

## Dinamica perturbărilor din rezervația naturală "Făgetul Secular Humosu" aflată la limita estică a arealului European

M.-G. Cotos, I. Radu, C.-C. Roibu, R. Cenușă

Cotos M.-G., Radu I., Roibu C.-C., Cenușă R. 2019. Disturbances dynamics in Old Growth Beech Forest of Humosu from the eastern limit of its distribution. Bucov. For. 19(2): 131-138.

**Abstract.** Tree rings are the most reliable source for disturbance dynamics reconstructions in natural forests. Reconstruction of past disturbance events, in both temporal and spatial scale, will help us understand the changes it went through to reach the current structure complexity state. The positioning in time, duration and magnitude of these events are often inferred by analyzing growth impulses. The aim of the present study is to analyze the disturbance dynamics in a natural beech forest, located at the eastern limit of its European distribution. Developing the boundary line for this beech forest and the reconstruction of the disturbance history were the two main objectives of the study. To quantify disturbances, boundary line method was used. The existence of major and moderate disturbance events was observed throughout the analyzed period (1593-2012), excepting the periods: 1750-1755 and 1775-1780. It was noted the existence of two peaks with major growth release events felt more than 15% and 20% of the trees (1870-1875 and respectively 1985-1990). The spatial analysis of these two periods confirms the disturbance event by the formation of regeneration patches, also characterized by major growth release. In order to validate the obtained results, a temporal distribution of the tree recruitments was made. This confirms the major event felt around 1875, through a period of intense installation of regeneration which lasted for almost 40 years.

**Authors.** Mihai-Gabriel Cotos, Ioana Radu (ioanaa\_r@yahoo.com), Cătălin-Constantin Roibu, Radu Cenușă - Ștefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania.

**Manuscript** received May 15, 2019; revised June 5, 2019; accepted December 15, 2019; online first December 31, 2019.

### Introducere

Inelele de creștere reprezintă o sursă de bază pentru reconstituirea dinamicii perturbărilor într-un arboret cum ar fi furtunile, incendiile, atacurile de insecte și practicile silviculturale. De asemenea, zonele cu un climat favorabil pentru o anumită specie sunt recomanda-

te pentru reconstituirea dinamicii factorilor non-climatici, respectiv a competiției intra și interspecifice (Popa 2004). Arborii resimt perturbările independente de factorii climatici, acestea fiind consecințe ale atingerii stării de masiv, unde dispariția unui exemplar din plafonul superior determină activarea creșterilor arborilor vecini. Această reacție este definită

ca fiind o "dezvoltare a arborilor prin goluri", fapt ce determină variații ale lățimii inelului de creștere (Popa 2004).

În literatura de specialitate există numeroase studii care descriu și utilizează diferite metode pentru reconstituirea dinamicii perturbărilor care să cuantifice frecvența și intensitatea acestora. Principala problemă care s-a impus a fost aceea de determinare a evenimentului de accentuare bruscă a creșterii radiale (Lorimer și Frelich 1989, Frelich 2002). Acesta este definit ca o depășire a ratei de creștere peste un prag limită de 25%, 50%, sau 100% care în anumite metode trebuie să se mențină pe o perioadă de 5 sau 10 ani (Lorimer și Frelich 1989, Payette et al. 1990, Nowacki și Abrams 1997). Inițial, metoda ratelor de creștere (Nowacki și Abrams 1997) s-a utilizat pentru arborii dominanți și codomanți, însă s-a demonstrat că, spre deosebire de aceștia a căror dezvoltare este la un nivel optim, arborii din plafonul inferior, dominați, prezintă o activare mult mai puternică a creșterilor ca răspuns la reducerea competiției (Lorimer și Frelich 1989, Black și Abrams 2004).

Metoda „curbei de limită” (Nowacki și Abrams 1997) a fost aplicată în numeroase arborete naturale pure sau de amestec în vederea evidențierii istoricului perturbărilor. În Austria, în urma studiului cu privire la dinamica perturbărilor, realizat într-o pădure seculară de amestec (speciile co-dominante fiind fagul, molidul și bradul), s-a arătat că frecvența și intensitatea perturbărilor variază în timp. Apariția unui gol în coronament determină, fie mărirea acestuia, fie închiderea lui ca urmare a dezvoltării laterale a coroanelor arborilor dominanți (în special exemplarele de fag care prezintă o plasticitate ridicată), sau activarea creșterilor arborilor dominați (Splechtna et al. 2005).

Munții Carpați adăpostesc cea mai întinsă zonă de păduri seculare din Europa. Înțelegerea dinamicii creșterilor în condiții naturale, în care intervenția omului nu este resimțită, este deosebit de importantă în aplicarea unei silviculturi apropiate de natură. Unul dintre studiile

care au urmărit analiza structurală și dendrocronologică, a fost realizat într-un fâget secular din Uholka (Ucraina). Rezultatele acestora au arătat că dinamica structurală în interiorul arboretului apare mai degrabă ca urmare a perturbărilor minore sau moderate (deschidere-închidere de goluri) (Volodymyr et al. 2012).

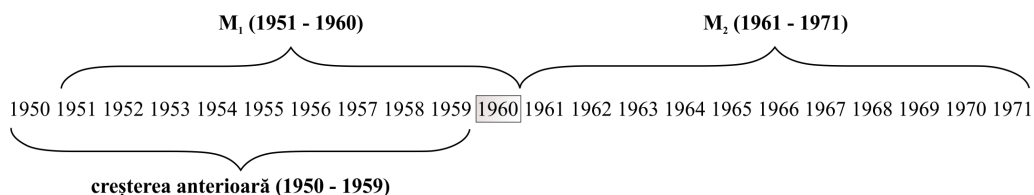
Reconstituirea istoricului perturbărilor a fost realizat și în arborete de amestec din Slovenia (Nagel et al. 2007, Firm et al. 2009), rezultatele confirmând importanța evenimentelor cu impact mai puternic (furtuni, atacuri de insecte), dar cu frecvență redusă, în dinamica și regenerarea pădurii naturale.

Prezenta lucrare a fost elaborată în scopul analizei dinamicii și istoricului perturbărilor unui arboret natural de fag aflat la limita estică a arealului speciei. Pentru atingerea scopului propus s-a urmărit îndeplinirea următoarelor obiective: i): realizarea curbei de limită și ii): reconstituirea dinamicii perturbărilor în Făgetul Secular Humosu prin metoda curbei de limită.

## Material și metodă

Arboretele naturale prezintă un interes deosebit pentru cercetători, deoarece stochează informații cu privire la modul de structurare pe perioade lungi de timp, conținând totodată detalii referitoare la evenimentele petrecute în trecut. Un astfel de arboret este și Făgetul Secular Humosu, localizat la limita estică a arealului european al fagului (Roibu 2010, Roibu et al. 2017). Acesta are statut de Rezervație Naturală, constituită în baza H.C.P.J Iași 557/1973, și reprezintă "sit de importanță comunitară".

Din aceste motive, în anul 2006 a fost instalată o suprafață de probă permanentă de 1 hectar. În anul 2012 au fost extrase carote de creștere de la toți cei 278 de arbori cu diametrul de bază peste 8 cm. Acestea au fost pregătite (uscate, montate pe suporturi, șlefuite cu benzi de diferite granulații) pentru procesul de măsurare a lățimii inelelor anuale conform metodologiei consacrate în domeniu (Stokes și



**Figura 1** Metoda de calcul a valorilor PG și PGC

*PG and PGC computing model*

Smiley 1968, Popa 2004). Măsurarea lățimii inelelor anuale s-a realizat cu o precizie de 0,001 mm folosind sistemul Lintab 6, din cadrul Laboratorului de Biometrie Forestieră. Seriile obținute au fost mai apoi verificate și interdate cu programul COFECHA (Holmes 1983, Cook et al. 1997). Estimarea numărului de inele lipsă, în vederea stabilirii vârstei (la nivelul diametrului de bază), în cazul probelor care nu prezintă măduva, s-a realizat prin metoda cercurilor concentrice. Această metodă presupune suprapunerea unui film transparent cu cercuri concentrice de dimensiuni diferite pe minim ultimele 5 inele, care se suprapun atât pe înclinația cât și pe lățimea acestora (Applequist 1958, Speer 2010). Datorită problemelor de interdatare (inele lipsă, inele foarte înguste), s-au exclus un număr de 31 de carote, majoritatea din plafonul arborilor dominați.

Reconstituirea dinamicii perturbărilor a presupus utilizarea metodei curbei de limită (Nowacki și Abrams 1997). O primă etapă în aplicarea acestei metode constă în calcularea ratei de creștere (PCG) definită prin relația  $PGC = (M_2 - M_1) / M_1$ , unde  $M_1$  este media creșterilor celor 10 ani anteriori, inclusiv pentru anul care se calculează rata, iar  $M_2$  este media creșterilor pe următorii 10 ani (Figura 1). Creșterea anterioară (PG) se determină ca medie a celor 10 ani precedenți. S-au calculat cele două valori (PCG și PG) pentru fiecare inel anual din fiecare serie de creștere, exceptând primii și ultimii 10 ani din serii.

Următoarea etapă constă în excluderea valorilor negative a ratei de creștere și prelucrarea creșterilor anterioare corespunzătoare valorilor pozitive (Popa 2004, Splechtna et al. 2005, Ziaco et al. 2012). Realizarea curbei de limită

a presupus, în primă fază gruparea valorilor PG în clase de creștere astfel: valorile sub 1 mm au fost grupate în clase de 0,25 mm, iar valorile peste 1 mm în clase de 0,50 mm. S-a luat în considerare media celor mai mari 5 valori din fiecare clasă pentru prima grupă, și media celor mai mari 10 valori din fiecare clasă pentru cea de-a doua grupă.

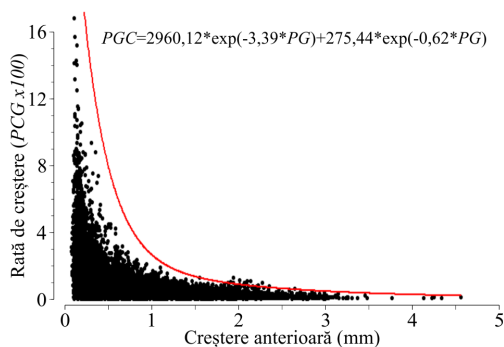
Relația dintre rata de creștere și creșterea anterioară a fost exprimată prin reprezentarea grafică a acestor valori și trasarea unei linii de tendință cu ajutorul funcției dublu exponențiale (Splechtna et al. 2005). Acest model caracterizează curba de limită respectiv creșterea maximă posibilă (MPG). Raportarea creșterii maxime posibile la rata de creștere conduce la obținerea valorilor ratei curbei de limită. Perturbările au fost grupate în două clase: evenimente moderate (PCG între 25-50%) și majore (PCG > 50%) (Splechtna et al. 2005). Valorile sub 25% au fost eliminate, fiind asimilate de cele mai multe ori condițiilor climatice (Black și Abrams 2003). Semnificația perturbărilor la nivel de arboret s-a realizat prin stabilirea unui procent minim de arbori care au resimțit evenimentul perturbator.

Pentru validarea rezultatelor obținute, s-a pus în aplicare o dublă verificare a anilor cu perturbări moderate și majore, indentificați prin metoda curbei de limită. S-au realizat astfel, o distribuție a numărului de arbori în raport cu vârsta la nivelul diametrului de bază și o reprezentare spațială a mediei ratelor de creștere în raport cu intensitatea perturbărilor. Aceasta din urmă s-a realizat prin împărțirea suprafeței de probă în suprafețe elementare (10 x 10 m), aplicând librăria ggplot2 (Wickham 2016) în programul de calcul R (R CRAN, 2013).

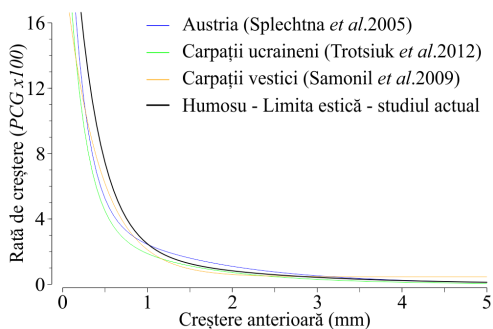
## Rezultate și Discuții

Inelele de creștere reprezintă date esențiale pentru reconstituirea dinamicii arboretului și a perturbărilor. Perturbarea poate fi definită ca un eveniment discret din punct de vedere temporal ce provoacă modificări la nivel structural ecosistemului forestier, și care poate avea un impact atât asupra aportului de resurse cât și asupra substratului sau mediului fizic (Popa 2002). Poziționarea în timp, durata și amploarea acestor evenimente sunt adesea deduse prin analiza impulsurilor de creștere, fenomen cunoscut și sub numele de acclerare bruscă a creșterii radiale, asociat cu o reducere a perturbărilor legate de concurență.

Analiza evenimentelor perturbatoare în arboretul secular Humosu a fost realizată prin intermediul metodei curbei de limită (Figura 2), urmărind determinarea și cuantificarea reacției arborilor la aceste perturbări, respectiv a impulsului de creștere și valoarea maximă pe care aceștia o pot atinge. Nowacki și Abrams (1997) afirmă că inelele anuale oferă un mare potențial pentru descrierea regimului perturbărilor, în special dacă identificarea evenimentelor se realizează pe suportul seriilor cronologice lungi, obținute din păduri seculare, care au resimțit un nivel minim al influenței antropice. Black și Abrams (2003) arată că arborii cu creșteri lente, dominați, au un impuls de creștere mai accentuat decât cei cu o dezvoltare rapidă, și că valoarea maximă posibilă a pulsului dată de



**Figura 2** Curba de limită pentru suprafața de probă Humosu  
*Boundary line for Humosu natural forest*



**Figura 3** Compararea curbelor de limită obținute pentru arborete de fag din Europa Centrală  
*Different boundary lines obtained in beech forests from Central Europe*

rata de creștere (PGC) este dependentă de creșterea anterioară.

Până în prezent, trei tipuri de funcții au fost propuse, pentru reprezentarea curbei de limită în făgete, care să surprindă cât mai bine valorile ratei de creștere: funcția exponențială (Black și Abrams 2003), o exponențială modificată (Samonil et al. 2009) și funcția exponențială dublă (Splechtna et al. 2005, Trotsiuk et al. 2012) (Figura 3). În studiul de față a fost realizată prima curbă de limită pentru fag din România, utilizând ecuația dublu exponențială cu următoarea expresie:

$$PGC = 2960,12 * \exp(-3,39 * PG) + 275,44 * \exp(-0,62 * PG)$$

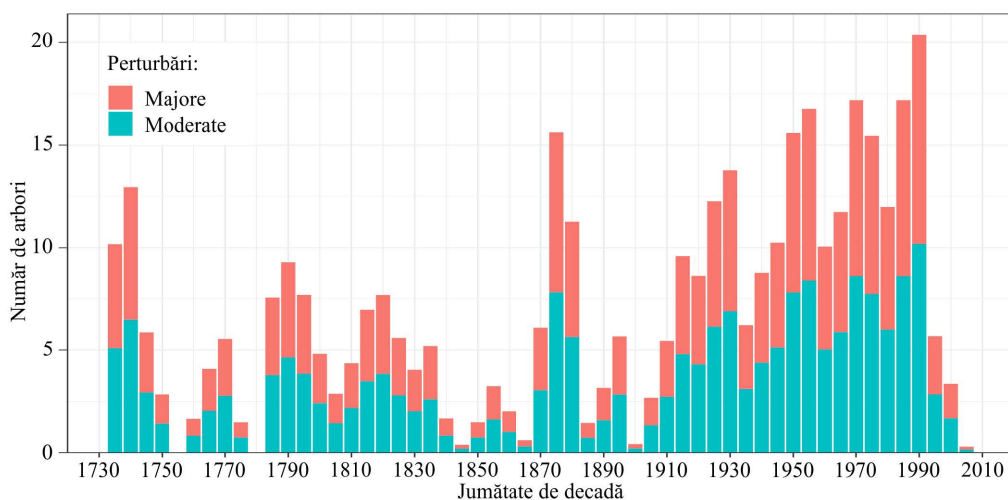
Această curbă de limită obținută pentru făgetul natural aflat la limita estică a arealului a fost comparată cu alte modele realizate în diferite păduri naturale de fag din Europa, cu următoarele expresii:

(i) Austria:  $PGC = 2801,0799 * \exp(-5,4058 * PG) + 488,6093 * \exp(-0,7466 * PG)$

(ii) Zona vestică a Carpaților:  $PGC = 45,9429 * \exp(7,58466 * PG) - 2,4772 * PG$

(iii) Carpații Ucrainei:  $PGC = 2242,78 * \exp(-5,06 * PG) - 418,24 * \exp(-0,88 * PG)$

Pentru valori mai mici de 1 mm ale claselor creșterii anterioare (PG), curba de limită din Humosu se abate mult de la celelalte curbe elaborate pentru alte zone ale Europei, poziți-



**Figura 4** Distribuția perturbărilor moderate și majore pe jumătăți de decadă identificate prin metoda curbei de limită pentru Humosu

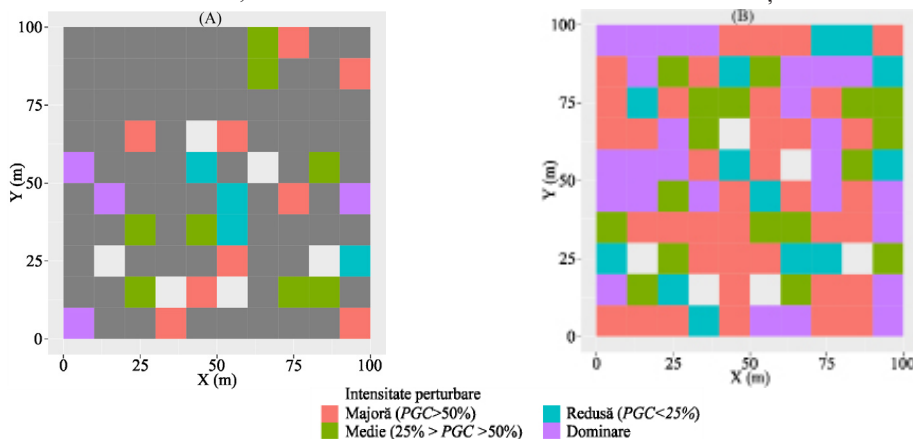
*Moderate and major disturbances distribution on half decade identified through boundary line method in Humosu Old Grown Forest*

onându-se deasupra acestora. În intervalul 1-3 mm, curba din studiul de față se intercalează între celelalte reprezentări, urmând ca în clasele de peste 3 mm să se suprapună cu celelalte curbe de limită, fiind mai apropiată de cea realizată în Austria (Splechna et al. 2005).

Reconstituirea dinamicii perturbărilor, evidențiază existența acestora în majoritatea intervalelor, mai puțin între anii 1750-1755 și 1775-1780. De asemenea, un număr redus de

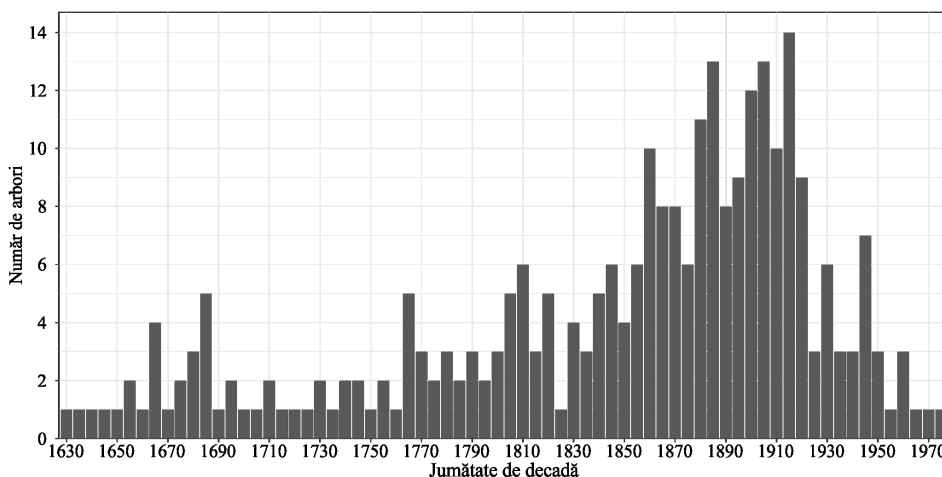
arbori au resimțit evenimente majore și moderate în anii: 1845, 1865, 1900 și 2005. De remarcat este perioada care precedă anii 1900, unde un număr mare de arbori au înregistrat accelerări bruște de creștere (Figura 4).

În cadrul perioadei analizate se remarcă existența a două vârfuri cu evenimente perturbatoare resimțite la peste 15 % și respectiv 20 % din numărul de arbori, corespunzătoare intervalelor 1870-1875 și 1985-1990. Acest



**Figura 5** Reprezentarea spațială a evenimentelor perturbatoare în raport cu intensitatea acestora (A-1870-1875 și B-1985-1990)

*Disturbance events spatially represented in relation to their intensity (A-1870-1875 and B-1985-1990)*



**Figura 6** Dinamica tempoală a numărului de arbori în raport cu vârsta la nivelul diametrului de bază  
*Trees temporal dynamic in relation with the age at DBH level*

proces de accelerare a creșterilor poate fi explicat de eliminarea arborilor ajunși la limita fiziologică, sau ca urmare a unor doborâturi locale produse de vânt, având în vedere faptul că în întreaga pădure predomină faza terminală de dezvoltare (Roibu 2010). Acest proces de auto-rărire, a permis crearea de goluri în coronament, favorizând scoaterea de sub dominare a arborilor din plafonul inferior și chiar din cel mijlociu. Reprezentarea spațială a ratelor de creștere pentru aceste două perioade confirmă formarea unor nuclee de regenerare, cu o declanșare majoră a creșterilor. În jurul acestora se resimt accentuări medii ale creșterii, ca urmare a depărtării treptate față de zona pusă direct în lumină (Figura 5). Rezultate asemănătoare au fost obținute și în arborete seculare de fag din Carpații Ucrainei (Uholka), unde s-a arătat faptul că dinamica arboretului este determinată mai degrabă de perturbările de intensitate mică (deschidere de ochiuri), comparativ cu influența evenimentelor majore, care se produc mai rar (Trotsiuk et al. 2012).

Dacă în prima perioadă se observă puține zone în care arborii au avut o accelerare majoră la nivelul creșterilor, în cel de-al doilea caz, arborii cu declanșări medii și majore ale creșterilor, sunt distribuiți pe o arie considerabilă în suprafața de probă, formând și un nucleu semnificativ aproa-

pe de centrul acesteia. S-a arătat astfel că evenimentele cu impact mai puternic, dar mai reduse ca frecvență, au o importanță mare în dinamica și regenerarea pădurii naturale, confirmând studiile realizate până în prezent (Nagel et al. 2007, Nagel et al. 2009).

Pentru validarea rezultatelor s-a realizat o distribuție a numărului de arbori în raport cu vârsta la nivelul diametrului de bază. De menționat este faptul că, pentru specia fag, vârsta la nivelul prelevării carotelor, în comparație cu vârsta cambială diferă cu 15-20 de ani (Ligot et al. 2013). Datorită acestui fapt, reprezentarea s-a realizat pe perioade de 5 ani. (Figura 6).

Golurile în coronament apărute în urma perturbărilor, sau ca urmare a îmbătrânirii și căderii arborilor, au favorizat instalarea și dezvoltarea regenerării, care în cazul suprafeței analizate, a fost mai accentuată după anul 1860 (Figura 6). Evenimentul major resimțit în jurul anului 1875 declanșează, de asemenea, o perioadă de instalare intensă a regenerării de circa 40 de ani (fapt ce reprezintă vârsta medie a unui gol de la formare până la închidere (Drößler și Von Lüpke 2005). După acest interval în care s-a realizat închiderea arboretului pe orizontală, specific fâgetelor naturale, se observă o nouă perioadă în care recrutarea de noi indivizi scade. În contextul în care, în cadrul suprafeței de probă există

semînțis, acesta nu a atins însă pragul impus de inventariere (8 cm). Densitatea mare a arboretului (46,9 m<sup>2</sup>/ha), a indus crearea unor zone tensionate ecologic, unde dezvoltarea regenerării este îngreunată. Astfel se explică de ce perioada de după 1950 este foarte săracă din punctul de vedere al recrutării, cu toate că au fost identificate perturbări majore și moderate ca intensitate.

## Concluzii

Făgetul Secular Humosu poate fi considerat un arboret de referință pentru limita estică a arealului European al speciei, prin complexitatea structurală, diversitatea dimensională și longevitatea arborilor. Structura actuală a arboretului studiat, nu reprezintă altceva decât o consecință a dinamicii perturbărilor din trecut oferind o notă importantă cunoașterii frecvenței și intensității acestora. Măsurarea și datarea unui număr de 278 de probe de creștere au avut ca finalitate identificarea perturbărilor prin metoda curbei de limită, care a surprins perioada cuprinsă între 1593 și 2012.

În studiul de față a fost utilizată pentru prima dată în România, una dintre cele mai consacrate metode pentru cuantificarea dinamicii perturbărilor și anume metoda curbei de limită. Pentru reprezentarea curbei de limită în făgetul ales, a fost aleasă funcția exponențială dublă. O comparație a rezultatelor obținute cu alte trei curbe de limită din păduri naturale de fag din Europa Centrală, arată o similaritate mai ridicată cu cea dezvoltată de Splechtna et al. (2005) în special pentru valori ale claselor creșterii anterioare ce depășesc 3 mm. Pe intervalul 1-3 mm curba se intercalează între celelalte 3, iar pentru valori mai mici de 1 mm curba se poziționează deasupra acestora.

Reconstituirea perturbărilor pe jumătăți de decadă, prin metoda curbei de limită, arată existența evenimentelor pe întreaga perioadă, mai puțin anii 1750-1755 și 1775-1780, doar că multe dintre acestea au fost resimțite de un număr mic de arbori. Perioada cu accelerări majore ale creșterilor resimțită de peste 20%

din arbori corespunde intervalului 1985-1990. Alte evenimente perturbatoare resimțite la nivelul creșterilor radiale cel puțin 15% din arbori au fost identificate în perioada: 1870-1875 dar și 1945-1950, 1950-1955, 1965-1970, 1970-1975, 1980-1985. Analiza spațială a perioadelor 1870-1875 și 1985-1990, cu perturbări majore și moderate a fost verificată cu dinamica instalării regenerării în cadrul suprafeței de probă.

## Mulțumiri

Cercetările care au condus la aceste rezultate au fost finanțate prin Mecanismul Financiar al Spațiului Economic European 2009-2014 (contract nr. 18SEE/2014) și prin suportul financiar asigurat de WWF Romania prin proiectul nr: 93/16.10.2017/FY17.

Mulțumim celor doi revizori anonimi pentru comentariile și sugestiile făcute.

## Bibliografie

- Applequist M.B., 1958. A simple pith locator for use with off center increment cores. *Journal of Forestry*.56:141p.
- Black B.A., Abrams M.D., 2004. Development and application of boundary-line release criteria. *Dendrochronologia*, 22(1): 31-42.
- Black B.A., Abrams M.D., 2003. Use of boundary-line growth patterns as a basis for dendroecological release criteria. *Ecological applications*, 13(6): 1733-1749.
- Cook E.R., Peters K., 1997. Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *The Holocene*, 7(3): 361-370.
- Dröbner L., Von Lüpke B., 2005. Canopy gaps in two virgin beech forest reserves in Slovakia. *J. For. Sci*, 51(10): 446-457.
- Firm D., Nagel T.A., Diaci J., 2009. Disturbance history and dynamics of an old-growth mixed species mountain forest in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*, 257(9): 1893-1901.
- Freligh L.E., 2002. *Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests*. Cambridge University Press, Cambridge-UK, 266 p.
- Fox J., Weisberg S., 2018. *An R companion to applied regression*. Sage publications, 608 p.
- Holmes R.L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*.

- 43: 69-78.
- Lorimer C.G., Frelich L.E., 1989. A methodology for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 651-663.
- Nagel T.A., Levanič T., Diaci J., 2007. A dendroecological reconstruction of disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in Slovenia. *Annals of Forest Science*, 64(8): 891-897.
- Nowacki G.J., Abrams M.D., 1997. Radial - growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecol. Monogr.* 67: 225-249.
- Payette S., Filion L., Delwaide A., 1990. Disturbance regime of a cold temperate forest as deduced from tree-ring patterns: the Tantaré Ecological Reserve, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(8): 1228-1241.
- Popa I., 2002. Elaborarea de serii dendrocronologice pentru molid, brad și gorun cu aplicabilitate în dendroclimatologie și dendroecologie, *Anale ICAS*, 45: 237-250.
- Popa I., 2004. Fundamente metodologice și aplicații de dendrocronologie. Editura Tehnică Silvică, București, 200 p.
- Roibu C.-C., 2010. Cercetări dendrometrice, auxologice și dendrocronologice în fâgete din Podișul Sucevei aflate în limita estică a arealului, Teză doctorat, "Universitatea Ștefan cel Mare", Suceava, 274 p.
- Samonil, P., Antolik L., Svoboda M., Adam D., 2009. Dynamics of windthrow events in a natural fir-beech forest in the Carpathian mountains. *Forest Ecology and Management* 257(3): 1148-1156.
- Speer J.H., 2010. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. The University of Arizona Press, Tucson, 333p.
- Splechna B.E., Gratzer G., Black B.A., 2005. Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest - a spatial dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science*, 16: 511-522.
- Stokes M.A., Smiley T.L., 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago și Londra, 73 p.
- Trotsiuk V., Hobi M.L., Commarmot B., 2012. Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecology and Management*, 265: 181-190.
- Wickham H. 2016. *Use R: ggplot2 Elegant graphics for data analysis second edition*. Springer, Houston, Texas, USA, 268 p.
- Ziaco E., et al., 2012. Biogeoclimatic influences on tree growth releases identified by the boundary line method in beech (*Fagus sylvatica* L.) populations of southern Europe. *Forest ecology and management*, 286: 28-37.