



Universitatea
Ștefan cel Mare
Suceava

Facultatea SILVICULTURĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

DOMENIUL SILVICULTURĂ

CARACTERIZAREA STRUCTURALĂ, DINAMICA PERTURBĂRILOR ȘI A LEMNULUI MORT ÎN ARBORETE DE AMESTEC DE FAG ȘI RĂȘINOASE

REZUMAT

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
Prof. univ. dr. ing. Radu-Leontie CENUȘĂ

DOCTORAND:
Ing. Mihai-Gabriel COTOS

Suceava, 2023

**UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE”
SUCEAVA
FACULTATEA DE SILVICULTURĂ**

Ing. Mihai-Gabriel COTOS

**CARACTERIZAREA STRUCTURALĂ,
DINAMICA PERTURBĂRILOR ȘI A
LEMNULUI MORT ÎN ARBORETE DE
AMESTEC DE FAG ȘI RĂȘINOASE**

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Radu-Leontie CENUȘĂ

Suceava, 2023

Cuvânt înainte

Cercetările realizate în prezenta teză de doctorat au surprins subiecte de actualitate cu privire la caracterizarea arboretelor și importanța lemnului mort în raport cu modul de gospodărire. Modul în care se prezintă arboretele acum este strict rezultatul modului în care au fost gestionate în trecut și a modului în care natura a acționat prin factorii perturbatori. Prin studierea trecutului ecosistemelor forestiere sunt puse în evidență informații esențiale care pot fi utilizate în elaborarea de planuri de management prin care se urmărește maximizarea stabilității, rezistenței și rezilienței arboretelor.

Aprofundarea informațiilor cu privire la dinamica arboretelor și a principalelor teme atinse în prezenta lucrare, nu ar fi fost posibile fără îndrumarea cu pasiune și răbdare din partea conducătorului științific, domnul *Prof. univ. dr. ing. Radu-Leontie CENUȘĂ*, căruia țin să îi aduc profunde mulțumiri.

Sincere mulțumiri adresez *Conf. univ. habil. dr. ing. Cătălin-Constantin ROIBU, CS I dr. ing. Nicolai OLENICI, CS I dr. ing. Radu VLAD* și *Conf. univ. dr. ing. Sergiu-Andrei HORODNIC* pentru faptul că au acceptat să analizeze teza de doctorat din calitate de referenți oficiali.

Alese mulțumiri adresez comisiei de îndrumare din care au făcut parte: *Conf. univ. dr. ing. Sergiu-Andrei HORODNIC, Conf. univ. habil. dr. ing. Cătălin-Constantin ROIBU* și *Șef lucrări dr. ing. Daniel AVĂCĂRIȚEI*, pentru sfaturile și indicațiile oferite în etapele pregătirii și susținerii rapoartelor de cercetare, dar și a tezei de doctorat în cadrul comisiei de îndrumare.

Gânduri de mulțumire se îndreaptă și către întreg colectivul *Facultății de Silvicultură* din Suceava, care m-a îndrumat, învățat și mi-a oferit sfaturi și încurajări pe parcursul studiilor de licență, de masterat și de doctorat, fiecare contribuind la formarea mea profesională.

De asemenea, țin să mulțumesc conducerii și secretariatului Școlii doctorale de la *Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava*, pentru sprijinul acordat pe parcursul pregătirii mele doctorale.

Mulțumiri speciale adresez coordonatorului *Laboratorului de Biometrie forestieră, Conf. univ. habil. dr. ing. Cătălin-Constantin ROIBU*, pentru buna îndrumare, pentru tot sprijinul acordat în pregătirea prezentei teze și pentru suport în ceea ce privește analiza și interpretarea datelor.

În mod deosebit, vreau să mulțumesc colegilor din *Laboratorul de Biometrie Forestieră* din cadrul Facultății de Silvicultură din Suceava: *ing. Andrei MURSA*, *dr. Viorica NAGAVCIUC*, și *drd.ing. Marian-Ionuț ȘTIRBU*, pentru tot suportul oferit prin sfaturi, idei, soluții și sprijin moral.

Totodată, mulțumesc pentru accesul la infrastructura de cercetare necesară finalizării tezei de doctorat oferit de Facultatea de Silvicultură, în special prin *Laboratorul de Biometrie Forestieră*.

Colegilor alături de care am lucrat în cadrul proiectului *RESFOR 2 SOFT 12.1.3* le mulțumesc pentru sprijinul acordat la culegerea datelor din teren. De asemenea, îi mulțumesc colegului și prietenului *ing. Alexandru-Petronel FUSA*, pentru sfaturi și încurajări.

Doresc să dedic această teză de doctorat familiei, părinților *Vasile și Elena*, fratelui *Ionuț*, și în mod special soției *Maricica* și fetiței *Maria-Irina*, cărora le mulțumesc din suflet pentru susținere morală și pentru că tot timpul mi-au fost alături cu un sfat, un gând bun, o încurajare și mi-au arătat compasiune și răbdare.

Lucrarea de față a beneficiat de sprijin financiar prin proiectul „*Promovarea lemnului mort pentru creșterea rezilienței pădurilor în zona transfrontalieră România-Ucraina*” (RESFOR Nr. 2 SOFT/12/1.3) finanțat prin programul ”Joint Operational Programme RO-UA 2014-2020”.



Joint Operational Programme Romania-Ukraine 2014-2020



Cuprins

1. Introducere. Scop și obiective. Stadiul actual al cunoașterii	7/11
1.1. Introducere. Scop și obiective.....	7/11
1.2. Stadiul actual al cunoștințelor privind caracterizarea structurală a arboretelor	10/13
1.3. Stadiul actual al cunoștințelor privind dinamica lemnului mort	11/17
1.4. Stadiul actual al cunoștințelor privind caracterizarea perturbărilor	12/21
2. Localizarea cercetărilor	13/27
3. Metodologie	14/31
3.1. Amplasarea suprafețelor de probă	14/31
3.2. Culegerea datelor	15/33
3.3. Metodă și metodologie de cercetare	17/35
4. Rezultate	23/43
4.1. Caracterizarea diversității speciilor în arboretele studiate	23/43
4.2. Repartiția numărului de arbori în raport cu statusul acestora.....	24/46
4.3. Caracterizarea arboretelor sub raport biometric	25/49
4.4. Caracterizarea structurii arboretelor în raport cu numărul de arbori pe categorii de diametre.....	27/52
4.5. Diversitatea structurală cuantificată prin intermediul indicilor	29/62
4.6. Analiza necromasei.....	31/71
4.6.1. Analiza lemnului mort pe picior	33/75
4.6.2. Analiza pieselor de lemn mort la sol.....	35/85
4.7. Dinamica creșterilor radiale ale arborilor din cele două regiuni RO-UA.....	37/89
4.8. Dinamica creșterilor în suprafața de bază și cuantificarea rezilienței pădurilor	39/92
4.9. Analiza multicriterială între componentele rezilienței, parametrii structurali și de cantitatea de lemn mort	41/97
4.9.1. Influența gradului de organizare structurală, exprimată prin indicele Gini, asupra cantității de lemn mort.....	43/101
4.9.2. Influența tipului de gestiune și a rezilienței asupra volumului de lemn mort.....	44/102
4.9.3. Influența tipului de gestiune și a indicelui de complexitate (B) asupra volumului de lemn mort	45/103
4.10. Cuantificarea perturbărilor	46/104
5. Concluzii generale	49/109
6. Contribuții originale.....	52/115
7. Bibliografie selectivă	53/117

1. Introducere. Scop și obiective. Stadiul actual al cunoașterii

1.1. Introducere. Scop și obiective.

Pădurile cu grad ridicat de naturalitate reprezintă ”modele, arhetipuri create de natură”, ajunse la o funcționalitate și stabilitate aproape perfecte, sau chiar perfecte. Acestea reprezintă totodată idealuri, fără de care conceptul ”silvicultură apropiată de natură” nu ar mai avea cursul firesc care să aducă o stabilitate și o siguranță ecologică și chiar economică. Pădurea naturală (PN în continuare) poate fi definită prin sintagma ”perenitate- stabilitate- pluralitate” la nivel structural, eco-funcțional sau cultural la care se adaugă ”idealitatea, ca semn al perfecțiunii”. Această perfecțiune în natură poate fi caracterizată prin: ”îmbinarea armonioasă a structurilor, printr-un grad ridicat de integrare, prin funcționalitate continuă și orientată spre conservare și prin legitate ecosistemică completă” (Bândiu et al. 1995). Stabilitatea și multipla funcționalitate a arboretelor virgine sau cvasi-virgine ajunse la o stare de echilibru dinamic, sunt rezultatul restructurărilor continue din interiorul acestora (Florescu et al. 2002).

Datorită compoziției și a unui grad ridicat al heterogenității la nivelul structurii, arboretele naturale prezintă o biodiversitate, o reziliență și o adaptabilitate mai mare (Stiers et al. 2018). Arboretele în care fagul reprezintă specia dominantă, au reprezentat dintotdeauna unele dintre cele mai importante păduri din Europa, atât din punct de vedere socio-economic cât și ecologic. Astfel, în urma managementului aplicat acestora au rămas tot mai puține arborete virgine (Meyer et al. 2003, Oheimb et al. 2005, Kucbel et al. 2012, Trotsiuk et al. 2012, Hobi et al. 2015, citați de Stiers et al. 2018) și tot mai multe arborete cu intervenții intensive în majoritatea țărilor din Europa (Emborg et al. 2000; Oheimb et al. 2005). Managementul aplicat precum și fragmentarea acestor arborete au condus la o prezență tot mai scăzută a speciei și la o scădere a variabilității în diametru (Lindenmayer și Franklin 2002, citat de Merino et al. 2007).

Studierea structurii acestor arborete dar și a dinamicii acestora în timp și spațiu a fost și este de actualitate și astăzi. Aceste studii s-au bazat pe o serie de indicatori măsurabili, caracteristici pădurilor naturale, pentru a surprinde structura, dar au și dezvoltat diverse teorii și modele teoretice pentru simplificarea studiilor ulterioare. Inițial structura unei păduri era caracterizată simplist și anume: structură echienă în cazul arboretelor cultivate și pluriene în cazul arboretelor seculare. Această clasificare era bazată pe criterii de vârstă, înălțimi sau faze de dezvoltare. Ulterior s-au dezvoltat metode de cuantificare a tipului de structură în arboretele naturale, utilizând principalele caracteristici biometrice, relațiile dintre acestea, precum și diverși indici: de diversitate, de competiție, moduri de organizare spațială, grad de omogenitate

ș.a.. Utilizarea acestor indicatori, completată de analiza statistico-matematică au condus la implementarea unor tipuri de structuri sau a unor modele teoretice ale structurilor specifice unor anumite zone sau condiții fie ele staționale, climatice, etc.

Analiza și interpretarea acestor indicatori ai structurii în mod repetat pe aceleași arborete conduce la cuantificarea dinamicii structurale în timp. Din moment ce în aceste păduri naturale nu putem vorbi despre intervenții antropice care să destabilizeze arboretul și totodată să îi modifice structura, cele care produc aceste schimbări sunt reprezentate de perturbările apărute în decursul existenței arboretului. Cuantificarea disturbantelor, fie ele majore sau simple fluctuații naturale ale mediului, reprezintă una din principalele modalități de identificare a dinamicii structurale, făcând astfel modalitățile de localizare în timp a acestora, legate direct sau indirect de structură.

Un obiectiv foarte important în vremurile actuale este acela de a identifica modalități de gospodărire a pădurilor, astfel încât componenta sustenabil-economică să fie în concordanță cu menținerea unui grad optim de biodiversitate și de adaptare a ecosistemelor forestiere la schimbările climatice (Messier et al. 2013, Bauhus et al. 2017, citați de Paluch et al. 2021). Studiile precizează faptul că în pădurile gospodărite din Europa se aplică un management sustenabil, prin practicile silviculturale care au ca reper complexitatea structurală și pluri-funcționalitatea arboretelor virgine (Višnjić et al. 2015, citat de Chivulescu et al. 2020). O explicație pentru cele menționate este aceea că arboretele virgine prin structura lor complexă, oferă avantaje atât economice, prin producerea de lemn mai calitativ, cât și din punct de vedere al biodiversității la toate nivelele (Parviainen 2005, Giurgiu 2013, citați de Chivulescu et al. 2020).

Inventarierea lemnului mort, a condus la obținerea de date reprezentative despre structura și dinamica pădurilor primare. Aceste date conduc la generalizarea cunoștințelor dobândite prin cercetările efectuate în rețeaua de suprafețe de monitorizare pentru zone mai întinse de pădure aflată în condiții similare de vegetație. Datele din pădurile primare sunt considerate valori de referință extrem de valoroase pentru realizarea de comparații cu pădurile gestionate și cu alte rezervații naturale din Europa, constituind tot odată o bază importantă pentru revizuirea și rafinarea conceptelor și abordărilor silviculturale și de conservare a naturii.

Principala caracteristică a dinamicii oricărei păduri o reprezintă efectul perturbărilor. Astfel, perturbările naturale sunt cauzate de o varietate mare de factori climatici, geologici, biotici sau abiotici. Aceștia pot fi caracterizați printr-o gamă largă de frecvențe sau intensități,

pot fi de scurtă sau lungă durată, sau se pot petrece la diferite scări spațiale. Perturbările naturale pot interacționa între ele în multe feluri, pentru a interveni în structura pădurii și a formării de noi clase de vârste, provocând astfel o mare diversitate la nivelul structurii arboretului. Dintr-un alt punct de vedere, schimbările cauzate de om, sau antropogene (artificiale) incluzând aici și intervențiile silviculturale, reprezintă de asemenea perturbări.

Scopul acestei teze de doctorat este dobândirea de noi dovezi științifice cu privire la modul de structurare și organizare a unor arborete de amestec de fag și rășinoase sau pure de fag, la factorii care au condus arboretele spre starea actuală și la rolul componentelor acestora în asigurarea continuității ecosistemelor forestiere.

Obiectivele care au condus la atingerea scopului propus sunt următoarele:

- identificarea caracteristicilor structurale ale arboretelor naturale în comparație cu cele gospodărite;
- cuantificarea volumului de lemn mort pe componente și pe tip de gospodărire;
- cuantificarea influenței pe care cantitatea de lemn mort o are asupra rezistenței și rezilienței pădurilor;
- cuantificarea perturbărilor, intensitatea și influența lor asupra creșterii și dezvoltării pădurilor.

Cuvinte cheie: păduri naturale, păduri gospodărite, structura pădurii, lemn mort, perturbări, reziliență.

Listă abrevieri

PN – pădure naturală	Dg – diametru central
PG – pădure gospodărită	V – volum
RO – România	D – diametru
UA – Ucraina	N – număr de arbori
CE – indice Clark-Evans	G – suprafață de bază
SH – indice Shannon	DBH – diametru de bază (1,3 m)
B – indice de complexitate	BR – brad (<i>Abies alba</i> Mill.)
SDI – indice de densitate (Reineke)	MO – molid (<i>Picea abies</i> L.)
Gn – indicele Gini	FA – fag (<i>Fagus sylvatica</i> L.)
LMD – lemn mort doborât (la sol)	CA – carpen (<i>Carpinus betulus</i> L.)
LMP – lemn mort pe picior	SAC – salcie (<i>Salix caprea</i> L.)
PC1/PC2 – componenta principală 1 și 2	PAM – paltin (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.)
PCA – analiza în componente principale	PL – plop tremurător (<i>Populus tremula</i> L.)
Ha – hectar	IFN- inventar forestier național

1.2. Stadiul actual al cunoștințelor privind caracterizarea structurală a arboretelor

Pădurea virgină, descrisă ca o ”operă exclusivă a naturii”, reprezintă acea pădure în care compoziția arboretelor, densitatea lor, structura sau procesele de creștere și dezvoltare sunt rezultatul acțiunilor mediului, în special al climei (Bândiu et al. 1995, Korpel 1995, citat de Stoiculescu 2013).

Una dintre cele mai utilizate modalități de cuantificare a diversității structurale este aceea care analizează distribuțiile experimentale ale principalelor caracteristici biometrice ale arborilor prin intermediul funcțiilor de distribuție corespunzătoare structurii pe verticală sau orizontală. Prin această metodă se surprinde modul de distribuție a arborilor în raport cu diametrul de bază. Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre reflectă structura în plan orizontal și caracterizează raporturile inter- și intraspecifice în funcție de poziția arborilor în arboret. În cazul arboretelor naturale, repartiția numărului de arbori pe clase de înălțimi, este caracterizată printr-o îndesire pe plan vertical, din ce în ce mai mare dinspre plafonul superior spre cel inferior și printr-o variabilitate semnificativă a înălțimilor. Repartiția numărului de arbori pe clase de volume în cele două tipuri de arborete echien și pluriene, diferă ca și în cazul diametrelor și înălțimilor, cu mențiunea că în cazul celor pluriene se observă o puternică asimetrie pozitivă în majoritatea cazurilor. Distribuția arborilor în raport cu creșterea radială în cadrul aceleiași categorii de diametre este caracterizată prin normalitate, spre deosebire de repartiția la nivelul arboretului întreg. Astfel se poate constata la nivelul arboretului o asimetrie negativă, distribuția fiind asemănătoare cu cea a diametrelor. Vârsta arborilor constituie unul dintre cei mai importanți indicatori ai structurii, de altfel în funcție de acesta se pot diferenția cele patru mari categorii de arborete: echien, relativ-echien, relativ-plurien și plurien (Giurgiu 1979).

Cu toate că nu s-a ajuns la un numitor comun privind dinamica structurii pădurilor naturale, o serie de autori s-au orientat către pădurile gospodărite, atât pentru studiul dinamicii structurale (Goff și West 1975, Zenner 2005) cât și pentru studiul dinamicii perturbărilor (Baker et al. 2005, Coomes și Allen 2007). S-a pornit de la conceptul că structura pe categorii de diametre are forma unui ”J” întors, fără a fi acoperit statistic în toate pădurile naturale, motiv pentru care s-a trecut la modelul distribuțiilor de tip *sigmoid rotit*. Această inconstanță a tiparului spațial la nivelul arboretelor naturale este dată atât de rata variabilă a mortalității cât și de faptul că structura este controlată de competiția pentru lumină și de perturbări (Lorimer et al., 2001, Gove et al. 2008, Enquist et al. 2009 citat de Alessandrini et al. 2011). Rezultate

asemănătoare privind forma distribuției arborilor pe categorii de diametre, în arborete naturale, au fost obținute și în Upper Michigan (Janowiak et al. 2008), Șinca (Petrișan et al. 2015), Valea Cervara (Italia) (Alessandrini et al. 2011).

1.3. Stadiul actual al cunoștințelor privind dinamica lemnului mort

Lemnul mort servește drept habitat pentru o sumedenie de specii, acesta fiind, prin urmare, considerat un factor important în asigurarea diversității ecosistemelor forestiere. Cu toate acestea, lemnul din ecosistemele forestiere are și scopuri socio-economice. Așadar gospodărirea arboretelor trebuie să încorporeze simultan furnizarea de habitate adecvate precum și o producție de lemn printr-un plan de management pe termen lung (Härtl și Knoke 2019).

Cu toate că evaluarea lemnului mort a făcut parte încă din primul inventar național (IFN) din anii 1982-1986, definiția acestuia a restricționat mult estimarea volumului, fiind inventariate doar parțial cantitățile de lemn mort. Cu ocazia următorului inventar forestier național (1993-1995) s-a utilizat o definiție mai largă a lemnului mort, iar resturile de lemn grosier (crown wood debris-CWD) au fost evaluate abia în cel de-al treilea IFN (2004-2006) utilizându-se metoda transectelor. Din cauza deficiențelor în definițiile lemnului mort, în primele două inventare naționale s-a considerat faptul că volumele au fost subestimate. Volumul de lemn mort inventariat a fost de până la 30 m³/ha cu variații în funcție de regiune, fiind atinsă cantitatea propusă (Böhl și Brändli 2007).

O rețea sistematică de 75 de suprafețe de probă instalată în Parcul Național Călimani, a fost utilizată pentru a cuantifica variabilitatea structurală a unui arboret natural, precum și volumul de lemn mort. În funcție de faza de dezvoltare a arboretului, au fost identificate cantități de lemn mort cu valori cuprinse între 17 m³/ha (faza de regenerare) și 186 m³/ha (faza de degradare cu regenerare) (Cenușă et al. 2008). Observații asemănătoare, cu privire la cantitatea de lemn mort au fost efectuate și în Codrul Secular Loben și pădurea Voievodeasa. S-au obținut valori mai mari de lemn mort pe picior în Loben (14 m³/ha) cu toate că densitatea acestuia este mai mare la Voievodeasa (5,5 m³/ha) (Teodosiu 2014).

Întru-un amplu studiu realizat în „Codrul secular Slătioara” și zonele adiacente acestuia, s-au identificat peste 3600 de piese de lemn mort (dintre care 1900 piese de lemn mort la sol și 1743 arbori morți pe picior). Principalele specii regăsite au fost molid (*Picea abies* L.), brad (*Abies alba* Mill.) și fag (*Fagus sylvatica* L.). Volumul mediu al arborilor morți pe picior identificat a

fost de aproximativ 50 m³/ha, iar cel de lemn mort doborât de circa 110 m³/ha. În unele suprafețe de probă volumul de lemn mort la hectar a depășit 600 m³/ha (Duduman et al. 2020).

Un studiu realizat în 2017 în baza datelor din inventarele forestiere naționale care cumulează un număr de 3243 suprafețe de probă din 19 țări indică faptul că majoritatea suprafețelor de probă nu depășesc volumul de 50 m³/ha lemn mort. În fiecare dintre suprafețele de probă concentrice cu suprafețe de 30 m², 400 m² și 2000 m² s-au inventariat următoarele tipuri de lemn mort cu diametrul mai mare de 10 cm: arbori morți întregi pe picior, arbori morți doborâți, arbori ruși cu o parte încă pe picior, părți de arbori morți la sol și cioate. Puține au fost situațiile în care volumul de lemn mort a depășit 300 m³/ha. Majoritatea suprafețelor care au depășit 100 m³/ha sunt în zonele montane din centrul Europei (Puletti et al. 2019).

1.4 Stadiul actual al cunoștințelor privind caracterizarea perturbărilor

Silvicultura a devenit cunoscută drept o formă a ecologiei aplicate (Smith et al. 1997), care are rolul de face înțeleasă dinamica ecosistemelor și poate fi aplicată direct pe arborete aflate pe diverse traiectorii de dezvoltare. Înțelegerea dinamicii perturbărilor în silvicultură este foarte importantă deoarece multe, dar nu toate, activități silviculturale tind să mimeze disturbățele naturale. Dinamica perturbărilor naturale este importantă în ghidarea proiecției structurii pădurilor complexe și mai ales a celor seculare (O'Hara și Ramage 2013).

Formarea arboretelor naturale are la bază o serie de perturbări de diferite intensități, care dau curs creării de noi clase de vârste la nivelul arboretului, dar care nu distrug în totalitate clasele deja existente. Managementul aplicat în arboretele gospodărite mimează perturbări de intensitate redusă, prin tratamente ce încurajează regenerarea naturală fără a exploata arborii în totalitate (O'Hara 2014). Perturbările naturale sau cele antropogene au fost văzute ca evenimente care inițiază succesiuni primare sau secundare, iar succesiunile explică dezvoltarea vegetației în absența perturbărilor. Totuși aceste două concepte (perturbare și succesiune) sunt strâns conectate în ecologia plantelor (Johnson și Miyanshi 2007).

Pentru a evidenția istoricul perturbărilor Nowacki și Abrams (1997) au propus metoda curbei de limită. Într-un studiu realizat în Făgetul Secular Humosu, s-a realizat cuantificarea perturbărilor prin metoda menționată, obținându-se prima curbă de limită aplicată unui arboret natural de fag din România, folosind o ecuație dublu exponențială (Cotos et al. 2019).

2. Localizarea cercetărilor

Pentru atingerea obiectivelor prezentei teze de doctorat s-au ales trei zone de studiu, două din România și una din Ucraina, (figura 2.1). În România, cercetările au fost localizate în pădurile administrate de Ocolul Silvic Strâmbu-Băiuț, Direcția Silvică Maramureș. Zona țintă a fost divizată în raport cu tipul de gestiune în arboret gospodărit și arboret natural. Pădurea naturală, denumită și *Codrii seculari de la Strâmbu Băiuț*, are o suprafață de 2962 hectare. Pe teritoriul Ucrainei (UA-în continuare) studiul a fost realizat în regiunea Verhovinei și districtul Nadvirna (Parcul Natural Național Carpatic). Pentru identificarea tipului de structură în raport cu mărimea suprafeței de probă acest studiu s-a ales și un arboret secular de fag (*Fagus Sylvatica* L.), denumită Rezervația Științifică Humosu, situată în regiunea deluroasă a Podișului Moldovei.

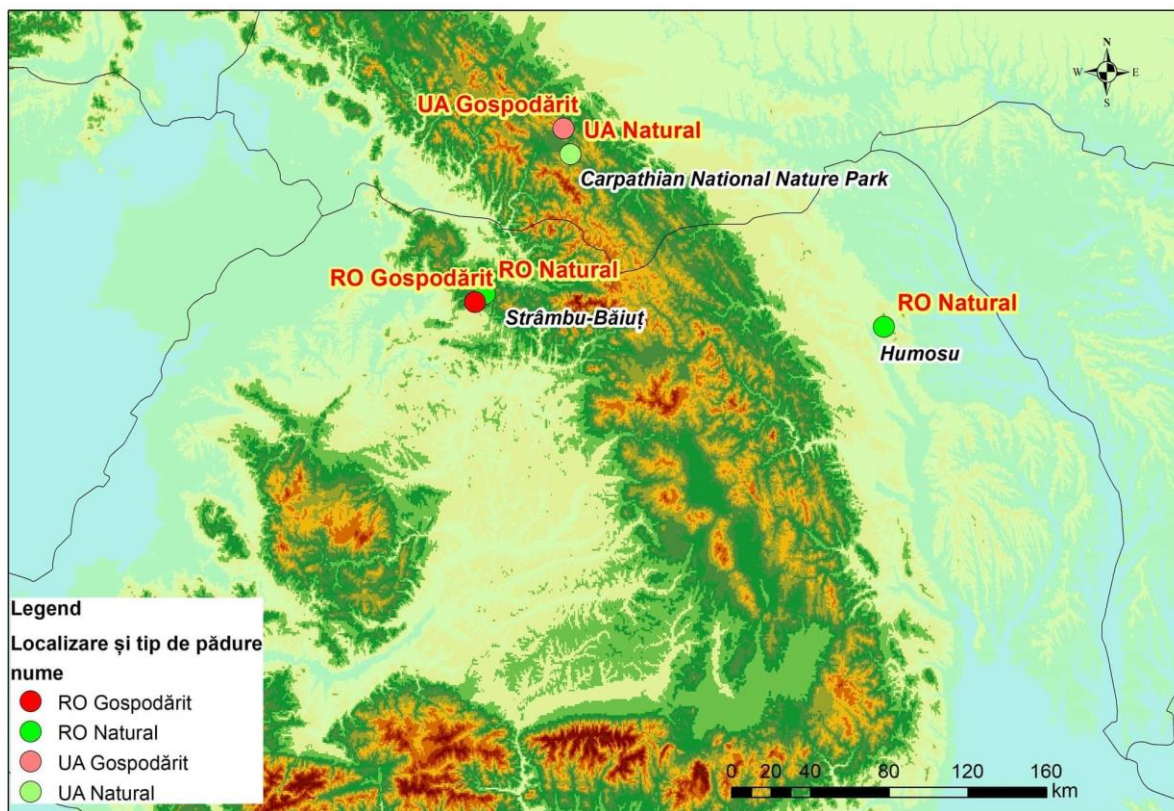


Figura 2.1 Localizarea zonelor de studiu

3. Metodologie

3.1. Amplasarea suprafețelor de probă

Atât în pădurea naturală cât și în cea gospodărită au fost amplasate câte 20 de suprafețe de probă circulare, cu mărimea de 500 m² fiecare. Pentru evitarea subiectivismului acestea s-au dispus după o rețea randomizată, realizată cu ajutorul programului informatic ArcGIS (figura 3.1.1 și figura 3.1.2). În teren, suprafețele de probă au fost identificate cu ajutorul dispozitivului GPS (Trimble Juno 3B). Pentru arboretul de fag de la Humosu s-a procedat la amplasarea unei rețele sistematice (cu latura de 100 m) de cercuri de probă de aceeași mărime (500 m²), totalizând un număr de 71 de suprafețe de probă (figura 3.1.3).

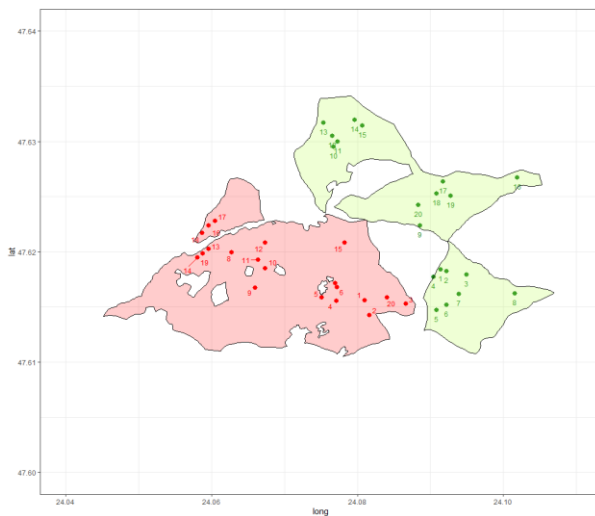


Figura 3.1.1 Amplasarea suprafețelor de probă (roșu – pădure gospodărită, verde – pădure naturală)(RO)

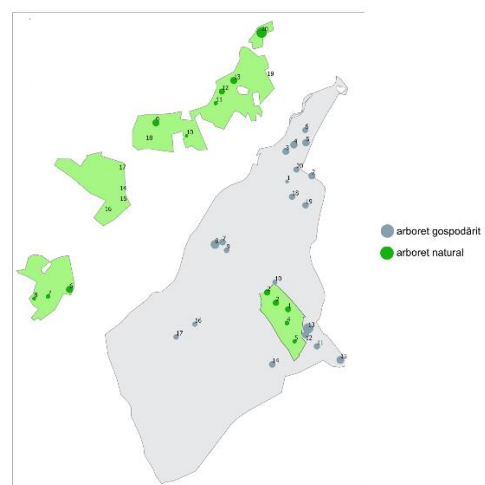


Figura 3.1.2 Amplasarea suprafețelor de probă (albastru – pădure gospodărită, verde – pădure naturală)(UA)

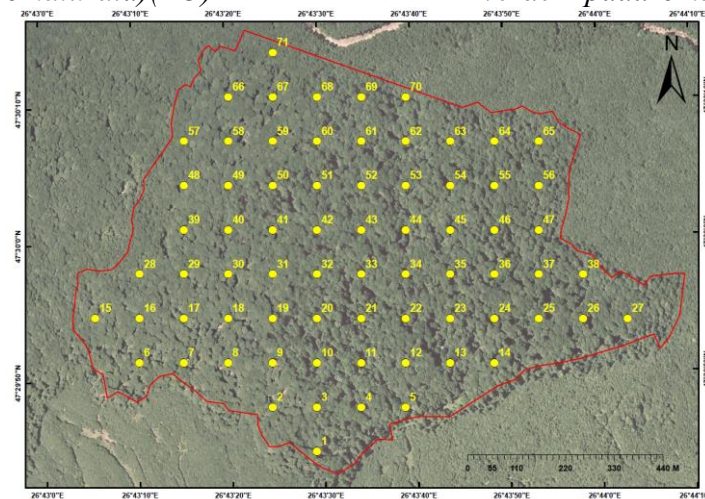


Figura 3.1.3 Amplasarea suprafețelor de probă din Rezervația Științifică Humosu

3.2. Culegerea datelor

Culegerea datelor din teren s-a realizat pe baza protocolului de inventariere stabilit. Conform acestuia, pentru fiecare suprafață de probă s-au constituit: o zonă extinsă de interpretare (2500 m²), o zonă de inventariere intensivă (500 m²), patru suprafețe de probă (1 x 1 m), trei transecte pentru lemnul mort la sol (figura 3.2.1).

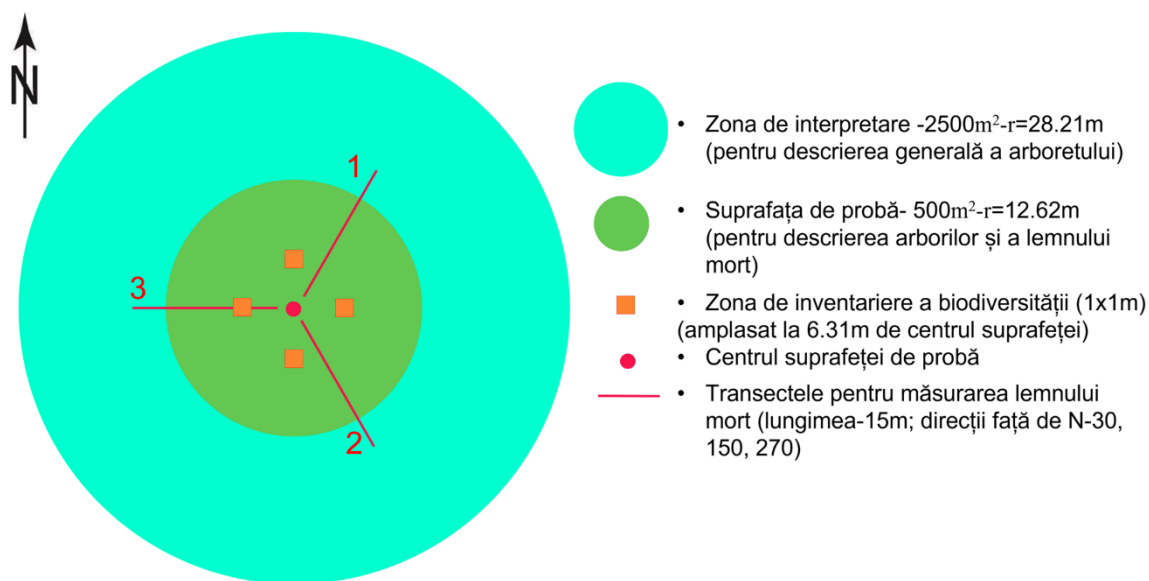


Figura 3.2.1 Zona de inventariere, pentru descriere generală, lemn viu, lemn mort și biodiversitate (Utilizat în Protocolul de inventariere din cadrul Proiectului RESFOR)

Conform protocolului de inventariere, fiecare arbore sau rest din arbore a primit un cod în funcție de statutul acestuia, prezentate în tabelul 3.2.1.

Tabelul 3.2.1 Semnificația codurilor folosite în stabilirea statutului arborilor (Utilizate în Protocolul de inventariere din cadrul Proiectului RESFOR)

Cod	Explicație
11	arbore viu pe picior (prezintă cel puțin o ramură verde)
15	arbore viu, doborât (coroana atinge solul)
35	arbore întreg, doborât cu rădăcini și coroana vizibile
36	arbore întreg, pe picior, mort, cu coroană (complet, ramuri cu diametrul < 3 cm)
37	trunchi întreg, mort, pe picior, cu resturi de ramuri (la foioase inclusiv ramuri principale și ramuri cu diametrul > 3 cm)
38	trunchi mort pe picior cu înălțimea ≥ 1,3 m
39	trunchi mort pe picior cu înălțimea cuprinsă între 0,50 m și 1,29 m

Inventarierea pieselor de lemn mort la sol s-a realizat folosind metoda transectelor. Pentru fiecare transect, au fost inventariate toate piesele de lemn mort care, intersectează

transecta și au diametrul minim de 7 cm. Pentru fiecare piesă de lemn mort la sol, au fost înregistrate cinci caracteristici, după cum urmează: diametrul pe două direcții perpendiculare, unghiul piesei cu suprafața terenului, specia și gradul de descompunere. Protocolul de inventariere a prevăzut și o încadrare a pieselor de lemn mort într-una din cele 5 clase, în funcție de gradul de descompunere a acestora (tabelul 3.2.2).

Tabelul 3.2.2 Semnificația codurilor utilizate pentru clasificarea lemnului mort la sol în raport cu gradul de descompunere al acestuia Utilizate în Protocolul de inventariere din cadrul Proiectului RESFOR)

Cod	Explicații
1	lemn proaspăt (prezintă celule cambiale vii)
2	lemn mort tare
3	degradare incipientă (lemnul permite pătrunderea cuțitului, înfipt paralel cu fibra)
4	degradare avansată. Lemn moale (lemnul permite pătrunderea cuțitului, înfipt perpendicular cu fibra)
5	putregăios (lemnul este într-o stare fărâmiciasă și foarte moale)

Pentru cuantificarea elementelor rezilienței pădurilor la factorii climatici extremi, au fost extrase carote de creștere cu burghiul Pressler, de la toți arborii dominanți la nivelul diametrului de bază (1,3 m), din fiecare suprafață de probă. Probele au fost păstrate în containere de plastic, iar pentru evitarea mușcăirii acestora au fost tratate cu o soluție alcoolică de 50%. După uscare, probele au fost montate pe suporturi speciali din lemn, iar pentru identificarea inelelor anuale și asigurarea unei suprafețe plane acestea au fost tăiate cu un microtom pentru carote din lemn – CoreMicrotome. Adicional, pentru carotele de fag, acestea au fost șlefuite cu granulație fină (de la 380 la 800). Probele au fost măsurate cu poziționometrul digital Lintab cu o precizie de 1/1000 mm. Verificarea fiabilității și corectitudinea măsurărilor s-a realizat cu programele informatice COFECHA și TsapWin.

3.3. Metodă și metodologie de cercetare

În vederea atingerii obiectivelor stabilite, datele înregistrare în teren au fost prelucrate statistic, folosind atât metode clasice (statistici descriptive, analiza varianței, realizarea distribuțiilor experimentale pentru principalele caracteristici biometrice a arboretelor analizate), cât și metode de analiză avansate (analiza în componente principale, analiza rezilienței).

Caracterizarea structurală a arboretului s-a realizat folosind diametrul de bază al arborilor, indici ai distribuțiilor experimentale (asimetria, excesul, coeficientul de variație). Tipul de structură a fost identificat utilizând metoda propusă de Janowiak et al. (2008). Aceștia au luat în calcul semnul coeficienților de regresie ai unei funcții polinomiale de gradul 3 și semnificația acestora, rezultând șase tipuri de structură: UNI (unimodală), CO (concavă), NE (negativ exponențială), IQ (Q – crescătoare), RS (sigmoid rotit) și VAR (variabil)(tabelul 3.3.1). Pentru evidențierea suprafeței minime pentru care tipul de structură este apropiat de cel al arboretului, s-a utilizat metoda creșterii progresive a ariei cu pasul de 500 m², pornind de la o suprafață elementară de 500 m² (mărimea unui cerc de probă în cazul prezentului studiu). Astfel, pentru fiecare set de 20 de suprafețe de probă din fiecare zonă studiată s-au realizat simulări ale tipului de structură pentru toate combinațiile de k cercuri (k = de la 1 la 20) fără repetiție. O mărime a suprafeței este considerată suficientă pentru a descrie structura arboretului obținut pe baza tuturor suprafețelor de probă, în momentul în care cel puțin 95 % dintre simulările efectuate descriu acel tip de structură. Din punct de vedere al structurii obținute pentru fiecare mărime a suprafeței, aceasta este dată de tipul de structură dominantă din toate simulările efectuate.

Tabelul 3.3.1 Metoda utilizării semnelor coeficienților de semnificație în modelele de regresie polinomiale, folosită pentru determinarea structurii (după Janowiak 2008).

DBH	Coeficient		Cod formă distribuție	Forma distribuției
	DBH ²	DBH ³		
-	ns	ns	NE	Negativ Exponențială
ns	-	ns	IQ	Q – crescătoare
ns	ns	-	IQ	Q – crescătoare
ns	+	ns	CO	Concavă
-	ns	+	CO	Concavă
-	-	ns	UNI	Unimodală
+	ns	-	UNI	Unimodală
+	ns	-	IQ	Q – crescătoare
-	-	+	Variabil	Variabil
ns	+	-	UNI	Unimodală
ns	+	-	RS	Sigmoid Rotit
+	-	+	Variabil	Variabil

Datorită faptului că arboretele din zona temperată prezintă o diversitate specifică relativ redusă, cercetătorii din domeniul silviculturii au început să pună tot mai mult accent pe

studierea diversității dimensionale. S-au conceput astfel, o serie de indici sintetici care să ofere posibilitatea unei caracterizări cât mai fidele a arboretelor prin criterii de comparare și observare comune (Palaghianu 2009, citat de Roibu 2010). Evaluarea gradului de organizare structurală s-a realizat folosind indici clasici (Gini și Camino), cât și indici sintetici integratori (indicele complexității diversității arboretelor – B).

Indicele Camino (Gadow 2005) se bazează pe următoarea relație de calcul:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN\%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN\% - SG\%}$$

Unde, H reprezintă indicele Camino; $SN\%$ – numărul de arbori cumulat până la categoria i ; $SG\%$ – suprafața de bază cumulată până la categoria i [m^2]; n – categoria maximă de diametre la care $SN\%=1$ [cm].

Indiferent de tipul de structură al arboretelor (echien/ plurien), indicele Camino indică tendința de diversificare a acesteia în timp. Curba Lorentz poate fi definită ca fiind expresia grafică dintre numărul de arbori și suprafața de bază a acestora, în valori procentuale cumulate pe categorii de diametre (Gadow și Hui 1999, citat de Roibu 2010). Abaterea față de diagonală a curbei Lorentz descrie gradul de omogenitate structurală, putând lua valori între 2 (omogenitate scăzută) și 10 (omogenitate ridicată). Indicele Gini poate lua valori în intervalul 0-1, valoarea 1 indicând heterogenitatea maximă.

Pentru exprimarea gradului de diversitate al arboretelor studiate s-a utilizat indicele Shannon (Shannon 1948), obținut prin următoarea relație de calcul:

$$SH = \sum_{i=1}^k p_i \ln p_i$$

Gradul de complexitate a diversității arboretelor (B), se bazează pe patru componente ale diversității structurale a arboretelor și anume: indicele compoziției speciilor (A), indicele structurii verticale (S), indicele distribuției spațiale (V) și indicele diferențierii coroanelor (K) (Vorčák et al. 2006).

Indicele compoziției speciilor (A)

$$A = \log \log(N) x(Z - Ma_{max} + Ma_{min})$$

Unde, N – numărul de arbori, Z – parametru de control-1.5, Ma_{max} – proporția relativă a celor mai abundente specii, Ma_{min} – proporția relativă a celor mai puțin abundente specii.

Indicele structurii verticale (S)

$$S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n DBH_{min}}{\sum_{i=1}^n DBH_{max}}$$

Unde, n – numărul de arbori măsurați (cei mai groși 3 arbori și cei mai subțiri 3 arbori), DBH_{min} – diametrul de bază a celui mai subțire arbore [cm], DBH_{max} – diametrul de bază a celui mai gros arbore [cm].

Indicele distribuției spațiale (V)

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Ab_{min}}{\sum_{i=1}^n Ab_{max}}$$

Unde, n – numărul distanțelor măsurate (cei mai apropiați și cei mai depărtați 3 arbori vecini), Ab – distanța dintre arbori [m].

Indicele diferențierii coroanelor (K)

$$K = \left\{ 1 - \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n Ka_{min}}{n} \right) \right\} + \left(\frac{\sum_{i=1}^n Kd_{min}}{\sum_{i=1}^n Kd_{max}} \right)$$

Unde, n – numărul de arbori selectați (doi arbori cu coroana cea mai mică și doi cu coroana cea mai mare), Ka_{min} – cea mai mică înălțime elagată [m], Kd_{min} – cel mai mic diametru al coroanei [m], Kd_{max} – cel mai mare diametru al coroanei [m].

Forma integratoare a indicelui complexității diversității arboretelor, este:

$$B = p \times A + q \times S + V + K$$

Unde, p , q – factori de importanță ($p=4$, $q=3$).

Indicele B are următoarele praguri de evaluare a arboretelor:

- $B < 4,0$ – arborete monotone;
- $4,0 \leq B < 6,0$ – arborete cu structură omogenă;
- $6,0 \leq B < 8,0$ – arborete cu structură neuniformă;
- $8,0 \leq B < 8,9$ – arborete cu structură heterogenă;
- $B \geq 9,0$ – arborete foarte heterogene.

Un alt indicator utilizat în prezentul studiu, a fost indicele de densitate Reineke – SDI, fiind folosit pentru evaluarea numărului maxim de indivizi și a spațiului de dezvoltare a acestora după formula propusă de Daniel și Sterba (1980).

$$SDI = N \times \left(\frac{25}{d_g}\right)^{-1,605}$$

Unde, N – reprezintă numărul de arbori (ha^{-1}), d_g – diametrul mediu al suprafeței de bază [cm].

Volumul de masă lemnoasă aflată în diverse stadii de degradare prezintă o importanță deosebită atât în studiile de biometrie, cât și în cele ecologice. În cadrul prezentei teze de doctorat, evaluarea volumului s-a realizat atât pentru arborii vii, cât mai ales pentru lemnul mort, folosind următoarele relații de calcul:

➤ Pentru calculul volumului arborilor vii s-a folosit ecuația dublu logaritmică a volumului.

$$\log(V) = a_0 + a_1 \times \log_{10}(dbh) + a_2 \times (\log_{10}(dbh))^2 + a_3 \times \log_{10}(h) + a_4 \times (\log_{10}(h))^2$$

în care, V – volumul arborelui [m^3], dbh – diametrul de bază [cm], h – înălțimea [m], a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – coeficienții ecuației de regresie pentru fiecare specie analizată.

➤ Volumul arborilor morți pe picior s-a estimat ținând cont de statutul acestora, după cum urmează:

✓ Pentru arbori morți pe picior cu vârful și coroana întregi – cu ramurile cu diametrul peste 6 cm prezente (cod 35, 36, 37) – ecuația dublu logaritmică a volumului;

✓ Pentru arborii cu trunchiuri rupte, cu înălțimea peste 1,30 m s-a utilizat următoarea relație de calcul, propusă în cadrul IFN (Bouriaud et al. 2020):

$$V_t = V_e k_r$$

$$k_r = \left(\frac{(h_e - h_t)}{h_e}\right)^3$$

Unde: V_t – volumul [m^3], V_e – volumul teoretic [m^3], h_t – înălțimea măsurată [m], h_e – înălțimea teoretică totală (estimată pe baza curbei înălțimilor) [m], k_r – coeficientul de corecție.

➤ Pentru evaluarea necromasei lemnoase la sol, s-a realizat folosind următoarea relație de calcul (Böhl și Brändi 2007):

$$Y(x_i) = \sum_{k=1}^{h_i} \frac{\pi^2}{8L_k} \sum_{i=1}^{N(k)} \left(\frac{D1_i + D2_i}{2}\right)^2 \frac{1}{\cos \alpha_i}$$

Unde, $Y(x_1)$ – volumul estimat al lemnului mort doborât [$m^3 ha^{-1}$] pentru suprafața de probă (x_1); h_1 – Numărul transectelor în fiecare suprafață experimentală (x_1); L_k – Lungimea orizontală a transectului k [m]; $D1_i, D2_i$ – diametrele piesei i [cm] măsurate perpendicular, α_i – Înclinarea piesei de lemn mort [$^\circ$], $N(k)$ – numărul pieselor de lemn mort pentru transect.

Din punct de vedere al capacității arboretelor de a reacționa la factorii externi, putem face referire la trei caracteristici ale acestora: capacitatea de a rezista la diverși factori exprimată prin raportul activității din timpul perturbării și cea de după producerea acesteia (rezistența); capacitatea de a se recupera sau de a-și reveni – definită ca raportul dintre activitatea de după perturbare și cea din momentul producerii acesteia (revenirea) și capacitatea de a preveni perturbări – caracterizat prin raportul dintre activitatea post-perturbare și cea pre-perturbare (reziliența) (Kaufman 1982, Sousa 1980, Tilman și Downing 1994, citați de Lloret et al. 2011). Totodată calculul celor trei componente ale rezilienței mai sus menționate, permite identificarea anilor puternic influențați din punct de vedere climatic (Știrbu et al. 2018). Pentru determinarea parametrilor rezilienței, rezistenței și revenirii a fost utilizată o rutină de calcul în programul R bazată pe librăriile *dplR* și *POINTRES*. Pe baza anilor caracteristici (eveniment) cu determinare climatică majoră, au fost calculate componentele rezilienței (figura 3.3.2) prin intermediul următoarelor relații de calcul:

Creștere radială

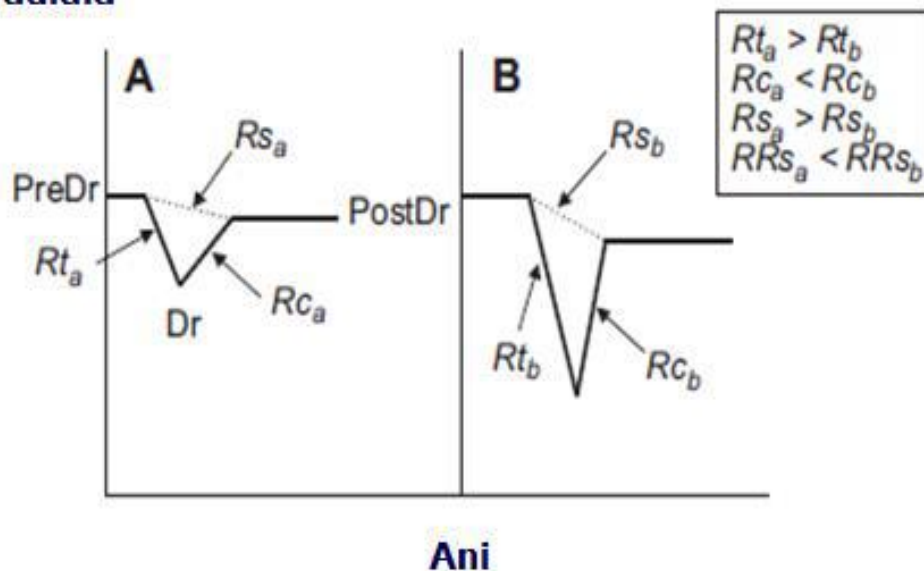


Figura 3.2.2. Modalitatea de calcul a componentelor rezilienței (adaptare după Lloret et al. 2011)

- rezistența: $Rt = \frac{Dr}{PreDr}$

- revenirea: $Rc = \frac{PostDr}{Dr}$

- reziliența: $Rs = \frac{PostDr}{PreDr}$

- reziliența relativă: $RRs = \frac{(PostDr-Dr)}{PreDr}$

Unde, Dr – indică activitatea în timpul perturbării; PostDr –activitatea după producerea perturbării; PreDr – activitatea anterioară perturbării.

Analiza multicriterială pentru cuantificarea modului în care lemnul mort influențează nivelele de reziliență, a presupus utilizarea metodei *analizei componentelor principale*. În câmpul celor două componente principale au fost proiectați parametrii structurali, componentele rezilienței, volumul de lemn mort pe picior și doborât. Mai mult, analiza varianței (ANOVA) a fost utilizată pentru a arăta dacă există diferențe semnificative între cantitatea de lemn mort și modul în care aceasta influențează ceilalți parametri structurali și ai rezilienței. De menționat este faptul că s-au prelevat probe de creștere din arborii dominanți din fiecare suprafață experimentală.

Tot pe baza carotelor de creștere, prelevate cu ajutorul burghiului Pressler, pregătite pentru procesul de măsurare cu sistemul Lintab 6 și în final corectate și interdate cu ajutorul programului COFECHA, s-a procedat la reconstituirea dinamicii perturbărilor din arboretele naturale. Cuantificarea evenimentelor perturbatoare s-a realizat prin metoda curbei de limită (Nowacki și Abrams 1997). Metoda constă în determinarea atât a ratei de creștere (PGC) cât și a creșterii anterioare (PG). PG s-a obținut din media creșterilor din cei 10 ani precedenți, în timp ce PGC s-a calculat după formula: $PGC = \frac{(M_2-M_1)}{M_1}$. De menționat este faptul că valorile PG au fost grupate în clase de 0,25 mm pentru valori < 1 mm, respectiv în clase de 0,5 mm pentru valorile mai mari. Valorile ratei curbei de limită sunt date de raportul dintre creșterea maximă posibilă (MPG) și rata de creștere. În funcție de valorile ratei de creștere (PGC), perturbările au fost grupate în: moderate (20 % < PGC < 50 %) și majore (PGC > 50 %) (Splechna et al. 2005).

4. Rezultate

4.1. Caracterizarea diversității speciilor în arboretele studiate

Compoziția arboretelor reprezintă un atribut important în caracterizarea biodiversității acestora. Proporția de participare a speciilor are influență asupra stabilității și productivității arboretelor. O diversitate specifică ridicată induce crearea de noi habitate prin capacitatea de gazdă pentru o gamă largă de alte viețuitoare (de la faună la microorganisme).

Un total de 999 arbori dintre care 819 arbori vii pe picior și 180 de arbori morți pe picior și resturi de arbori cu diametrul de bază mai mare de 8 cm au fost inventariați în cele două zone din RO: pădure naturală cu 486 arbori vii și 66 morți pe picior și pădure gospodărită cu 333 arbori vii și 112 morți pe picior (figura 4.1.1.a). Analiza distribuției numărului de arbori pe specii în cele două zone, indică faptul că specia dominantă este fagul. În PN, proporția de participare a fagului este de 73 % din numărul total de arbori pe picior (cod 11 și 15) urmată de a bradului cu 26 %. În cazul pădurii gospodărite, proporția bradului scade la 7 %, în favoarea fagului (87 %). Celelalte specii (molid, carpen, paltin) care intră în compoziția arboretelor au un procent foarte redus.

În arboretele din UA au fost inventariați 1615 arbori, din care 1393 de arbori vii și 222 arbori morți pe picior. Atât în arboretul gospodărit, cât și în cel natural se regăsesc trei specii principale (molid, brad și fag), dar și specii de amestec a căror proporție de participare este mai redusă (paltin de munte, salcie și plop). Compoziția speciilor din cele două zone studiate este de amestec de fag cu rășinoase, cu mențiunea că în arboretul gospodărit specia principală este molidul (46 %), urmată de brad (30 %) și fag (16 %), iar în arboretul natural specia predominantă este fagul (46 %), urmată de brad (34 %) și molid (17 %). În amestec cu cele trei specii amintite apare paltinul de munte (7% în arboretul gospodărit și respectiv 3 % în arboretul natural), salcia și plopul intrând în compoziție cu un procent foarte redus (1 %) (figura 4.1.1.b).

Rezultatele obținute nu indică diferențe foarte mari la nivelul compoziției specifice între arboretele din RO și cele din UA. Numărul de specii nu diferă foarte mult de la o zonă la alta, singurele diferențe fiind observate în cazul speciei dominante: în RO specia dominantă este fagul, atât în arboretul gospodărit, cât și în arboretul natural, pe când în UA predomină rășinoasele (molidul în PG, respectiv bradul în PN). O altă diferență între cele două țări a fost observată la nivelul numărului total de arbori inventariați, număr cu aproape 50% mai mare în arboretele din UA decât în cele din RO (figurile 4.1.2.a și 4.1.2.b).

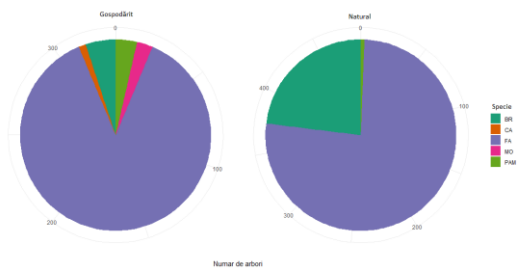


Figura 4.1.1.a Proporția de participare a speciilor în raport cu numărul de arbori (RO)

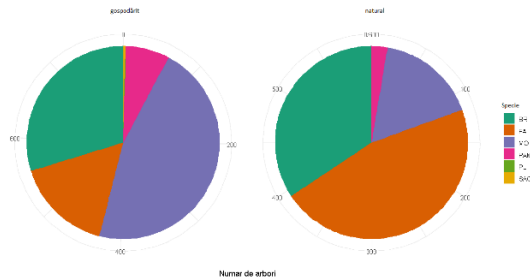


Figura 4.1.1.b. Proporția de participare a speciilor în raport cu numărul de arbori (UA)

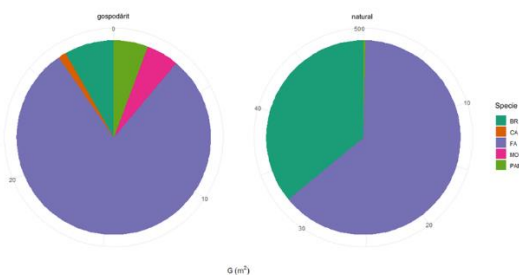


Figura 4.1.2.a. Proporția de participare a speciilor în raport cu suprafața de bază (RO)

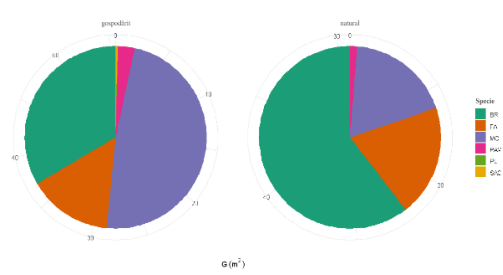


Figura 4.1.2.b Proporția de participare a speciilor în raport cu suprafața de bază (UA)

4.2. Repartiția numărului de arbori în raport cu statusul acestora

Gradul de naturalitate al unui arboret poate fi surprins în primul rând în funcție de distribuția numărului de arbori în raport cu statutul acestora. Toți arborii inventariați au fost încadrați conform protocolului, într-una din cele 7 clase (de la arbori vii pe picior – cod 11, până la rămășițe de arbori cu înălțimea sub 1,3 m – cod 39).

În arboretele din RO, se poate observa faptul că majoritatea arborilor inventariați sunt încadrați în categoria arborilor vii (codurile 11 și 15) (figura 4.2.1.a). Prezența arborilor morți pe picior constituie un element definitoriu al gradului de naturalitate a pădurii, dar totodată asigură sursă de hrană și adăpost pentru numeroase specii de insecte sau mamifere. În UA, în ambele tipuri de pădure, predomină numărul arborilor vii (figura 4.2.1.b), dar spre deosebire de arboretele din RO, nu au fost inventariați arbori aplecați cu coroana la sol (15). Se observă de asemenea faptul că a fost identificat un număr mai mic de cioate (39) în arboretele din UA, atât în arboretul gospodărit cât și în cel natural. În arboretele din UA, dintre arborii morți pe picior predomină cei din clasa 37, urmat de clasa 38.

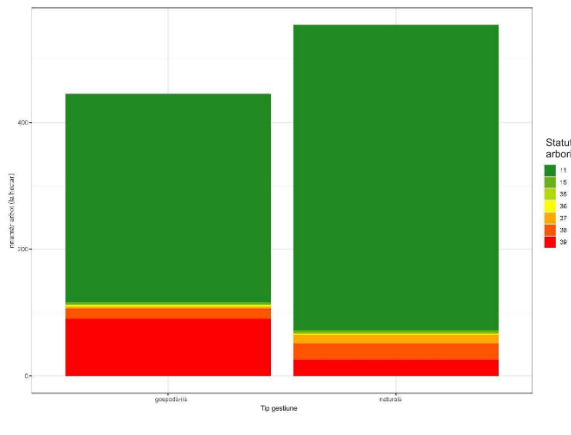


Figura 4.2.1.a Distribuția numărului de arbori în raport cu statutul acestora (RO)

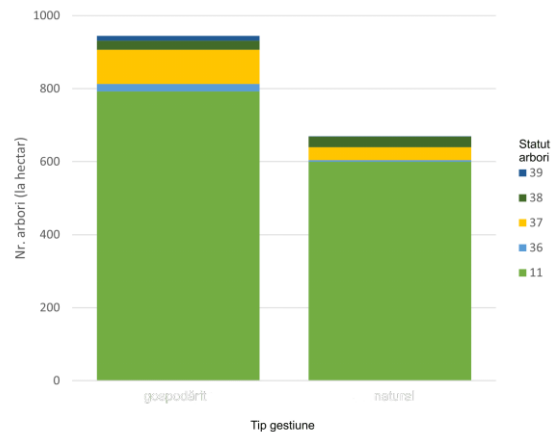


Figura 4.2.1.b Distribuția numărului de arbori în raport cu statutul acestora (UA)

Codurile pentru statutul arborilor sunt explicate în tabelul 3.2.1.

4.3. Caracterizarea arboretelor sub raport biometric

Din punct de vedere al potențialului producerii de biomasă, pădurile naturale au reprezentat un model, motiv pentru care în tabelul 4.3.2.a (RO) și în tabelul 4.3.2.b (UA), s-au prezentat comparativ, principalii parametrii biometrici atât pentru arboretul gospodărit cât și pentru cel natural.

Tabelul 4.3.2.a Parametrii structurali pentru arboretele din RO (N – număr arbori/ha; D_g – diametrul central; G – suprafața de bază; V – volum)

Tip gestiune	N (ha ⁻¹)			D _g (cm)			G (m ² ha ⁻¹)			V (m ³ ha ⁻¹)		
	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med
Gospodărit	80	780	333	24,8	65,6	33,7	8,09	40,1	29,1	129,8	882,2	465,7
Natural	300	900	486	29,7	56,4	41,2	20,8	83,8	50,4	319,4	1258,8	707

Tabelul 4.3.2.b Parametrii structurali pentru arboretele din UA (N – număr arbori/ha; D_g – diametrul central; G – suprafața de bază; V – volum)

Tip gestiune	N (ha ⁻¹)			D _g (cm)			G (m ² ha ⁻¹)			V (m ³ ha ⁻¹)		
	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med
Gospodărit	520	1140	793	29,4	44,7	33,9	36,7	86,1	55,6	444	1207	737
Natural	240	800	600	28,8	57,9	41,5	30,8	93,7	61,3	466	1395	899

Pentru arboretul natural, valorile obținute pentru suprafața de bază și pentru volum sunt asemănătoare cu cele obținute în alte studii din alte arborete naturale din lanțul Carpat. S-au obținut valori mai mari ale suprafeței de bază la hectar și a volumului comparativ cu cele obținute în făgetul natural Uholka, adică: 50,41 m² ha⁻¹ și 61,3 m² ha⁻¹ versus 46,6 m² ha⁻¹ respectiv, 706,99 m³ ha⁻¹ și 899 m³ ha⁻¹ versus 662,7 m³ ha⁻¹ (Hobi et al. 2015).

În figurile 4.3.a (RO) respectiv 4.3.b (UA) s-au reprezentat distribuțiile spațiale ale volumului arborilor vii în suprafețele de probă analizate. În ambele situații, acestea sunt relativ egal distribuite, excepție făcând cele trei suprafețe din pădurea gospodărită (RO) unde nu au fost identificați arbori, majoritatea valorilor fiind apropiate de categoria medie ($750 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

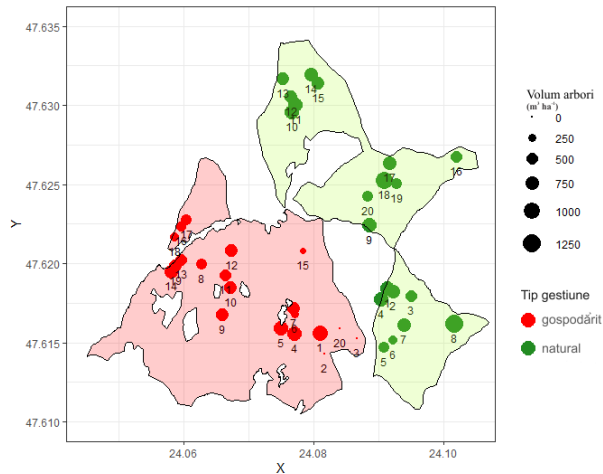


Figura 4.3.a Distribuția spațială a volumului arborilor vii pe cele 40 de suprafețe de probă analizate din RO

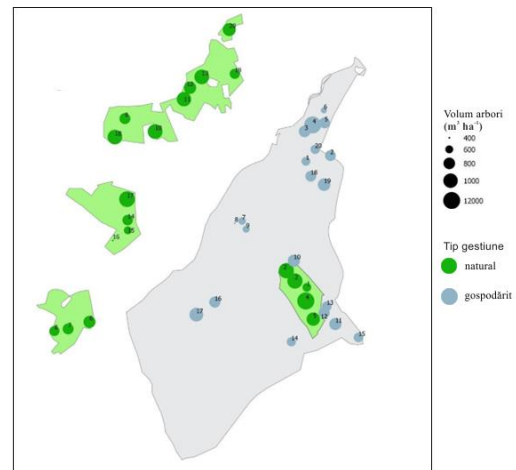


Figura 4.3.b Distribuția spațială a volumului arborilor vii pe cele 40 de suprafețe de probă analizate din UA

În arboretele naturale, analiza parametrilor structurali indică un profil mozaicat la scară largă, care îmbină zone cu o concentrare mare din punct de vedere al volumului, caracteristică fazelor de îmbătrânire și zone în care predomină procesele de regenerare. În arboretele gospodărite regăsim atât arborete cu consistență plină și zone cu intervenții silviculturale, de unde și diferențele mari dintre minimele și maximele celor patru parametri analizați.

4.4. Caracterizarea structurii arboretelor în raport cu numărul de arbori pe categorii de diametre

Repartiția numărului de arbori pe categorii de diametre a fost utilizată pentru descrierea structurii celor două tipuri de arborete atât din RO, cât și din UA. Distribuția pe clase de diametre s-a realizat comparativ pentru cele două tipuri de arborete, atât pe specii (figura 4.4.1.a – RO și respectiv figura 4.4.1.b – UA) cât și la nivel de arboret (figura 4.4.2.a – RO respectiv figura 4.4.2.b – UA).

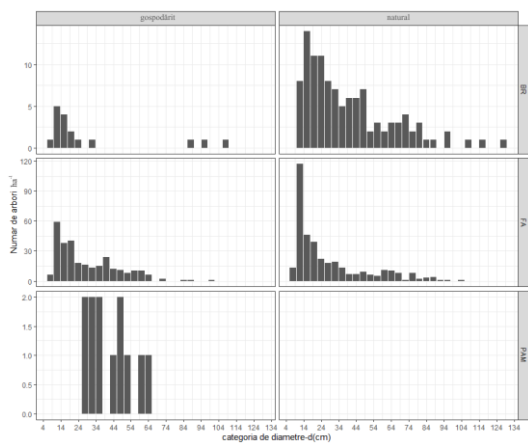


Figura 4.4.1.a Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre pe specii și tip de gestiune-RO

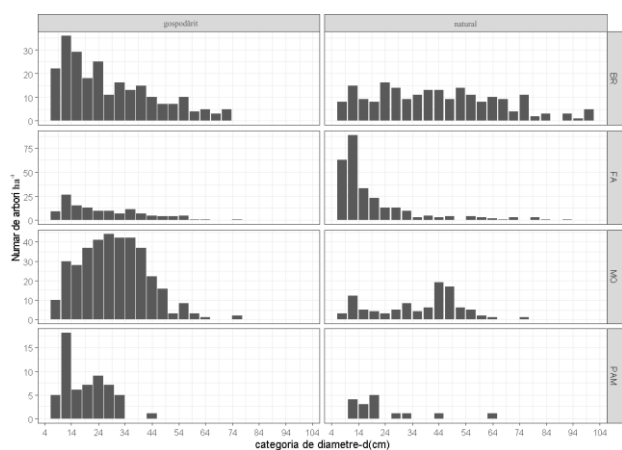


Figura 4.4.1.b Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre pe specii și tip de gestiune-UA

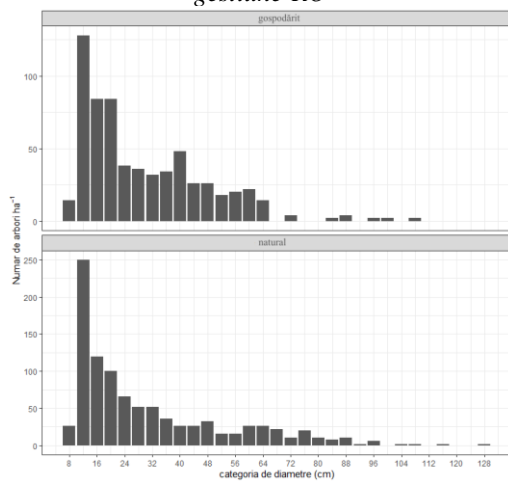


Figura 4.4.2.a Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre pentru arboretul gospodărit și pentru cel natural (RO)

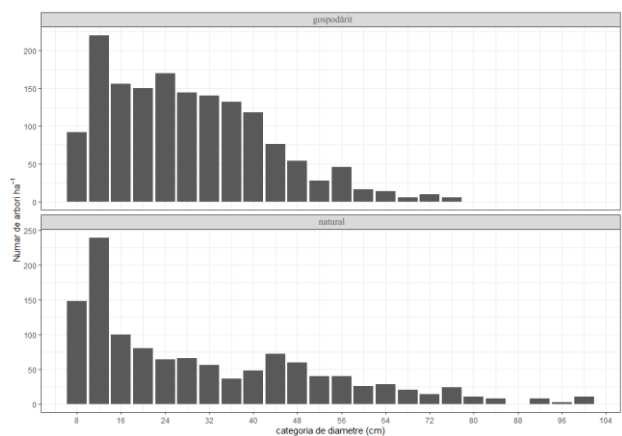


Figura 4.4.2.b Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre pentru arboretul gospodărit și pentru cel natural (UA)

Analiza arboretelor din cele două țări, din punct de vedere al structurii și al parametrilor structurali, indică asemănări la nivelul arboretelor naturale. Diferențele apar în cazul arboretelor gospodărite dintre cele două țări. Astfel, în arboretul gospodărit din UA structura este mult mai apropiată de normală, fapt datorat intervențiilor silviculturale care au constat în extrageri de arbori de mari dimensiuni și completarea golurilor rămase cu plantări (în special molid). În

arboretul din RO, regenerarea naturală (fag și brad) este preponderentă, structura arboretului, care la bază avea o structură naturală, este mai apropiată de cea plurienă decât de cea echienă.

Pentru arboretul natural de la Strâmbu-Băiuț și pentru cel de la Humosu s-a realizat simularea structurii în raport cu suprafața minimă inventariată, analizând toate combinațiile posibile. Prin aceste simulări s-a urmărit atât identificarea tipului de structură după modelul propus de Janowiak et al. (2008), cât și stabilirea suprafeței minime pentru care majoritatea combinațiilor redau același tip de structură cu cel obținut pentru suprafața maximă. De asemenea, aceste simulări s-au realizat și în funcție de mărimea claselor de diametre.

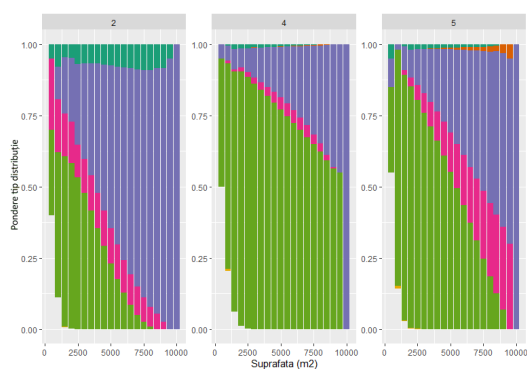


Figura 4.4.4 Tipul de distribuție obținut în PN de la Strâmbu-Băiuț în funcție de mărimea suprafețelor de probă (pe clase de diametre de: 2 , 4 și 5 cm)

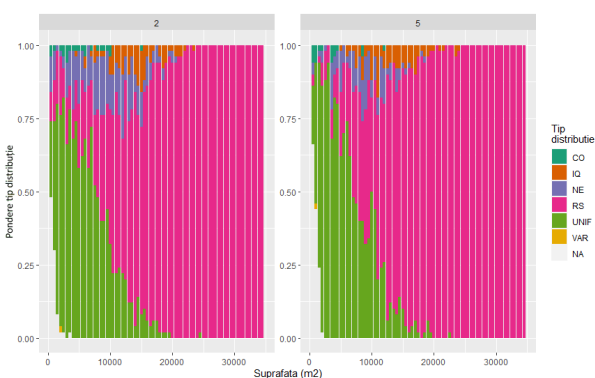


Figura 4.4.5 Tipul de distribuție obținut în PN din Făgetul Secular Humosu de mărimea suprafețelor de probă (pe clase de diametre de: 2 și 5 cm)

Codurile pentru tipul de distribuție sunt explicate în tabelul 3.3.1.

Se observă în prima situație, în care arborii sunt grupați în clase de 2 cm, faptul că tipul de distribuție negativ exponențial este predominant pentru suprafețe mai mari de 0,5 ha, dar condiția pusă (reprezentativitate de 95 %) este atinsă pentru suprafețe de depășesc 8000 m². Pentru suprafețe cuprinse între 1000 m² și 3500 m², tipul de pădure cel mai des regăsit este cel unimodal, iar până la suprafața de 1 hectar, unde tipul de structură este cel NE. Următorul grafic, în care clasele de diametre au mărimea de 4 cm, indică un grup mai restrâns al combinațiilor care se apropie ca tip de structură de cel al arboretului, în favoarea tipului UNI, care domină pe întreg intervalul mărimii suprafețelor. În ultimul caz (clase de 5 cm pentru diametre), se remarcă din nou un procent mai ridicat ale apariției tipului NE, cel puțin pentru suprafețe mari (> 0,5 ha), dar și identificarea unui procent mai mare de apariții al tipului RS, considerat de mulți autori ca fiind caracteristic arboretelor naturale. Concluzia este aceea că în nici una dintre situații, o suprafață mai mică de 1 ha, nu va surprinde același tip de structură cu cel al arboretului (Figura 4.4.4).

Spre deosebire de arboretul din Maramureș, în fâgetul de la Humosu au fost analizate 70 de suprafețe de probă totalizând 3,5 hectare. Indiferent de clasa de diametre aleasă, în situația în care opream simulările la suprafața de 1 ha, concluzia era similară arboretului analizat anterior. Pentru acest arboret, tipul de structură dominant pentru suprafețe mai mici de 1 ha este cel unimodal, urmat de un amestec de tipuri de structură în intervalul 1–1,5 ha. Pentru suprafețe mai mari, dominant devine tipul RS, care coincide cu cel total (format din numărul maxim de suprafețe). Se poate observa faptul că, pentru valori ale suprafeței mai mari de 2 ha, nu doar că regăsim tipul de distribuție majoritar, dar se îndeplinește și condiția stabilită în metodologie (figura 4.4.5). Concluzia care reiese din această analiză este că un număr de 40 de suprafețe de probă de 500 m² sunt suficiente pentru a descrie tipul de structură în raport cu diametrul de bază. Totodată nici modul de grupare nu mai este relevant pentru suprafețe mai mari de 2 ha.

4.5. Diversitatea structurală cuantificată prin intermediul indicilor

Diversitatea structurală reprezintă o componentă importantă din punct de vedere al funcționalității și stabilității ecosistemelor. În cele patru zone din cele două țări (RO și UA), cuantificarea gradului de organizare structurală s-a realizat prin intermediul a trei indici: Gini, Reineke (SDI) și indicele de complexitate structurală B.

Indicele care exprimă cel mai bine gradul de organizare structurală în raport cu diametrul de bază este indicele Gini. Acesta a fost calculat pentru fiecare specie din fiecare zonă. Analiza valorilor obținute indică o heterogenitate mai mare în cazul arboretelor naturale comparativ cu cele gospodărite. Excepția de la afirmația anterioară se regăsește în cazul bradului din RO, precum și a rășinoaselor din UA. Valorile minime ale indicelui care indică un grad de omogenitate mai ridicată au fost obținute în cazul speciei paltin de munte (RO – gospodărit cu $G = 0,328$) și al molidului din arboretul natural din UA (0,384). Gradul maxim de heterogenitate a fost identificat în cazul bradului din arboretul gospodărit din RO (0,796). Valorile indicelui Gini obținute pentru pădurile naturale, sunt asemănătoare cu cele obținute în Codrul Secular Slătioara (0,753) (Cenușă et al. 2002).

Gradul de complexitate al arboretelor bazat pe cele patru componente ale diversității structurale (indicele compoziției speciilor (A), indicele structurii verticale (S), indicele distribuției spațiale (V), indicele diferențierii coroanelor (K)) a fost cuantificat pentru fiecare suprafață de probă în parte din cele două regiuni (RO și UA). În arboretele din RO se observă faptul că majoritar pentru PN, este tipul de structură neuniform, iar pentru cea gospodărită predomină cel omogen urmat de cel neuniform. Cele mai slab reprezentate tipuri de structură

sunt: foarte heterogen (o singură suprafață în arboretul gospodărit) și cel heterogen (doar două suprafețe de probă în arboretul natural). În arboretele din UA tipul predominant este cel foarte heterogen pentru pădurea gospodărită și respectiv cel neuniform în PN. Exceptând tipul omogen reprezentat de doar o suprafață de probă (natural), în UA se observă o mixtură mai echilibrată a celor trei tipuri de structură. Pe valorile medii pe tip de arboret ale indicelui complex s-au obținut următoarele tipuri de structuri: Ro Gospodărit – omogen; Ro natural – neuniform; UA gospodărit – foarte heterogen și UA natural – heterogen. Repartiția numărului de arborete pe tip de structură este reprezentată grafic în figura 4.5.1.

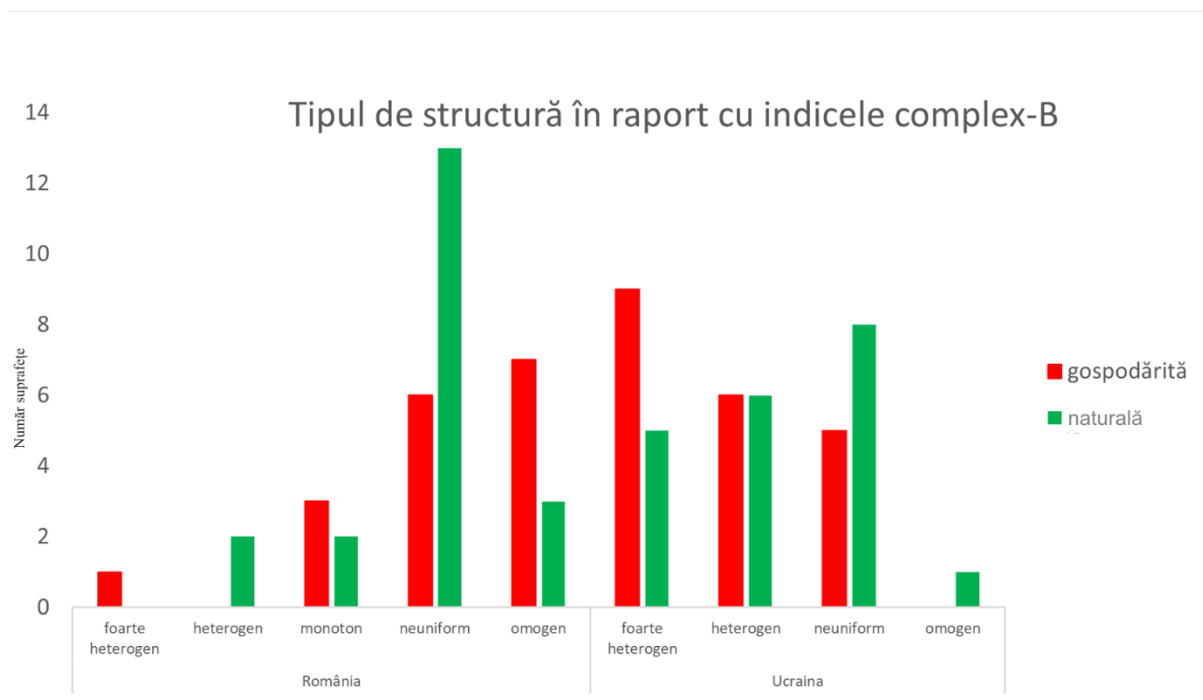


Figura 4.5.1 Tipul de structură în raport cu indicele complex B, pentru fiecare suprafață de probă (RO și UA)

Determinarea suprafeței medii de dezvoltare a arborilor pentru fiecare suprafață de probă a servit la calculul indicelui de densitate Reineke (SDI). Acesta oferă informații cu privire la desimea arboretelor, despre tendințele evolutive ale arboretului (dinamica acestuia) și procesele competiționale din interiorul acestuia. Valorile medii ale diametrelor, numărului de arbori pe suprafață de probă și pe hectar, precum și suprafața medie de dezvoltare și valorile medii ale indicelui SDI sunt prezentate în tabelul 4.5.3.1. Se poate observa faptul că în arboretele de la Strâmbu- Băiuș, unui număr mai mic de arbori îi corespunde un diametru mediu apropiat ca valori celui din UA, unde numărul mediu de arbori este aproape dublu în pădurea gospodărită și respectiv cu circa 20% mai mare în PN. Astfel suprafața de dezvoltare a arborilor este mai mare în RO comparativ cu cea din UA. Valorile indicelui de densitate SDI calculat pentru

arboretele din RO variază între 173,39 și 1063,74 în arboretul gospodărit ($SDI_{med} = 741,47$), și între 486,45 și 1638,224 în arboretul natural ($SDI_{med} = 1064$). Pentru pădurile ucrainene valorile indicelui variază între 754,56 și 1932,41 ($SDI_{med} = 1303,52$) în arboretul natural și între 869,06 și 1954,77 ($SDI_{med} = 1276,3$) în arboretul gospodărit. Prin urmare se constată valori mai mari în arboretele din UA comparativ cu cele din RO și totodată valori mai mari ale indicelui în arboretele naturale comparativ cu cele gospodărite.

Tabelul 4.5.3.1 Valorile medii ale valorile indicelui Reineke (SDI) pentru arboretele studiate (d_g – diametru central [cm]; N_{med} – număr mediu de arbori la hectar; Npl_{med} – număr mediu de arbori pe suprafață de probă, S_{med} – suprafața de dezvoltare [m^2])

Regiune	Tip gestiune	d_g	N_{med}	Npl_{med}	S_{med}	SDI_{med}
RO	Gospodărit	39.640	391.8	19.6	34.827	741.466
	Natural	41.218	486	24.3	22.067	1064.730
UA	Gospodărit	33.981	793	39.7	13.229	1276.298
	Natural	41.535	600	30.0	18.530	1303.518

Analiza indicelui de densitate (SDI) pentru fiecare zonă, indică faptul că arboretele încă nu au atins potențialul maxim al numărului de arbori pe care îi poate suporta. Acest lucru se datorează fie proceselor de autorărire (dată de procesele competiționale sau de atingerea vârstei fiziologice) în cazul arboretelor naturale, fie de intervențiile silviculturale aplicate. Toate acestea nu fac decât să mențină o stabilitate a arboretelor și o rezistență mai mare la eventuale perturbări. Prin intermediul acestui indice, se pot face prognoze privind evoluția arboretelor precum și identificarea momentelor în care se pot declanșa perturbări.

4.6. Analiza necromasei

Prezența necromasei în arborete reprezintă unul dintre cei mai importanți indicatori ai naturalității acestora. Cantitatea de lemn mort a fost cuantificată pe cele două componente: lemn mort la sol (LMD) și lemn mort pe picior (LMP). De menționat este faptul că volumul de lemn mort pe picior este o estimare, fiind determinat indirect (vezi cap. 3). Cantitatea de necromasă inventariată este prezentată individual pe cele două regiuni.

În cele 20 de suprafețe de probă din pădurea gospodărită din RO au fost inventariați 112 arbori morți pe picior și 96 de piese de lemn mort la sol, împreună totalizând un volum de 118 m^3 . În ce privește arborii pe picior, majoritatea se află în prima clasă de degradare, iar piesele de lemn mort la sol sunt egal distribuiți în cele 5 clase. Lemnul mort din arboretele gospodărite este constituit fie din resturi de exploatare, din necurățarea parchetelor după tăierile de

regenerare, fie cioatele rezultate în urma tăierilor. În arboretul natural au fost inventariați 66 arbori morți pe picior pe picior și 176 piese de lemn mort la sol (volum total de 324,33 m³). Se observă un număr și un volum, de aproape 3 ori mai mare comparativ cu arboretul gospodărit. Se observă o creștere semnificativă a volumului necromasei din clasele avansate de degradare atât în cazul LMP, cât și în cazul LMD, comparativ cu clasele de degradare incipiente (figura 4.6.a). Din moment ce lemnul mort din PN provine din acțiunea factorilor perturbatori (doborâturi de vânt, atacuri de insecte) sau din moartea survenită în urma atingerii vârstei fiziologice a arborilor, constatăm faptul că în ultima perioadă nu s-au produs astfel de perturbări majore. Un alt factor care influențează viteza de degradare a lemnului mort este reprezentat de variația condițiilor staționale, care favorizează instalarea ciupercilor xilofage.

În arboretele din UA au fost inventariate 179 de piese de lemn mort la sol (din care 63% în arboretul gospodărit) și 222 de arbori morți pe picior (din care 68 % în arboretul gospodărit). Analiza cantitativă a celor două componente a lemnului mort s-a realizat pe clase de descompunere.

În arboretul gospodărit, LMP se regăsește în primele clase de degradare (clasa 2 fiind cea mai bine reprezentată cu 5,48 m³ ha⁻¹), clasele 4 și 5 fiind foarte slab reprezentate totalizând un volum de doar 0,04 m³ ha⁻¹. Acest fapt se datorează intervențiilor silviculturale prin care arborii morți pe picior au fost extrași în cadrul tăierilor de îngrijire. În contrast, circa 50 % din lemnul mort la sol se află în stadiile avansate de degradare (4 cu 18,7 m³ ha⁻¹, respectiv 5 cu 5,8 m³ ha⁻¹), clasa de degradare 1 fiind cea mai slab reprezentată. Cantitatea totală de lemn mort din arboretul gospodărit este de 52,46 m³ ha⁻¹ (85 % LMD și 15 % LMP). Asemănător arboretului gospodărit, în arboretul natural cantitatea cea mai mare de LMP se regăsește în clasele incipiente de degradare (clasa 2 cu 29,14 m³ ha⁻¹, circa 85 % din total). Volumul de 70,26 m³ ha⁻¹ (LMD) este mai bine distribuit în toate cele cinci clase de degradare, cu un minim în prima clasa (5,49 m³ ha⁻¹) și un maxim în clasa 3 (24,76 m³ ha⁻¹) (figura 4.6.b).

Cu toate că, atât numărul de piese de LMD, cât și numărul de LMP este mai mare în arboretul gospodărit, volumul total al acestora este dublu în arboretul natural, ceea ce semnifică o pondere mai mare a arborilor de mici dimensiuni în arboretul gospodărit comparativ cu cel natural. Numărul mare arbori morți pe picior de mici dimensiuni din arboretul gospodărit este rezultatul proceselor competiționale. Totodată, cantitatea mare de lemn mort doborât din PN este rezultatul căderii arborilor de mari dimensiuni ajunși la vârsta fiziologică sau a arborilor solitari – mult mai vulnerabili la acțiunea vântului. Procentul mai mare de LMD în clasele

avansate de degradare se datorează acțiunii ciupercilor xilofage, care atacă LMP, scăzându-le rezistența și provocându-le căderea.

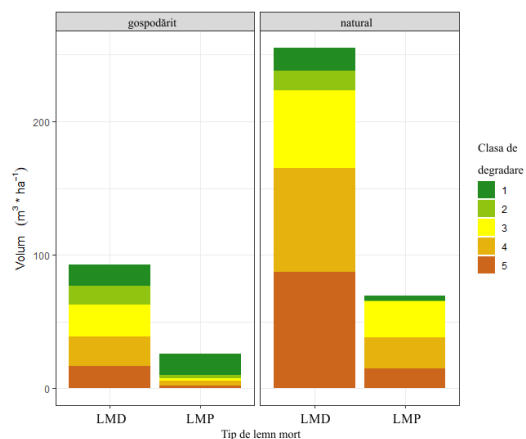


Figura 4.6.a Distribuția lemnului mort pe picior și a pieselor de lemn mort la sol pe clase de degradare și tip de gestiune din RO

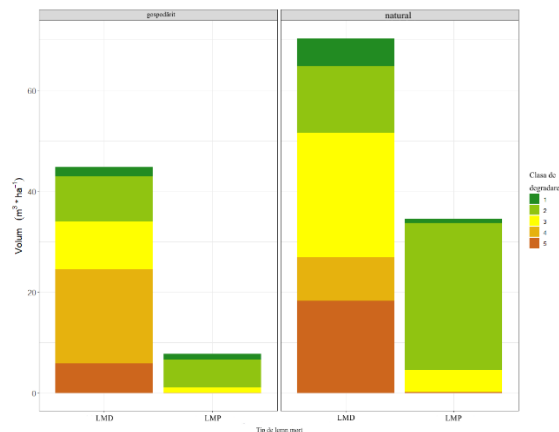


Figura 4.6.b Distribuția lemnului mort pe picior și a pieselor de lemn mort la sol pe clase de degradare și tip de gestiune din UA

Codurile pentru clasa de degradare sunt explicate în tabelul 3.2.2

În urma celor două analize realizate în arboretele luate în studiu, s-au observat atât diferențe cât și asemănări. În ambele situații procentul de LMD este semnificativ mai mare comparativ cu cel de LMP. De asemenea în pădurile naturale regăsim o cantitate mai mare de lemn mort decât în cele gospodărite (raport de 2 la 1 în UA și respectiv ~ 3 la 1 în RO). Lemnul mort pe picior se regăsește în clase incipiente de degradare în arboretele gospodărite din ambele țări și în arboretul natural din UA și în clase avansate de degradare în cel natural din RO. În ce privește LMD din toate zonele analizate se regăsește în procente mai mari în clasele avansate de degradare.

4.6.1. Analiza lemnului mort pe picior

O primă componentă a necromasei este cea a lemnului mort pe picior, a cărui prezență în arboret reprezintă o caracteristică a arboretului natural. Prezența arborilor din categoriile 35 – 38, în special în arboretul natural, asigură adăpost și sursă de hrană pentru o gamă largă de viețuitoare. Acești arbori sunt denumiți și arbori-habitat. Comparativ cu arboretul natural, în arboretul gospodărit a fost identificat un număr mai mare de piese de LMP, în special a celor din categoria 39, cioatele fiind rezultatul intervențiilor silviculturale.

O explicație pentru faptul că în arboretul natural a fost identificat un volum mai mic de LMP în clasele incipiente de degradare este aceea că arboretul a atins un grad ridicat de stabilitate, în care arborii ajunși la maturitate sunt mai rezistenți. Închiderea arboretului pe cele

două planuri face mult mai grea acțiunea diverșilor perturbatori. Rata cea mai mare a mortalității se datorează proceselor competiționale, în special în etajul inferior.

Pentru arboretele din RO, rezultatele arată faptul că volumul mediu de LMP regăsit în PN este de două ori mai mare comparativ cu cel din pădurea gospodărită. Cu toate acestea, nu au fost identificate diferențe importante între proporțiile de lemn mort pe picior din cele două arborete studiate (4,47 % – PG și 6,72 % în PN), fapt datorat diferențelor mari dintre volumele totale de lemn. În UA s-au identificat diferențe foarte mari între procentul de LMP din arboretul gospodărit comparativ cu cel natural (raport de aproape 4 la 1 în favoarea celui natural). Au fost identificate atât zone în care proporția de LMP a atins valoarea de 30 % (în arboretul natural) și respectiv 19 % (în arboretul gospodărit), cât și zone în care proporția scade sub 1 %. Astfel de zone, au fost identificate și în arboretele din UA, doar că procentul maxim de LMP nu depășește 16 % în cazul pădurii naturale și maxim 2,4 % în pădurea cultivată, dar și zone cu un procent foarte scăzut de LMP. Aceste diferențe se datorează amestecului de faze de dezvoltare din cadrul arboretelor. Se poate observa faptul că în arboretele din RO, comparativ cu cele din UA, procentul de LMP din volumul total este de aproape două ori mai mare în pădurea gospodărită și de patru ori mai mare în PN. Aceste diferențe pot fi date de impactul pe care îl au diverșii factori perturbatori în cazul arboretelor naturale și de impactul intervențiilor silviculturale în cele gospodărite.

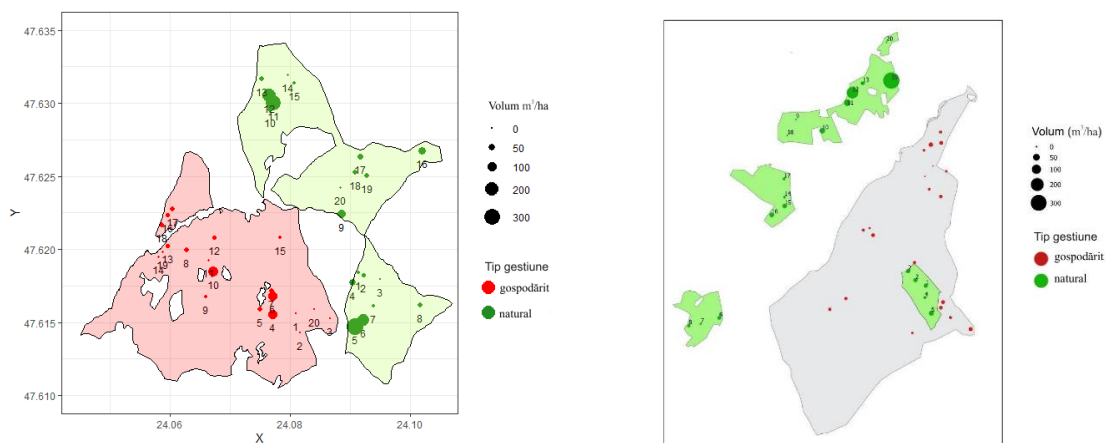


Figura 4.6.1.5 Distribuția spațială a lemnului mort pe picior în cele două regiuni (stânga-RO; dreapta-UA)

Distribuția volumului de LMP în cele 80 de suprafețe de probă indică o dispersie neuniformă atât în arboretul natural cât și în cel gospodărit, zonele cu volume mari alternând cu cele cu volume medii și mici. Acest aspect demonstrează importanța alegerii metodologiei de lucru, în care, prin dispunerea randomizată a suprafețelor de probă, s-a reușit surprinderea

diversității și complexității arboretelor, obținând astfel rezultate concludente pentru zonele studiate (figura 4.6.1.5).

4.6.2. Analiza pieselor de lemn mort la sol

Componenta principală a cantității de lemn mort regăsită în cele două arborete din RO este reprezentată de piesele de necromasă regăsită la nivelul solului, în diferite stadii de degradare. Astfel, circa două treimi din volumul total de lemn mort (în pădurea gospodărită) și respectiv trei sferturi (în PN) este reprezentat de această componentă (Figura 4.6.2.a). Repartiția numărului de piese pe specii a acestei componente evidențiază un procent ridicat în dreptul foioaselor (în speță fag), reprezentând 86 % în cazul arboretului gospodărit, respectiv 60 % în cazul arboretului natural. Aceste valori sunt în concordanță cu compoziția speciilor în cazul arborilor vii, ceea ce indică faptul că nu a avut loc o succesiune la nivel de specii în ultima perioadă.

Lemnul mort la sol inventariat în arboretele din UA reprezintă aproximativ 6 % din volumul total de lemn viu regăsit în pădurea gospodărită și circa 7,5 % din total în arboretul natural. Se constată faptul că diferența între procente de participare la nivelul cantității de lemn din cele două tipuri de gestiune nu este foarte mare, cu toate că, în medie, în arboretul gospodărit s-a identificat un volum mai mic cu aproximativ 40 % comparativ cu cel din PN. Au fost identificate piese de LMD în toate clasele de degradare, cu maxime în clasa 4 și minim în clasa 1 în arboretul gospodărit, respectiv maxim în clasa 3 și minim în clasa 1 în arboretul natural. S-a observat o cantitate mai mare de LMD din clasa 5 de degradare aparținând arboretului natural comparativ cu cel gospodărit. Prezența unui volum mic în clasele incipiente de degradare indică faptul că în trecutul apropiat nu au avut loc intemperii de intensitate mare care să producă daune (rupturi de arbori sau ramuri), coroborat cu intervențiile silviculturale (în pădurea gospodărită) prin care s-a extras lemnul considerat valoros. Un alt aspect care ar explica clasa de degradare mai avansată a pieselor de LMD se referă la condițiile staționale și de mediu, care pot favoriza și apariția de insecte sau ciuperci xilofage. Distribuția spațială a volumelor de lemn mort doborât (figura 4.6.2.b) în cele 40 de suprafețe de probă este neuniformă. Se pot identifica astfel zone în care volumul pieselor de LMD să difere semnificativ de la o zonă la alta: între 2,1 m³ și 98,1 m³ – gospodărit și respectiv între 2,9 m³ și 343 m³ – natural. Rezultatele obținute în cele două regiuni (RO și UA), indică faptul că proporția de participare a LMD în calculul volumului total de lemn diferă foarte tare. Astfel în arboretele din RO, acesta participă cu până la 25 % în arboretul natural și cu până la 16 % în cel gospodărit, în timp ce în UA, această proporție nu depășește 8 %.

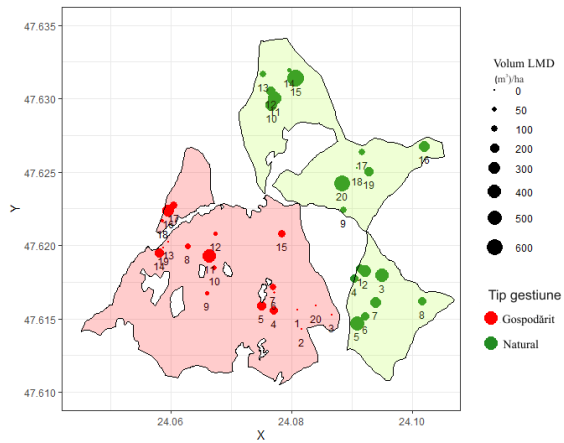


Figura 4.6.2.a Distribuția spațială a pieselor de lemn mort la sol în cele două arborete- RO

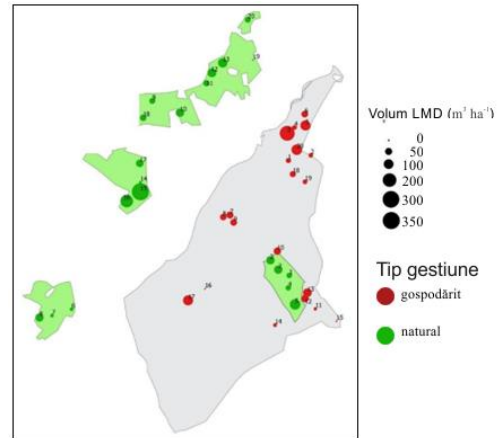


Figura 4.6.2.b Distribuția spațială a pieselor de lemn mort la sol în cele două arborete- UA

4.7. Dinamica creșterilor radiale ale arborilor din cele două regiuni RO-UA

Dinamica creșterilor radiale prezintă o importanță deosebită în cuantificarea impactului schimbărilor de mediu asupra arborilor. În vederea studierii modului în care cantitatea de lemn mort influențează procesele de creștere ale pădurii, din fiecare suprafață de probă au fost extrase probe de creștere cu burghiul Pressler de la toți arborii vii din etajul dominant. Serii de creștere au tipare și parametri statistici specifici tipului de pădure din care au fost prelevate, respectiv pădure naturală sau gospodărită (figura 4.7.1, tabelul 4.7.1).

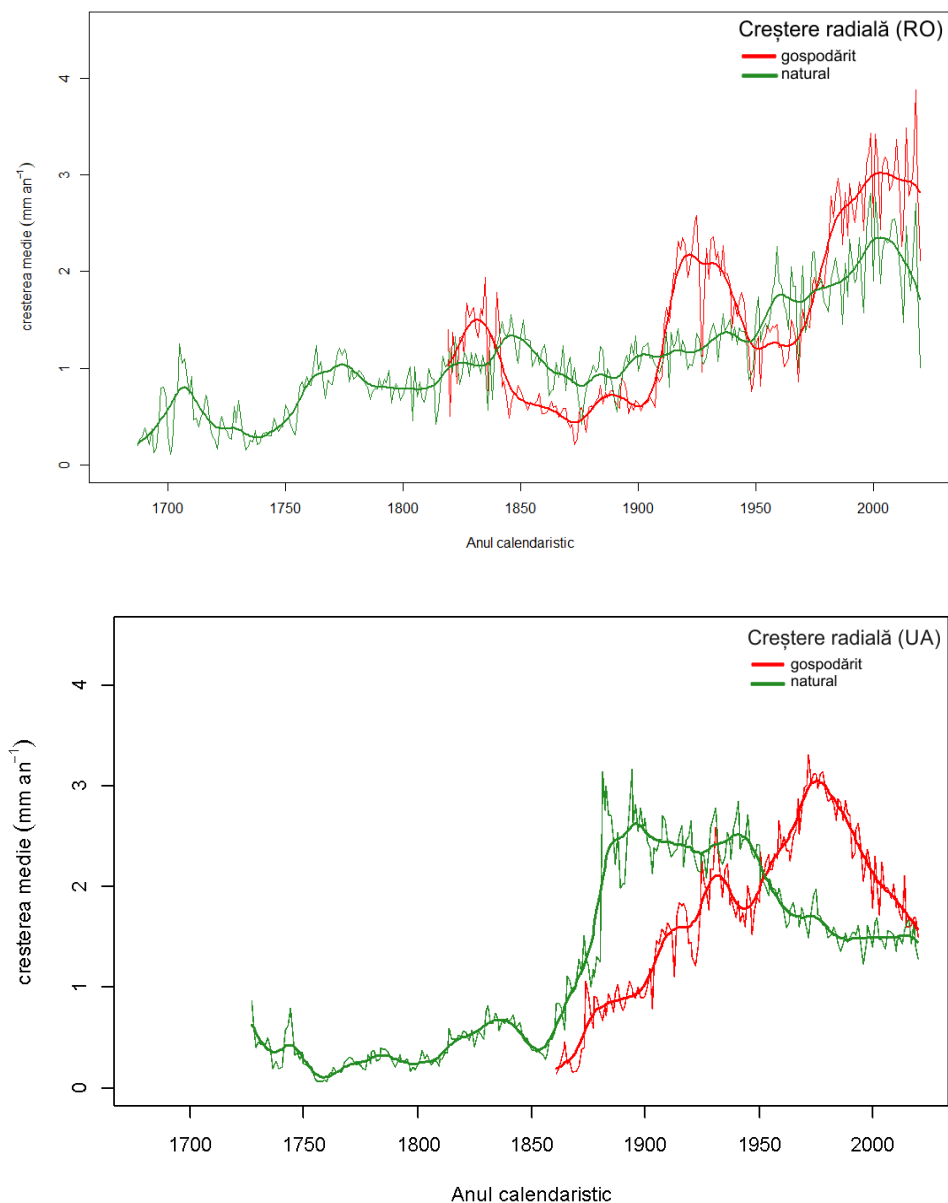


Figura 4.7.1 Dinamica creșterilor radiale în cele două regiuni RO – UA

Seriile de creștere pentru PN prezintă lungimi mai mari în ambele țări, acoperind intervalul temporal 1687–2020 pentru RO și 1725–2020 pentru UA. Vârsta medie a arborilor

este de 170 ani (RO) și 125 ani (UA). Tiparul seriei medii de creștere este specific unui păduri naturale compusă din specii de umbră (brad și fag), cu creșteri reduse în perioada juvenilă, și în care perturbările au acționat la o scară mică – locală (RO) sau la o scară mai largă (UA).

Tabelul 4.7.1 Principali parametri statistici ai seriilor de creștere

Tara	Tip gestiune	Vârsta medie (ani)	Vârsta maximă (ani)	Creșterea medie (mm an ⁻¹)	Abaterea standard (mm an ⁻¹)	Autocorelație de ordin 1
RO	Gospodărită	109	202	2,14	0,71	0,80
	Naturală	170	334	1,56	0,75	0,75
UA	Gospodărită	76	160	2,48	0,82	0,78
	Naturală	125	294	1,52	0,58	0,81

În ceea ce privește distribuția numărului de arbori în raport cu vârsta acestora, aceasta reprezintă cel mai fidel indicator al structurii pădurii (figura 4.7.2). În cazul pădurilor gospodărite din RO, acestea prezintă o distribuție atipică, majoritatea arborilor analizați având vârste de aproximativ 100 ani, iar categoriile arborilor tineri și bătrâni fiind foarte slab reprezentate. Acest fenomen poate fi explicat de extragerile arborilor în urma tăierilor de regenerare, iar arborii cu vârste reduse sunt reprezentanți de etajul mijlociul al vechii păduri pluriene. Pentru pădurile gospodărite analizate în UA, distribuția prezintă o puternică asimetrie de stânga, cu mulți arbori tineri, arborii maturi cu vârste peste 100 ani fiind în proporție foarte mică. În arboretele naturale amplitudinea vârstelor este mai mare, iar distribuția pe clase de vârstă prezintă o asimetrie de stânga, mai pronunțată în cazul UA, concluzia fiind că cele din UA se află într-o fază de dezvoltare mai incipientă comparativ cu cele din România.

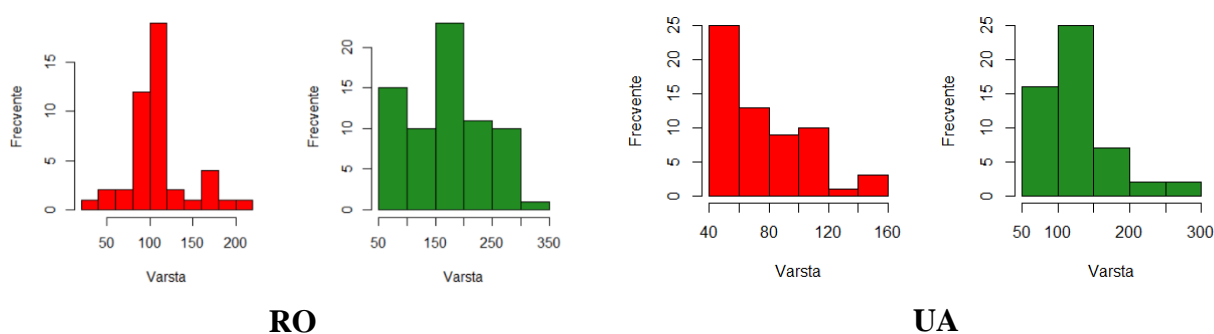


Figura 4.7.2 Distribuția numărului de arbori în raport cu vârsta (roșu – arborete gospodărite; verde – arborete naturale)

4.8. Dinamica creșterilor în suprafața de bază și cuantificarea rezilienței pădurilor

Creșterea în suprafața de bază reprezintă un indicator precis pentru estimarea proceselor de bio-acumulare, dar și pentru stabilirea modului în care evenimentele extreme de mediu, inclusiv cele de natură climatică influențează procesele de reziliență și rezistență ale pădurii. Arboretele naturale din RO prezintă o creștere în suprafața de bază susținută până în anul 1990, după acest an procesele de acumulare prezintă o tendință de scădere, cel mai probabil datorită vârstei înaintate a arborilor, apropiată de limita fiziologică (figura 4.8.1). Procesele de acumulare în suprafața de bază a arboretelor naturale din UA confirmă existența evenimentului perturbator major în jurul anului 1850. După această perioadă, arboretele prezintă o vigoare de creștere ridicată până în anul 1950, după acest an intensitatea proceselor de creștere se diminuează ușor.

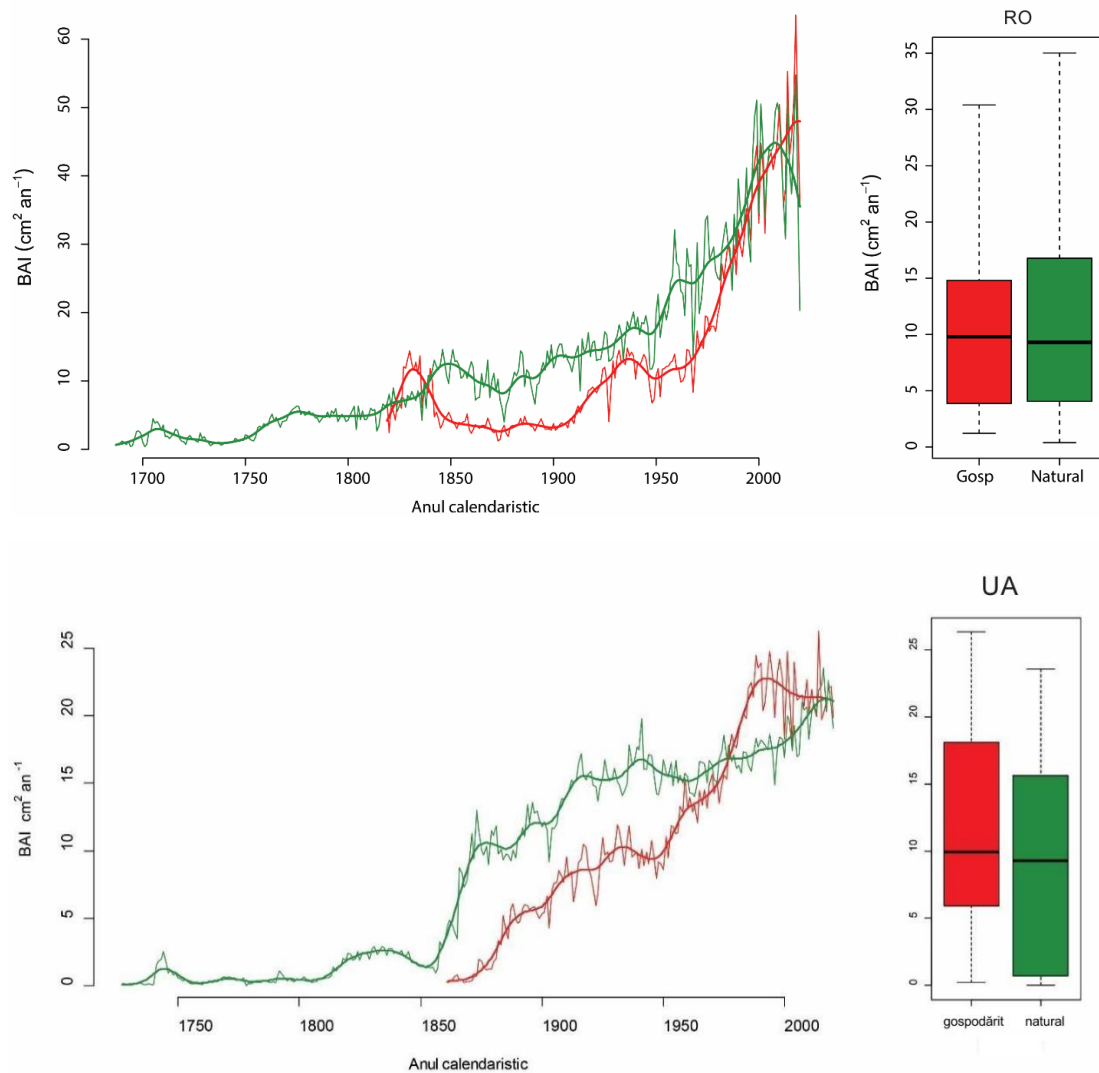


Figura 4.8.1 Dinamica creșterii în suprafața de bază pentru arboretele din cele două regiuni RO și UA.

Indicatorii rezilienței au fost determinați folosind creșterile în suprafața de bază. Au fost identificați ani indicatori, cu creșteri foarte reduse în ultimii 70 ani, cu implicare climatică majoră (secete prelungite). Pentru RO au fost selecțiații anii indicatori: 1948, 1968, 2000, 2003, iar pentru UA anii: 2000, 2003, 2013, 2017. Distribuția suprafețelor de probă în raport cu nivele de reziliență ne indică faptul că majoritatea suprafețelor de probă prezintă reziliență ridicată în ambele țări, indiferent de modul de gospodărire (figura 4.8.2).

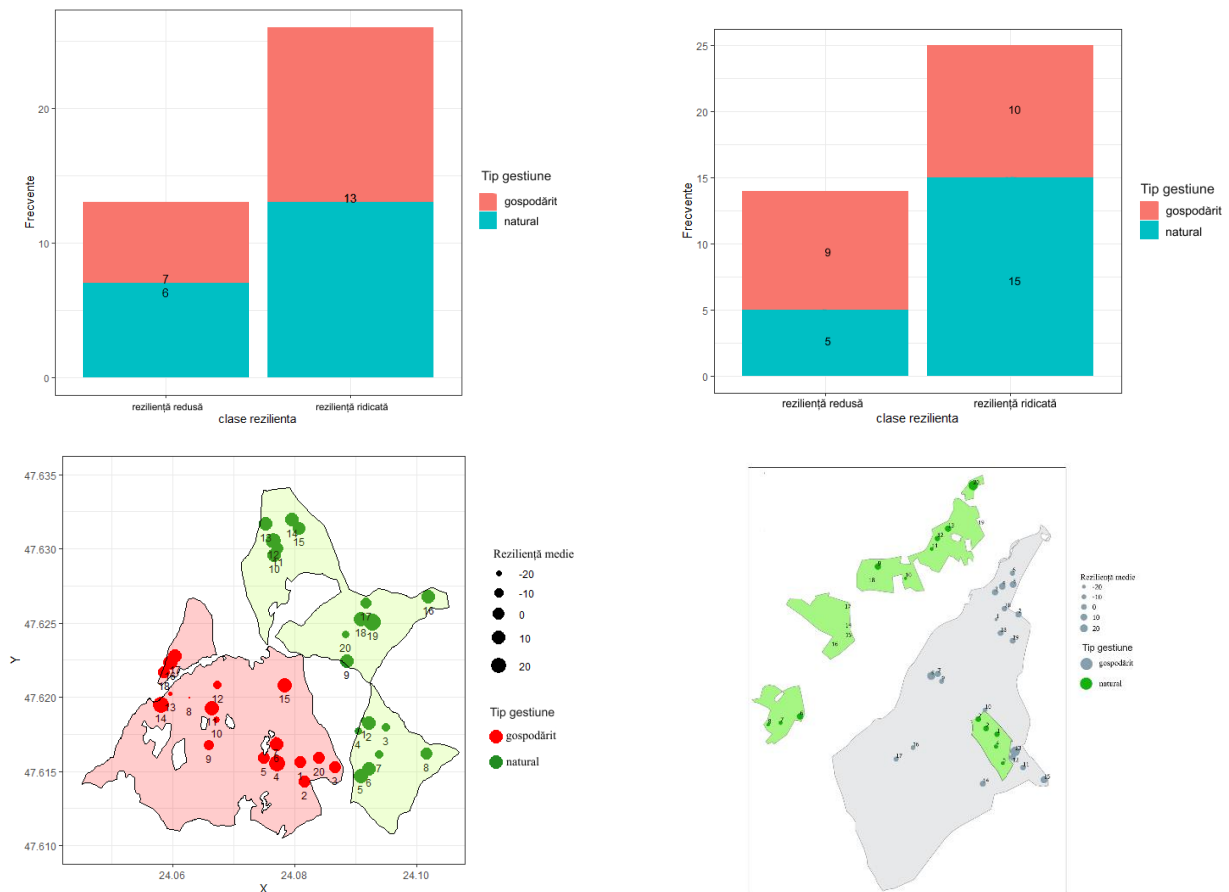
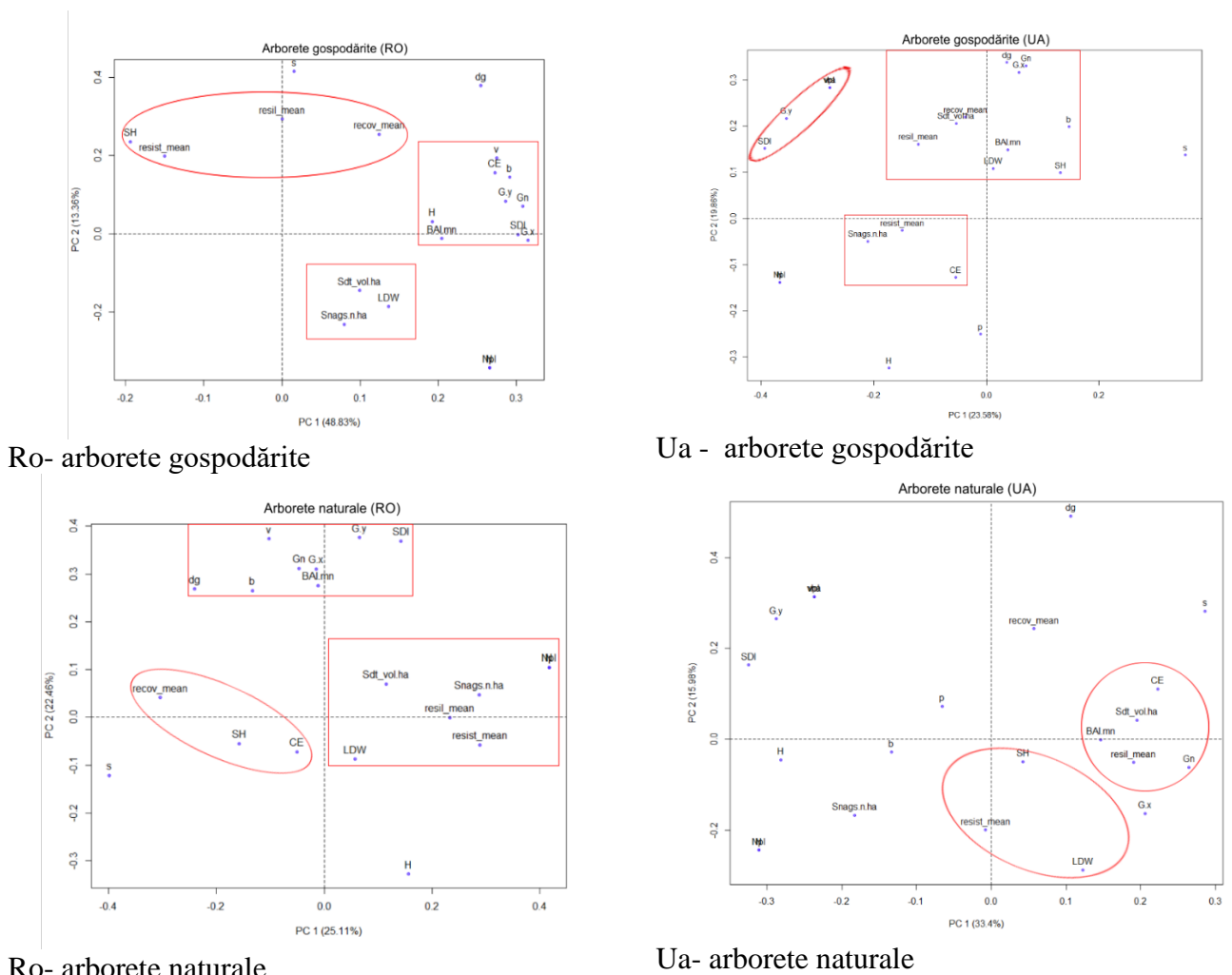


Figura 4.8.2 Distribuția suprafețelor de probă pe clase de reziliență (stânga-RO, dreapta UA)

În cadrul pădurilor din RO, 26 de suprafețe de probă prezintă nivele de reziliență ridicată, distribuite egal pentru pădurea gospodărită și cea naturală. Numai 13 suprafețe de probă prezintă nivele scăzute de reziliență, 7 dintre acestea fiind în pădurile gospodărite. În ceea ce privește pădurile din UA, 25 de suprafețe de probă prezintă reziliență ridicată, 15 dintre acestea fiind amplasate în păduri naturale. Nivele reduse de reziliență se înregistrează în 14 suprafețe, cu o pondere mai mare în pădurea cultivată (9 suprafețe de probă). În ceea ce privește distribuția spațială, repartitia suprafețelor de probă în raport cu nivelele de reziliență este una randomizată.

4.9. Analiza multicriterială între componentele rezilienței, parametrii structurali și de cantitatea de lemn mort

Utilizarea analizei în componente principale (PCA) în prezentul studiu, asigură identificarea modului în care componentele rezilienței (reziliența, rezistența și revenirea) sunt influențate de către parametrii structurali (creșterea în suprafață de bază, diametrul central, gradul de complexitate sau gradul de omogenitate al arboretelor) și de cantitatea de lemn mort (volumul de lemn mort pe picior sau doborât, numărul de piese de lemn mort). În planul celor două componente principale au fost identificate mai multe tipare de asociere între parametrii analizați în funcție de modul de gospodărire și de zona studiată RO și UA (figura 4.9).



Ro- arborete gospodărite

Ua - arborete gospodărite

Ro- arborete naturale

Ua- arborete naturale

Figura 4.9 Analiza în componente principale (PCA) (resist_mean – rezistența medie; resil_mean – reziliența medie; recov_mean – revenirea medie; SH – indicele Shannon; H – indicele Camino; BAI – Creșterea în suprafața de bază [$m^2 ha^{-1}$]; Gn – Indicele Gini; SDI – indicele de densitate Reineke; CE – indicele Clark-Evans; b – indicele complex de diversitate; V – indicele distribuției spațiale; Sdt_volha – Volumul LMP [$m^3 ha^{-1}$]; LDW – volum lemn mort doborât [$m^3 ha^{-1}$]; Snags n/ha – Număr de arbori morți; S – indicele structurii verticale)

Pentru arboretele gospodărite din RO, analiza celor două componente principale explică 62,19% din variabilitatea parametrilor luați în considerare: 48,83 % (PC1) respectiv 13,36 % (PC2). Cele trei asocieri identificate combină variabile din aceleași categorii, fapt care indică faptul că variabilitatea componentelor rezilienței nu este influențată nici de cantitatea de lemn mort nici de vreun parametru structural. Pentru arboretele gospodărite din UA, analiza celor două componente principale explică 43,44 % din variabilitatea parametrilor luați în considerare: 23,58 % (PC1) respectiv 19,86 % (PC2). S-a observat o variabilitate comună a două dintre componentele rezilienței (reziliența medie și revenire) cu volumul de lemn mort (pe picior și doborât), dar și cu gradul de omogenitate al arboretului, exprimat prin indicele Gini, sau cu creșterea în suprafața de bază a arboretelor. O altă asociere identificată arată faptul că există o legătură între rezistența medie și numărul de piese de lemn mort pe picior.

Pentru arboretele naturale din RO, analiza celor două componente principale explică 47,57% din variabilitatea parametrilor luați în considerare: 25,11 % (PC1) respectiv 22,46 % (PC2). În aceste arborete se observă faptul că o cantitate mare de lemn mort (atât LMP, cât și LMD) influențează nivelul de reziliență și rezistență, în timp ce revenirea depinde de diversitatea specifică, exprimată prin indicele Shannon, și de diversitatea spațială, exprimată prin indicele Clark-Evans. Alți parametri care prezintă o variabilitate comună sunt creșterea în suprafața de bază, gradul de omogenitatea și gradul de densitate exprimat prin indicele Reineke. Pentru arboretele naturale din UA, analiza celor două componente principale explică 49,38 % din variabilitatea parametrilor luați în considerare: 33,4 % (PC1) respectiv 15,98 % (PC2). În acest caz reziliența medie prezintă o variabilitate comună cu volumul de lemn mort pe picior, cu gradul de diversitate spațială (CE) și cu gradul de omogenitate (Gn) și cu creșterea în suprafața de bază. Se observă totodată o asociere din punct de vedere al variabilității între rezistența arboretelor, cantitatea de lemn mort doborât (LDW) și gradul de diversitate specifică (SH).

Aceste rezultate permit elaborarea de noi strategii de conducere și îngrijire a pădurilor gospodărite în vederea diminuării efectelor negative ale schimbărilor climatice, strategii de gospodărire care trebuie să se bazeze și pe conducerea unor arborete cu structuri cât mai complexe și diversificate, și pe promovarea lemnului mort. Lemnul mort prezintă o importanță deosebită pentru creșterea nivelelor de reziliență a pădurilor, deoarece asigură o alimentare continuă a solului cu nutrienți, prin procesele de descompunere, și totodată contribuie la păstrarea umidității solului, prin încetinirea proceselor de evapo-transpirație.

4.9.1. Influența gradului de organizare structurală, exprimată prin indicele Gini, asupra cantității de lemn mort

Cantitățile cele mai mari de lemn mort se regăsesc în arboretele cu structuri pluriene, cu un grad de organizare structurală ridicat. În cele două regiuni studiate (RO și UA), cantitatea cea mare de lemn mort se întâlnește în pădurile naturale, comparativ cu cele gospodărite (figura 4.9.1).

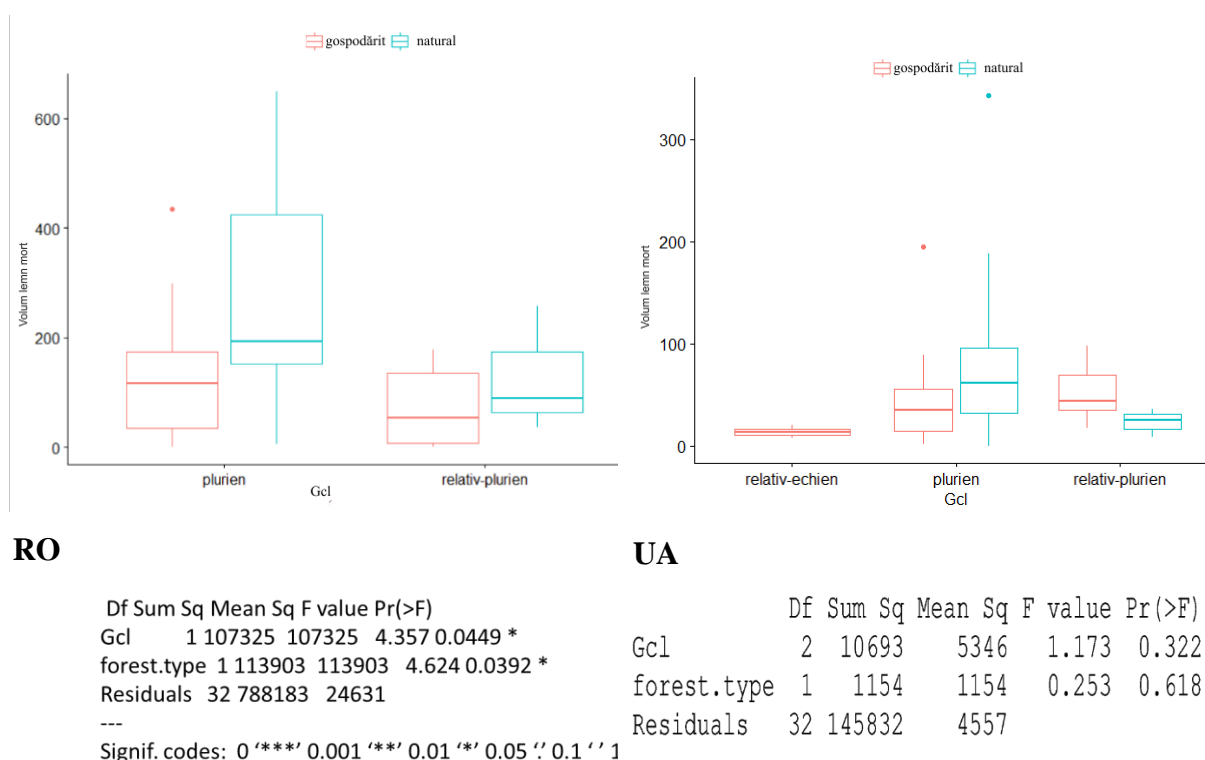


Figura 4.9.1 Grafic de tip boxplot și analiza varianței între gradul de organizare structurală și volumul de lemn mort (Gcl – indicele Gini)

Analizele arată că pădurile din RO prezintă cea mai mare cantitate de lemn mort, indiferent de gradul de organizare structurală. Analiza simplă a varianței realizată între cele două componente, arată că în cazul pădurilor din RO, gradul de organizare structurală (exprimat prin indicele GINI) are o influență semnificativă asupra cantității de lemn mort ($p < 0,05$), indiferent de forma de gospodărire a pădurilor. Pădurile cu structuri complexe sunt rezultatul dinamicii naturale a pădurii, în care procesele de eliminare naturală sunt active, iar în acest fel este asigurată prezența unor cantități de lemn mort pe picior sau la sol. Un aspect deosebit de interesant este dat de gradul ridicat de organizare a pădurilor cultivate, acestea provenind din foste păduri naturale, în care, în trecut, s-a reglementat procesul de producție. În aceste arborete au fost identificate importante cantități de lemn mort care provin fie din resturi de exploatare, fie lemn aflat în faze avansate de descompunere rezultat al dinamicii din trecut al fostei păduri

naturale. În cazul arboretelor din UA, nu a putut fi demonstrat faptul că gradul de organizare structurală are o influență semnificativă din punct de vedere statistic asupra volumului de lemn mort. Acest rezultat poate fi explicat de faptul că în UA arboretele gospodărite au un grad mai ridicat de antropizare și din ele s-a extras o cantitate mare de lemn.

4.9.2. Influența tipului de gestiune și a rezilienței asupra volumului de lemn mort

Legătura dintre lemnul mort, componentele rezilienței și tipul de management aplicat în gospodărirea pădurilor prezintă o importanță pentru identificarea unor soluții pentru diminuarea efectului schimbărilor climatice asupra ecosistemelor forestiere. Cuantificarea acestei legături în cele două regiuni din RO și UA a fost realizată folosind analiza simplă a varianței (figura 4.9.2).

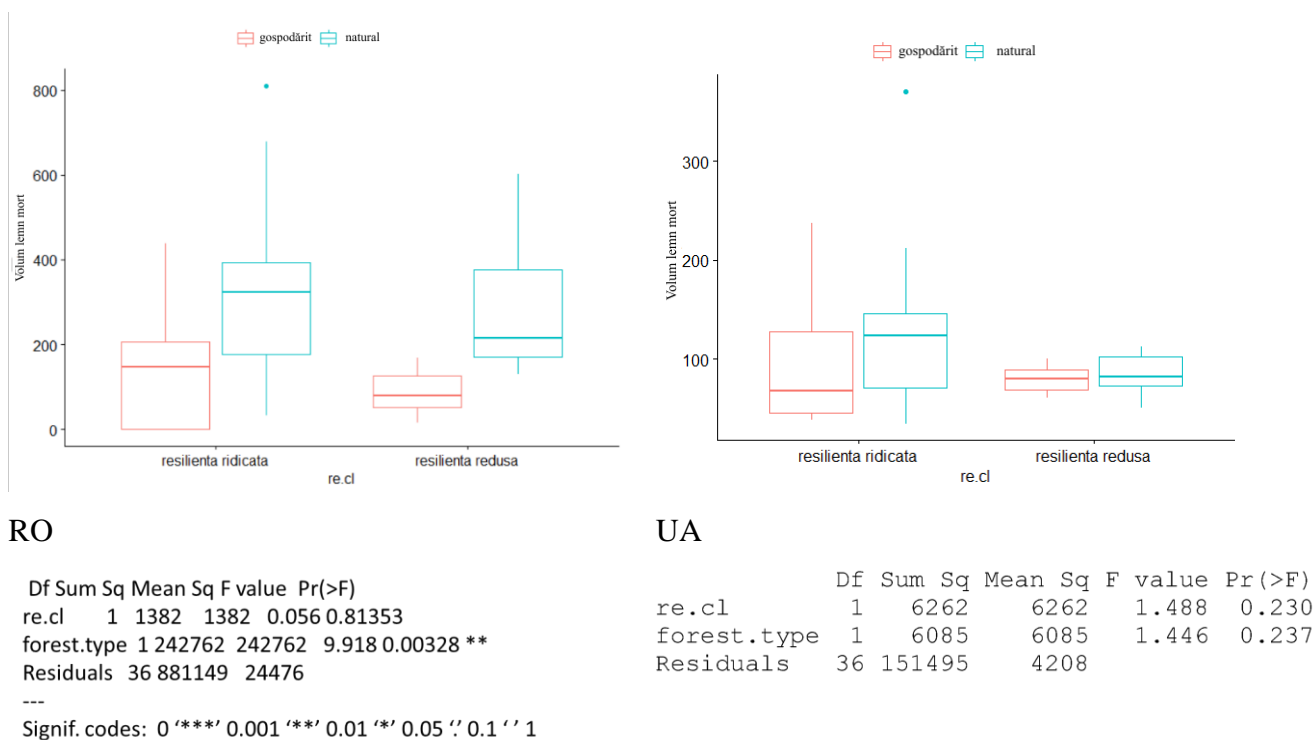


Fig. 4.9.2 Grafic de tip boxplot și analiza varianței între reziliența pădurii și volumul de lemn de mort (re.cl – clase reziliență).

A fost pus în evidență faptul că gradul de reziliență a pădurii nu are o influență semnificativă asupra cantității de lemn mort în cele două regiuni din RO și UA. Totuși, se pot identifica anumite cantități de lemn mort pentru care nivelul de reziliență a pădurii are valori ridicate. Conform rezultatelor obținute, nivelele reduse de reziliență se înregistrează la volume de lemn mort sub $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (pentru pădurile gospodărite) și sub $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (în pădurile naturale). Astfel, se poate trage o primă concluzie asupra cantității optime de lemn mort în pădurile gospodărite, care ar trebuie să fie în jurul valorii de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Așa cum am precizat

și mai sus, aceste rezultate încă nu au semnificația statistică necesară, fiind necesară o extindere a numărului de suprafețe de probă, surprinderea unor tipuri de păduri cât mai diverse aflate în condiții de vegetație cât mai diferite.

4.9.3. Influența tipului de gestiune și a indicelui de complexitate (B) asupra volumului de lemn mort

Analiza modului în care tipul de gestiune influențează volumul de lemn mort, a scos în evidență o legătură statistică semnificativă ($p < 0,1$) între cele două caracteristici în zona arboretelor studiate din RO și UA. Gradul de complexitate, exprimat prin indicele B, influențează foarte semnificativ cantitatea de lemn mort din arboretele din UA (figura 4.9.3).

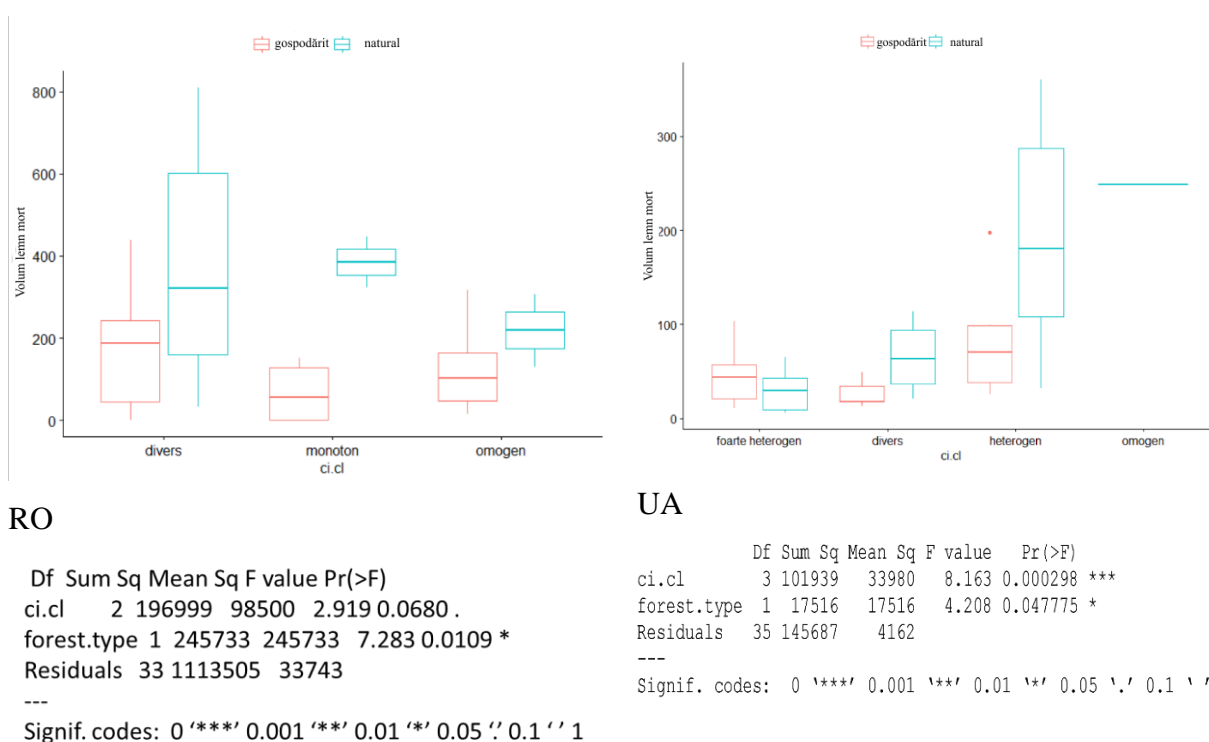


Figura. 4.9.3 Grafic de tip boxplot și analiza varianței între indicele de complexitate (B) și volumul de lemn de mort (ci_cl – Indicele de complexitate).

Arboretele cu structuri complexe și diversificate prezintă cantități mai mari de lemn mort, aspect explicat de faptul că acestea sunt rezultatul unei dinamici accentuate ale structurii sub acțiunea factorilor perturbatori. În ambele țări cantitatea cea mai mare de lemn mort a fost identificată în arboretele naturale, indiferent de gradul de complexitate al pădurii.

4.10. Cuantificarea perturbărilor

Este cunoscut faptul că una dintre cele mai importante surse utilizate în identificarea perturbărilor o reprezintă seriile de creștere obținute în urma măsurării probelor de creștere. Locația aleasă pentru cuantificarea perturbărilor este pădurea naturală de la Strâmbu-Băiuț, fiind analizate un număr de 52 de carote. Motivul pentru care s-a ales această locație este acela că în astfel de păduri inelele anuale pot oferi un potențial mai mare în ce privește descrierea dinamicii perturbărilor, datorită absenței influenței antropice (Nowacki și Abrams 1997). Conform metodologiei descrise, au fost identificate atât evenimentele moderate cât și cele majore.

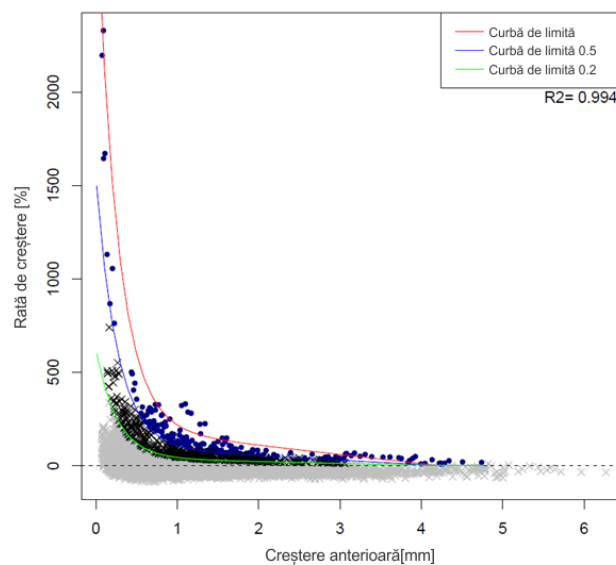


Figura 4.10.1 Reprezentarea grafică a curbei de limită pentru pădurea naturală de la Strâmbu-Băiuț

Modelul cel mai potrivit în cazul studiului de față, este dat de funcția exponențială propusă de Black și Abrams (2003), având ca justificare valoarea mare a lui $R^2 = 0,994$ (figura 4.10.1) dar și semnificația coeficienților. Comparativ s-au atașat și curbele de limită de 20 % și respectiv 50 %.

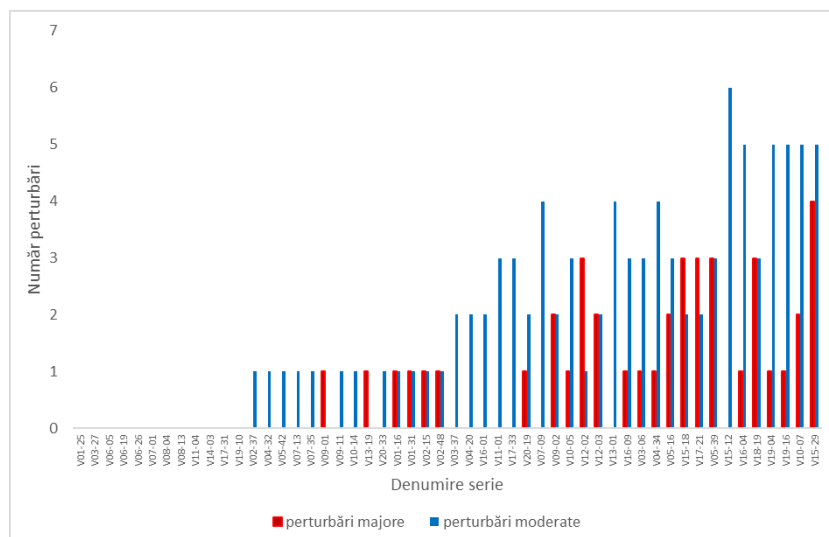


Figura 4.10.2 Reprezentarea numărului de perturbări majore(roșu) și moderate (albastru) pe fiecare arbore

Analizând cele 52 de serii de creștere, s-a remarcat faptul că aproximativ 54 % (28) dintre arbori nu au resimțit nici un eveniment major și respectiv 27 % dintre aceștia, nu au fost afectați moderat de către un eveniment. În total, pe seriile obținute, au fost identificate 41 evenimente majore și 96 evenimente moderate (figura 4.10.2). Totodată, pentru aproape 60 % dintre arborii a fost observată o singură perturbare majoră, în schimb în cazul perturbărilor moderate doar 27 % au prezentat o singură perioadă de creșteri accentuate.

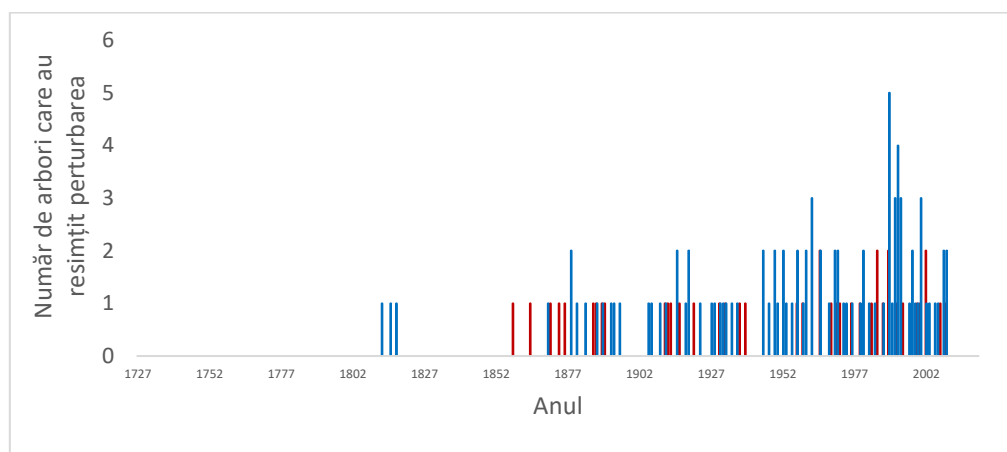


Figura 4.10.3 Reprezentarea anilor în care au fost identificate perturbări majore (roșu) și moderate (albastru)

Din totalul de 294 de ani analizați, în circa 23 % au fost identificate evenimente moderate și în mai puțin de 10 % evenimente majore. Anul în care au fost afectați cei mai mulți arbori este 1989, în care pentru aproximativ 10 % din arbori a fost identificată o perturbare moderată

și pentru doi arbori o perturbare majoră. Dacă ne raportăm la o scară mai mare (la nivel de secole), cea mai afectată este perioada 1900-1999 cu 75 % dintre perturbările moderate și 66 % dintre cele majore, urmată de perioada secolului al XIX-lea (14 % perturbări moderate și 22 % majore) și a secolului al XXI-lea (11 % moderate și 12 % majore). Probabil și datorită replicației foarte mici, pentru perioada secolului al XVIII-lea, nu au fost identificate perturbări (figura 4.10.3). Putem concluziona faptul că nu au fost identificate perturbări care să afecteze toți arborii analizați, evenimentele fiind resimțite mai degrabă la scară mică, și nu s-a putut identifica o frecvență și o recurență clară. Cu toate că spre finalul secolului al XX-lea au fost identificate mai multe evenimente majore sau moderate, acestea nu au reușit să destabilizeze arboretul.

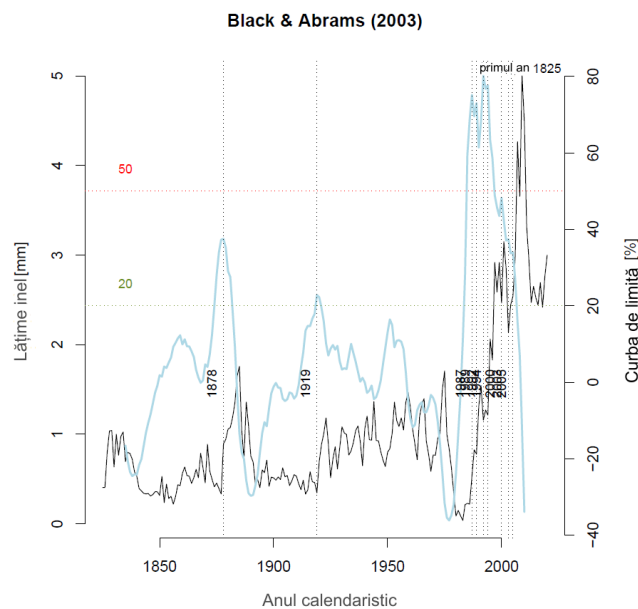


Figura 4.10.4 Seria individuală a arborelui care a fost afectat de cele mai multe perturbări

Seria individuală pe care s-au remarcat cele mai multe perturbări a înregistrat 9 astfel de evenimente în decurs de aproape 200 de ani. De menționat este faptul că majoritatea acestora s-au petrecut la sfârșitul secolului al XX-lea și începutul secolului al XXI-lea. Doar două evenimente din categoria celor moderate s-au petrecut înainte de această perioadă (în anul 1878, cu rate ale creșterii de aproape 40 % și în anul 1919, când s-au înregistrat rate de creștere de aproximativ 20 % (figura 4.10.4).

De menționat este faptul că o parte din rezultate au fost prezentate în Ghidul privind ”Rolul lemnului mort și soluții inovatoare pentru gestionarea durabilă a pădurilor” (Martini et al. 2021) și în articolul ”Inventory of dead wood in managed and old-growth forests on permanent sample plots” (Parpan et al. 2021).

5. Concluzii generale

În prezenta teză de doctorat s-a realizat o analiză comparativă, în raport cu diferite caracteristici ale arboretelor, între arborete naturale și gospodărite. Având în vedere faptul că fiecare ecosistem cu grad ridicat de naturalitate este caracterizat prin particularități structurale sau dimensionale, au fost alese două astfel de arborete naturale din regiuni diferite, pentru a fi comparate cu alte două gospodărite situate în proximitatea primelor menționate. În plus, pentru studiul dinamicii structurii în raport cu diametrul de bază și mărimea suprafeței a fost inclus și un al treilea arboret natural.

În prima parte a lucrării au fost caracterizate arboretele din punct de vedere al compoziției specifice, al statutului și al principalelor caracteristici biometrice (număr de arbori, diametrul mediu, suprafață de bază și volum). Toate arboretele au în compoziția lor trei specii principale (fag, brad și molid) și alte specii ce apar diseminat, diferențele fiind observate la nivelul proporției de participare. Pentru arboretele de la Strâmbu-Băiuț, specia cea mai răspândită atât din punct de vedere al numărului de arbori, cât și în raport cu suprafața de bază este fagul, urmată de brad și molid în proporție mai mică (sub 30% în arboretul natural și sub 15% în arboretul gospodărit). În ceea ce privește arboretele din Ucraina, distribuția speciilor în raport cu numărul de arbori diferă în funcție de modul de gestiune, în sensul că specia principală în arboretul gospodărit este molidul, iar în cel natural este fagul. Proporția de participare a speciilor în raport cu suprafața de bază diferă doar în cazul arboretului natural din Ucraina, unde majoritar se regăsește bradul. Din analiza arborilor inventariați, în raport cu statutul acestora, s-a concluzionat că arborii vii au proporția de participare cea mai mare. De asemenea au fost identificați și arbori din celelalte categorii (morți pe picior), care pe lângă faptul că reprezintă o caracteristică importantă a pădurilor naturale, au și rol de gazdă pentru o gamă largă de vietăți. Din punct de vedere al celor patru parametri structurali analizați (număr de arbori, diametru, volum și suprafață de bază), valorile medii sunt mai mari în arboretele din Ucraina comparativ cu cele din România, și mai mari în arboretele naturale comparativ cu cele gospodărite (excepție făcând numărul mediu de arbori din arboretul gospodărit din Ucraina). Distribuția volumului arborilor vii pe suprafețe este una relativ uniformă, majoritatea valorilor fiind în jurul mediilor.

Pentru descrierea structurii arboretelor s-a utilizat distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre (atât pe specii, cât și pe întregul arboret). S-a constatat astfel faptul că structurile obținute sunt în concordanță cu tipul de gestiune, excepția de la regulă fiind regăsită în arboretul gospodărit de la Strâmbu-Băiuț, unde structura este mai apropiată de cea a unui

arboret plurien. Analiza celor două arborete din punct de vedere al tipului de structură în raport cu mărimea suprafeței a permis identificarea a două tipuri diferite de structură: negativ exponențial pentru arboretul de la Băiuț și respectiv sigmoid rotit pentru cel de la Humosu. Formarea de clase de diametre de mărimi diferite au produs diferențe în primul arboret comparativ cu cel de-al doilea. Condiția de a avea reprezentativitate de peste 95 % a tipului de structură a fost îndeplinit pentru suprafețe mai mari de 8000 m² la Strâmbu-Băiuț și pentru suprafețe mai mari de 2 ha la Humosu.

O altă modalitate de caracterizare a arboretelor din punct de vedere al funcționalității și stabilității este cea a cuantificării diversității structurale. În prezentul studiu gradul de organizare structurală a fost cuantificat prin intermediul a trei indici: SDI (Reineke), indicele Gini și indicele de complexitate structurală (B). Gradul de organizare structurală cuantificat prin indicele Gini indică o heterogenitate mai ridicată în rândul arboretelor naturale, indiferent de regiune. În raport cu indicele complex de diversitate s-a remarcat că arboretele naturale din România au o distribuție majoritar neuniformă iar în cazul pădurilor gospodărite o distribuție omogenă, pe când cele din Ucraina, sunt de la foarte heterogene la neuniforme (cu valori apropiate). Valorile indicelui de densitate Reineke, au arătat faptul că arboretele naturale prezintă capacitatea de a suporta un număr mai mare de arbori, comparativ cu cele gospodărite.

Analiza necromasei din punct de vedere biometric, s-a realizat atât per total, cât și separat pe cele două componente ale sale (lemn mort doborât și lemn mort pe picior), făcând posibilă și stabilirea rolului pe care aceasta îl are în cadrul ecosistemelor forestiere. În primă fază a fost realizată o analiză a celor două componente ale lemnului mort (pe picior sau la sol), pentru fiecare regiune în parte, pe tip de gestiune, precum și pe clase de degradare. Rezultatele arată că în pădurea naturală a fost identificat un volum mai mare de lemn mort comparativ cu cea gospodărită, explicația fiind dată de acțiunile silviculturale de îngrijire aplicate în arboretele gospodărite. Pentru volumul pieselor de lemn mort doborât, diferențele dintre cele două tipuri de gestiune sunt mai mari în arboretele din România (raport de aproximativ 3 la 1) decât cele din Ucraina (raport de 2 la 1), în favoarea arboretelor naturale. Pentru arboretele din România: lemnul mort pe picior reprezintă circa 4,5% din volumul total în pădurea gospodărită și aproximativ 7% în cea naturală; lemnul mort la sol reprezintă aproximativ 16% în cea gospodărită și circa 25% în cea naturală. Pentru arboretele din Ucraina s-au constatat următoarele: lemnul mort pe picior reprezintă 1% din total volum în pădurea gospodărită și

circa 4% în cea naturală; lemnul mort la sol reprezintă 5,7% în cea gospodărită și 7,4% în cea naturală.

Au fost identificați arbori cu vârste mari de până la 334 ani (România) și 294 ani (Ucraina), în pădurile naturale, iar pe baza distribuției numărului de arbori pe clase de vârstă s-au observat diferențe între arborete în ce privește stadiul de dezvoltare în care se află acestea. Cuantificarea rezilienței în raport cu creșterea în suprafața de bază indică faptul că indiferent de modul de gospodărire arboretele prezintă o reziliență ridicată. Analiza în componente principale a permis identificarea modului în care componentele rezilienței sunt influențate de parametrii structurali și de cantitatea de necromasă. În arboretele gospodărite din România reziliența nu este influențată de vreun parametru sau de lemnul mort, comparativ cu cele din Ucraina unde reziliența și revenirea medie sunt influențate de cantitatea de lemn mort, dar și de o serie de parametri (grad de organizare și de diversificare, creșterea în suprafața de bază). În arboretul natural din România reziliența și rezistența medie sunt influențate de cantitatea de lemn mort, iar în arboretul natural din Ucraina, reziliența medie este influențată de cantitatea de lemn mort și de creșterea în suprafața de bază, iar rezistența este influențată de volumul de lemn mort doborât. Analiza simplă a varianței (ANOVA) între componente, indică faptul că gradul de organizare are o influență semnificativă asupra cantității de lemn mort în arboretele din România, gradul de complexitate exprimat prin indicele B, influențează foarte semnificativ cantitatea de lemn mort din arboretele din Ucraina, iar cantitatea de lemn mort nu are o influență semnificativă asupra gradului de reziliență.

Ultimul capitol al lucrării se referă la cuantificarea perturbărilor prin intermediul seriilor de creștere. Din punct de vedere al numărului de evenimente petrecute în cei aproape 300 de ani analizați, acestea totalizează 137: 96 moderate (70 %) și 41 majore (30 %). S-a constatat faptul că în arboretul studiat perturbările sunt rare și de intensitate medie.

Rezultatele obținute în prezenta lucrare, ne indică faptul că, o bună gospodărire a arboretelor a condus la menținerea unui grad ridicat de reziliență și la menținerea unor structuri care să minimizeze impactul factorilor perturbatori.

6. Contribuții originale

Din cercetările efectuate în prezenta teză de doctorat au reieșit următoarele contribuții originale:

- S-a caracterizat structura arboretelor utilizând diferite scheme de inventariere (sistematic și respectiv randomizat);
- S-a realizat simularea formei distribuției experimentale a numărului de arbori pe categorii de diametre în raport cu mărimea suprafeței inventariate folosind diverse scheme de inventariere;
- S-a cuantificat gradul de complexitate al arboretelor studiate utilizând un indicator complex care ține cont de diversitatea specifică, de structura pe verticală, de distribuția spațială și de gradul de diferențiere a coroanelor, pe baza căruia s-a identificat și tipul de structură specific fiecărei zone;
- S-a testat și aplicat o metodă de inventariere a lemnului mort (metoda inventarierii prin transecte), care oferă rezultate satisfăcătoare atât din punct de vedere statistic, cât și din punct de vedere al timpului mai redus al inventarierii;
- S-a cuantificat nivelul rezilienței (la factori climatici) pădurilor naturale și cel al pădurilor gospodărite, precum și modul în care acesta este influențat de parametrii structurali ai arboretelor;
- S-a demonstrat faptul că volumul de lemn mort prezintă o influență mai ridicată asupra gradului de reziliență în cazul pădurilor naturale comparativ cu cele gospodărite;
- S-a realizat cuantificarea evenimentelor perturbatoare prin metoda liniei de limită, aplicată la o scară spațială mare.

7. Bibliografie selectivă

- Alessandrini, A., Biondi, F., Di Filippo, A., Ziaco, E., Piovesan, G., 2011. Tree size distribution at increasing spatial scales converges to the rotated sigmoid curve in two old-growth beech stands of the Italian Apennines. *Forest Ecology and Management*, 262(11), 1950–1962.
- Baker, P. J., Bunyavejchewin, S., Oliver, C. D., Ashton, P. S., 2005. Disturbance history and historical stand dynamics of a seasonal tropical forest in western Thailand. *Ecological Monographs*, 75(3), 317-343.
- Bauhus, J., Forrester, D.I., Pretzsch, H., 2017. Mixed-Species Forests: The development of a forest management paradigm. In: Pretzsch, H., Forrester, D., Bauhus, J. (eds) *Mixed-species forests*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-25.
- Bândiu, C., Smejkal, G. M., Smejkal-Vișoiu, D., 1995. *Pădurea Seculară. Cercetări ecologice în Banat*. Editura Mirton, Timișoara, 160p.
- 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.
- Bouriaud, O., Marin, G., Hervé, J. C., Riedel, T., & Lanz, A., 2020. Estimation methods in the Romanian National Forest Inventory. *Environmental Science, Engineering and Technology*, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York.
- Böhl, J., Brändli, U.-B., 2007: Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. *European Journal Forest Research*, 126: 449-457.
- Cenușă, R., Biriș, I., Clinovschi, F., Barnoaiea, I., Palaghianu, C., Teodosiu, M., 2008. Variabilitatea structurală a pădurii naturale. Studiu de caz: Călimani. *Lucrările Sesiunii Științifice MENER*. UPB, Sinaia, 4-7 septembrie 2008, 451-456
- Chivulescu, S., Ciceu, A., Leca, S., Apostol, B., Popescu, O., Badea O., 2020. Development phases and structural characteristics of the Penteleu Viforâta virgin forest in the curvature carpathians. *IForest*, 13(5), 389–395.
- Cotos, M. G., Radu, I., Roibu, C. C., Cenușă, R. L., 2019. Dinamica perturbărilor din rezervația naturală” Făgetul Secular Humosu” aflată la limita estică a arealului European. *Bucovina Forestieră*, 19(2), 131-138.

- Coomes, D. A., Allen, R. B., 2007. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests. *Journal of Ecology*, 95(1), 27–40.
- Daniel, T.W., Sterba, H., 1980. Zur Ansprache der Bestandesdichte. *Allgemeine Forstzerfung*, 9 (6)1: 155-157.
- Duduman, G., Duduman, M. L., Avăcăriței, D., Barnoaiea, I., Barbu, C. O., Ciornei, I., ... Scriban, R. E., 2020. A Permanent Research Platform for Ecological Studies in Intact Temperate Mountainous Forests from Slătioara UNESCO Site and Its Surroundings, Romania. *Forests*, 11(9), 1004.
- Emborg, J., Christensen, M., Heilmann-Clausen, J., 2000. The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 126, 173–189.
- Enquist, B. J., West, G. B., Brown, J. H., 2009. Extensions and evaluations of a general quantitative theory of forest structure and dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(17), 7046-7051.
- Florescu, I., Chițea, G., Spârchez, G., Dieter, S., Petrițan, I. C., Filipescu, C., 2002. Particularități privind modul de structurare și funcționare a unor ecosisteme forestiere montane cvasivirgine din zona Brașov. *Annals of Forest Research*, 45, 21-30.
- Gadow, K.v., 2005. *Forsteinrichtung: Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip*. Universitätsverlag Göttingen, 342 p.
- Gadow, K. von., Hui, G., 1999. *Modelling Forest Development*. Kluvert Academic Publishers Dordrecht, 213 p.
- Giurgiu, V., 1979. *Dendrometrie și auxologie forestieră*. Editura Ceres, București, România, 126-568.
- Giurgiu, V., 2013. *Pădurile virgine și cvasivirgine ale României*. Editura Academiei Române, București, România, 390 p.
- Goff, F. G., West, D., 1975. Canopy-understory interaction effects on forest population structure. *Forest Science*, 21(2), 98-108.
- Gove, J.-H., Ducey, M., Leak, W., Zhang, L., 2008. Rotated sigmoid structures in managed uneven-aged northern hardwood stands: a look at the Burr Type III distribution. *Forestry*,

81, 161–176.

- Härtl, F., Knoke, T., 2019. Coarse woody debris management with ambiguous chance constrained robust optimization. *Forests*, 10(6), 504.
- Hobi, M. L., Commarmot, B., Bugmann, H., 2015. Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). *Journal of Vegetation Science*, 26(2), 323–336.
- Janowiak, M. K., Nagel, L. M., Webster, C. R., 2008. Spatial Scale and Stand Structure in Northern Hardwood Forests: Implications for Quantifying Diameter Distributions. *Forest Science*, 54(5), 497–506.
- Johnson, E. A., Miyanishi, K., 2007. Disturbance and succession. *Plant Disturbance Ecology—The Process and the Response*, 1-58.
- Kaufman L. H., 1982. Stream aufwuchs accumulation: disturbance frequency and stress resistance and resilience. *Oecologia* 52, 57–63.
- Korpel, S., 1995. *Die Urwalder der WestKarpaten*. G. Fisher-Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 307 p.
- Kucbel, S., Saniga, M., Jaloviar, P., Vencurik, J., 2012. Stand structure and temporal variability in old-growth beech-dominated forests of the northwestern Carpathians: A 40-years perspective. *Forest Ecology and Management*, 264, 125-133.
- Lindenmayer, D. B., Franklin, J. F. 2002. *Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach*. Island press, Washington, USA, 351 p.
- Lloret, F., Keeling, E. G., Sala, A., 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*, 120(12), 1909-1920.
- Lorimer, C. G., Dahir, S. E., Nordheim, E. V., 2001. Tree mortality rates and longevity in mature and old-growth hemlock-hardwood forests. *Journal of Ecology*, 89(6), 960-971.
- Martini, M., (coord), Vlad, R., Melu, R., Călăraș, B., Roibu, C.-C, Cotos, M.-G., Volosyanchuk, R., Vasylyshyn, I., Parpan, T., Krizbaim, M.,(edit), 2021, Ghid privind „Rolul lemnului mort și soluții inovatoare pentru gestionarea durabilă a pădurilor”. Editura Universității „Ștefan cel Mare” Suceava, 47 p.

- Merino, A., Real, C., Álvarez-González, J. G., Rodríguez-Gutián, M. A., 2007. Forest structure and C stocks in natural *Fagus sylvatica* forest in southern Europe: The effects of past management. *Forest Ecology and Management*, 250(3), 206–214.
- Messier, C., Puettmann, K. J., Coates, K. D. (Eds.), 2013. *Managing forests as complex adaptive systems: Building resilience to the challenge of global change*. Routledge, USA, 368 p.
- Meyer, P., Tabaku, V., v. Lüpke, B., 2003. Die Struktur albanischer Rotbuchen-Urwälder–Ableitungen für eine naturnahe Buchenwirtschaft: Structural Characteristics of Albanian Beech (*Fagus sylvatica* L.) Virgin Forests–Deductions for Semi-Natural Forestry. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 122(1), 47-58.
- Nowacki, G. J., & Abrams, M. D. (1997). Radial – growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*, 67, 225–249.
- O'Hara, K. L., 2014. *Multiaged silviculture: managing for complex forest stand structures*. Oxford University Press, USA, 213 p.
- O'Hara, K. L., Ramage, B. S., 2013. Silviculture in an uncertain world: utilizing multi-aged management systems to integrate disturbance. *Forestry*, 86(4), 401-410.
- Oheimb G., von, Westphal, C., Tempel, H., Hardtle, W., 2005. Structural pattern of a near-natural beech forest (*Fagus sylvatica* L.) (Serrahn, North-east Germany). *Forest Ecology and Management*, 212, 253–263.
- Palaghianu, C., 2009. Cercetări privind evaluarea regenerării arboretelor prin mijloace informatice, teză de doctorat, Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava 361 p.
- Paluch, J., Keren, S., Govedar, Z., 2021. The Dinaric Mountains versus the Western Carpathians: Is structural heterogeneity similar in close-to-primeval *Abies–Picea–Fagus* forests?. *European Journal of Forest Research* 140, 209-225.
- Parpan, T. V., Vasylyshyn, I. O., Yunyk, T. R., Falko, R. I., Roibu, C.-C., Cotos, M.-G., Mursa, A., Știrbu, M.-I., Tomescu, C.-V., Simioniuc, V., 2021. Inventory of dead wood in managed and old-growth forests on permanent sample plots. *Forestry and Forest Melioration*, (139), 106–114.

- Parviainen, J., 2005. Virgin and natural forests in the temperate zone of Europe. *Forest Snow and Landscape Research*, 79(1/2), 9-18.
- Petrișan, I. C., Commarmot, B., Hobi, M. L., Petrișan, A. M., Bigler, C., Abrudan, I. V., Rigling, A., 2015. Structural patterns of beech and silver fir suggest stability and resilience of the virgin forest Sinca in the Southern Carpathians, Romania. *Forest Ecology and Management*, 356, 184–195.
- Puletti, N., Canullo, R., Mattioli, W., Gawryś, R., Corona, P., Czerepko, J., 2019. A dataset of forest volume deadwood estimates for Europe. *Annals of Forest Science*, 76(3), 1-8.
- Roibu C.-C., 2010. Cercetări dendrometrice, auxologice și dendrocronologice în făgete din Podișul Sucevei aflate în limita estică a arealului, Teză doctorat, “Universitatea Ștefan cel Mare”, Suceava, 274 p.
- Shannon, C., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal* 27, 623-656.
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., Ashton, P. M. S., Bowersox, T. W. 1997. The practice of silviculture: applied forest ecology (Vol. 9). John Wiley & Sons, Incorporated, New York, USA, 537 p.
- Stiers, M., Willim, K., Seidel, D., Ehbrecht, M., Kabal, M., Ammer, C., Annighöfer, P., 2018. A quantitative comparison of the structural complexity of managed, lately unmanaged and primary European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Forest Ecology and Management*, 430 (August), 357–365.
- Stoiculescu, C., 2013, Cristian. Făgetele virgine din România în context european sub influența schimbărilor climatice., București, 416p.
- Sousa W. P., 1980. The responses of a community to disturbance: the importance of successional age and species life history strategies. *Oecologia* 45, 72–81.
- Splechtna B.E., Gratzner G., Black B.A., 2005. Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest – A spatial dendroecological analysis, *Journal of Vegetation Science* 16 (5), 511–522.
- Știrbu, M. I., Roibu, C. C., Mursa, A., Cotos, M. G., 2018. Strategii de creștere ale pinului

silvestru (*Pinus Sylvestris* L.) cuantificate prin tehnici de anatomia lemnului. In Horticultura, Viticultura și vinificație, Silvicultura și grădini publice, Protecția plantelor Vol. 47, 391-398).

Teodosiu, M., 2014. Evaluarea naturalității și a structurii arboretelor în rezervațiile Pădurea Voievodeasa și Codrul Secular Loben din Obcinele Bucovinei. *Bucovina Forestieră* 14(2), 173-184.

Tilman D., Downing J. A., 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367, 363–365.

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.

Višnjić, Č., Balić, B., Vojniković, S., Mekić, F., Uzunović, A., 2015. Structural characteristics, dynamics and texture development of virgin forest Ravna vala on Bjelašnica. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*, 45(2), 100-112.

Zenner, E. K., Peck, J. E., Hobi, M. L., Commarmot, B., 2016. Validation of a classification protocol: meeting the prospect requirement and ensuring distinctiveness when assigning forest development phases. *Applied Vegetation Science*, 19(3), 541-552.