POROVNÁNÍ RŮSTU DOUGLASKY TISOLISTÉ A SMRKU ZTEPILÉHO NA ZÁKLADĚ DAT NÁRODNÍ INVENTARIZACE LESŮ

COMPARISON OF THE GROWTH OF DOUGLAS-FIR AND NORWAY SPRUCE BASED ON NATIONAL FOREST INVENTORY DATA

David Dušek ✉ **- Jiří Novák**

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Výzkumná stanice Opočno, Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Czech Republic

✉ ***e-mail: dusek@vulhmop.cz***

ORCID: J. Novák 0000-0002-8032-9919

ABSTRACT

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) is regarded as one of the most promising introduced tree species for Central European forestry due to its high productivity and adaptability. This study compares the diameter and height growth of Douglas-fir and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) using data from the Czech National Forest Inventory (NFI). Fifty-seven inventory plots with co-occurring Douglas-fir and spruce of the same age (12–120 years) were selected, covering a range of ecological site types. The analysis was based on mean stem diameter (quadratic mean of DBH) and mean tree height, aggregated at the plot level. Results show that Douglas-fir exhibits significantly faster growth in both diameter and height across all ecological series. At 100 years of age, Douglas-fir achieved an average mean diameter of 50 cm and mean height of 31.5 m, compared to 35 cm and 28.2 m for spruce. The diameter ratio (qDg) between spruce and Douglas-fir decreased linearly with age, while the height ratio (qH) remained relatively stable. Generalized Additive Models (GAM) were used to analyze the dynamics of height-diameter ratio (HDR) and crown ratio (CR), revealing similar trends for both species, though Douglas-fir showed more favorable HDR values. The findings highlight Douglas-fir's superior growth performance and support its potential for broader use in Central European forestry, especially on nutrient-rich and acidic sites.

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

Klíčová slova: produkce lesa; introdukované lesní dřeviny; lesnictví střední Evropy; štíhlostní kvocient; korunový poměr

Key words: forest productivity; introduced forest tree species; Central European forestry; height-diameter ratio; crown ratio

ÚVOD

Douglaska tisolistá je považována za nejperspektivnější introdukovanou dřevinu v podmínkách ČR i střední Evropy (Thomas et al. 2022; Nicolescu et al. 2023). V současnosti její zastoupení v našich lesích nepřekračuje 0,3 % a do budoucna se počítá s navýšením na 2–5 %. Díky rychlému růstu a vysoké objemové produkci, kterou předčí všechny naše domácí dřeviny (Kantor 2008; Kantor, Mareš 2009; Tauchman et al. 2010; Podrázský et al. 2013; Kubeček et al. 2014; Podrázský et al. 2016; Mondek, Baláš 2019; Remeš et al. 2020), je považována za možnou částečnou náhradu produkce smrku zejména ve středních polohách. V teplejších nižších polohách nemusí být její rozšiřování tak efektivní (Cavelier et al. 2025). Dřevo douglasky je ceněno pro svou pevnost, trvanlivost a mnohostranné využití (Tauchman et al. 2010; Zeidler et al. 2022).

Douglaska vykazuje širokou škálu adaptability na různé půdní typy a klimatické podmínky (Eckhart et al. 2019). Může se jí dařit jak v nížinách, tak i v pahorkatinách. Douglaska prokázala dobrou toleranci k suchu (Eilmann, Rigling 2012; Rais et al. 2014; Mondek et al. 2021; Elfstrom, Powers 2023), což z ní činí relativně odolnou dřevinu pro oblasti s výskytem periodického nedostatku vody nebo klimatických výkyvů. Ekologické dopady pěstování douglasky nejsou tak závažné jako u jiných exotických dřevin (Schmid et al. 2014; Graf et al. 2025). Douglaska má relativně malý vliv na biodiverzitu přízemní vegetace, která je srovnatelná s přirozenými společenstvy v lesích jejího původního rozšíření (Kubeček et al. 2014; Thomas et al. 2022; Glatthorn et al. 2023). Zvýšení jejího podílu v porostech zejména na úkor smrku nevykazuje negativní dopady ani na faunu, např. drobné savce (Appleby, Balkenhol 2024). Na druhou stranu může pěstování

douglasky vést k vyšší nitrifikaci půdy (Podrázský et al. 2014; Matějka et al. 2015; Zeller et al. 2019; Podrázský et al. 2020).

Cílem příspěvku je porovnání tloušťkového a výškového růstu douglasky tisolisté a smrku ztepilého na srovnatelných stanovištích s využitím dat národní inventarizace lesů (NIL).

MATERIÁL A METODIKA

Z dat prvního kola národní inventarizace lesů v České republice (NIL 1), která probíhala v letech 2001 až 2004, byly vybrány inventarizační plochy se současným výskytem douglasky i smrku ve stejném věku. Takto bylo vybráno 57 inventarizačních ploch (celkem 1559 stromů, 1209 smrk, 350 douglaska) pro analýzu tloušťkového růstu a z nich 55 inventarizačních ploch pro analýzu výškového růstu (na dvou plochách nebyly měřeny výšky). Věkové rozpětí inventarizačních ploch bylo 12 až 120 let s dominantním zastoupením věku 20–40 let a byly zastoupeny v 2. až 6. lesním vegetačním stupni (LVS) s převahou ve třetím LVS (obr. 1). Nejčetněji byly zastoupeny plochy v živné ekologické řadě (31 ploch) a následně v kyselé (17 ploch), oglejené (6 ploch), obohacené humusem (2 plochy) a obohacené vodou (1 plocha).

Data na úrovni jednotlivých stromů byla agregována na úroveň inventarizační plochy v podobě tloušťky středního kmene a střední výšky.

Tloušťka středního kmene (*Dg*) byla vypočtena jako kvadratický průměr výčetních tlouštěk (*dbh*).

$$Dg = \sqrt{\frac{\sum dbh_i^2}{n}}$$

Střední výška (*H*) byla vypočtena jako prostý aritmetický průměr výšek jednotlivých stromů (*h*).

$$H = \frac{\sum h_i}{n}$$

Pro relativní vyjádření rozdílů ve středních tloušťkách (resp. výškách) mezi smrkem a douglaskou byl v rámci stejné inventarizační plochy vypočten podíl střední tloušťky (výšky) smrku ke střední tloušťce (výšce) douglasky podle vzorce:

$$qDg = \frac{Dg\ smrku}{Dg\ douglasky}$$

Pro analýzu nepravých časových řad střední tloušťky a výšky byla použita Korfova růstová funkce ve tvaru:

$$y = a \times \exp\left(\frac{k}{(1-n) \times t^{n-1}}\right)$$

kde *y* je střední tloušťka (Dg), resp. střední výška (H), *exp* je základ přirozeného logaritmu, *t* je věk a *a, k, n* jsou regresní koeficienty.

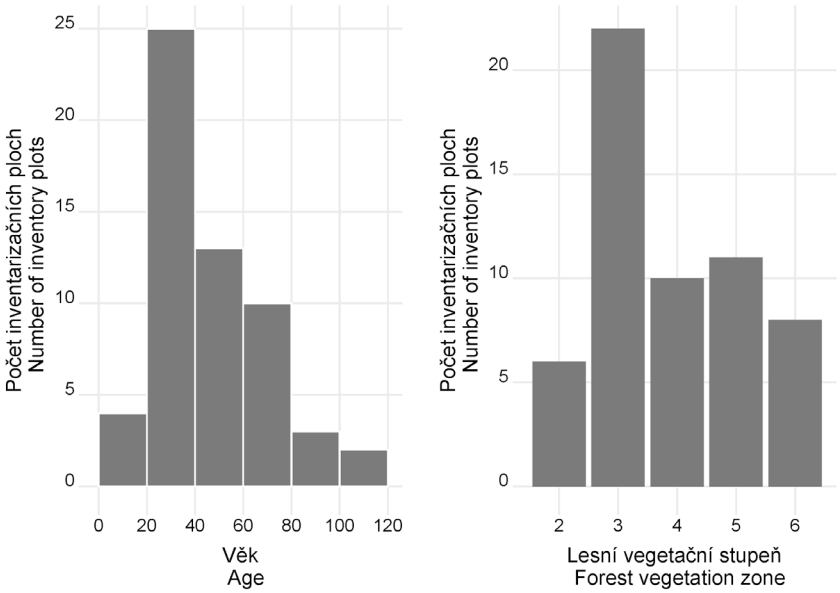
Běžný přírůst (BP) je pak druhou derivací Korfovy růstové funkce:

$$BP = a \times \exp\left(\frac{k}{(1-n) \times t^{n-1}}\right) \times \frac{k}{t^n}$$

Průměrný přírůst (PP) je hodnota růstové funkce dělena věkem:

$$PP = \frac{a \times \exp\left(\frac{k}{(1-n) \times t^{n-1}}\right)}{t}$$

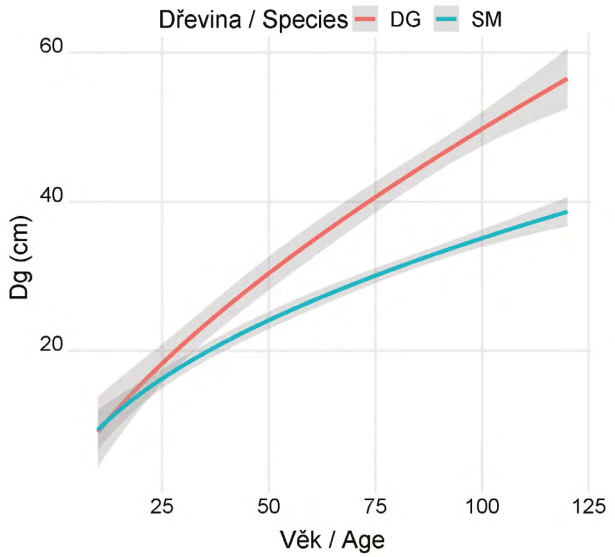
Odhady regresních parametrů Korfovy funkce pro střední tloušťku byly zatíženy značnou nejistotou v podobě širokých konfidenčních intervalů a vypočtené hodnoty kulminace běžného a průměrného přírůstu ležely v biologicky nerealisticky nízkých hodnotách. Srovnatelně neuspokojivých výsledků při stanovení tloušťkového přírůstu bylo dosaženo i při použití dalších růstových funkcí (Chapman-Richardsovy, Gompertzovy, Weibullovy a logistické funkce). Jelikož kulminace tloušťkového přírůstu nastává v raném věku porostů, který není za-



Obr. 1.
Počet inventarizačních ploch podle věkových tříd a lesních vegetačních stupňů
Fig. 1.
Number of inventory plots by age classes and forest vegetation zones

chycen v datech NIL, není jej možno spolehlivě stanovit z daných dat a v práci jsou proto uváděny pouze přírůsty pro průměrnou výšku. Parametry Korfovy růstové funkce pro střední výšku vykazovaly mnohem menší šířku konfidenčních intervalů, ačkoli zůstaly, vzhledem ke značné variabilitě dat nepravých časových řad, stále relativně široké.

Průběh podílu qDg (střední tloušťky) a qH (střední výšky) v závislosti na věku byl modelován zobecněným aditivním modelem (GAM) s gamma rozdělením a logaritmickým transformačním linkem pomocí neparametrické spline funkce. Štíhlostní kvocient byl vyjádřen jako aritmetický průměr podílů výšek a tlouštěk stromů. Korunový poměr byl vypočítán jako aritmetický průměr podílů délek korun k celkové výšce. Vývoj štíhlostního kvocientu byl modelován semiparametricky za použití GAM s gamma rozdělením a logaritmickou transformační link funkcí. Vývoj korunového poměru byl modelován analogicky pomocí GAM s beta distribucí a logitovým transformačním linkem.



Obr. 2.
Průběh Korfovy růstové funkce pro střední tloušťku (Dg) smrku (SM) a douglasky (DG) s 95% konfidenčními intervaly střední hodnoty.
Fig. 2.
Korf growth function for the mean diameter (Dg) of spruce (SM) and Douglas-fir (DG) with 95% confidence intervals of the mean value.

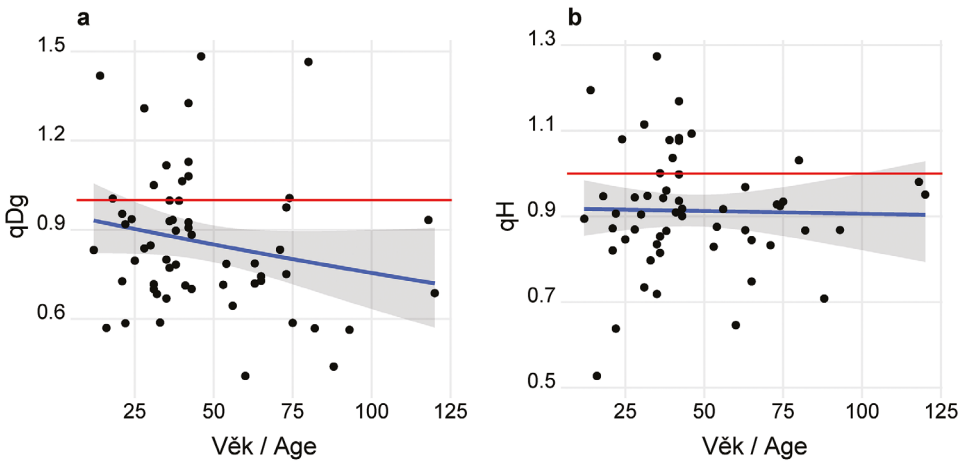
VÝSLEDKY

Vývoj střední tloušťky

Střední tloušťka roste rychleji u douglasky, průměr střední tloušťky ve 100 letech je 35 cm u smrku a 50 cm u douglasky (obr. 2). Poměr mezi střední tloušťkou douglasky a smrku klesá s věkem přibližně lineárně z počáteční hodnoty ca 0,9 na hodnotu ca 0,7 (obr. 3a). Je zde však patrný značný rozptyl hodnot a případy, kdy střední tloušťka smrku převyšovala střední tloušťku douglasky se vyskytovaly zejména v porostech z první poloviny obmýtí. Douglaska dosahuje vyšších hodnot střední tloušťky ve všech sledovaných ekologických řadách a poměr qDg menší než 1 (vyšší hodnoty tloušťky pro douglasku) byl dosažen ve více než 75 % případů (obr. 4a).

Vývoj střední výšky

Střední výška, podobně jako tloušťka, roste rychleji u douglasky, střední výška ve 100 letech je 28,2 m u smrku a 31,5 m u douglasky (obr. 5). Poměr mezi průměrnou střední výškou douglasky a smrku se s věkem prakticky nemění a pohybuje se kolem hodnoty ca 0,9 (obr. 3b). Opět je zde patrný značný rozptyl hodnot a v první polovině obmýtí se vyskytovaly případy, kdy střední výška smrku převyšovala střední výšku douglasky. Douglaska dosahuje vyšších průměrných hodnot střední výšky ve všech sledovaných ekologických řadách (obr. 4b). Běžný výškový přírůst kulminuje ve věku 10 let u douglasky a ve věku 12 let u smrku. Průměrný přírůst kulminuje ve věku 21 let u douglasky a 24 u smrku. Z průběhu přírůstů je opět zřetelná dominance výškového růstu douglasky (obr. 6).



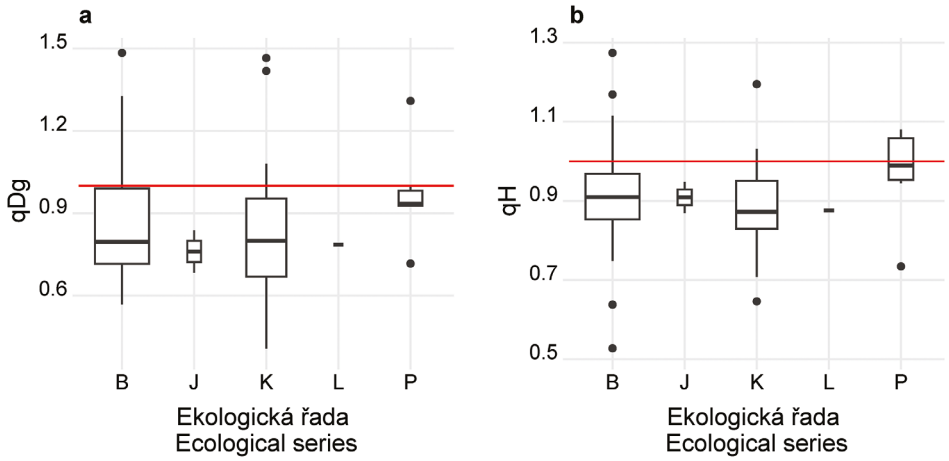
Obr. 3.
Podíl střední tloušťky (qDg) smrku a douglasky (a) a střední výšky (qH) smrku a douglasky (b) na 57 inventarizačních plochách NIL. Závislost na věku je vyjádřena neparametrickou spline funkcí (modře) s 95% konfidenčním intervalem. Červená horizontální čára zobrazuje poměr 1.
Fig. 3.
Ratio of mean spruce and mean Douglas-fir diameter (qDg) (a) and height (QH) (b) in 57 NIL inventory plots. The dependence on age is expressed as a non-parametric spline function (blue) with 95% confidence intervals. The red horizontal line shows a ratio of 1.

Štíhlostní kvocient

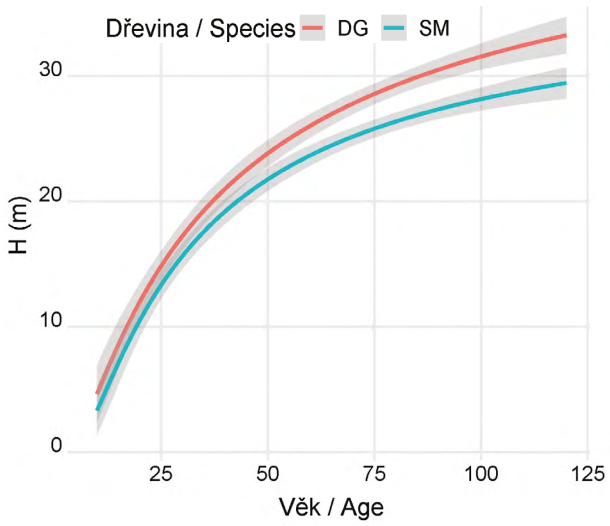
Hodnota HDR u obou dřevin zpočátku strmě roste s věkem a kulminuje ve věku 41 na průměrné hodnotě 87 u douglasky a ve věku 46 let na hodnotě 94 u smrku. Poté nastává setrvalý, ale již mírnější pokles u obou dřevin. Průměrné hodnoty HDR jsou po celou tuto dobu vyšší u smrku (obr. 7).

Korunový poměr

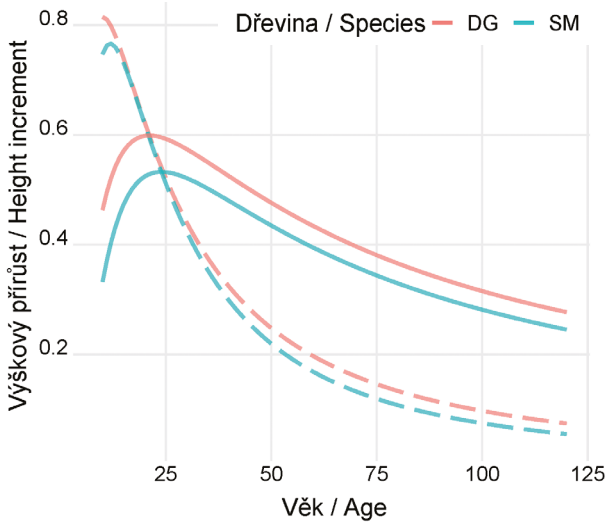
Dynamika poklesu korunového poměru s věkem porostu je u obou dřevin velmi podobná. Od průměrné hodnoty CR 0,8 nastává kontinuální pokles na průměrnou hodnotu CR 0,45 ve věku 60–70 let. Pokles průměrné hodnoty CR pod 0,5 nastává před dosažením věku 50 let. Nárůst hodnot CR ve vyšším věku porostů je vzhledem k malému množství dat a širokým konfidenčním intervalům neprůkazný a pravděpodobně neodráží žádný biologický fenomén (obr. 8).



Obr. 4.
Krabicové grafy poměru střední tloušťky (qDg) douglasky a smrku (a) a poměru střední výšky (qH) douglasky a smrku (b) podle ekologických řad. B – živná řada, K – kyselá, P – oglejená, J – obohacená humusem, L – obohacená vodou. Červená horizontální čára zobrazuje poměr 1.
Fig. 4.
Box plots of the ratio of mean diameter (qDg) of Douglas-fir to spruce (a) and the ratio of mean height (qH) of Douglas fir to spruce (b) across ecological series. B – nutrient ecological series, K – acidic series, P – gleyed series, J – humus enriched series, water enriched series. The red horizontal line shows a ratio of 1.



Obr. 5.
Průběh Korfovy růstové funkce pro střední výšku (H) smrku (SM) a douglasky (DG) s 95% konfidenčními intervaly střední hodnoty.
Fig. 5.
Korf growth function for the mean height (H) of spruce (SM) and Douglas-fir (DG) with 95% confidence intervals of the mean value.



Obr. 6.
Průběh běžného (čárkovaně) a průměrného (plná čára) přírůstu střední výšky douglasky (DG) a smrku (SM).
Fig. 6.
Development of periodic annual increment (dashed line) and mean annual increment (solid line) of mean height of Douglas-fir (DG) and spruce (SM).

DISKUSE

Jelikož data NIL neobsahují údaje o objemech stromů ani o porostních zásobách, použili jsme rozdíly ve střední tloušťce a výšce jako náhradní a pouze přibližný ukazatel rozdílu v produkční úrovni douglasky a smrku. Podrázský et al. (2013) hodnotili také data z lesních hospodářských plánů pro stanovení průměrné hektarové zásoby douglasky, dubu a dalších introdukovaných dřevin (jedle obrovské, dubu červeného, trnovníku akátu). Na základě výsledků Korfovy funkce stanovili hektarovou porostní zásobu douglasky ve sto letech na 535 m^3 (data z roku 2000), resp. 560 m^3 (rok 2010). Modelová zásoba převyšovala zásobu všech studovaných dřevin s výjimkou jedle obrovské (558 a 575 m^3), která však v posledních ca dvou dekádách na řadě lokalit výrazně trpí suchem a její dřevo je méně ceněno. Matějka, Mondek (2024) vytvořili růstové modely pro douglasku a smrk na základě dat lesních hospodářských plánů a osnov. Modely ukazují na nejvyšší produkční potenciál obou dřevin v 5. lesním vegetačním stupni. Modelovým objemem hmoty z probírek převyšuje douglaska smrk o 32 % a ve 140 letech jsou modelové zásoby douglasky o 4,2 % vyšší v porovnání se smrkem.

Kantor (2008) porovnával hmotnatost stromů douglasky, modřínu a smrku na živných stanovištích Školního lesního podniku Křtiny ve věku 85 až 136 let. Ve všech případech konstatoval výrazně vyšší hmotnatost douglasky (až trojnásobnou) ve srovnání se smrkem i modřínem. K podobným výsledkům dospěla srovnávací studie hmotnatostí stromů douglasky, smrku, borovice a modřínu na kyselých stanovištích Školního polesí Hůrky Střední lesnické školy Písek (Kantor, Mareš 2009; Kantor et al. 2010). Také Remeš et al. (2020) a Pulkrab et al. (2014) dokumentují výraznou produkční a hodnotovou převahu douglasky nad smrkem ztepilým v podmínkách kyselých a vodou ovlivněných stanovišť na Školním lesním podniku v Kostelci nad Černými lesy. Rozdíly v produkci douglasky a smrku na vodou ovlivněných stanovištích byly vyšší než v případě stanovišť kyselých.

Průběh štíhlostního kvocientu v naší analýze je v souladu se zjištěním Bošeľy et al. (2014), kteří analyzovali parametry smrkových porostů na Slovensku (Západní Karpaty) také s využitím dat NIL.

Naše výsledky ukazují na přibližně stejné rozdíly v tloušťkovém i výškovém růstu douglasky a smrku na kyselých i živných stanovištích. Při porovnávání rozdílů na dalších stanovištích je třeba brát na zřetel malé množství dat v rámci NIL. Zjevnou nevýhodou analýzy dat z NIL je neznalost pěstební a další historie inventarizovaných ploch. Také rozměry inventarizačních ploch (500 m^2) nedovolují zachytit větší množství stromů, zvláště ve starších porostech. Počet inventarizačních ploch byl dále zúžen na výběr ploch se současným výskytem douglasky a smrku. Ačkoli data z NIL nemohou plnohodnotně zastoupit data z pěstebních a provenienčních experimentů, jsou jejich cenným doplněním, a to v množství, které není v případě dlouhodobě sledovaných experimentů reálné.

ZÁVĚR

Data z NIL potvrzují značné produkční schopnosti douglasky tisolisté, kterými ve většině případů překonává smrk ztepilý. Střední tloušťka smrkových porostů ve věku 100 let dosahovala v průměru ca 70 % střední tloušťky douglasky na srovnatelném stanovišti. Střední výška smrku činila ve 100 letech věku v průměru 90 % střední výšky douglasky. Ve zhruba 1/5 případů dosahoval smrk na dané inventarizační ploše vyšších hodnot střední tloušťky a výšky v porovnání s douglaskou a jednalo se většinou o mladší porosty do věku ca 50 let.

Dynamika vývoje štíhlostního kvocientu (HDR) byla u obou dřevin podobná a kulminovala okolo věku 40–50 let, douglaska dosahovala v průměru příznivějších (nižších) hodnot v porovnání se smrkem. Vývoj korunového poměru byl u obou dřevin srovnatelný a vyznačoval se prudkým poklesem do věku ca 60–70 let s následnou stagnací.

Poděkování:

Příspěvek vznikl díky institucionální podpoře MZE-RO0123.

LITERATURA

Appleby S.M., Balkenhol N. 2024. Douglas fir and Norway spruce have similar effects on small mammal density, but not survival, in Central European managed forests. Mammalian Biology, 104: 25–39. https://doi.org/10.1007/s42991-023-00384-1

Bošeľa M., Konôpka B., Šebeň V., Vladovič J., Tobin B. 2014. Modelling height to diameter ratio – an opportunity to increase Norway spruce stand stability in the Western Carpathians. Lesnícky časopis – Forestry Journal, 60: 71–79. DOI: DOI:10.2478/forj-2014-0007

Cavelier G., Weigel R., Enderle L., Leuschner Ch. 2025. Douglas fir – A victim of its high productivity in a warming climate? Predominantly negative growth trends in the North German Lowlands. Science of the Total Environment, 973: 179100. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179100

Eckhart T., Pőtzelsberger E., Koeck R., Thom D., Lair G.J., van Loo M., Hasenauer H. 2019. Forest stand productivity derived from site conditions: an assessment of old Douglas-fir stands (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) in Central Europe. Annals of Forest Science, 76 (1): 19. DOI: 10.1007/s13595-019-0805-3

Eilmann B., Rigling A. 2012. Tree-growth analyses to estimate tree species' drought tolerance. Tree Physiology, 32 (2): 178–187. DOI: 10.1093/treephys/tps004

Elfstrom L.M., Powers M.D. 2023. Effects of thinning on tradeoffs between drought resistance, drought resilience, and wood production in mature Douglas-fir in western Oregon, USA. Canadian Journal of Forest Research, 53: 605–619. DOI: 10.1139/cjfr-2022-02351

Glatthorn J., Appleby S., Balkenhol N., Kriegel P., Likulunga L.E., Lu J.Z., Matevski D., Polle A., Riebl H., Perez C.A.R., Scheu S., Seinsche A., Schall P., Schuldt A., Wingender S., Ammer C. 2023. Species diversity of forest floor biota in non-native Douglas-fir stands is similar to that of native stands. Ecosphere, 14 (7). DOI: 10.1002/ecs2.4609

Graf M., Achury R., Lanzrein I., Wenglein R., Annighöfer P., Scheu S., Weisser W.W. 2025. The effect of Douglas-fir on biodiversity in European forests – What do we know and what do we not know? Forest Ecosystems 13: 100319. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100319

Kantor P. 2008. Production potential of Douglas fir at mesotrophic sites of Křtiny Training Forest Enterprise. Journal of Forest Science, 54 (7): 321–332. DOI:

Kantor P., Mareš R. 2009. Production potential of Douglas fir in acid sites of Hůrky Training Forest District, Secondary Forestry School in Písek. Journal of Forest Science, 55 (7): 312–322. DOI: 10.17221/2/2009-JFS

Kantor P., Bušina F., Knott R. 2010. Postavení douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) a její přirozená obnova na

školním polesí Hůrky středních lesnických škol Písek. Zprávy lesnického výzkumu, 55 (4): 251–263.

Kubeček J., Štefančík I., Podrázský V., Longauer R. 2014. Results of the research of Douglas-fir in the Czech Republic and Slovakia: a review. Central European Forestry Journal, 60 (2): 116–124. DOI: 10.2478/forj-2014-0012

Matějka K., Podrázský V., Viewegh J., Martiník A. 2015. Srovnání bylinné etáže v porostech douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) a v porostech jiných dřevin. Zprávy lesnického výzkumu, 60 (3): 201–210.

Matějka K., Mondek J. 2024. Porovnání růstu douglasky tisolisté a smrku ztepilého podle dat lesních hospodářských plánů a osnov. [Comparison of Douglas-fir and Norway spruce growth according to data from forest management plans and outlines]. Zprávy lesnického výzkumu, 69 (1): 37–47. DOI: 10.59269/ZLV/2024/1/717

Mondek J., Baláš M. 2019. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and its role in the Czech forests. Journal of Forest Science, 65 (2): 41–50. DOI: 10.17221/9/2019-JFS

Mondek J., Matějka K., Gallo J., Prokůpková A., Hájek V. 2021. *Picea abies* and *Pseudotsuga menziesii* radial growth in relation to climate: case study from South Bohemia. Austrian Journal of Forest Science, 138 (3): 209–244.

Nicolescu V.N., Mason W.L., Bastien J.C., Vor T., Petkova K., Podrazsky V., Dodan M., Peric S., La Porta N., Brus R., Andrasev S., Slavik M., Modransky J., Pastor M., Redei K., Cvjetkovic B., Sivacioglu A., Lavnyy V., Buzatu-Goanta C., Mihailescu G. 2023. Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in Europe: an overview of management practices. Journal of Forestry Research, 34 (4): 871–888. DOI: 10.1007/s11676-023-01607-4

Podrázský V., Čermák R., Zahradník D., Kouba J. 2013. Production of Douglas-fir in the Czech Republic based on national forest inventory data. Journal of Forest Science, 59 (10): 398–404. DOI: 10.17221/48/2013-JFS

Podrázský V., Martiník A., Matějka K., Viewegh J. 2014. Effects of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) on understorey layer species diversity in managed forests. Journal of Forest Science, 60 (7): 263–271. DOI: 10.17221/49/2014-JFS

Podrázský V., Remeš J., Sloup R., Pulkrab K., Novotný S. 2016. Douglas-fir – partial substitution for declining conifer timber supply – review of Czech data. Wood Res-Slovakia, 61 (4): 525–529.

Podrázský V., Kupka I., Prknová H. 2020. Substitution of Norway spruce for Douglas-fir: changes of soil microbial activities as climate change induced shift in species composition - a case study. Central European Forestry Journal, 66 (2): 71–77. DOI: 10.2478/forj-2020-0007

Pulkrab K., Sloup M., Zeman M. 2014. Economic impact of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) production in the Czech Republic. Journal of Forest Science, 60: 297–306. DOI: 10.17221/27/2014-JFS

Rais A., van de Kuilen J.W.G., Pretzsch H. 2014. Growth reaction patterns of tree height, diameter, and volume of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) under acute drought stress in Southern Germany. European Journal of Forest Research, 133 (6): 1043–1056. DOI: 10.1007/s10342-014-0821-7

Remeš J., Pulkrab K., Bílek L., Podrázský V. 2020. Economic and production effect of tree species change as a result of adaptation to climate change. Forests, 11 (4). DOI: 10.3390/f11040431

Schmid M., Pautasso M., Holdenrieder O. 2014. Ecological consequences of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) cultivation in Europe. European Journal of Forest Research, 133 (1): 13–29. DOI: 10.1007/s10342-013-0745-7

Tauchman P., Hart V., Remeš J. 2010. Srovnání produkce porostu douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* /Mirbel/ Franco) s porostem smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.) a stanoviště původním smíšeným porostem středního věku na území ŠLP v Kostelci nad Černými lesy. Zprávy lesnického výzkumu, 55 (3): 187–194.

Thomas F.M., Rzepecki A., Werner W. 2022. Non-native Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) in Central Europe: Ecology, performance and nature conservation. Forest Ecology and Management, 506: 119956. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119956

Zeidler A., Borůvka V., Černý J., Baláš M. 2022. Douglas-fir outperforms most commercial European softwoods. Industrial Crops and Products, 181: 114828. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114828

Zeller B., Legout A., Bienaimé S., Gratia B., Santenoise P., Bonnaud P., Ranger J. 2019. Douglas fir stimulates nitrification in French forest soils. Scientific Reports, 9 (1): 10687. DOI: 10.1038/s41598-019-47042-6

COMPARISON OF THE GROWTH OF DOUGLAS-FIR AND NORWAY SPRUCE BASED ON NATIONAL FOREST INVENTORY DATA

SUMMARY

From the data of the National Forest Inventory, inventory plots with simultaneous occurrence of Douglas-fir and Norway spruce at the same age were selected. Thus, 57 inventory plots were selected for diameter growth analysis and 55 inventory plots were selected for height growth analysis (two plots were not measured for height). The age range of the inventory plots was 12 to 120 years with a dominant age range of 20–40 years. Forest vegetation zones (FVZ) 2 to 6 are represented, with a predominance of FVZ 3 (Fig. 1). The nutrient ecological series is the most abundant (31 plots), followed by acidic (17 plots), gleyed (6 plots), humus enriched (2 plots) and water enriched (1 plot).

From the diameter at breast height (DBH) of the trees of each inventory plot, the mean stem diameter (Dg) was calculated as the quadratic mean of DBH. Mean height (H) was calculated for the purpose of this work as the arithmetic mean of the heights of the trees in a given inventory plot. These mean values then form a pseudo time series for further analyses of diameter and height growth. The Korf growth function was used to analyse the pseudo time series of mean diameter and height.

The height-diameter ratio (HDR) was expressed as the arithmetic mean of the ratios of tree height to diameter. The crown ratio was calculated as the arithmetic mean of the ratios of crown length to total tree height. The development of the HDR was modeled semiparametrically using a Generalized Additive Model (GAM) with a gamma distribution and a logarithmic link function. The development of the crown ratio was modeled analogously using a GAM with a beta distribution and a logit link function.

The mean diameter increases more rapidly in Douglas-fir; the average mean diameter at 100 years of age is 35 cm for spruce and 50 cm for Douglas-fir (Fig. 2). The ratio between the mean diameter of Douglas-fir and spruce decreases approximately linearly with age, from an initial value of around 0.9 to about 0.7 (Fig. 3a). However, there is considerable variability, and cases where the mean diameter of spruce exceeded that of Douglas-fir occurred mainly in stands in the first half of the rotation period. Douglas-fir reaches higher mean diameter values in all observed ecological series, and the ratio qDg less than 1 (indicating higher diameter values for Douglas-fir) was observed in more than 75% of cases (Fig. 4a).

Mean height, similarly to diameter, increases more rapidly in Douglas-fir; the average mean height at 100 years of age is 28.2 m for spruce and 31.5 m for Douglas-fir (Fig. 5). The ratio between the mean height of Douglas-fir and spruce remains almost constant with age, fluctuating around a value of approximately 0.9 (Fig. 3b). Again, there is considerable variability, and in the first half of the rotation period, cases were observed where the mean height of spruce exceeded that of Douglas-fir. Douglas-fir achieves higher average mean height values in all observed ecological series (Fig. 4b). The current height increment peaks at age 10 in Douglas-fir and at age 12 in spruce. The mean annual increment peaks at age 21 in Douglas-fir and at age 24 in spruce. The course of increments clearly demonstrates the dominance of Douglas-fir in height growth (Fig. 6).

HDR values for both tree species initially increase steeply with age and peak at age 41 with an average value of 87 for Douglas-fir, and at age 46 with a value of 94 for spruce. After this peak, there is a gradual but milder decline in both species. Throughout the entire period, the average HDR values are higher in spruce (Fig. 7).

The dynamics of the decline in crown ratio (CR) with stand age are very similar in both species. Starting from an average CR value of 0.8, a continuous decline occurs to an average value of 0.45 at 60–70 years of age. The average CR value falls below 0.5 before reaching 50 years of age. The increase in CR values in older stands is not statistically significant due to the small sample size and wide confidence intervals, and likely does not reflect any biological phenomenon (Fig. 8).

Zasláno/Received: 04. 07. 2025

Přijato do tisku/Accepted: 23. 09. 2025