

DETEKCIA MEDZIER V KORUNOVOM ZÁPOJI A POZITÍVNYCH RASTOVÝCH REAKCIÍ STROMOV NA UVOĽNENIA SPÔSOBENÝCH DISTURBANCAMI V NPR BADÍNSKY PRALES

DETECTION OF CANOPY GAPS AND POSITIVE TREES GROWTH RESPONSES TO RELEASES CAUSED BY DISTURBANCES IN THE BADÍNSKY FOREST NNR

Zuzana Parobeková¹, Ladislav Šumichrast¹, Denisa Sedmáková¹, Pittner Ján¹,
Peter Jaloviar¹, Peter Marčíš²

¹Katedra pestovania lesa, Katedra plánovania lesných zdrojov a informatiky, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, Slovensko

²Katedra plánovania lesných zdrojov a informatiky, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96001 Zvolen, Slovensko

Abstrakt

Cieľom práce je metódou leteckého laserového skenovania zistiť výmeru medzier a rekonštrukciou disturbancií pomocou dendrochronologických metód analyzovať početnosť a intenzitu rastových reakcií stromov. V NPR Badínsky prales sa nachádza v súčasnosti len malý podiel medzier v kategórii s následným porastom do 1/3 hornej výšky porastu (2 %). Keďže v kategórii s následným porastom do 2/3 sa nachádza až 23,4 % plochy NPR, môžeme predpokladať výraznejšie disturbance v minulých obdobiach. Jedince nachádzajúcich sa v nadúrovni reagovali v minulosti na uvoľnenia väčšou rastovou zmenou, čo je v podstate dôvod ich súčasného postavenia. Intenzívnu reakciu zaznamenali hlavne jedle, ktoré aj vo vysokom veku dokázali zmeniť svoj hrúbkový prírastok v niektorých prípadoch až viac ako 20 násobne. Disturbancie vysokej intenzity boli zachytené jednak na základe leteckého skenovania, keďže ich výsledkom sú dlhodobo identifikovateľné otvorené porastové medzery, a jednak na základe dendrochronológie, keďže podmienili výraznú rastovú zmenu uvoľnených jedincov. Na základe prírastkových zmien sme však identifikovali aj obdobia s pomerne rozsiahlymi disturbanciami nižšej intenzity.

Kľúčové slová: disturbance, uvoľnenie, rastová odozva

Abstract

The aim of this work is to determine the area of canopy gaps by aerial laser scanning and to analyse the frequency and intensity of trees growth responses to releases in past periods by reconstructing the disturbances using dendrochronological methods. In the Badínsky prales NNR, there is currently only a small proportion of gaps in the category with successional stand to 1/3 of the upper height of the stand (2%). As 23.4% of the NNR area is in the category with successional growth up to 2/3, we can assume more significant disturbances in past periods. Individuals located in the overstory have responded to releases in the past with greater growth change, which is essentially the reason for their current status. Intensive reaction was marked in growth of firs, which, even at an advanced age, were able to change their diameter increment in some cases by more than 20 times. The high intensity disturbances were captured both by aerial scanning and by dendrochronology, as they conditioned a significant growth change of the released individuals. However, based on incremental changes, we also identified periods with extensive disturbances of lower intensity.

Keywords: disturbance, release, growth response

1 ÚVOD

Dynamika lesných ekosystémov je výsledkom vzájomného pôsobenia environmentálnych faktorov a disturbancií s demografickými procesmi obnovy, rastu a mortality. Disturbancie sú definované ako „relatívne časovo diskkrétne udalosti, ktoré narušajú štruktúru ekosystému a spôsobujú zmenu v dostupnosti zdrojov alebo zmenu podmienok prostredia“, čo znamená, že uvoľňujú „pulzy“ živín alebo rastový priestor, ktoré sú ďalej dôležité pre obnovu ekosystému a ekologickú sukcesiu (Jentch, White, 2019). Obvykle disturbancie vznikajú napríklad pôsobením vetra, sucha, ohňa, hmyzu, patogénov alebo zveri, pričom dochádza medzi týmito škodlivými činiteľmi k rôznym interaktívnym pôsobeniam (Frelich, 2002, Petritan *et al.*, 2013). Na disturbancie môže do veľkej miery vplývať alebo ich priamo spôsobovať aj človek, pričom sa jedna hlavne o zmeny vo frekvencii alebo intenzite disturbancií. Priestorové a časové charakteristiky disturbancií pôsobiacich v krajine počas dlhšieho časového obdobia vytvárajú spolu určitý disturbančný režim (McDowell *et al.*, 2020). Jedna sa konkrétne o ich frekvenciu, dobu návratu, intenzitu, závažnosť, veľkosť zasiahnutého územia a taktiež vzájomne interakcie medzi nimi (Frelich, 2002).

Dôsledkom disturbancií sú medzery v korunovom zápoji. Mapovanie medzier je možné viacerými metódami, pričom každá z nich má svoje úskalía. V poslednom období sa do popredia dostávajú metódy diaľkového prieskumu Zeme a to letecké laserové skenovanie (LiDAR) a digitálna fotogrametria (White *et al.*, 2018). Poskytujú možnosti merania porastových medzier vo veľkých mierkach a v prípade dostupnosti historických snímok je tiež možné skúmať ich dynamiku z dlhšieho časového hľadiska.

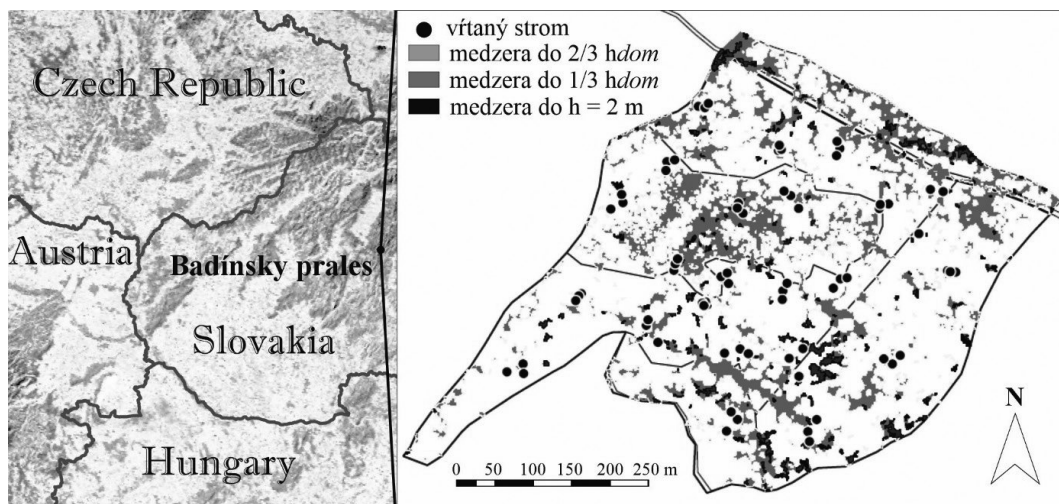
Ďalšou z možností ako detailne skúmať dynamiku lesných ekosystémov je rekonštrukcia disturbančných udalostí využitím dendrochronológie (Altman *et al.*, 2014). Detekcia disturbancií je možná jednak priamo na disturbanciami zasiahnutých jedincoch, ktoré vykazujú negatívne zmeny v raste, ale aj na jedincoch v ich tesnej blízkosti. Tieto jedince po zlepšení svetlostných pomerov a dostupnosti živín vykazujú náhly nárast v hrúbkových prírastkoch, ktorý pretrváva pomerne dlhé obdobie, reflektujúc tak novonadobudnutú pozíciu v korunovom zápoji (Lorimer, Frelich, 1989). Táto pozitívna zmena, alebo takzvané uvoľnenie, je jednoducho detekovateľné metódou kĺzavých priemerov, čiže priemerovaním hrúbkových prírastkov pred a po disturbančnej udalosti, ktoré rozpracovali Nowacki a Abrams (1997). Veľkou výhodou tejto pomerne jednoduchšej metódy je, že je široko aplikovateľná aj bez hlbšieho poznania autekológie druhov a to aj pre malý počet vzoriek.

Cieľom príspevku je skĺbiť metódu leteckého laserového skenovania s rekonštrukciou disturbancií pomocou dendrochronológie a zistiť tak podiel jednotlivých kategórií medzier na celkovej ploche NPR a zároveň analyzovať početnosť a intenzitu rastových reakcií stromov na uvoľnenie v korunovej klenbe. Tento prístup nám umožní nájsť súvislosť medzi rastovými reakciami stromov, aktuálne sa vyskytujúcimi medzerami v poraste a historickými údajmi o prírodných a antropogénnych disturbanciách v NPR Badínsky prales.

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Výskumná lokalita

Výskum bol realizovaný v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Badínsky prales v Kremnických vrchoch (48.6836 °N, 19.0515 °E), ktorá bola vyhlásená v roku 1913 s výmerou chráneného územia 30,03 ha (Obr. 1). NPR leží v nadmorskej výške 700–850 m n. m. so severovýchodnou až severozápadnou expozíciou. Priemerná ročná teplota dosahuje 5,3–5,8 °C pri ročnom úhrne zrážok 800–1000 mm. Pôdy sú minerálne bohaté a mierne kyslé, prevládajúcim pôdnym typom je kambizem. Z hľadiska drevinového zloženia sú hlavnými drevinami buk lesný (*Fagus sylvatica* L.) a jedľa biela (*Abies alba* Mill.). V menšej miere sa tu vyskytujú aj javor horský (*Acer pseudoplatanus* L.), javor mliečny (*Acer platanoides* L.), jaseň štíhly (*Fraxinus excelsior* L.) a brest horský



Obr. 1: Situácia NPR Badínsky prales v rámci Slovenska a mapa NPR so situáciou vrtaných stromov a porastových medzier

Location of NNR Badínsky prales within Slovakia and map of NNR with situation of cored trees and canopy gaps

(*Ulmus glabra* Huds.). Prevažná časť územia pralesa patrí do skupiny lesných typov *Fagetum typicum* (Šumichrast *et al.*, 2022).

Detekcia otvorov v korunovom zápoji bola možná na základe výškovej informácie o skúmaných porastoch získanej z leteckého laserového skenovania (LiDAR). Pomocou softvéru QGIS (QGIS Association) bola delimitovaná plocha NPR Badínsky prales. Na základe získaného digitálneho modelu reliéfu a digitálneho modelu povrchu boli vytvorené modely výšok korunového zápoja – CHM („canopy height model“). Prostredníctvom softvéru R 4.2.1. a programového balíka „ForestGapR“ sa z modelu výšok korunového zápoja identifikovali porastové medzery a ich charakteristiky (rozloha a maximálna výška korunového zápoja v medzere). Porastové medzery boli určované na základe hraničnej veľkosti 5 m^2 a hraničných výšok v intervaloch do 2 m, od 2,1 m do 14 a 14,1–28 m. Tieto intervaly zodpovedajú voľnej ploche medzier s nárastom do 2 m, medzerám s následným porastom do 1/3 hornej výšky porastu (dolná tretina porastu určená na základe hornej výšky – priemerná výška 10 % najvyšších stromov – hdom) a medzerám s následným porastom do 2/3 hdom. Posledná kategória medzier (do 2/3) bola určená v snahe zachytiť aj pravdepodobne staršie medzery.

Pre potreby detekcie a analýzy rastových reakcií jedincov na uvoľnenia korunového zápoja bolo potrebné odobrať vývrty. Vrtané boli jedince z hornej vrstvy v počte 72 kusov, čo zodpovedá počtu 3 až 4 jedincov na ha, ktoré boli rovnomerne rozmiesnené po celej ploche NPR (Obr. 1). Okrem odoberania vývrtov boli zaznamenávané následovne údaje: hrúbka vo výške 1,3 m (d1,3), výška stromu a jeho sociálne postavenie v troch kategóriách (1 – nadúrovňový strom, 2 – úrovňový strom, 3 – úrovňový strom s potlačenou korunou až vrstávý).

Vývrty boli spracovávané a vyhodnocované štandardnou dendrochronologickou metodikou. Na určenie počtu a veľkosti reakcií jedincov na disturbance sme použili metódu kľzavých priemerov (Nowacki, Abrams, 1997). Keďže metódou LiDAR nedokážeme zachytiť menšie uvoľnenia v korunovej klenbe (preschnutú korunu, stratu časti koruny atď.) a medzery sú identifikované od hranice 5 m^2 , na detekciu uvoľnení sme použili len hranicu pre silné uvoľnenia – 50%-nú rastovú zmenu. Všetky spomenuté výpočty boli vykonávané použitím balíka na analýzu ročných prírastkov Trader (Altman *et al.*, 2014) v prostredí štatistického softvéru R.

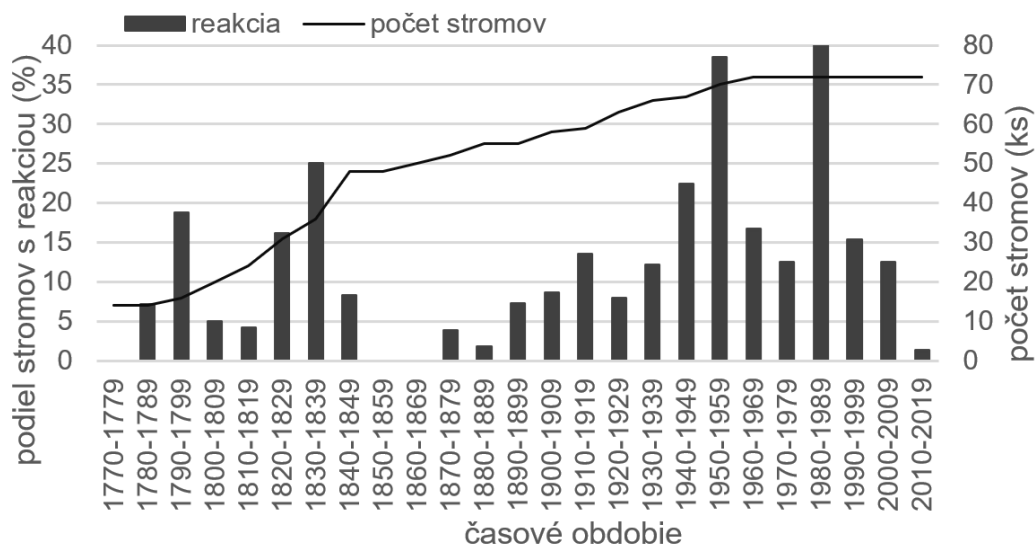
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Mapovaním medzier technológiou LiDAR sme získali podiely jednotlivých kategórií medzier na ploche NPR Badínsky prales. Zitili sme, že nových medzier, v ktorých následný porast je ešte v kategóriách bežne používaných pre kategorizáciu prirodzenej obnovy (do 2 m výšky), je len veľmi málo (Obr. 1) a nedosahujú ani 1 % podiel (Tab. 1), čo v podstate súhlasí s vývojom podielu stromov s reakciou na uvoľnenie zápoja (Obr. 2). Väčší je podiel medzier s následným porastom dosahujúcim od 2 m do $1/3 h_{dom}$ (2 %). Predpokladáme, že nárast rastovej zmeny ako reakcie stromov na uvoľnenie v rokoch 1990–1999 korešponduje s obdobím vzniku týchto medzier. Najväčší podiel medzier je v kategórii medzier s následným porastom dosahujúcim do $2/3 h_{dom}$, až 23,4 %. Z mapy porastových medzier (Obr. 1) je vidieť, že veľký podiel týchto medzier sa nachádza v centrálnej časti, v ktorej sú zakreslené hranice kalamity z roku 1947 (polygón ohraničený čiernou líniou), v ktorom bola táto časť pralesa takmer úplne rozvrátená. Predpokladáme teda, že vznik týchto medzier spadá do obdobia 1940–1949 a tesne po ňom. V tomto období bola zachytená aj najväčšia rastová zmena, v priemere až 5,2 násobný nárast dovtedajšieho ročného prírastku (Obr. 3), čo tiež poukazuje na intenzitu disturbancie. Veľmi intenzívnu rastovú reakciu v tomto období zaznamenali hlavne jedle (priemerne 7,7), ktoré aj vo vysokom veku dokázali zmeniť svoj hrúbkový prírastok v niektorých prípadoch až viac ako 20 násobne (Tab. 2). Podiel stromov, ktoré túto reakciu zaznamenali bol však len 20 %. Oveľa vyšší podiel stromov, ktoré zaznamenali disturbanciu je v nasledujúcom období 1950–1959, až 37,5 %, pričom stromy, na ktorých bola zaznamenaná rakcia v tomto období, nezaznamenali reakciu na predchádzajúcu intenzívnu disturbanciu. Výrazný pokles veľkosti rastovej zmeny (1,62), poukazuje skôr na menej intenzívne disturbancie rozptýlené po ostatnej ploche NPR mimo plôch postihnutých predošlou kalamitou. V skorších obdobiach vývoj podielu stromov s reakciou viac menej kopíruje vývoj rastovej zmeny. Rastová zmena v rokoch 1780–1799 a v rokoch 1820–1849 bola tiež pomerne výrazná, na základe čoho predpokladáme, že v týchto obdobiach prebehli tiež výraznejšie disturbancie v značnom plošnom rozsahu. V poslednom období je okrem už spomínanej výraznejšej rastovej zmeny v rokoch 1990–1999 zaujímavý vysoký podiel stromov s pomerne nízkou reakciou na uvoľnenie v rokoch 1980–1989.

Z podrobnejšej analýzy vrtných jedincov a ich reakcií na uvoľnenie korunového zápoja vplyvom disturbancií sme zistili, že najčastejšie a aj najväčšou rastovou zmenou reagovala jedľa v nadúrovňovom postavení (Tab. 2, 3). Celkovo môžeme povedať, že jedince všetkých troch druhov nachádzajúcich sa v nadúrovni reagovali v minulosti na uvoľnenia väčšou rastovou zmenou, čo je v podstate dôvod ich súčasného postavenia. Pomerne intenzívne vedeli reagovať aj jedince v úrovňovom až vrstvom postavení so stiesnenými korunami, ktoré mali konkurenciou obmedzený rast a pre ktoré disturbancia predstavuje jedinečnú príležitosť nadobudnúť v spoločenstve výhodnejšiu pozíciu.

Tab. 1: Podiel jednotlivých kategórií medzier na výmere NPR Badínsky prales
Share of gap categories area in the area of the Badínský prales NNR

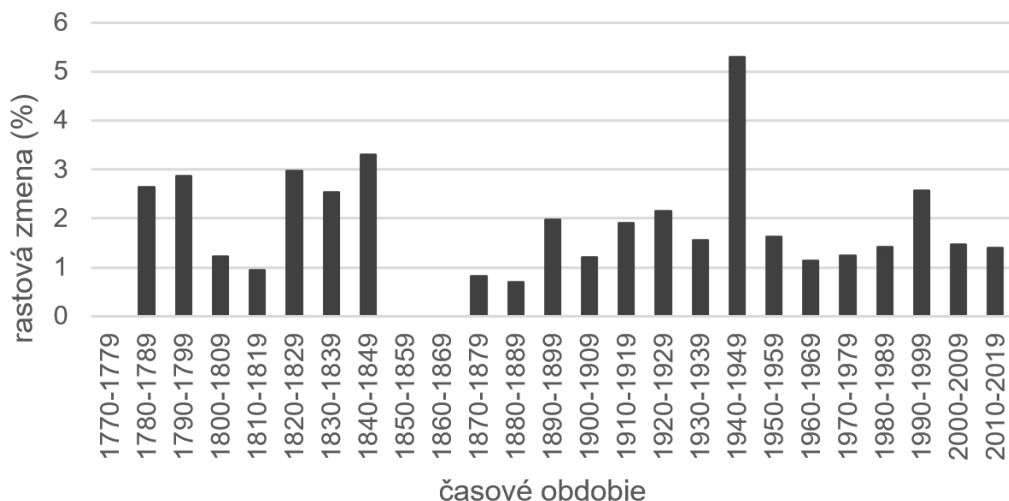
Výška následného porastu (Height of successional growth)	Výmera (area) (m ²)	Podiel (share) (%)
< 2 m	762	0,3
< $1/3 h_{dom}$	6 797	2,0
< $2/3 h_{dom}$	77 320	23,4



podiel stromov s reakciou = share of trees with reaction, počet stromov = number of trees, časové obdobie = time period

Obr. 2: Podiely stromov vykazujúcich reakcie na silné uvoľnenia s viac ako 50 %-nou rastovou zmenou a početnosť stromov v jednotlivých časových obdobiach

Proportions of trees showing responses to strong releases with more than 50% growth change and tree abundance at each time period



rastová zmena = growth change, časové obdobie = time period

Obr. 3: Podiely stromov vykazujúcich reakcie na silné uvoľnenia s viac ako 50 %-nou rastovou zmenou a početnosť stromov v jednotlivých časových obdobiach

Proportions of trees showing responses to strong releases with more than 50% growth change and tree abundance at each time period

Tab. 2: Priemerné hodnoty hrúbok a výšok vŕtaných jedincov drevín a štatistické charakteristiky ich rastovej zmeny

Mean values of diameters and heights of cored trees and statistical characteristics of their growth change

Drevina ¹	d _{1,3} (mm) ²	h (m) ³	pvr	sd	min	max
JD ⁴	623,9	38,8	2,6	3,6	0,5	22,9
BK ⁵	692,0	36,5	1,6	1,4	0,5	8,4
SM ⁶	699,8	45,3	1,8	1,5	0,5	4,4

1 – tree species, 2 – diameter at breast height, 3 – height, 4 – fir, 5 – beech, 6 – spruce, pvr – priemerná veľkosť reakcií / average intensity of releases (%), sd – štandardná chyba / standard deviation, min – minimum, max – maximum.

Tab. 3: Reakcie stromov na uvoľnenie korunového zápoja podľa druhu dreviny a sociálneho postavenia (1 – nadúrovňový strom, 2 – úrovňový strom, 3 – úrovňový strom s potlačenou korunou až vrastavý)

Tree responses to canopy cover releases by tree species and social status (1 – dominant tree, 2 – co-dominant, 3 – co-dominant with suppressed crown)

Drevina ¹	Sociálne postavenie 1 ²				Sociálne postavenie 2				Sociálne postavenie 3				Spolu ³			
	ps	pr	prs	pvr	ps	pr	prs	pvr	ps	pr	prs	pvr	ps	pr	prs	pvr
JD ⁴	20	50	2,5	2,8	4	12	3,0	0,7	3	12	4,0	1,6	27	74	2,7	2,6
BK ⁵	29	69	2,4	2,0	9	13	1,4	1,0	3	5	1,7	1,8	41	87	2,1	1,6
SM ⁶	4	9	2,3	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	4	9	2,3	1,8
Spolu	53	128	2,4	2,0	13	25	1,9	0,9	6	17	2,8	1,5	72	170	2,4	2,0

1 – tree species, 2 – social status, 3 – together, 4 – fir, 5 – beech, 6 – spruce, ps – počet stromov/number of trees, pr – počet reakcií / number of releases, prs – počet reakcií na strom / number of releases per tree, pvr – priemerná veľkosť reakcií / average intensity of releases (%)

4 ZÁVER

V bukových a zmiešaných bukových pralesoch strednej a juhovýchodnej Európy je pokrývnosť plochy otvorenými medzerami značne variabilná. Podľa literatúry sa pohybuje v rozsahu od 3,2 % do 22 % (Petritan *et al.*, 2013, Šumichrast *et al.*, 2022). V prípade NPR Badín vidíme v súčasnosti pomerne malý podiel medzier v kategórii s následným porastom do 1/3 hornej výšky porastu, ktorý je pod dolnou hranicou uvedeného rozsahu. Keďže v kategórii s následným porastom do 2/3 sa nachádza až 23,4 % plochy NPR, a na základe vývoja podielu a veľkosti reakcií stromov na disturbancie v minulom období môžeme predpokladať, že ide len o prechodné obdobie, a že disturbancie rôzneho rozsahu a intenzity sú súčasťou jeho vývoja. Na základe prírastkových zmien, ako reakcií na uvoľnený priestor a dostupnosť živín, sme boli schopní identifikovať obdobia s pomerne rozsiahlymi disturbanciami nižšej intenzity, ktoré sa v období 80-tych rokov 19. storočia spájajú s pravdepodobne s výrazným odumieraním jedle (Petritan *et al.*, 2013), ktoré bolo popísané v aj skúmanej NPR (Šumichrast *et al.*, 2022) a v 50-tych rokoch vplyvom túlavej ťažby, ktorú zaznamenal profesor Korpel (1958). Disturbancie vysokej intenzity boli zachytené jednak na základe leteckého skenovania, keďže ich výsledkom sú dlhodobo identifikovateľné

otvorené porastové medzery, a jednak na základe dendrochronológie, keďže podmienili výraznú rastovú zmenu uvoľnených jedincov. Najintenzívnejšou disturbančnou udalosťou v nami zachytenej histórii vývoja pralesa bola vetrová kalamita z roku 1947, ktorá bola podrobne zdokumentovaná aj v historických literárnych zdrojoch (napr. Korpeľ, 1958).

LITERATÚRA

- ALTMAN, J., FIBICH, P., DOLEZAL, J., AAKALA, T. 2014. A package for tree ring analysis of disturbance events in R. *Dendrochronologia*. 32, 107–112.
- FRELICH, L. E. 2002. *Forest Dynamics and Disturbance Regimes: Studies from Temperate evergreen-Deciduous Forests*. New York: Cambridge Univ. Press. 266 s.
- JENTSCH, A., WHITE, P. S. 1958. A theory of pulse dynamics and disturbance in ecology. *Ecology*. 100, 02734.
- KORPEĽ, Š. 1958. Príspevok k štúdiu pralesov na Slovensku na prípade Badínskeho pralesa. *Lesnícky časopis*. 8(4), 349–385.
- LORIMER, C. G., FRELICH, L. E. 1989. A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Can. J. For. Res.* 19, 651–663.
- MCDOWELL, N. G. *et al.* 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*. 368(6494), 9463.
- NOWACKI, G. J., ABRAMS, M. D. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*. 67, 225–249.
- PETRITAN, A. M., NUSKE, R. S., PETRITAN, I. C., TUDOSE, N. C. 2013. Gap disturbance patterns in an old-growth sessile oak (*Quercus petraea* L.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) forest remnant in the Carpathian Mountains, Romania. *For. Ecol. Manage.* 308, 67–75.
- ŠUMICHRASŤ, L., JALOVÍAR, P., KUCBEL, S. 2022. *Štruktúra, diverzita a regeneračné procesy prírodného lesa v NPR Badínsky prales*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 133 s.
- WHITE, J. C., TOMPALSKI, P., COOPS, N. C., WULDER, M. A. 2018. Comparison of airborne laser scanning and digital stereo imagery for characterizing forest canopy gaps in coastal temperate rainforest. *Remote Sens. Environ.* 208, 1–14.

Poděkování

Príspevok bol financovaný z prostriedkov projektov VEGA 1/0515/23 a APVV-21-199.

Kontakty | Contact Information

Parobeková Zuzana: parobekova@tuzvo.sk