that thinning would enhance water availability due to reducing canopy closure, the results did not reveal significant differences between thinning treatments. Surprisingly, higher levels of water stress were observed at the climatically more favourable site, Říčky. The findings emphasize the importance of integrating ecological, phenological, and physiological factors when evaluating the impacts of drought on forest stands.

Keywords: water potential, Scholander pressure chamber, soil moisture, thinning

1 ÚVOD

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) H. Karst) představuje jeden z nejrozšířenějších a hospodářsky nejvýznamnějších druhů jehličnanů v Evropě, s dlouholetou tradicí jeho pěstování (Skrøppa *et al.*, 2003; Bošeľa *et al.*, 2014). S rostoucími projevy klimatické změny se v lesních oblastech Evropy očekává častější výskyt letních přísušků (Ježík *et al.*, 2014). Boreální lesy jsou vůči suchu obzvláště zranitelné. Teplé a suché podmínky mohou negativně ovlivňovat růst stromů, což může vést ke snížení celkové produktivity lesních porostů (Wotherspoon *et al.*, 2022).

Prořezávky a probírky představují jedny ze základních pěstebních zásahů uplatňovaných v lesním hospodářství. Obvykle vedou ke snížení hustoty porostu a ke krátkodobému zvýšení přírůstu jednotlivých stromů (Gonçalves, 2021). Regulace hustoty lesního porostu, například

prostřednictvím prořezávky nebo předmýtní probírky, může přispět ke snížení vodního stresu zbylých jedinců a ke zlepšení jejich vitality, a to v důsledku zlepšené dostupnosti půdní vody. Dostupnost půdní vláhy byla identifikována jako hlavní faktor ovlivňující růst stromů během vegetačního období, také byl pozorován zvýšený tloušťkový přírůst a zlepšení hodnoty produkovaného dřeva (Olivar *et al.*, 2014; Wotherspoon *et al.*, 2022).

Základním parametrem používaným k popisu a kvantifikaci vodního režimu rostlin je vodní potenciál (ψ_w). Vyjadřuje energetický stav vody v rostlinných pletivech, orgánech či okolním prostředí a odráží sílu, kterou je voda v daném systému vázána. Hodnoty vodního potenciálu jsou zpravidla záporné (González a Roger, 2003; Ritchie a Landis, 2005; Erice *et al.*, 2018) v rozsahu od $-0,3$ MPa v půdě přes cca $-0,8$ MPa v rostlině po -95 MPa v atmosféře (Taiz a Zeiger, 2002). V rostlinách se běžně stanovuje pomocí tlakové komory (Scholander *et al.*, 1964). Je to citlivý integrátor edafických a atmosférických vlivů působících na vodní vztahy rostlin (Sellin, 1996; Cochard *et al.*, 2021). V této souvislosti se rovněž používá pojem vodní stres rostlin (Plant Moisture Stress, PMS), který lze z vodního potenciálu odvodit převrácením znaménka. Oba parametry se vyjadřují v tlakových jednotkách – MPa, nebo barech (Ritchie a Landis, 2005).

Cílem práce bylo zjistit, zda intenzita pěstebního zásahu a nadmořská výška ovlivní míru vodního stresu v mladých smrkových porostech.

2 MATERIÁL A METODY

Vodní stres smrku ztepilého byl v průběhu vegetačního období 2023 sledován na dvou výzkumných lokalitách. Lokality byly zvoleny v rozdílných nadmořských výškách tak, aby reprezentovaly různé ekologické podmínky pro pěstování smrku. Výzkumná plocha (VP) Křivina (402 m n. m.) představuje spodní hranici vhodnosti pěstování smrku a z hlediska budoucího vývoje se jedná o rizikovou polohu, stáří porostu 17 let (2023). Říčky (920–930 m n. m.) se nachází v horní části Orlických hor, jedná se o polohu s nízkým rizikem z hlediska ohrožení suchem, stáří porostu cca 30 let (2023). Obě výzkumné lokality jsou rozděleny na tři dílčí plochy dle intenzity výchovného zásahu (Tab. 1). Výchovné zásahy byly na obou plochách provedeny v roce 2020. Na každé lokalitě bylo pro hodnocení vybráno 18 úrovnových vitálních stromů (6 stromů pro každou variantu).

Vzorky byly odebírány každé dva týdny (Křivina 13 odběrů; 11.4.–31.10.; Říčky 10 odběrů; 9.5.–24.10.; vegetační období bylo definováno dle Körner *et al.*, 2023). Termíny odběrů byly pro účely analýzy převedeny na pořadové dny v roce (DOY). Z každého stromu byly odebrány tři dvouleté větvičky z produkční části koruny. Vodní stres byl měřen pomocí tlakové komory

Tab. 1: Přehled dílčích ploch na VP Křivina a VP Říčky
Overview of research subplots in Křivina and Říčky

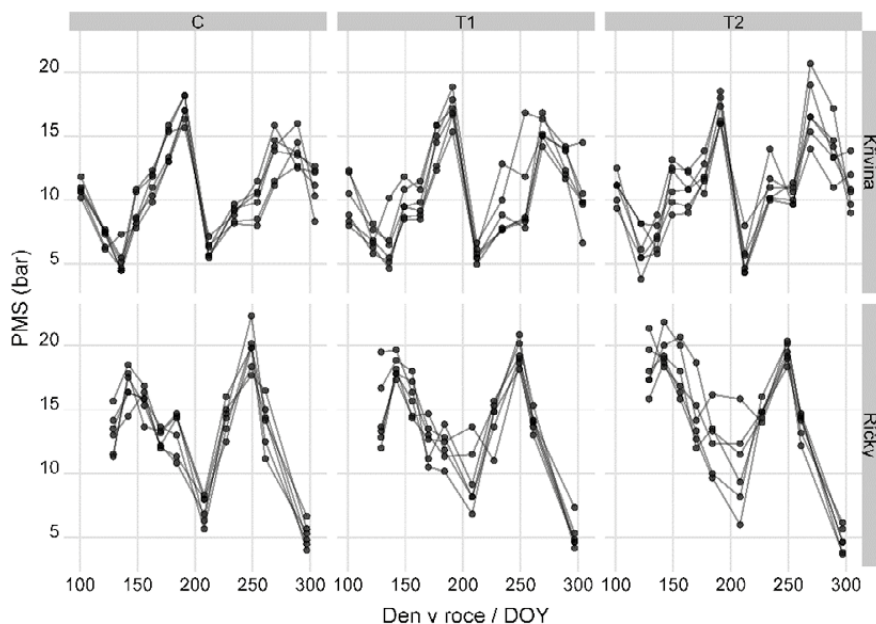
Lokalita (Location)	Dílčí plochy (Subplot)	Výchovný zásah (Silvicultural intervention)	Porostní hustota ($\text{ks} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Stand density ($\text{tree} \cdot \text{ha}^{-1}$))
KŘIVINA 402 m n. m.	C	kontrola, bez zásahu / control, no intervention	3500
	T1	provozní zásah / common thinning	2000
	T2	intenzivní zásah / heavy thinning	1300
ŘÍČKY 920–930 m n. m.	C	kontrola, bez zásahu / control, no intervention	1690
	T1	provozní zásah / common thinning	1400
	T2	intenzivní zásah / heavy thinning	1010

(Model 1000, PMS Instrument Company, Oregon, USA). Vodní sloupec v xylému má stále určité napětí, které se po odstřížení vzorku naruší a voda se částečně stáhne zpět. Při zvyšování tlaku v komoře je voda tlačena zpět k řeznému povrchu. Vodní stres je určen jako hodnota tlaku plynu potřebného k vytlačení kapky vody na řezu a tento tlak se rovná napětí vodního sloupce v době odstříhnutí vzorku (González, 2003). Hodnoty tlaku ze tří odběrů v rámci stejného stromu a termínu byly zprůměrovány. Během sledování vodního stresu byly kontinuálně měřeny meteorologické parametry (teplota vzduchu, úhrny srážek) automatickými meteostanicemi, které jsou na obou lokalitách umístěny na volné ploše. Na Křivíně byla půdní vlhkost zjišťována pomocí čidel Campbell CS 650/CS655, která snímají vlhkost po celé délce senzoro- vých tyčí (30 cm) a v jejich blízkém okolí. Na Říčkách byla půdní vlhkost sledována v rámci měření meteostanic.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

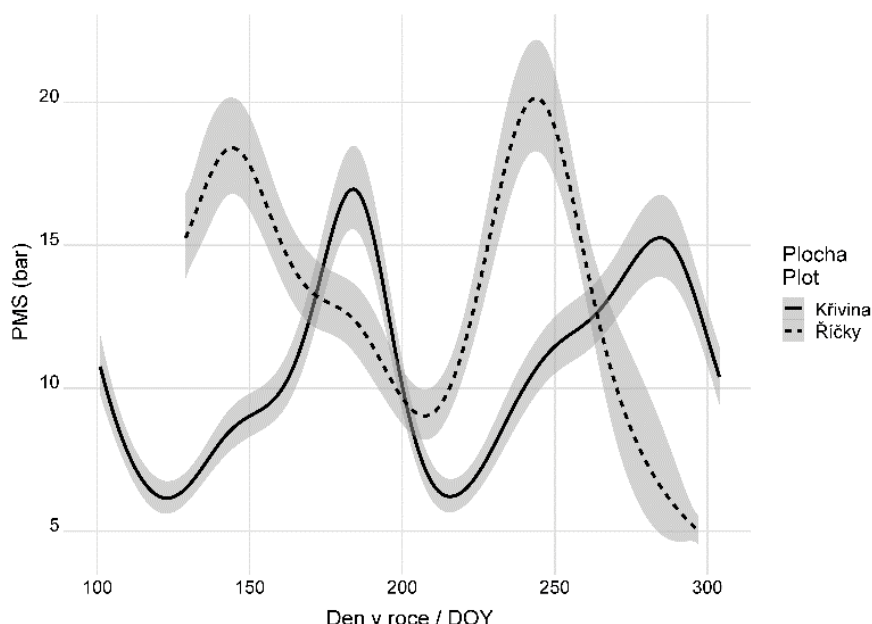
Navzdory předpokladu, že vyšší intenzita výchovného zásahu zajistí ponechaným stromům lepší dostupnost vody díky nižší intercepci, a tedy menší míře stresu suchem (Olivar *et al.*, 2014; Wotherspoon *et al.*, 2022), předběžná analýza nepotvrdila relevantní rozdíly mezi jednotlivými variantami (C, T1 a T2) a průběh hodnot v rámci stejné lokality byl velmi podobný (Obr. 1).

Pro analýzu na úrovni lokalit byl použit zobecněný aditivní model se smíšenými efekty (GAMM) s Gamma rozdělením a logaritmickou link funkcí, kde jednotlivé stromy vystupují jako náhodné efekty. Modelové hodnoty z GAMM vykazovaly rozdílný průběh pro jednotlivé lokality (Obr. 2). Na obou lokalitách byly detekovány dva vrcholy maxima a dvě minima hodnot



Obr. 1: Vývoj hodnot vodního stresu (PMS) jednotlivých stromů podle experimentální varianty a lokality. Hodnoty pro jeden strom byly získány jako aritmetický průměr ze tří odběrů ve stejném termínu. C – kontrolní varianta, T1 – provozní zásah, T2 – intenzivní zásah

Development of plant moisture stress (PMS) of individual trees according to experimental treatment and location. The values for each tree were obtained as the arithmetic mean of three samples taken at the same time. C – control treatment, T1 – common intervention, T2 – intensive intervention



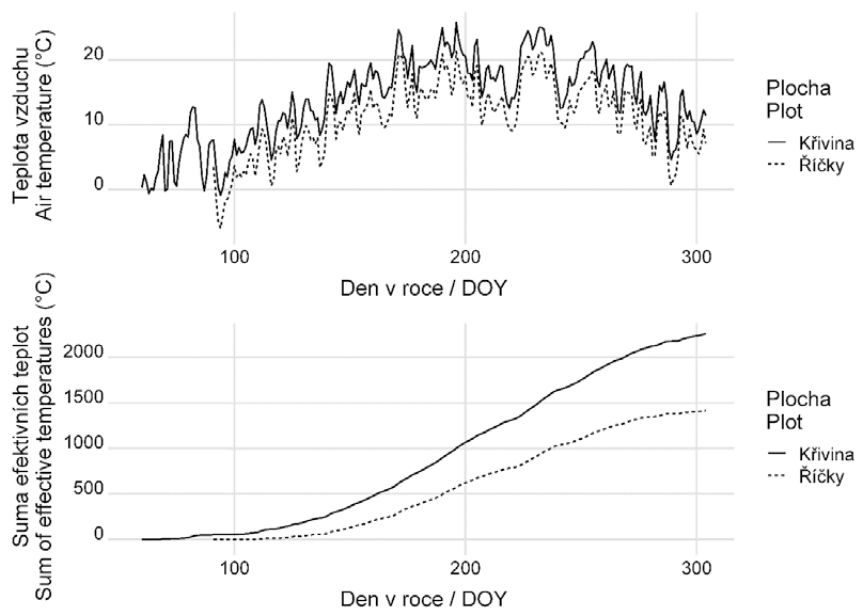
Obr. 2: Modelový vývoj hodnot vodního stresu (PMS) z GAMM na jednotlivých lokalitách s 95% intervaly spolehlivosti pro střední hodnotu

Model development of plant moisture stress (PMS) from GAMM at individual sites with 95% confidence intervals for the mean value

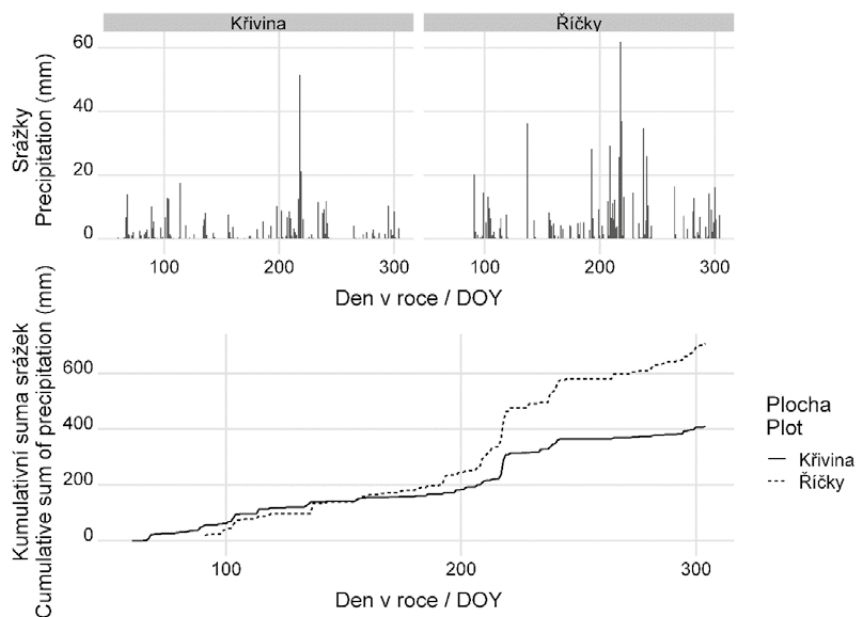
vodního stresu, ale s rozdílným časovým posunem. Na lokalitě Křivina bylo dosaženo dvou maxim v DOY 184 (3.7.) a DOY 285 (12.10.) a minim v DOY 123 (3.5.) a DOY 216 (31.5.). Na lokalitě Říčky bylo dosaženo maxim v DOY 144 (24.5.) a DOY 244 (1.9.) a minim v DOY 207 (26.7.) a DOY 297 (24.10.).

Předpokládalo se, že na lokalitě Křivina, která se nachází na dolní hranici ekologické valence smrku (Hanewinkel *et al.*, 2013), budou stromy více vystaveny stresu v důsledku nepříznivých klimatických podmínek. Naproti tomu na lokalitě Říčky se očekával nižší stupeň stresu, protože se jedná o polohu s vhodnými podmínkami pro jeho pěstování (Dujka a Kusbach, 2023). Ačkoli hodnoty vodního stresu vykazovaly výrazně odlišný vývoj mezi jednotlivými lokalitami, nepodařilo se tyto rozdíly vysvětlit za pomoci regresních modelů s využitím shromážděných meteorologických údajů o srážkách, teplotě vzduchu a půdní vlhkosti z daných lokalit (Obr. 3–5). Roli zde zřejmě sehrávají další nesledované faktory, např. fenologie, pedologie apod.

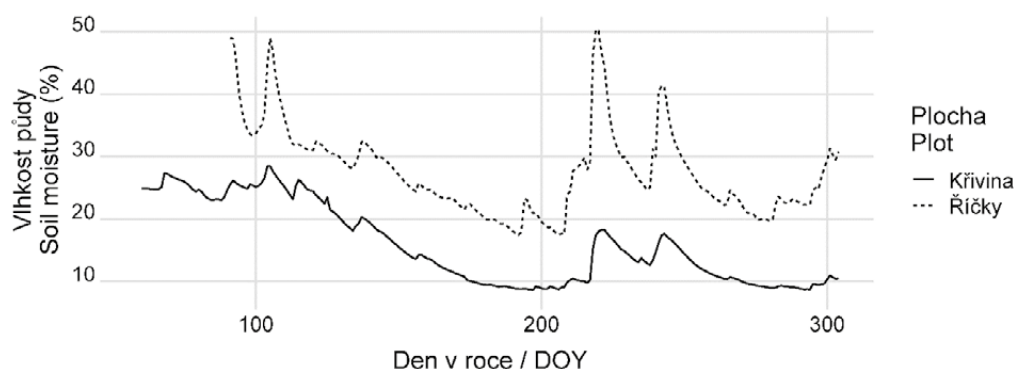
Navzdory vyšším úhrnům srážek a vyšší půdní vlhkosti zaznamenané během vegetačního období byly na lokalitě Říčky zjištěny vyšší hodnoty vodní stresu. To naznačuje, že porosty na této lokalitě byly vystaveny většímu stresu než na lokalitě Křivina. Jedním z možných vysvětlení tohoto rozdílu je odlišný fyziologický stav stromů – je pravděpodobné, že porosty na Křivině se nacházejí v lepší kondici – zásadním faktorem bude rozdílný věk obou porostů (Říčky 30 let a Křivina 17 let). Roli může hrát i odlišné načasování fenologických fází vývoje jehlic, vzhledem k opožděnému začátku vegetačního období na lokalitě Říčky, které jsou různě citlivé ke stresorům. Pokud byl vliv stresu významný i v předešlých letech, zejména během raných fází vývoje jehlic, může být asimilační aparát poznamenán a tím může být zvýšena citlivost organismu ke stresovým faktorům (Adams *et al.*, 2015; Jensen *et al.*, 2015; Hull, 2022).



Obr. 3: Průběh průměrných denních teplot (nahore) a sumy efektivních teplot (dole; prahová hodnota 5 °C)
Progress of average daily temperatures (top) and sum of effective temperatures (bottom; threshold value 5 °C)



Obr. 4: Průběh dešťových srážek (nahore) a jejich kumulativní sumy (dole)
Progress of rainfall (top) and its cumulative sum (bottom)



Obr. 5: Průběh půdní vlhkosti na sledovaných lokalitách
Progress of soil moisture at the experimental sites

Dalším významným faktorem mohou být rozdíly v půdních typech či půdním profilu mezi oběma lokalitami. Na Křivině se nachází modální kambizem, jedná se půdní typ s dobrou kapacitou pro zadržování a dostupnost vody, což může mít pozitivní vliv na vodní režim rostlin (Královec *et al.*, 2016). Naopak na Říčkách se jedná o podzol, což je půda s horšími retenčními vlastnostmi. Voda v této půdě rychle odtéká a je méně dostupná pro rostliny, neboť je vázána ve formách, které jsou rostlinami hůře využitelné (Nikodem *et al.*, 2013). Dalším možným vysvětlujícím faktorem je topografie stanovišť. Lokalita Křivina se nachází na rovině, zatímco Říčky leží na jihozápadně orientovaném svahu. Tato expozice může ovlivnit intenzitu slunečního záření, fyzikální výpar (evaporaci) a mikroklimatické podmínky, a tím přispívat k vyšší míře vodního stresu.

4 ZÁVĚR

Výsledky získané během vegetačního období 2023 na dvou lokalitách v odlišných nadmořských výškách s různou intenzitou výchovného zásahu nepotvrdily předpoklad, že intenzita zásahu zlepší vodní režim stromů díky snížené intercepci korunovým zápojem. Naopak stromy ve vyšší nadmořské výšce na klimaticky příznivější lokalitě Říčky vykazovaly vyšší míru stresu i přes větší srážkové úhrny a vyšší půdní vlhkost. Z výsledků vyplývá, že je nutné při interpretaci výsledků zohlednit věk porostu, fenologické fáze, stav asimilačního aparátu, půdní podmínky a topografii daného stanoviště. Výsledky mohou přispět k lepšímu porozumění mechanismům adaptace smrku na klimatickou změnu a podpořit efektivnější plánování pěstebních zásahů v lesním hospodářství.

LITERATURA

- ADAMS, H. D., COLLINS, A. D., BRIGGS, S. P., VENNETIER, M., DICKMAN, L. T., SEVANTO, S. A., GARCIA-FORNER, N., POWERS, H. H., MCDOWELL, N. G. 2015. Experimental drought and heat can delay phenological development and reduce foliar and shoot growth in semiarid trees. *Global Change Biology*. 21(11), 4210–4220. <https://doi.org/10.1111/gcb.13030>
- BOŠEĽA, M., SEDMÁK, R., SEDMÁKOVÁ, D., MARUŠÁK, R., KULLA, L. 2014. Temporal shifts of climate–growth relationships of Norway spruce as an indicator of health decline in the Beskids, Slovakia. *Forest Ecology and Management*. 325(6), 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.055>

- ČERMÁK, P., MIKITA, T., KADAVÝ, J. 2018. Klimatické změny a hospodaření se smrkem, Brdy jako modelové území. *Ochrana přírody*. 73(2), 20–25.
- COCHARD, H., TORRES-RUIZ, J. M., BODET, C. 2021. SurEau: A mechanistic model of plant water relations under extreme drought. *Annals of Forest Science*. 78(2), 55. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01067-y>
- DUJKA, P., KUSBACH, A. 2023. Klasifikace vegetační stupňovitosti v České republice: review. *Zprávy lesnického výzkumu*. 68(1), 1–14.
- ERICE, G., PÉREZ-BUENO, M. L., PINEDA, M., BARÓN, M., AROCA, R., CALVO-POLANCO, M. 2018. Determining Plant Water Relations. In: SÁNCHEZ-MOREIRAS, A. M., REIGOSA, M. J. (eds.). *Advances in Plant Ecophysiology Techniques*. Springer, Cham, p. 109–134. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93233-0_7
- GONÇALVES, A. C. (Ed.). 2021. *Silviculture*. IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87532>
- GONZÁLEZ, L. 2003. Determination of water potential in leaves. In: ROGER, M. J. R. (Ed.). *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. New York: Kluwer Academic Publishers, p. 193–205. <https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3>
- GONZÁLEZ, L., ROGER, M. J. R. 2003. Plant water status. In: ROGER, M. J. R. (ed.). *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. New York: Kluwer Academic Publishers, p. 184–191. <https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3>
- HANEWINKEL, M., CULLMANN, D. A., 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, 203–207. <https://doi.org/10.1038/nclimate1687>
- HULL, Ashley M. 2022. *Impacts of Needle Age, Tree Architecture, and Drought Stress on Photosynthetic Physiology of Fraser Fir (Abies fraseri) Christmas Trees*. Master's thesis, Appalachian State University.
- JENSEN, A. M., WARREN, J. M., HANSON, P. J., CHILDS, J., WULLSCHLEGER, S. D. 2015. Needle age and season influence photosynthetic temperature response and total annual carbon uptake in mature *Picea mariana* trees. *Annals of Botany*. 116(5), 821–832. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv115>
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., LETTS, M. G., DITMAROVÁ, L., SITKOVÁ, Z., STŘELCOVÁ, K. 2015. Assessing seasonal drought stress response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by monitoring stem circumference and sap flow. *Ecohydrology*. 8(3), 378–386. <https://doi.org/10.1002/eco.1536>
- KÖRNER, C., MÖHL P., HILTBRUNNER, E. 2023. Four ways to define the growing season. *Ecology Letters*. 26(8), 1277–1292. <https://doi.org/10.1111/ele.14260>
- KRÁLOVEC, V., KLIMENT, Z., VLČEK, L. 2016. Hodnocení retence vody v půdě v lesním a nelesním prostředí. *Zprávy lesnického výzkumu*. 61(3), 181–189.
- NIKODEM, A., PAVLŮ, L., KODEŠOVÁ, R., BORŮVKA, L., DRÁBEK, O. 2013. Study of podzolization process under different vegetation cover in the Jizerské hory Mts. Region. *Soil and Water Research*. 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.17221/56/2012-SWR>
- OLIVAR, J., BOGINO, S., RATHGEBER, C., BONNESOEUR, V., BRAVO, F. 2014. Thinning has a positive effect on growth dynamics and growth–climate relationships in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes. *Annals of Forest Science*. 71, 395–404.
- RITCHIE, G. A., LANDIS, T. D. 2005. *Seedling quality tests: Root growth potential*. Forest Nursery Notes, Winter 2003. Portland (Oregon, USA). USDA Forest Service Cooperative Forestry, p. 8–10
- ROCKWELL, F., SAGE, R. F. 2022. Plants and water: the search for a comprehensive understanding. *Annals of Botany*. 130(3): i–viii. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac107>
- SELLIN, A. 1996. Base water potential of *Picea abies* as a characteristic of the soil water status. *Plant and Soil*. 184(2), 273–280. <https://doi.org/10.1007/BF00010456>
- SCHOLANDER, P. F., HAMMEL, H. T., BRADSTREET, E. D., HEMMINGSEN, E. A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148(3668), 339–346. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- SKRØPPA, T. 2003. *Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use for Norway Spruce (Picea abies)*. EUFORGEN.

- SOLBERG, S. 2020. Summer drought: A driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Ecology Journal*. 35(2), 123–134
- TAIZ, L., ZEIGER, E. 2003. *Plant physiology*. Sinauer associates, inc., publisher.
- WOTHERSPOON, A. R., DUCHESNE, L., BARRETTE, M., HOULE, D. 2022. Pre-commercial thinning could mitigate drought stress of black spruce stands. *Forest Ecology and Management*. 517(6), 120278. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120278>

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory Ministerstva zemědělství ČR, institucionální podpora MZE-RO0123, a projektu TAČR TQ03000107.

Kontakty | Contact Information

Jana Hacurová: e-mail: hacurova@vulhmop.cz