



# DLHODOBÉ TRENDY V MORTALITE DREVÍN NA PODKLADE MONITORINGU LESOV SLOVENSKA

Jerguš Rybár ▪ Zuzana Sitková ▪ Pavel Pavlenda  
Tibor Priwitzer ▪ Jozef Pajčík

Rybár, J., Sitková, Z., Pavlenda, P., Priwitzer, T., Pajčík, J.: Long-Term Trends in Mortality Rates Based on Forests Monitoring in Slovakia. APOL, 2024, vol. 5, no. 1, p. 96–101.

**Abstract:** This study analyzes long-term tree mortality trends across 130 ICP Forests Level I plots in Slovakia, focusing on five key Carpathian species: *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* [L.] Karst., *Abies alba* Mill., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl., and *Pinus sylvestris* L. Over three decades (1990–2023), mortality rates were evaluated in the context of climate extremes and other damaging factors. The findings reveal a general upward trend in tree mortality, particularly among dominant species like *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* [L.] Karst., while *Abies alba* Mill. and *Quercus* species showed neutral patterns. Although climate extremes significantly impact mortality, natural processes such as competition, coupled with other stressors like fungal infections and insect infestations, also play a critical role. The study highlights the complex and multifaceted nature of tree mortality and underscores the challenges in isolating specific causes, pointing to a general upward trend in tree mortality that contributes to increased salvage logging and accelerated adaptation changes in structure of Slovak forests.

**Key words:** ICP Forests; mortality; forest dynamics; Slovakia

## Úvod

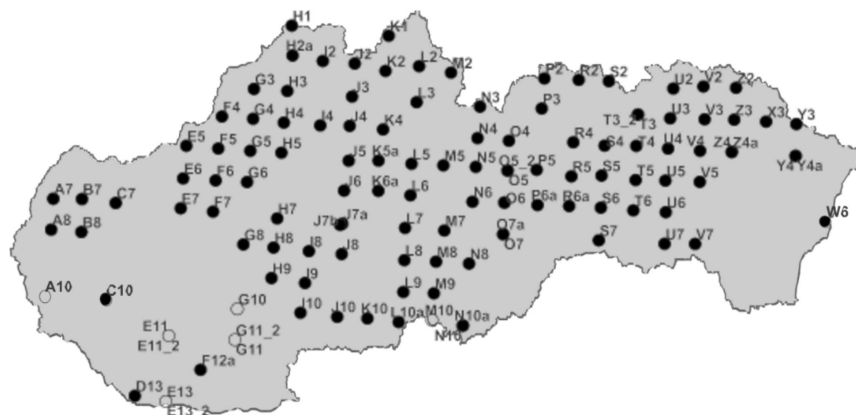
Mortalita ako prirodzený proces v rámci dynamiky lesných ekosystémov je aj napriek jej značným dopadom na životné prostredie a poskytovanie ekosystémových služieb pre spoločnosť stále len málo preskúmaným javom. Dôvodom obmedzeného poznania tohto javu a jeho objektívnych príčin je najmä silná subjektivita pri jej popisovaní, ktorá sa následne prenáša aj do výsledkov štatistického vyhodnocovania a matematického modelovania. Prirodzený výskyt mortality vo forme disturbancií v rámci prírodných lesov je vo forme dynamiky medzier nástrojom lesných ekosystémov na udržiavanie vysokej diverzity, stability a nepretržitej adaptácie klimaxových spoločenstiev (Grime 1979; Hobbs & Hueneke 1992; Angelstam 1998; Frelich 2002; Parobeková et al. 2018; Šumichrast et al. 2020). V ekologicky menej stabilných manažovaných a zmenených lesoch je však vplyvom extrémnych javov (Cook et al. 2022) výskyt mortality častokrát hromadný a môže na určitú dobu znamenať aj zánik lesného ekosystému, a jeho návrat na začiatok veľkého vývojového cyklu v rámci úspešného vývoja. S týmito negatívnymi javmi sú spojené zatiaľ málo známe, ale výrazne negatívne procesy zmien vo vlastnostiach lesných pôd a uvoľňovanie veľkého množstva uhlíka do atmosféry (Lindroth et al. 2012). Tieto udalosti sú v značnej miere zodpovedné aj za vznik mimoriadnych nákladov na strane obhospodarovateľov lesov, ktoré sú nevyhnutné pre urýchlenie obnovy lesa a čo najrýchlejšie opätovné zabezpečenie vybraných ekosystémových služieb lesov. Hlbšie poznanie trendov mortality drevín a kauzálnych súvislostí umožní do istej miery vyhnúť sa budúcim neočakávaným nákladom na predčasnú obnovu lesa, vysokým emisiám uhlíka z obnažených lesných pôd a ich degradácii (Siebers & Kruse 2019).

Pre objektívne popísanie mortality ako matematickej premennej je nutné disponovať poznatkami z minulosti daného jedinca, čo je často pri štandardných postupoch inventarizácie a popisu lesných porastov nedostupná informácia. Mortalita je spolu s poznaním dynamiky produkčných parametrov lesných ekosystémov nevyhnutnou premennou pri odvodzovaní množstva uhlíka v jeho jednotlivých komponentoch. Jednou z mála platforiem, ktorá umožňuje vyhodnotenie mortality v širšom kontexte, je čiastkový monitorovací systém lesy (ČMS lesy).

V tomto príspevku hodnotíme dynamiku mortality piatich významných druhov drevín. Cieľom štúdie je odhaliť časové trendy a potenciálne rozdiely v dlhodobom vývoji mortality medzi jednotlivými druhmi drevín.

## Metodika a údaje

V tejto štúdii sme použili databázu údajov zo 130 plôch ČMS lesy I. úrovne (obr. 1), pričom sme sa zamerali na mortalitu spôsobenú faktormi inými ako plánované ťažby s cieľom zachytiť časovú dynamiku od roku 1990 do roku 2023. Celkovo sme analyzovali 1 161 pozorovaných individuálnych záznamov mortality: 257 u buka lesného (BK), 45 u jedle bielej (JD), 604 u smreka (SM), 125 u borovice (BO) a 130 u dubov (DB). Pomer mortality sme vypočítali ako počet pozorovaných mortalitných udalostí vzhľadom na počet hodnotených stromov každý rok pre každý druh. Pomer mortality sme následne v rámci trendovej analýzy vykreslili vo vzťahu k času a vyrovnali lineárnou funkciou.



**Obrázok 1.** Mapa aktívnych plôch monitoringu ČMS lesy I. úrovne a plôch zahrnutých do analýzy. Čierna farba označuje plochy s výskytom skúmaných druhov zahrnutých do analýzy; každá plocha je označená ID, ktoré pozostáva z transektu a sériového čísla (A7). Plochy, ktoré boli presunuté do oblastí s podobnými podmienkami v blízkosti pôvodných z rôznych dôvodov, sú označené malými písmenami (a, b, atď.), zatiaľ čo plochy, ktoré boli znovu založené na rovnakom mieste, sú označené „\_2“

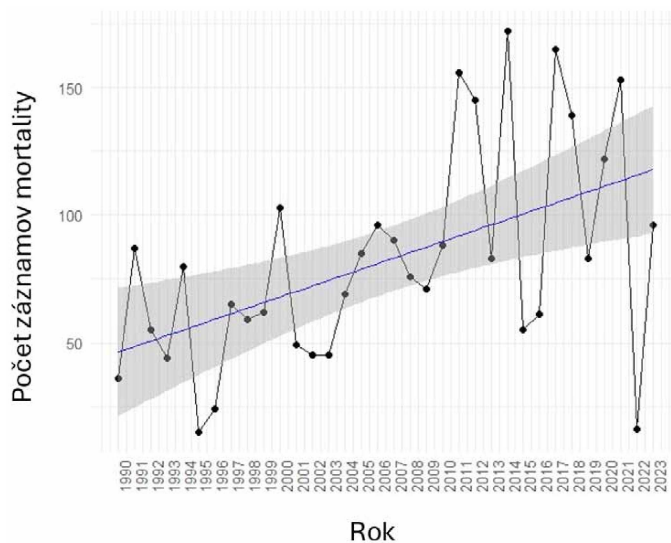
**Figure 1.** Map of active level I forest monitoring plots and plots included into the analysis. Black color indicates plots with the occurrence of the investigated species included into the analysis; every plot is marked by an ID that consists of transect and serial number (A7). Plots that were relocated to areas with similar conditions nearby the original ones due to various reasons are denoted by lowercase letters (a, b, etc.), while plots that were reestablished in the exact same location are marked with ‘\_2’

Mortalita je každoročne hodnotená v rámci realizácie aktivít čiastkového monitorovacieho systému lesy (ČMS lesy) popri hodnotení defoliácie a iných parametrov jedincov. Hodnotitelia sa každoročne zúčastňujú kalibračných školení s cieľom znížiť subjektívne odchýlky v odhadovanej miere defoliácie. V prípade výskytu mortality je jej príčina (pokiaľ je možné ju určiť) označená kódom v zmysle medzinárodnej metodiky ICP Forests (Lorenz 1995; Fischer & Ferretti 2013). Stanovenú príčinu mortality je pri dlhodobo sledovaných jedincoch možné vyhodnotiť v širšom kontexte (vývoj defoliácie v posledných rokoch, poškodenie jedinca v minulosti atď.).

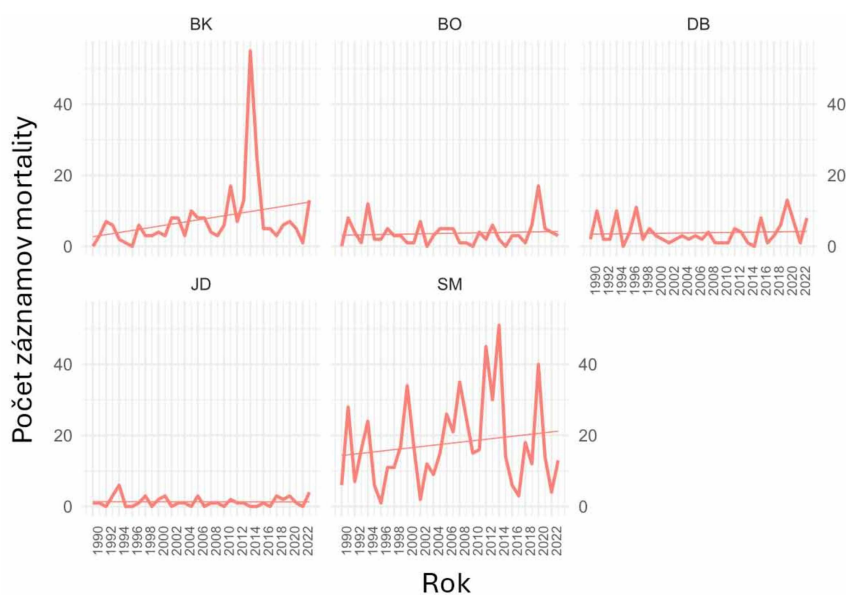
## Dlhodobé trendy vo frekvencii mortality našich najzastúpenejších drevín

Naše výsledky odhalili, že vo frekvencii mortality je možné pozorovať určité trendy, ktoré sú konzistentné s dlhodobým vývojom produkčných ukazovateľov niektorých drevín v Karpatoch, a taktiež s vývojom miery defoliácie (Hlásny et al. 2011; Bošela et al. 2014; Dulamsuren et al. 2017; Rybár et al. 2023). Rovnako ako aj produkčné ukazovatele, dlhodobý všeobecný trend v počte zaznamenaných mortalitných udalostí je aj napriek vysokej variabilite a medziročnej fluktuácii stúpajúci (obr. 2).

Tento trend je pri detailnom pohľade na jednotlivé dreviny výrazne ovplyvnený nárastom mortality najmä u najzastúpenejších drevín (BK, SM), ktoré boli v posledných dekádach zasiahnuté viacerými udalosťami s priamym dopadom na frekvenciu mortality (obr. 3). Oproti hodnotám v roku 1990 je miera mortality na plochách ČMS lesy takmer dvojnásobne vyššia.



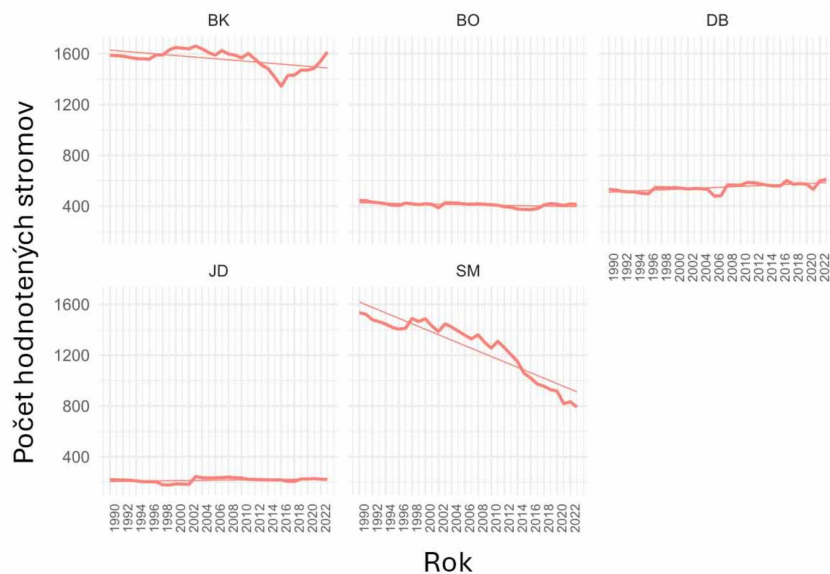
**Obrázok 2.** Časový vývoj celkovej mortality skúmaných druhov znázornený ako celkový počet zaznamenaných mortalitných udalostí na plochách I. úrovne monitoringu ČMS lesy od 90. rokov. Všeobecný trend je vzostupný, s občasnými poklesmi (1995 – 1996, 2002 – 2004, 2010, 2017 a 2022). Najvyššia mortalita sa vyskytla v rokoch 2013 a 2016  
**Figure 2.** The temporal development of overall mortality of the examined species, shown as the total number of recorded mortality events on level I monitoring plots since the 1990s. The general trend is upward, with occasional declines (1995–1996, 2002–2004, 2010, 2017, and 2022). The highest mortality occurred in 2013 and 2016



**Obrázok 3.** Časový vývoj mortality po drevinách. Najvyššie hodnoty boli dosiahnuté v rokoch 2013 (buk) a 2016 (smrek) v dôsledku dopadov periódy sucha (2012 – 2013), vetrovej kalamity Žofia (2014) a následných gradácií podkôrneho hmyzu  
**Figure 3.** Temporal development of examined species mortality. The highest observed mortality occurred in 2013 and 2016, particularly in *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* [L.] Karst., due to the effects of the dry period (2012–2013) and the Žofia windstorm (2014), followed by subsequent bark beetle outbreaks

Pri zhodnotení širšieho kontextu je potrebné upriamiť pozornosť aj na počet každoročne hodnotených stromov, ktorý je mortalitou taktiež ovplyvnený. V rámci metodických postupov monitoringu zdravotného stavu lesov (Fischer & Ferretti 2013) sa pri poklese počtu stromov na plochách proporcionálne dopĺňajú ďalšie

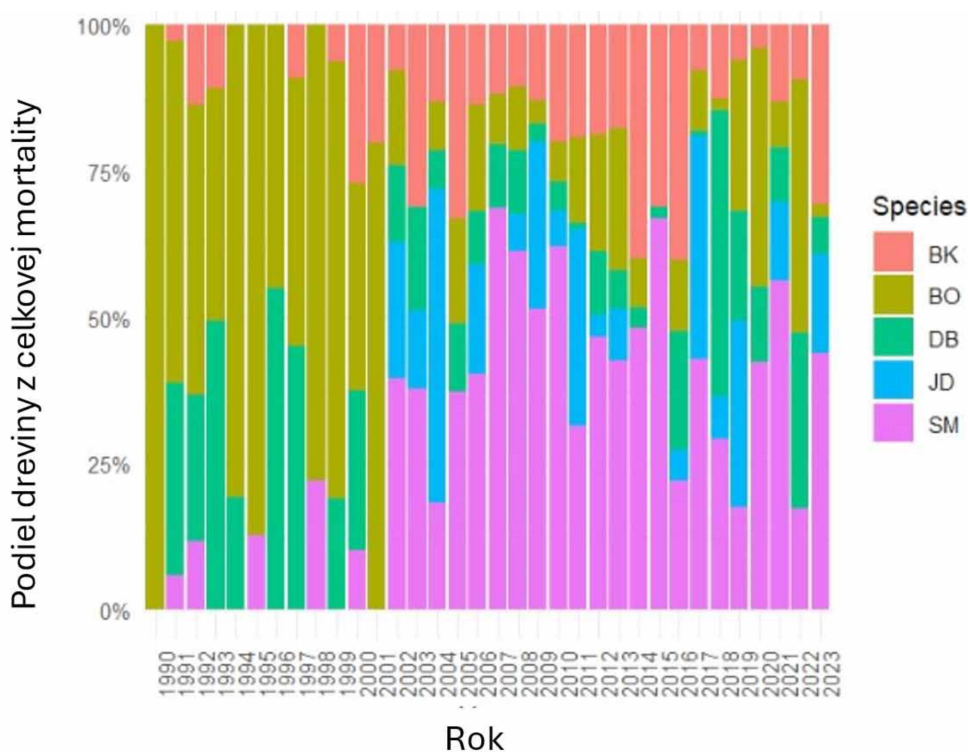
jedince tak, aby sa minimálny počet hodnotených stromov pohyboval okolo 50 a viac jedincov na jednej monitorovacej ploche. Pokiaľ dôjde k úplnému zániku porastu, plocha sa dočasne odsúva na blízke lokality s podobnými prírodnými podmienkami. S výnimkou smreka je toto dopĺňanie jedincov na priesečníkoch siete ČMS lesy (16 × 16 km) úspešné. Dlhodobý pokles počtu hodnotených jedincov u smreka (obr. 4) je dopadom všeobecného ústupu tejto dreviny zo štruktúr lesných porastov na Slovensku a dôsledkom rozsiahleho rozpadu smrekových porastov v regiónoch Kysúc, Oravy a Horehronia. Napriek stále nižšiemu počtu hodnotených jedincov smreka je však jeho mortalita na zvyšných plochách v relatívnych číslach stále vysoká, čo nepriamo indikuje neustále sa zhoršujúci až exponenciálny priebeh odumierania tejto dreviny na Slovensku.



**Obrázok 4.** Vývoj celkového počtu každoročne hodnotených jedincov v rámci plôch 1. úrovne monitoringu ČMS lesy  
**Figure 4.** Temporal development of total number of evaluated trees on level I of Forests monitoring plots

Jednotlivé dreviny sa na celkovej mortalite podieľajú rôzne, vo všeobecnosti je možné identifikovať 3 významnejšie trendy (obr. 5), a to pokles mortality u borovice, ktorý je však v kontexte počtu hodnotených stromov a celkovo nízkej frekvencie mortality na začiatku sledovaného obdobia 1990 – 2000 (obr. 2) skresľujúci. Nástup výraznej mortality u smreka a buka po extrémnom suchu v roku 2000 spôsobil, že stále podobná frekvencia mortality u borovice sa javí ako zanedbateľná, až na rok 2022, kedy bol zaznamenaný výraznejší vzostup. Trend zvyšovania mortality u smreka a buka je napriek medziročným fluktuáciám stále výrazný (obr. 5).

Druhovo-špecifické odozvy drevín do istej miery kopírujú výskyt extrémnych klimatických javov. U buka sme pozorovali rastúcu mortalitu, kedy spúšťačom bolo extrémne suchu v roku 2022. Mortalita kulminovala aj v roku 2013 po rovnako suchej perióde trvajúcej už od roku 2012. U smreka sledujeme konzistentne negatívny trend začínajúci v perióde 2011 až 2014, v porovnaní s jedľou, u ktorej sledujeme skôr neutrálny vývoj, podobne ako aj u duba. U borovice podobne sledujeme skôr neutrálny trend, avšak s významnými nárastmi po niektorých extrémnych rokoch (2015, 2022). Napriek druhovo špecifickým odozvám a neutrálnemu vývoju u niektorých druhov, vzhľadom na rastúci trend u našich najzastúpenejších drevín- celková mortalita má vo všeobecnosti dlhodobu rastúci trend. Okrem nárazových udalostí a regionálneho odumierania lesov v dôsledku vetrových alebo snehových kalamít, ktoré sú často v rámci monitoringu zachytené len okrajovo, mortalita narastá aj v rámci bežnej dynamiky lesných ekosystémov ako dôsledok extrémnych makroklimatických javov (sucho, vysoké teploty). Tento fakt v konečnom dôsledku taktiež prispieva k vysokým podielom náhodných ťažieb a zrýchluje tak dynamické procesy zmien v štruktúrálnej parametroch našich lesov v procese ich adaptácie na meniace sa podmienky.



**Obrázok 5.** Podiel úmrtnosti na celkovej frekvencii mortality pre každý druh. Miera úmrtnosti vykazuje rastúci trend pre smrek a buk. Dub a jedľa vykazujú neutrálny vývoj mortality. V prípade borovice je miera úmrtnosti mierne klesajúca v porovnaní s 90. rokmi (s výnimkou roku 2022)

**Figure 5.** Development of the relative precipitation deficit during the summer season (June–August) from the long-term average (1950–2020) Mortality rate proportion at the total observed mortality events per each species. Mortality rates are showing increasing trends in case of *Picea abies* [L.] Karst. and *Fagus sylvatica* L., *Quercus* sp. and *Abies alba* Mill. are showing neutral mortality patterns. In case of *Pinus silvetris* L., decreasing mortality rates are decreasing compared to 90's (except for 2022)

## Zhrnutie

Naše zistenia odhaľujú, že frekvencia mortality vykazuje časové trendy, ktoré sú často v súlade s celkovým poklesom rastu a produkcie jednotlivých druhov. Boli pozorované druhovo špecifické reakcie na klimatické extrémny:

- Buk lesný vykazuje rastúcu mortalitu po extrémnom suchu v roku 2000, pričom najvyššie hodnoty boli dosiahnuté v roku 2013 po dlhom suchom období od roku 2012.
- Smrek vykazuje konzistentne negatívny trend so značnou mortalitou počas obdobia 2011 – 2014.
- Jedľa vykazuje neutrálny trend v miere úmrtnosti.
- Dub zimný vykazuje neutrálny trend v mierach úmrtnosti.
- Borovica lesná vykazovala neutrálny trend, s vyššou úmrtnosťou v extrémne suchom roku 2022.
- Okrem mortality spôsobenej manažmentom boli zaznamenané významné nárasty po dlhých suchých obdobiach (2012 – 2013) alebo s ročným oneskorením po extrémne suchých a horúcich rokoch (2015, 2022) a vetrových smrštiach (2014).

## Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore prostriedkov úlohy výskumného zámeru „Adaptačný potenciál drevín pri príprave lesov Slovenska na zmenu klímy – TreeAdapt“, financovanej z rozpočtovej kapitoly MPRV SR (prvok 08V0301) a tiež podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy APVV–20–0365 (FORECALL).

## Literatúra

- Angelstam, P. K., 1998: Maintaining and restoring biodiversity in European boreal forests by developing natural disturbance regimes. *Journal of Vegetation Science*, 9:593–602.
- Bošela, 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*, 325:108–117.
- Cook, B. I., Smerdon, J. E., Cook, E. R., Williams, A. P., Anchukaitis, K. J., Mankin, J. S. et al., 2022: Megadroughts in the Common Era and the Anthropocene. *nature reviews earth & environment*, 3:741–757.
- Dulamsuren, C., Hauck, M., Kopp, G., Ruff, M., Leuschner, C., 2017: European beech responds to climate change with growth decline at lower, and growth increase at higher elevations in the center of its distribution range (SW Germany). *Trees*, 31:673–686.
- Fischer, R., Ferretti, M., 2013: *Forest Monitoring, Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia*. Amsterdam, Elsevier, 507 pp.
- Frellich, L. E., 2002: *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate Evergreen-Deciduous Forests*. Forest Dynamics and Disturbance Regimes. New York, Cambridge University Press, 280 pp.
- Grime, J. P., 1979: *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Chichester-New York-Brisbane-Toronto, John Wiley & Sons, Ltd., 222 pp.
- Hlásny, T., Barcza, Z., Fabrika, M., Balázs, B., Churkina, G., Pajtk, J. et al., 2011: Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. *Climate Research*, 47:219–236.
- Hobbs, R. J., Huenneke, L. F., 1992: *Disturbance, Diversity, and Invasion: Implications for Conservation*. *Conservation Biology*, 6:324–337.
- Lindroth, A., Vestin, P., Sundqvist, E., Mölder, M., Båth, A., Hellström, M. et al., 2012: Clear-cutting is causing large emissions of greenhouse gases – are there other harvest options that can avoid these emissions? In: EGU general assembly conference abstracts, p. 7578.
- Lorenz, M., 1995: International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests-ICP Forests-. *Water, Air, & Soil Pollution*, 85:1221–1226.
- Parobeková, Z., Pittner, J., Kucbel, S., Saniga, M., Filípek, M., Sedmáková, D. et al., 2018: Structural Diversity in a Mixed Spruce-Fir-Beech Old-Growth Forest Remnant of the Western Carpathians. *Forests*, 9:379.
- Rybar, J., Sitková, Z., Marcis, P., Pavlenda, P., Pajtk, J., 2023: Declining Radial Growth in Major Western Carpathian Tree Species: Insights from Three Decades of Temperate Forest Monitoring. *Plants*, 12:4081.
- Siebers, N., Kruse, J., 2019: Short-term impacts of forest clear-cut on soil structure and consequences for organic matter composition and nutrient speciation: A case study. *PLoS One*, 14:e0220476.
- Šumichrast, L., Vencurik, J., Pittner, J., Kucbel, S., 2020: The long-term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badínsky prales. *Journal of Forest Science*, 66:501–510.

---

## ADRESA

Ing. et Ing. Jerguš Rybár, PhD., Ing. Zuzana Sitková, PhD., Ing. Pavel Pavlenda, PhD.,  
Ing. Tibor Priwitzer, PhD., Ing. Jozef Pajtk, Ph.D.  
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T. G. Masaryka 2175/22  
SK–960 01 Zvolen  
e-mail: jergus.rybar@nlcsk.org