

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Silvicultură şi Exploatare Forestiere

Ciprian TUDOR

**Caracteristici structurale şi auxologice ale
arboretelor de pin instalate pe terenurile
degradate din Subcarpaţii de Curbură şi
evaluarea unor indicatori de natură fizico-
mecanică ai lemnului**

**Structural and auxological characteristics of
pine stands established on degraded lands in the
Curvature Subcarpathians and the evaluation of
certain physical-mechanical indicators of the
wood**

REZUMAT

Conducător ştiinţific

CS I dr. ing. Nicolae Ovidiu BADEA

Membru corespondent al Academiei Române

BRAŞOV, 2025

LISTA ABREVIERILOR.....	3/3
Prefață.....	7/7
1. INTRODUCERE.....	8/8
2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR	13/9
2.1. Scopul cercetărilor	13/9
2.2. Obiectivele cercetărilor	13/9
3. MATERIALUL ȘI METODA DE CERCETARE	14/10
3.1 Localizarea cercetărilor.....	14/10
3.2 Materialul de cercetare.....	19/14
3.3 Prelucrarea statistică a datelor	30/20
4. REZULTATE	40/23
4.1 Particularitățile structurii arboretelor de pin instalate pe terenuri degradate	40/23
4.2 Evaluarea stării de sănătate ale arboretelor de pin	48/28
4.2.1 Intensitatea defolierii și gradul de uscare al arboretelor	48/28
4.2.2 Stabilirea defectelor arborilor și gradul de vătămare al arboretelor	52/30
4.3 Dinamica proceselor auxologice ale arboretelor de pin cercetate, instalate pe terenurile degradate	55/32
4.3.1 Analiza proceselor auxologice prin intermediul seriilor dendrocronologice de creștere radială	56/32
4.3.2 Modelarea creșterilor radiale, în diametru, în suprafața de bază și în volum	58/34
4.3.3 Modele dendroclimatice pentru speciile de pin de pe terenurile degradate	66/38
4.3.4 Variabilitatea componentelor rezilienței	73/41
4.4 Analiza unor indicatori calitativi ai lemnului de pin de pe terenurile degradate.....	81/43
4.4.1 Particularități privind densitatea lemnului de pin	81/43
4.4.2 Particularități privind rezistența la micro-foraj la speciile de pin	87/46
4.4.3 Particularități privind viteza sunetului la speciile de pin	94/48
5. CONCLUZII	100/50
6. CONTRIBUȚII ORIGINALE	106/55
7. DISEMINAREA REZULTATELOR	108/57
LISTA DE TABELE	110/59
LISTA DE FIGURI	111/60
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	114/62
SCURT REZUMAT	128/65
SHORT ABSTRACT	129/66

LISTA ABREVIERILOR

FD ₃	Etajul fitoclimatic de făgete și gorunete de dealuri
S _s	Zona de silvostepă internă
FD ₁	Etajul fitoclimatic de stejărete și amestecuri de diferite specii de cvercinee din regiunea dealurilor joase și câmpiilor subcolinare
PA	Perimetru de ameliorare
CA	Acronim pentru perimetrul de ameliorare Caciuc-Bârsești
PS	Acronim pentru perimetrul de ameliorare Pârâul Sărat-Valea Sării
RO	Acronim pentru perimetrul de ameliorare Roșoiu-Andreiașu
LI	Acronim pentru perimetrul de ameliorare Livada-Râmnicu Sărat
MU	Acronim pentru perimetrul de ameliorare Murgești
SEP	Suprafața experimentală permanentă
ICAS	Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice
O.S	Ocol silvic
U.P	Unitate de producție
u.a	Unitate amenajistică
B.E	Baza experimentală
Pi, Pi.n, Pa, Fr, Mj, Sc, Ul, Ci, Vi.t, An.a, Dt, Ds	Pi- pin silvestru; Pi.n- pin negru; Pa- paltin de munte; Fr- frasin comun; Mj- mojdrean; Sc- salcâm; Ul-ulm de câmp; Ci-cireș pășăresc; Vi.t- vișin turcesc; An.a- anin alb; Dt-diverse tari; Ds-diverse rășinoase
CA3, CA4, CA5, CA6, CA7, CA8, CA9, CA10, CA11, CA12, CA13	Suprafețe experimentale permanente din perimetrul de ameliorare Caciuc-Bârsești
PS1, PS2, PS3, PS4, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11	Suprafețe experimentale permanente din perimetrul de ameliorare Pârâul Sărat-Valea Sării
RO4, RO7, RO9, RO10	Suprafețe experimentale permanente din perimetrul de ameliorare Roșoiu-Andreiașu
LI6, LI9, LI10, LI12	Suprafețe experimentale permanente din perimetrul de ameliorare Livada-Râmnicu Sărat
MU12, MU17, MU18	Suprafețe experimentale permanente din perimetrul de ameliorare Murgești
TSD	Tipuri de stațiune caracteristice terenurilor degradate

I.C.1.a	Terenuri erodate din regiunea de câmpie sau silvostepă, cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură ușoară sau mijlocie
I.D.1.a	Terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură ușoară sau mijlocie
I.D.1.b	Terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură grea
III.D.1.b	Râpi și taluzuri din regiunea de deal cu substrat molasic format din roci sedimentare neconsolidate sau slab consolidate, regosol sau erodisol cu textură grea
I.D.2.a	Terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune foarte puternică, erodisol cu textură ușoară sau mijlocie
I.D.2.b	Terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune foarte puternică, erodisol cu textură grea
V.D.1.b	Terenuri fugitive din regiunea de deal cu sol deranjat, puternic fragmentat și cruzit
E ₁	Eroziune moderată
E ₂	Eroziune puternică
E ₃	Eroziune foarte puternică
R	Ravenare
Al	Alunecare
d _{1,30m}	Diametrul de bază
h	Înălțimea totală
H	Indicele Camino
G	Indicele Gini
DEF%	Procentul mediu de defoliere
IPCC	Grupul Interguvernamental de Experți privind Schimbările Climatice
MMAP	Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor
G _u	Gradul de uscare mediu
G _v	Gradul de vătămare
R _i	Clasa de uscare
N _s	Nr. arbori sănătoși
N _{sb}	Nr. arbori slab defoliați
N _m	Nr. arbori moderat defoliați
N _p	Nr. arbori puternic defoliați
N _u	Nr. arbori uscați

N_t	Nr. total de arbori eșantionați din primele trei clase poziționale Kraft
V_1, V_2, V_3, V_4	Vătămări cauzate de vânt
Z_1, Z_2, Z_3, Z_4	Vătămări cauzate de zăpadă
d_g	Diametrul mediu al suprafeței de bază
h_g	Înălțimea medie corespunzătoare lui d_g
N	Numărul de arbori
G	Suprafața de bază
V	Volumul unitar
I_N	Indicele de desime
I_G	Indicele de densitate
Cl.P	Clasa de producție
Cl.V	Clasa de vârstă
Beta	Funcția teoretică Beta
Gamma	Funcția teoretică Gamma
χ^2	Testul statistic de conformitate Chi pătrat
K-S	Testul statistic Kolmogorov – Smirnov
Anova	Analiza varianței
Wilcoxon	Analiza rangurilor
r	Coeficient de corelație
R^2	Coeficient de determinație
sd	Abaterea standard
df	Numărul gradelor de libertate
t	Testul statistic Student
F	Testul Fisher (analiza varianței)
ir	Creșterea radială
iv	Creșterea anuală în volum pentru clasa de diametre considerată
i_{r10}	Creșterea radială pe ultimii 10 ani
i_{d10}	Creșterea în diametru pe ultimii 10 ani
i_{g10}	Creșterea în suprafața de bază pe ultimii 10 ani
i_{v10}	Creșterea în volum pe ultimii 10 ani
piv	Procent al creșterii curente în volum
pig	Procent al creșterii în suprafața de bază
$pihf$	Procent al creșterii înălțimii medii reduse
λ	Procent anual al creșterii înălțimii reduse obținut din tabelele de producție, în funcție de vârsta actuală a arboretelor, clasa de producție și specia considerată
CWB	Bilanțul mediu de apă
PET	Evapotranspirația potențială
SPEI	Indicele Standardizat al precipitațiilor-Evapotranspirației

BAI	Creșterea în suprafața de bază
TRW	Lățimea inelului anual
Rt	Rezistența
Rc	Recuperarea
Rs	Reziliența
RWI	Indici reziduali ai inelelor anuale
WD	Densitatea lemnului
$\overline{WD}$	Densitatea medie a lemnului
AGB	Biomasa supraterană
$\overline{AGB}$	Biomasa supraterană medie
C	Stocul de carbon
$\bar{C}$	Stocul mediu de carbon
IML	Instrumenta Mechanik Labor
R	Rezistența la micro-foraj
$\bar{R}$	Rezistența medie la micro-foraj
v	Viteza sunetului
$\bar{v}$	Viteza medie a sunetului

Prefață

În contextul intensificării proceselor de degradare a terenurilor, cauzate atât de factori naturali cât și antropici, necesitatea unor intervenții eficiente de ameliorare ecologică devine tot mai stringentă. În România, la fel ca în multe alte regiuni ale lumii, defrișările istorice, pășunatul excesiv și utilizarea necorespunzătoare a terenurilor au condus la apariția unor suprafețe extinse de terenuri instabile, predispuse la eroziune, alunecări și alte forme de degradare. Aceste procese nu afectează doar capacitatea productivă a terenurilor, ci și echilibrul ecologic al întregii zone. Împădurirea terenurilor degradate s-a impus, în decursul ultimului secol, ca una dintre cele mai eficiente metode de combatere a acestor fenomene. În mod particular, utilizarea speciilor de pin a oferit soluții viabile pentru stabilizarea și ameliorarea terenurilor afectate. Succesul acestor acțiuni a fost demonstrat printr-o vastă experiență acumulată în România, în special în perioada postbelică, în cadrul unor proiecte ample de reîmpădurire și reconstrucție ecologică. Teza de doctorat „Caracteristici structurale și auxologice ale arboretelor de pin instalate pe terenurile degradate din Subcarpații de Curbură și evaluarea unor indicatori de natură fizico-mecanică ai lemnului”, își propune să investigheze, printr-o abordare științifică riguroasă, eficiența speciilor de pin în procesul de restaurare a vegetației forestiere pe terenurilor degradate, având ca punct central analiza structurii și auxologiei arborilor și arboretelor de pin, a rezilienței climatice în condițiile unor factori de stres precum și crearea unor premise de cercetare pe baza investigării unor indicatori calitativi de natură fizico-mecanică. Lucrarea își propune, de asemenea, să contribuie la îmbunătățirea modelelor actuale de gestionare silvică în zonele vulnerabile, oferind perspective aplicative pentru politicile de mediu și pentru promovarea și dezvoltarea unei silviculturi durabile.

Îndeplinirea acestor obiective nu ar fi fost posibilă fără sprijinul necondiționat și îndrumarea competentă a conducătorului științific, CS I dr. ing. Nicolae Ovidiu Badea, membru corespondent al Academiei Române. Pe această cale, îi adresez întreaga mea recunoștință pentru susținerea continuă, generozitatea, răbdarea și profesionalismul de care a dat dovadă pe parcursul întregii perioade de elaborare a tezei de doctorat, dar și pentru contribuția fundamentală la formarea mea profesională în domeniul științei ameliorațiilor silvice. De asemenea, aduc mulțumiri deosebite domnului Prof. dr. ing. Lucian Curtu, decan al Facultății de Silvicultură și Exploatare Forestiere din Brașov, pentru exigența dovedită în derularea eficientă și într-un elevat a pregătirii în cadrul programului doctoral la nivelul facultății dar și pentru acceptarea calității de președinte al Comisiei de susținere publică a tezei de doctorat. Mulțumesc de asemenea, domnilor CSI dr. Ionel Popa, Prof. dr. Cătălin Roibu și Prof. dr. Florin Hălălișan pentru faptul că au acceptat să fie nominalizați în Comisia de analiză și de susținere publică a tezei de doctorat.

Alese mulțumiri adresez domnului Prof. dr. Gheorghe Marian Tudoran, Prof. dr. Florin Dinulică și CSI dr. Șerban Octavian Davidescu pentru sprijinul neconținut acordat în cadrul pregătirii doctoratului, susținerii rapoartelor de cercetare și analizei în ședințele de presusținere preliminară și de presusținere publică a tezei de doctorat. Mulțumiri sincere adresez colegilor mei din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea” (INCDS), în mod deosebit domnilor CS II dr. ing. Cristinel Constandache, CS I dr. ing. Radu Vlad, CS III ing. Laurențiu Popovici, CS III dr. ing. Andrei Popa, CS III ing. Gheorghe Ștefan, pentru sprijinul acordat în fazele de derulare ale cercetărilor.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele pentru susținerea morală, înțelegerea și pentru sfaturile acordate, în scopul redobândirii încrederii de sine în unele momente dificile.

1. INTRODUCERE

Prevenirea și combaterea degradării terenurilor reprezintă o preocupare majoră la nivel european și global. În România, la sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, defrișările și pășunatul abuziv au dus la apariția unor suprafețe extinse de terenuri degradate, afectate de eroziune și alunecări de teren, în special în zonele cu pante mari (Silvestru-Grigore et al., 2016). Speciile de pin, datorită exigențelor ecologice reduse față de condițiile pedoclimatice și staționale, au fost folosite cu succes la împădurirea terenurilor degradate, acționând ca specii pioniere și factori de stabilizare (Șofletea și Curtu, 2007). Pinul contribuie nu doar la ameliorarea solului, ci și la creșterea biodiversității prin facilitarea instalării altor specii forestiere (Constandache, 2019). În România, aproximativ 300.000 ha de terenuri degradate au fost împădurite cu pin silvestru, pin negru și salcâm până în anul 2008, cele mai multe lucrări având loc între anii 1948–1965, pe circa 75.000 ha (Traci și Costin, 1966). S-a constatat că amestecurile de pin cu foioase sunt mai eficiente decât culturile pure, în special în zona de silvostepă internă (Constandache, 2003).

Începând cu anul 1913, zona Subcarpaților Vrancei a fost afectată de fenomene majore de degradare a terenurilor prin eroziune care au condus la modificări ale reliefului și microclimatului (Constandache et al., 2010). Monitorizarea terenurilor degradate și acțiunile de împădurire au avut un rol important în reintroducerea acestor terenuri în circuitul silvic și în sporirea serviciilor ecosistemice la nivel național (Constandache et al., 2006). Culturile forestiere de pin contribuie la protejarea obiectivelor socio-culturale prin atenuarea efectelor ploilor torențiale, prevenirea și controlul eroziunii precum și influența pozitivă asupra microclimatului. (Silvestru-Grigore et al., 2016).

Evaluarea structurii arboretelor impune analiza arborilor individuali în funcție de dimensiuni, vârstă, creștere și condiții staționale (Kaźmierczak și Zawieja, 2016). Cercetările actuale valorifică modele matematice bazate pe imagini aerospațiale captate cu drone pentru estimarea parametrilor biometrici (Tudoran et al., 2021). Datorită complexității interacțiunilor dintre arbori, dinamica structurală este eficient modelată prin relațiile de competiție și de influență reciprocă dintre arborii vecini (Muth și Bazzaz, 2003). În arboretele instalate pe terenurile degradate, evoluția structurală este influențată negativ de factorii abiotici vătămători, favorizând destabilizarea echilibrului dinamic al ecosistemelor forestiere (Vlad și Constandache, 2014).

Starea de sănătate a ecosistemelor forestiere este determinată de potențialul stațiunii de a susține cerințele ecologice ale speciilor instalate (Giurgiu, 1979). Funcțiile eco-protective ale arboretelor de pin instalate pe terenuri degradate depind de structura și vitalitatea acestora (Vacek et al., 2023). În contextul actual, intensificarea perturbanțelor naturale generează dezechilibre structurale, cu pierderi importante la nivelul fusului și al coroanei arborilor (Viljur et al., 2022).

Încălzirea climatică accentuată din ultimii ani a contribuit indirect la creșterea mortalității în pinetele afectate (Rebetez și Dobbertain, 2004). Factorii abiotici severi (secetă, vânt, zăpadă) afectează culturile de pin din afara arealului natural, reducând capacitatea de creștere și impunând măsuri de reconstrucție ecologică (Constandache et al., 2017). Monitorizarea creșterii radiale evidențiază scăderi semnificative corelate cu intensitatea vătămării, ceea ce subliniază necesitatea unor intervenții silvotehnice complexe pentru menținerea stabilității și funcționalității ecosistemelor forestiere (Badea și Tănase, 2004). Schimbările climatice, caracterizate prin scăderea precipitațiilor și creșterea frecvenței secetelor, afectează negativ dinamica de creștere și stabilitatea arboretelor (Carnicer et al.,

2011), în special în stațiuni joase și aride (Sumner et al., 2003). Influența factorilor edafo-climatici asupra lățimii inelului anual reflectă variațiile anuale ale creșterii și acumulării masei lemnoase. Modelele dendroclimatice prevăd pierderi semnificative de productivitate pentru molid, creșterea pinilor fiind mai puțin afectată de factorii de stres (precipitații, temperatură) (Vacek et al., 2021) Speciile de pin răspund variabil la schimbările climatice, în special în regiunile aride, unde secetele prelungite determină scăderea ratei de creștere și a productivității, cu tendințe de migrare altitudinală și latitudinală (Martín-Benito et al., 2010). În zona de silvostepă a Europei de Est, plantațiile de pin oferă un cadru relevant pentru investigarea creșterii radiale în relație cu variabilitatea climatică, impactul antropic precum și condițiile ecologice și fitocenotice ale arboretelor (Matveev, 2003).

Variabilitatea climatică accentuată și frecvența tot mai mare a episoadelor extreme care induc seceta, afectează reziliența ecosistemelor forestiere (IPCC, 2007), determinând scăderi ale creșterii și potențiale schimbări structurale (Folke et al., 2004). Analizele dendrocronologice oferă un instrument valoros pentru evaluarea rezilienței arborilor, prin interpretarea inelelor anuale ca răspuns la stresul climatic (Lloret et al., 2011). Răspunsul pinului negru la schimbările climatice a evidențiat sensibilitatea creșterii acestuia la evenimente climatice extreme (Loustau et al., 2005), în special la disponibilitatea de apă redusă din sezonul de vegetație, productivitatea fiind limitată în aceste condiții (Móricz et al., 2018).

Cunoașterea calității lemnului este importantă din mai multe perspective esențiale, atât științifice, cât și economice și ecologice (Beldeanu, 2008). Densitatea lemnului a avut un rol fundamental în crearea ecuațiilor de estimare a biomasei și carbonului (Wiemann și Williamson, 2013), în studiile de ecologie funcțională precum și în selecția genetică a materialului forestier (Sprague et al., 1983). Tehnologiile moderne aplicate asupra controlului calității lemnului au permis detectarea timpurie a defectelor interne și estimarea proprietăților intrinseci (rigiditate, rezistență) ale lemnului pe picior (Bucur, 2023). Evoluția în timp a acestora a contribuit la cunoașterea calității lemnului în structura sa internă, oferind noi premise de cercetare asupra gestiunii durabile a ecosistemelor forestiere din punct de vedere al calității acestora (Wang et al., 2007).

2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR

2.1. Scopul cercetărilor

Scopul cercetărilor realizate cu ocazia elaborării tezei de doctorat intitulată „Caracteristici structurale și auxologice ale arboretelor de pin instalate pe terenurile degradate din Subcarpații de Curbură și evaluarea unor indicatori de natură fizico-mecanică ai lemnului” este acela de a *asigura un management durabil al arboretelor de pin situate pe terenurile degradate din Subcarpații de Curbură, pe baza analizei potențialului creșterilor radiale, a evaluării stării de sănătate a arboretelor precum și a unor indicatori calitativi de natură fizico-mecanică ai lemnului.*

2.2. Obiectivele cercetărilor

Pentru îndeplinirea scopului cercetărilor efectuate, s-au stabilit următoarele obiective științifice generale :

OG1. Analiza structurii arboretelor de pin;

OG2. Diagnosticarea stării de sănătate ale arboretelor de pin;

OG3. Dinamica proceselor de creștere în arborete de pin pe terenuri degradate;

OG4. Reziliența arboretelor de pin la schimbările climatice;

OG5. Cuantificarea unor indicatori de natură fizico-mecanică ai lemnului de pin.

3. MATERIALUL ȘI METODA DE CERCETARE

3.1 Localizarea cercetărilor

Cercetările s-au efectuat în pinetele de pe terenurile degradate din zona central-estică a Subcarpaților de Curbură, cuprinzând Subcarpații Vrancei și ai Buzăului (Figura 3.1), areale cu o largă răspandire a proceselor de degradare.

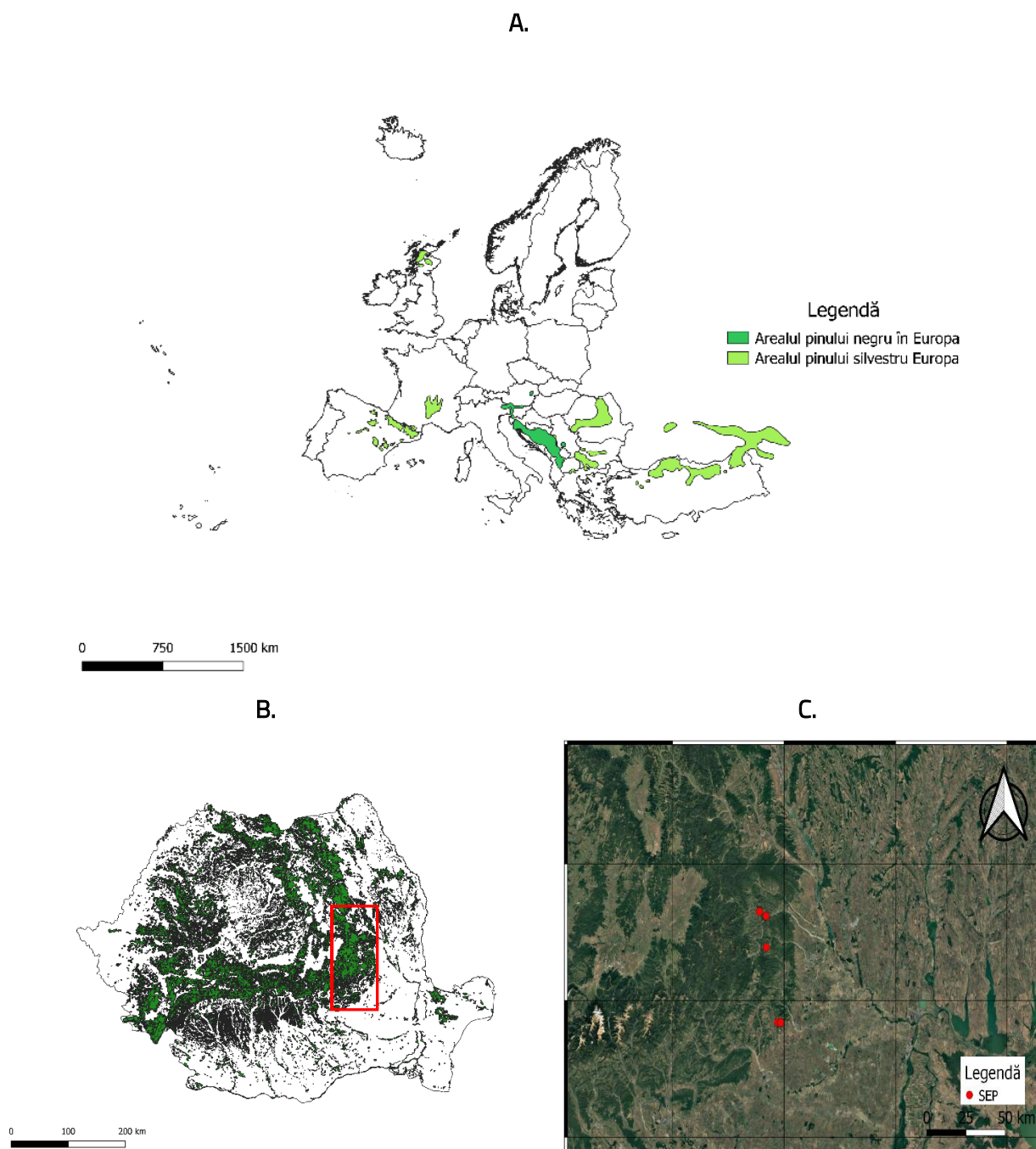


Figura 3.1 Localizarea cercetărilor: A. Distribuția arealului natural al speciilor de pin silvestru și pin negru în Europa (Euforgen, 2008); B. Suprafața ocupată de păduri în România (în caseta roșie zona studiată); C. Suprafețele experimentale permanente în care s-au efectuat cercetările.

În Subcarpații Vrancei, în etajul fitoclimatic de făgete și gorunete de dealuri (FD_3), cercetările au fost efectuate în trei perimetre de ameliorare (PA): Caci-Bârsești (CA) ($45^{\circ}55'19.69''N$, $26^{\circ}44'44.74''E$), Pârâul Sărat-Valea Sării (PS) ($45^{\circ}52'35.57''N$, $26^{\circ}47'51.97''E$) și Roșoiu-Andreiașu (RO) ($45^{\circ}44'56.24''N$, $26^{\circ}49'55.96''E$).

În Subcarpații Buzăului, în zona de silvostepă internă (S_s) și în etajul fitoclimatic al cvercetelor de deal (FD_1), cercetările au fost efectuate în două perimetre de ameliorare: (PA) Livada-Râmnicu Sărat (LI) ($45^{\circ}23'55.78''N$, $26^{\circ}55'29.49''E$) și Murgești (MU) ($45^{\circ}23'39.43''N$, $26^{\circ}53'30.86''E$).

Perimetrul de ameliorare Caci – Bârsești (CA) cuprinde terenuri puternic la excesiv erodate, formate pe substraturi complexe de marne și gresii, unde s-au experimentat în trecut culturi de pin în amestec cu specii de arbuști, cu rol în stabilizarea terenurilor degradate (Figura 3.2).



Figura 3.2 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Caci-Bârsești.

Perimetrul de ameliorare Pârâul Sărat-Valea Sării (PS) cuprinde terenuri foarte puternic erodate, formate pe substraturi complexe de marne argiloase cu gresii oblic stratificate, șisturi marnoase și argiloase, unde s-au experimentat în trecut culturi de pin pure sau în amestec cu specii foioase (Figura 3.3).

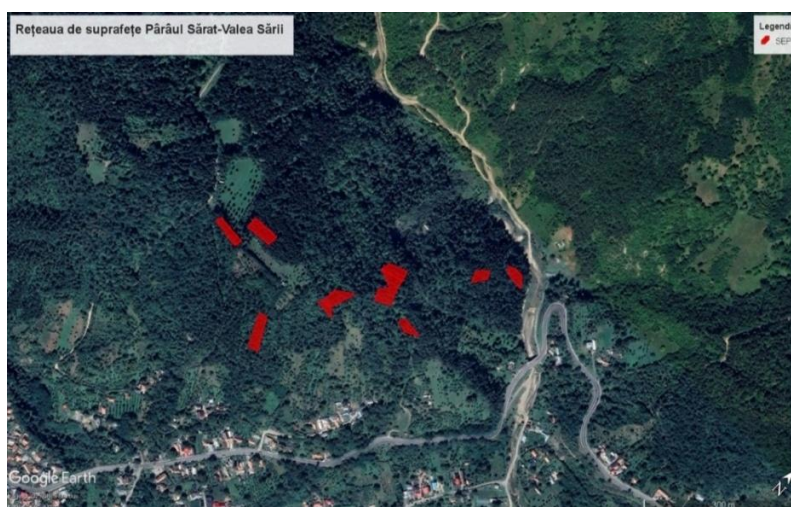


Figura 3.3 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Pârâul-Sărat-Valea Sării.

Perimetrul de ameliorare Roșoiu-Andreiașu (RO) cuprinde terenuri puternic la excesiv erodate, formate pe substraturi din complexe de marne, gresii și ghips, unde s-au experimentat în trecut culturi din specii ombrofile (brad, fag) (Figura 3.4).



Figura 3.4 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Roșoiu-Andrieașu.

Perimetrul de ameliorare Livada-Râmnicu Sărat (LI) (zona de silvostepă internă- S_s) cuprinde terenuri moderat erodate, ravenate și alunecătoare formate pe substraturi de loess și nisipuri în alternanță cu argile, unde s-au experimentat în trecut culturi de pin pure sau în amestec cu specii de foioase (Figura 3.5).



Figura 3.5 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Livada-Râmnicu Sărat.

Perimetrul de ameliorare Murgești (MU) (etajul fitoclimatic FD_1) cuprinde terenuri alunecătoare, formate pe substraturi de nisipuri, pietrișuri, marne și argile de vârstă levantină. În trecut, pe aceste terenuri s-au experimentat culturi de pin pure sau în amestec cu specii de foioase (Figura 3.6).

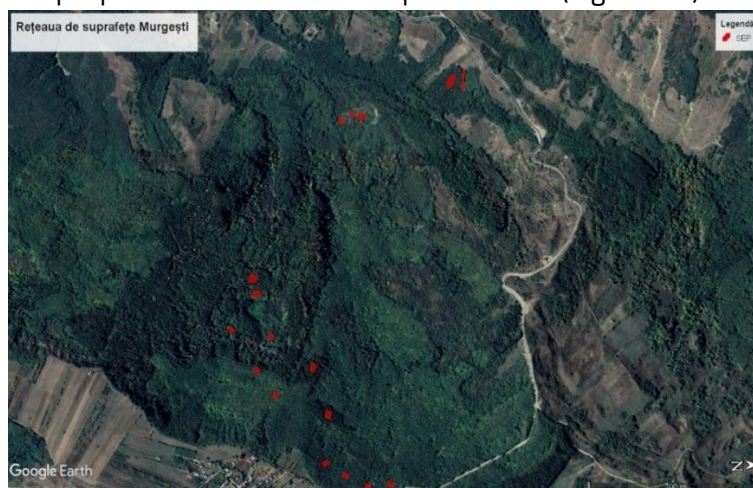


Figura 3.6 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Murgești.

Date climatice

Baza de date climatică reprezentând seriile lunare ale temperaturii (media, minima și maxima) și precipitațiilor, au fost descărcate din platforma online Climate Explorer, pentru perioada 1901-2020, la o rezoluție geospațială de 5 x 5 km (<https://climexp.knmi.nl/>).

Ulterior, baza de date climatică a fost integrată în climatograme de tip Walter and Lieth (fig. 3.7, fig. 3.8). Seriile climatice lunare s-au analizat pentru perioada 1960-2020.

Prin interpolare, seriile climatice din zona de silvostepă internă (S_s) și din etajul fitoclimatic FD_1 au fost similare, acestea fiind ulterior integrate într-o singură climatogramă (Figura 3.8).

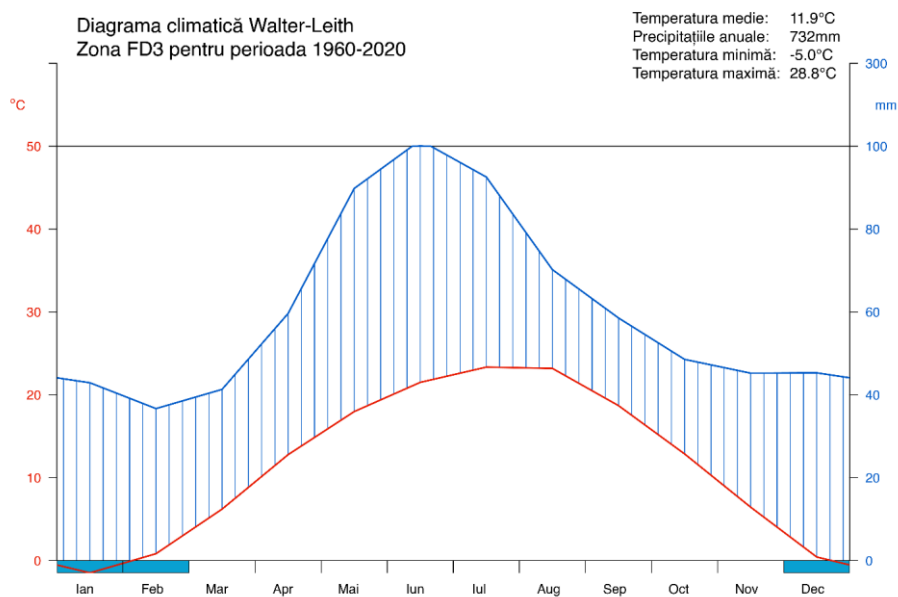


Figura 3.7 Climatograma corespunzătoare etajului fitoclimatic FD_3 (după Walter și Lieth, 1967).

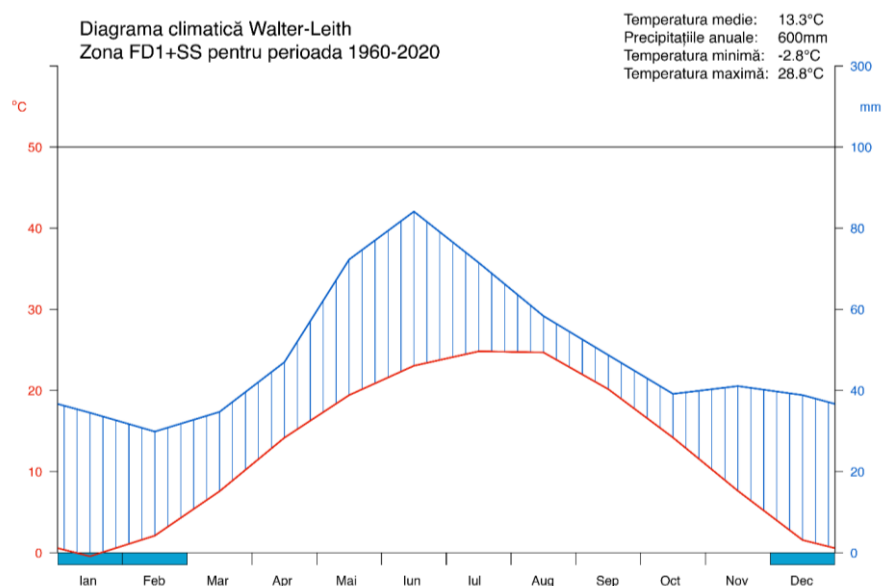


Figura 3.8 Climatograma corespunzătoare zonei de silvostepă și a etajului fitoclimatic FD_1 (după Walter și Lieth, 1967).

3.2 Materialul de cercetare

Rețeaua de suprafețe experimentale

Cercetările au fost realizate într-o rețea de suprafețe experimentale permanente (SEP), monitorizate încă din anul 1950, cuprinzând arborete reprezentative de pin silvestru (*Pinus sylvestris* L.) și pin negru (*Pinus nigra* Arn. ssp. *nigra*). Cu ocazia cercetărilor, au fost reinventariate integral 32 de suprafețe experimentale permanente (SEP), acestea având forme și dimensiuni variabile (Tabelul 3.1), suprafața totală inventariată fiind de 3,00 ha.

Tabelul 3.1 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente

Perim.de ameliorare	Codul suprafeței de cercetare Aria suprafeței (m ²)	Criterii de arondare silvică O.S/B.E, U.P, u.a	**Compoziția actuală a arboretului (după N)	Vârsta arboretului (în anul 2025)	Coordonate GPS (WGS84)		
					Latitudine	Longitudine	Altitudine
Caciu-Bârsești	<u>CA3</u> 415,00	Vidra, III Valea Sării, 151B	52Pi38Pi.n10Dt	51	45°54'26.76"N	26°45'21.57"E	470
Caciu-Bârsești	<u>CA4</u> 577,00	Vidra, III Valea Sării, 151B	42Pi57Pi.n1Mj	51	45°54'25.52"N	26°45'23.93"E	470
Caciu-Bârsești	<u>CA5</u> 422,00	Vidra, III Valea Sării, 151B	42Pi55Pi.n3An.a	51	45°54'26.43"N	26°45'22.08"E	470
Caciu-Bârsești	<u>CA6</u> 578,00	Vidra, III Valea Sării, 151B	29Pi69Pi.n2Dt	51	45°54'29.83"N	26°45'18.27"E	427
Caciu-Bârsești	<u>CA7</u> 2517,00	Vidra, III Valea Sării, 151B	84Pi14Pi.n2Mj	51	45°54'30.91"N	26°45'19.00"E	406
Caciu-Bârsești	<u>CA8</u> 712,00	Vidra, III Valea Sării, 153	89Pi11Pi.n	51	45°54'34.75"N	26°45'22.35"E	424
Caciu-Bârsești	<u>CA9</u> 757,00	Vidra, III Valea Sării, 153	26Pi73Pi.n1Sc	50	45°54'37.14"N	26°45'20.39"E	411
Caciu-Bârsești	<u>CA10</u> 650,00	Vidra, III Valea Sării, 153	37Pi53Pi.n10Mj	50	45°54'38.28"N	26°45'21.72"E	412
Caciu-Bârsești	<u>CA11</u> 846,00	Vidra, III Valea Sării, 153	28Pi72Pi.n	50	45°54'44.03"N	26°45'24.77"E	426
Caciu-Bârsești	<u>CA12 *</u> 1387,00	Vidra, III Valea	75Pi25Pi.n	50	45°54'34.82"N	26°45'14.26"E	428

Perim.de ameliorare	Codul suprafeței de cercetare Aria suprafeței (m²)	Criterii de arondare silvică O.S/B.E, U.P, u.a	**Compoziția actuală a arboretului (după N)	Vârsta arboretului (în anul 2025)	Coordonate GPS (WGS84)		
					Latitudine	Longitudine	Altitudine
		Sării, 135D					
Caciu- Bârsești	CA13 * 1139,00	Vidra, III Valea Sării, 134B	64Pi28Pi.n7An.a 1Dt	50	45°54'39.55"N	26°45'17.19"E	458
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS1 693,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	39Pi44Pi.n17Dt	68	45°53'22.82"N	26°48'36.89"E	306
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS2 584,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	88Pi12Dt	66	45°53'21.02"N	26°48'34.65"E	311
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS3 523,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	86Pi14Dt	64	45°53'15.48"N	26°48'33.50"E	367
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS4 719,00	Vidra, III Valea Sării, 101A	24Pi58Ci18Dt	64	45°53'17.21"N	26°48'29.02"E	384
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS6 943,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	53Ci27Pi4Pi.n16Dt	65	45°53'15.63"N	26°48'29.70"E	384
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS7 870,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	53Pi31Ci14Pi.n2Dt	64	45°53'13.09"N	26°48'26.04"E	429
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS8 307,00	Vidra, III Valea Sării, 102A	89Pi7Pi.n4Ci	64	45°53'12.63"N	26°48'26.69"E	429
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS9 1116,00	Vidra, III Valea Sării, 101A	6Pi92Pi.n2Vi.t	70	45°53'13.15"N	26°48'18.49"E	431
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS10 749,00	Vidra, III Valea Sării, 102B	100Pi.n	70	45°53'12.09"N	26°48'16.49"E	414
Pârâul Sărat- VI.Sării	PS11 1220,00	Vidra, III Valea	77Pi13Mj9Pi.n	55	45°53'7.90"N	26°48'23.90"E	414

Perim.de ameliorare	Codul suprafeței de cercetare Aria suprafeței (m²)	Criterii de arondare silvică O.S/B.E, U.P, u.a	**Compoziția actuală a arboretului (după N)	Vârsta arboretului (în anul 2025)	Coordonate GPS (WGS84)		
					Latitudine	Longitudine	Altitudine
		Sării, 102B					
Roșoiu- Andreiașu	<u>R04</u> 719,00	Focșani, IV Stoichița, 87A	66Pi32Pi.n 2Ci	64	45°44'46.14"N	26°48'49.32"E	445
Roșoiu- Andreiașu	<u>R07</u> 716,00	Focșani, IV Stoichița, 87A	20Pi80Pa	64	45°44'50.19"N	26°48'40.53"E	464
Roșoiu- Andreiașu	<u>R09</u> 1116,00	Focșani, IV Stoichița, 86A	8Pi74Pi.n18Dt	64	45°44'39.89"N	26°48'38.86"E	499
Roșoiu- Andreiașu	<u>R010</u> 749,00	Focșani, IV Stoichița, 86A	83Pi17Dt	63	45°44'39.84"N	26°48'38.49"E	499
Livada- Rm.Sărat	<u>LI6</u> 1530,00	Râmnicu- Sărat, II Dedulești, 20	60Pi20UI10Dt10Dr	77	45°23'52.35"N	26°55'29.87"E	514
Livada- Rm.Sărat	<u>LI9</u> 740,00	Râmnicu- Sărat, II Dedulești, 20	80Pi.n10Mj10Dt	74	45°23'48.11"N	26°55'30.64"E	516
Livada- Rm.Sărat	<u>LI10</u> 2270,00	Râmnicu- Sărat, II Dedulești, 20	52Pi48Dt	69	45°23'48.96"N	26°55'29.42"E	527
Livada- Rm.Sărat	<u>LI12</u> 2460,00	Râmnicu- Sărat, II Dedulești, 20	95Pi.n5Dt	75	45°23'54.52"N	26°55'36.43"E	478
Murgești	<u>MU12</u> 1000,00	Râmnicu- Sărat, I Câlnău, 79A	48Pi39Mj12Fr	56	45°24'0.42"N	26°53'59.51"E	366
Murgești	<u>MU17</u> 550,00	Râmnicu- Sărat, I Câlnău, 81H	100Pi.n	56	45°23'45.72"N	26°54'56.98"E	484
Murgești	<u>MU18</u> 560,00	Râmnicu- Sărat, I	100Pi	58	45°23'43.54"N	26°54'49.34"E	465

Perim.de ameliorare	Codul	Criterii de arondare silvică O.S/B.E, U.P, u.a	**Compoziția actuală a arboretului (după N)	Vârsta arboretului (în anul 2025)	Coordonate GPS (WGS84)		
	suprafeței de cercetare				Latitudine	Longitudine	Altitudine
	Aria suprafeței (m ²)						
		Câlnău, 81G					

Notă: *) suprafețe experimentale noi, instalate în anul 2019.

****) Simboluri specii forestiere:** O.S- ocol silvic; B.E- bază experimentală; U.P- unitate de producție; u.a- unitate amenajistică; N- numărul de arbori; Pa - paltin de munte; Fr-frasin comun; Mj- mojdrean; Sc- salcâm; Ul-ulm de câmp; Ci-cireș păsăresc; Vi.t- vișin turcesc; An.a- anin alb; Pi- pin silvestru; Pi.n-pin negru; Dt-diverse tari; Dr-diverse rășinoase.

Semnificația simbolurilor:

- CA3, CA4, CA5, CA6, CA7, CA8, CA9, CA10, CA11, CA12, CA13- suprafețe experimentale permanente, unde "CA"-acronim pentru perimetrul de ameliorare Caci-Bârsești, iar 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13- reprezintă numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente;

- PS1, PS2, PS3, PS4, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11- suprafețe experimentale permanente, unde "PS"- acronim pentru perimetrul de ameliorare Pârâul Sărat-Valea Sării, iar 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11- reprezintă numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente;

- RO4, RO7, RO9, RO10- suprafețe experimentale permanente, unde "RO"- acronim pentru perimetrul de ameliorare Roșoiu-Andreiașu, iar 4, 7, 9, 10- reprezintă numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente;

- LI6, LI9, LI10, LI12- suprafețe experimentale permanente, unde "LI"- acronim pentru perimetrul de ameliorare Livada-Râmnicu Sărat, iar 6, 9, 10, 12- reprezintă numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente;

-MU12, MU17, MU18- suprafețe experimentale permanente, unde "MU"- acronim pentru perimetrul de ameliorare Murgești, iar 12, 17, 18- reprezintă numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente.

Alegerea unor forme neregulate și dimensiuni variabile pentru suprafețele experimentale s-a bazat pe caracteristicile specifice ale terenurilor degradate. Conturul fiecărei suprafețe delimitează cu precizie tipul și intensitatea degradării, iar cartarea stațională, definită prin unități staționale unice în timp și spațiu, reflectă fidel condițiile staționale *in situ*.

Baza de date istorică cu privire la constituirea rețelei de suprafețe experimentale permanente s-a preluat din arhiva Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice (ICAS), realizată în perioada 1985-2020 (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2 Cartarea stațională a suprafețelor experimentale studiate

Perim. de ameliorare	Sup. exp	Alt. (m)	Încl. (°)	Expoziția vers.	Natura Deg.	Intens. Deg.	Cat.de teren degr.	Etaj fitoc.	TSD	Anul instalării
Caci-Bârsești	CA3	470	35	NV	Eroz.pluvială în adâncime	R	Râpi și taluzuri	FD ₃	III.D.1.b	1977
Caci-Bârsești	CA4	470	35	NV	Eroz.pluvială în adâncime	R	Râpi și taluzuri	FD ₃	III.D.1.b	1977
Caci-Bârsești	CA5	470	25	NV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1977
Caci-Bârsești	CA6	427	35	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1977
Caci-Bârsești	CA7	406	40	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1977
Caci-Bârsești	CA8	424	40	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1977

Perim. de ameliorare	Sup. exp	Alt. (m)	Încl. (°)	Expoziția vers.	Natura Deg.	Intens. Deg.	Cat.de teren degr.	Etaj fitoc.	TSD	Anul instalării
Caciu-Bârsești	CA9	411	40	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1978
Caciu-Bârsești	CA10	412	35	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1978
Caciu-Bârsești	CA11	426	25	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1978
Caciu-Bârsești	CA12*	428	15	SE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1978
Caciu-Bârsești	CA13*	458	25	SE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1978
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS1	306	30	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1960
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS2	311	25	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1962
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS3	367	20	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1964
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS4	384	25	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1964
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS5	384	30	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1964
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS7	429	25	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1964
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS8	431	30	S	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	FD ₃	I.D.1.a	1964
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS9	414	15	NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	FD ₃	I.D.1.b	1958
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS10	414	5	NV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	FD ₃	I.D.1.b	1958
Pârâul Sărat-VI.Sării	PS11	412	35	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.a	1973
Roșoiu-Andreiașu	RO4	464	25	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₂	Teren erodat	FD ₃	I.D.1.a	1964
Roșoiu-Andreiașu	RO7	499	10	SV	Eroz.pluvială în suprafață	E ₂	Teren erodat	FD ₃	I.D.1.a	1964
Roșoiu-Andreiașu	RO9	499	25	SE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.D.2.b	1964
Roșoiu-Andreiașu	RO10	514	25	SE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₃	Teren erodat	FD ₃	I.M1.2.b	1965

Perim. de ameliorare	Sup. exp	Alt. (m)	Încl. (°)	Expoziția vers.	Natura Deg.	Intens. Deg.	Cat.de teren degr.	Etaj fitoc.	TSD	Anul instalării
Livada-Rm.Sărat	LI6	516	15	E-NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₂	Teren erodat	S _s	I.C.1.a	1951
Livada-Rm.Sărat	LI9	527	5	E-NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	S _s	I.C.1.a	1954
Livada-Rm.Sărat	LI10	478	5	E-NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	S _s	I.C.1.a	1959
Livada-Rm.Sărat	LI12	366	10	E-NE	Eroz.pluvială în suprafață	E ₁	Teren erodat	S _s	I.C.1.a	1953
Murgești	MU12	484	20	SE	Eroz.pluvială în adâncime	AI	Teren fugitiv	FD ₁	V.D.1.b	1972
Murgești	MU17	465	10	V	Eroz.pluvială în adâncime	AI	Teren fugitiv	FD ₁	V.D.1.b	1972
Murgești	MU18	470	15	NV	Eroz.pluvială în adâncime	AI	Teren fugitiv	FD ₁	V.D.1.b	1970

Notă: *) suprafețe experimentale noi, instalate în anul 2020.

Semnificația simbolurilor: E₁- eroziune moderată; E₂- eroziune puternică; E₃- eroziune foarte puternică; R- ravenare; AI- alunecare puternic fragmentată (după Ciortuz și Păcurar, 2004); TSD- tipuri de stațiune caracteristice terenurilor degradate (încadrarea după Ciortuz și Păcurar, 2004): I.C.1.a- terenuri erodate din regiunea de câmpie sau silvostepă, cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură ușoară sau mijlocie; I.D.1.a- terenuri erodate din regiunea de deal, cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură ușoară sau mijlocie; I.D.1.b- terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune moderată și puternică, sol erodat cu textură grea; III.D.1.b- râpi și taluzuri din regiunea de deal cu substrat molasic format din roci sedimentare neconsolidate sau slab consolidate, regosol sau erodisol cu textură grea; I.D.2.a- terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune foarte puternică, erodisol cu textură ușoară sau mijlocie; I.D.2.b- terenuri erodate din regiunea de deal cu eroziune foarte puternică, erodisol cu textură grea; V.D.1.b- terenuri fugitive (alunecătoare) din regiunea de deal cu sol deranjat, puternic fragmentat și cruzit.

Cu ocazia reinventarierii, au fost respectate și aplicate procedurile standard privind materializarea suprafețelor experimentale și a arborilor din cadrul acestora. Colectarea datelor din teren a fost realizată la nivel de arbore, fiind înregistrate caracteristici dendrometrice și calitative: specia, numărul arborelui, diametrul la înălțimea 1,30 m ($d_{1,30m}$), înălțimea (h), clasele poziționale KRAFT, defolierea (%) și tipurile de vătămări întâlnite la nivel de fus și coroană. *La birou, modelarea structurii* arboretelor de pin a fost realizată din perspectiva măsurătorilor efectuate pe teren, cu ocazia cercetărilor fiind stabiliți principalii indicatori structurali care reflectă modul de organizare și de funcționare a structurii acestora în plan orizontal și vertical.

Starea de sănătate a arboretelor de pin de pe terenurile degradate, s-a evaluat în raport cu gradul de defoliere al coroanelor arborilor și al vătămărilor cauzate de factorii abiotici vătămători (Tabelul 3.3). După intensitatea vătămării, arborii au fost evaluați utilizând scara de clasificare concepută prin cercetare fundamentală în domeniul biometriei și monitoring-ului forestier (Badea, 2008).

Tabelul 3.3 Intensitatea vătămării arborilor în funcție de procentul de defoliere

Clasa de defoliere	Vigoarea arborelui
0	arbore sănătos, fără defoliere sau cu pierderi de frunziș sub 10%
1	arbore cu defoliere slabă, cu pierderi de frunziș între 11-25%
2	arbore cu defoliere moderată, cu pierderi de frunziș între 26-60%
3	arbore cu defoliere puternică, cu pierderi de frunziș peste 61%
4	arbore uscat (mort)

Pentru determinarea creșterilor radiale la nivel de arbore, s-a procedat la prelevarea probelor de creștere din arbori de pin silvestru și pin negru din fiecare clasă de diametre, fiind selectat un număr suficient de arbori stabilit în raport cu frecvența lor întâlnită în cadrul acesteia. Probele de creștere au fost extrase cu burghiul Pressler, pe direcție radială, la înălțimea de 1,30 m.

Abordarea sub aspect dendroclimatic

După aplicarea procedurilor standard de șlefuire și de scanare a probele de creștere (rezoluție 1200 pixeli), s-a abordat tehnica de măsurare și de citire electronică a lățimilor inelelor anuale folosind programul informatic CooRecorder 9.0, fiind obținute fișiere de tip .pos. Fișierele de tip .pos care au inclus seriile de creștere individuale s-au importat în programul informatic Cdendro 9.0, în vederea obținerii într-o primă etapă a standardizării acestora. Aplicarea acestei funcții și obținerea seriilor de indici de creștere au impus utilizarea funcțiilor „*detrend()*” din pachetul „*dplR*” (Bunn, 2008). Seria medie de indici de creștere a fost obținută prin calculul mediei biponderate folosind funcția „*chron()*”.

În cadrul modelelor dendroclimatice a fost utilizate seriile de indici de creștere reziduali (RWI). Coeficienții de corelație Pearson dintre seriile de indici de creștere și variabilele climatice lunare au fost calculați utilizând funcția „*ddc()*” din pachetul „*treeclim*” (Zang și Biondi, 2015). A fost analizat intervalul situat între luna iunie anul anterior creșterii și luna august anul curent.

Analiza și modelarea indicatorilor calitativi de natură fizico-mecanică ai lemnului (densitatea, rezistența la micro-foraj, viteza de propagare a sunetului), s-au realizat în raport cu specia, natura degradării și zona fitoclimatică, în cadrul SEP. Pentru determinarea densității lemnului (WD), au fost prelevate pe direcție radială probe din arbori de pin silvestru și pin negru pentru fiecare clasă de diametre, fiind selectat un număr suficient de arbori stabilit în raport cu frecvența lor întâlnită în cadrul acesteia. Aceasta a presupus extragerea de probe din arbori sănătoși, cu burghiul Pressler, la înălțimea de 1,30 m (Chave, 2005). În teren au fost măsurate lungimea totală și diametrul la mijloc al probei (medie a două citiri), folosind un șubler electronic. La măsurarea lungimii probei, s-a evitat pe cât posibil presarea la capete a probelor din lemn. La birou, s-au aplicat proceduri standard de determinare a masei anhidre a probelor (Popescu și Dinulică, 2020; Kollmann și Côté, 1968), acestea fiind repetate până la obținerea unei mase anhidre constante

Rezistența la micro-foraj (R) și viteza sunetului prin lemn (v) s-au obținut prin procedee de prelucrare și de înregistrare automată, utilizând aparatură modernă. În acest sens, au fost înregistrate pe direcție radială, probe de rezistență și de viteză a sunetului al unui număr suficient de arbori de pin silvestru și pin negru din fiecare clasa de diametre, în raport cu frecvența numărului de arbori întâlnită în cadrul acestora. Baza de date cuprinzând probele de rezistență a fost stocată electronic în dispozitivul cu memorie al instrumentului modern IML Resistograph F300-S (Ross, 2015).

Baza de date cuprinzând probele pentru viteza sunetului a fost stocată electronic în dispozitivul cu memorie al instrumentului modern IML MicroHammer.

3.3 Prelucrarea statistică a datelor

Indicatorii structurali ai arboretelor de pin de pe terenurile degradate

Determinarea acestor indicatori a impus într-o primă fază, prelucrarea datelor experimentale, utilizând aplicațiile informatice furnizate prin pachetul Microsoft Office (Microsoft Excel). Pentru caracterizarea structurii arboretelor de pin, s-au determinat următorii indicatori structurali:

- *compoziția arboretelor;*
- *diametrul mediu al suprafeței de bază (dg);*
- *înălțimea corespunzătoare diametrului mediu al suprafeței de bază (hg);*
- *numărul de arbori la hectar ($N \cdot ha^{-1}$);*
- *suprafața de bază la hectar ($G \cdot ha^{-1}$);*
- *volumul la hectar ($V \cdot ha^{-1}$);*
- *indicele de desime (I_N);*
- *indicele de densitate (I_G);*
- *indicii Camino (H) și Gini (G) (De Camino, 1976, Popa, 1999).*

Volumele unitare (v) au fost calculate cu ajutorul ecuației bifactoriale (Eq.1) (Giurgiu et al., 2004):

$$\log v = a_0 + a_1 \cdot \log d + a_2 \cdot \log^2 d + a_3 \cdot \log h + a_4 \cdot \log^2 h \quad (\text{Eq.1})$$

Indicii de diversitate structurală Camino (H) și Gini (G) exprimă tendința de diversificare a structurii în timp, în funcție de gradul de apropiere al curbilor Lorenz de dreapta reper. Valorile situate între limitele de variație ale indicilor stabilesc tipul de structură al arboretelor, precum și gradul de omogenitate sau de heterogenitate al acestora (Roibu, 2010).

Indicele Camino (H) s-a determinat cu ecuația (Eq.2):

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} SN\%}{\sum_{i=1}^{n-1} SN\% - SG\%} \quad (\text{Eq.2})$$

Formula generală de calcul pentru *indicele Gini (G)* este următoarea (Eq.3):

$$G = 1 - 2 \cdot \int_0^1 f(x) dx \quad (\text{Eq.3})$$

Analiza structurii arboretelor în raport cu diametrul, înălțimea și volumul s-a realizat în aplicația statistică *SilvaStat* (Popa, 1999), care utilizează într-un sistem integrat, funcțiile de frecvență teoretice întâlnite uzual în silvicultură (Giurgiu, 1979). Ajustarea distribuțiilor experimentale s-a realizat prin funcții de frecvență teoretice din sistemul Pearson adecvate la modelarea structurală a arboretelor de pin (funcțiile teoretice *Beta* și *Gamma*). *Analiza structurii arboretelor* s-a realizat la nivel de zonă fitoclimatică, prin gruparea suprafețelor experimentale după trei criterii: *specia, vârsta și natura degradării*.

Relația diametru-înălțime

Analiza relației diametru-înălțime a exprimat modul de repartiție al înălțimilor în raport cu diametrul de bază la nivelul arborilor de pin, legătura dintre cele două variabile fiind exprimată după legități cunoscute. Intensitatea acestei legături a fost exprimată prin coeficientul de determinație (R^2).

Ajustarea distribuțiilor experimentale s-a realizat cu *ecuații de regresie logaritmice*, având un grad ridicat de plasticitate în acest caz.

Evaluarea stării de sănătate ale arboretelor s-a realizat în trei etape (MMAP, 2022):

- a) Stabilirea *intensității defolierii* arborilor și arboretelor prin determinarea *procentului de defoliere mediu* (DEF%);

- b) Determinarea *gradului de uscare mediu al arboretelor* (G_u) (Tabelul 3.4), utilizând următoarea formulă de calcul (Eq.4):

$$G_u = (R_0 \times N_s + R_1 \times N_{sb} + R_2 \times N_m + R_3 \times N_p + R_4 \times N_u) / N_t \quad (\text{Eq.4})$$

Tabelul 3.4 Gradul de uscare pe intervale de clase

Rangul clasei de uscare R_i	Intervalul de clasă	Gradul de uscare al arboretului
0	<0.1	Fără uscare
1	0.1-1.4	Slab afectat (U_1)
2	1.5-2.4	Moderat afectat (U_2)
3	2.5-3.4	Puternic afectat (U_3)
4	>3.5	Foarte puternic afectat (U_4)

- c) Determinarea *gradului de vătămare ale arboretelor* (G_v), folosind următoarea scară de clasificare (Tabelul 3.5):

Tabelul 3.5 Stabilirea gradului de vătămare ale arboretelor de pin

Gradul de vătămare al arboretului	Frecvența arborilor doborâți (aplecați)/rupti (%)
Vătămare slabă (V1/Z1)	doborâturi/rupturi izolate 1-10
Vătămare moderată (V2/Z2)	doborâturi/rupturi destul de frecvente 11-25
Vătămare puternică (V3/Z3)	doborâturi/rupturi frecvente 26-50
Vătămare foarte puternică (V4/Z4)	doborâturi/rupturi foarte frecvente peste 50
Semnificația simbolurilor: V1, V2, V3, V4- vătămări cauzate de vânt; Z1, Z2, Z3, Z4- vătămări cauzate de zăpadă.	

Analiza caracteristicilor auxologice ale arboretelor este importantă pentru cunoașterea structurii sub raportul creșterii arborilor din cuprinsul acestora (Giurgiu, 1979). În acest sens, cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat au surprins starea fiziologică ale speciilor de pin silvestru și pin negru, prin intermediul analizei *creșterii radiale, în diametru, în suprafața de bază și în volum din ultimii 10 ani* (perioada 2011-2020), folosind *metoda bazată pe o singură inventariere cu probe de creștere extrase de la arborii pe picior* (Leahu, 1994). *Sub aspect dendroclimatic*, standardizarea seriilor de creștere individuale a fost realizată utilizând o funcție teoretică de tip *Spline*, cu o lungime de 30 de ani, astfel fiind obținuți indicii de creștere reziduali (RWI). *Modelele dendroclimatice* s-au obținut pe baza corelațiilor dintre indicii RWI și factorii de stres climatic principali. Coeficienții de corelație s-au modelat în pachetul *"Treeclim"* și limbajul de programare R (Dendoncker et al., 2025).

Analiza componentelor rezilienței rezultată ca răspuns al arborilor la evenimentul extrem (seceta) a impus identificarea celor mai secetoși trei ani din perioada de analiză 1960-2020, pe baza ecuațiilor de determinare a evapotranspirației potențiale (PET) și a disponibilității apei (CWB). Pentru a cuantifica influența disponibilității apei (CWB) asupra proceselor de creștere radială ale arborilor de pin silvestru și pin negru, s-a utilizat indicii de evapotranspirației și a precipitațiilor standardizat (SPEI), accesat din programul informatic R Studio, prin pachetul *"SPEI"* (Beguiria et al., 2017).

În continuare, pe baza răspunsului oferit de arbori la factorul climatic extrem (seceta) au fost evaluate *componentele rezilienței*: a) *rezistența* (Eq.5); b) *recuperarea și perioada de recuperare (ani)* (Eq.6); c) *reziliența* (Lloret et al., 2011), în cei trei ani secetoși identificați (2000, 2003 și 2007), fiind selectate doar acele suprafețe în care s-a manifestat efectiv secetă (Eq.7). Componentele *rezilienței* s-au determinat în funcție de lățimea efectivă a inelelor anuale, la nivel de arbore, folosind pachetul R *"pointRes"* (van der Maaten-Theunissen et al., 2021).

$$\text{Rezistența (Rt)} = \frac{Dr}{\frac{PreDr}{Post Dr}} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{Recuperarea (Rc)} = \frac{Dr}{\frac{Post Dr}{Pre Dr}} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\text{Reziliența (Rs)} = \frac{Post Dr}{Pre Dr} \quad (\text{Eq. 7})$$

Analiza comparativă a mediilor la nivelul grupurilor constituite din cele două specii de pin (pin silvestru și pin negru) s-a realizat cu ajutorul testelor statistice Anova (analiza varianței) și Wilcoxon (analiza rangurilor), testarea semnificației fiind realizată la probabilități de acoperire de 95%, respectiv de 99%.

Densitatea lemnului (WD) exprimată în $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ sau în $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$ este cel mai indicator definitoriu al calității acestuia. Aceasta a fost determinată ca raport între masa în stare anhidră și volumul probei în stare verde (Chave et al., 2005). Având valorile **densității lemnului (WD)** și a **volumelor unitare** exprimate la nivel de arbori, s-a putut determina **biomasa supraterană (AGB)** a fusului și a **stocului de carbon (C)**, estimate ca medii la nivel de arborete (IPCC, 2003).

Tehnologiile moderne care utilizează procedee de prelucrare și de înregistrare automată a datelor au permis **determinarea rezistenței la micro-foraj (R)** și a **vitezei sunetului (v)** pe direcție radială la arborii pe picior, ca fiind importanți parametri estimativi ai calității lemnului în structura sa internă.

În cazul **rezistenței la micro-foraj**, aceste procedee folosesc algoritmi matematici de împărțire automată a lemnului în secțiune transversală prin cercuri concentrice de $\frac{1}{2}$ mm lățime, rezistența fiind calculată ca medie ponderată dintre aria delimitată de cerc, aria totală a secțiunii și numărul total de cercuri concentrice. *La birou*, modelarea probelor de rezistență a fost realizată în programul *F-tools Pro*.

În cazul **vitezei de propagare a sunetului prin lemn**, procedeele utilizează unda acustică ca mijloc de înregistrare automată a vitezei propagate pe direcție radială. Ulterior, fișierele au fost exportate în format .txt, în vederea prelucrării și interpretării acestora prin intermediul aplicațiilor informatice dedicate (Microsoft Excel, Statistica 8.0).

4. REZULTATE

4.1 Particularitățile structurii arboretelor de pin instalate pe terenuri degradate

Modul de grupare al suprafețelor experimentale

Suprafețele experimentale cu caracteristici omogene din perspectiva *speciei, clasei de vârstă și tipului de degradare* a terenului au fost grupate, oferind o bază solidă pentru comparații statistice relevante (Tabelul 4.1).

Tabelul 4.1 Gruparea suprafețelor experimentale, în vederea analizei structurii arboretelor și a stării de sănătate a acestora

Zona fitoclimatică	Specii	SEP grupate	Clasa de vârstă	Clasa de degradare	Natura degradării
FD ₃	Pi, Pi.n	CA5, CA6, CA7, CA8, CA9, CA10, CA11, CA12, CA13	III	E ₁ -E ₃	Eroziune în suprafață
	Pi, Pi.n	CA3, CA4	III	R	Eroziune în adâncime
	Pi, Pi.n	PS1, PS2, PS3, PS4, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11, RO4, RO7, RO9, RO10	IV	E ₁ -E ₃	Eroziune în suprafață

Zona fitoclimatică	Specii	SEP grupate	Clasa de vârstă	Clasa de degradare	Natura degradării
FD ₁ +S _s	Pi, Pi.n	MU12, MU17, MU18	III	AI	Eroziune în adâncime
	Pi, Pi.n	LI6, LI9, LI10, LI12	IV	E ₁ -E ₂	Eroziune în suprafață

Determinarea principalilor indicatorilor structurali

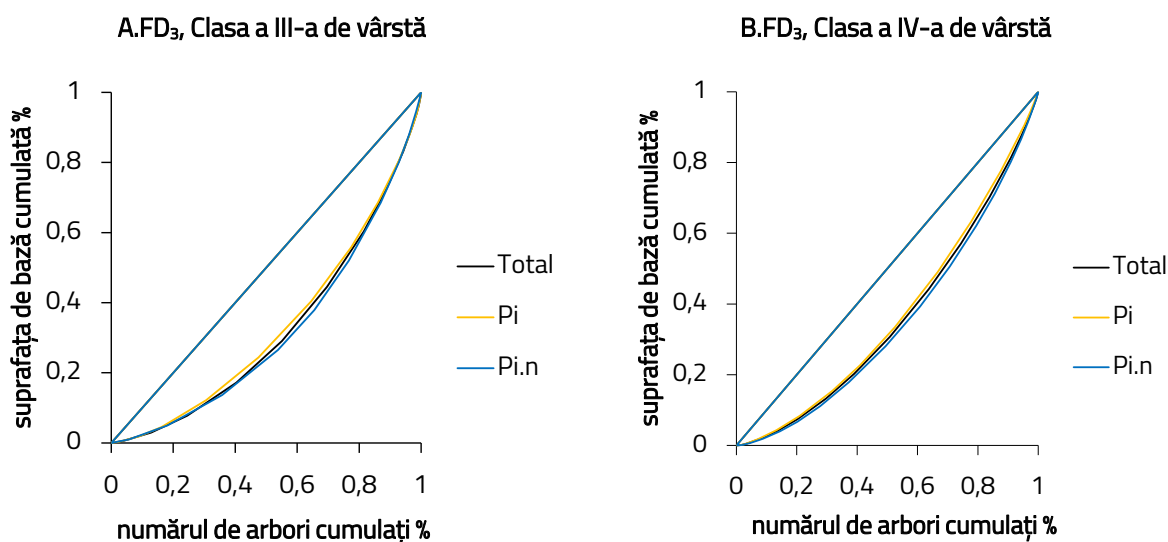
S-a remarcat o reducere semnificativă a numărului de arbori în arboretele de pin încadrate în clasa a IV-a de vârstă, fapt ce a implicat pe de o parte, reducerea desimii sub pragul de 0,5 și creșterea volumului pe de altă parte (Tabelul 4.2).

Tabelul 4.2 Principali indicatori structurali ai arboretelor de pin

Zona fitoclimatică	Cl.V	Specii	Cl.P	dg (cm)	hg (m)	N·ha ⁻¹	G·ha ⁻¹ (m ² ·ha ⁻¹)	V·ha ⁻¹ (m ³ ·ha ⁻¹)	I _N	I _G	H	G
FD ₃	III	Pi	3	16,48	16,17	964	20,56	168,67	0,92	0,68	7,25	0,34
		Pi.n	3	14,22	13,49	699	11,10	80,12	0,71	0,62	8,10	0,37
	IV	Pi	3	24,86	18,38	325	15,74	129,97	0,48	0,41	8,01	0,26
		Pi.n	3	26,17	18,90	263	14,12	132,55	0,35	0,39	5,27	0,30
FD ₁ +S _s	III	Pi	3	23,75	21,21	590	26,13	211,57	0,95	1,40	5,36	0,18
		Pi.n	2	21,00	19,58	345	11,94	97,95	0,30	0,30	6,34	0,21
	IV	Pi	2	25,12	21,72	384	19,04	224,30	0,41	0,46	8,04	0,23
		Pi.n	2	27,28	21,12	379	22,11	249,94	0,42	0,54	6,77	0,22

Simboluri: Sp- specia; Pi- pin silvestru; Pi.n- pin negru; dg- diametrul mediu al suprafeței de bază; hg- înălțimea medie corespunzătoare lui dg; N·ha⁻¹- numărul de arbori la hectar; G·ha⁻¹- suprafața de bază la hectar; Cl.P- clasa de producție; Cl.V- clasa de vârstă; V·ha⁻¹- volumul la hectar; I_N- indicele de desime; I_G- indicele de densitate; H- indicele Camino; G-Indicele Gini.

Indicii de diversitate structurală Camino (H) și Gini (G) au confirmat existența unor structuri echine și omogene, acestea oferind premise importante pentru evoluția dinamicii structurale ale arboretelor de pin (fig. 4.1A, 4.1B, 4.1C, 4.1D).



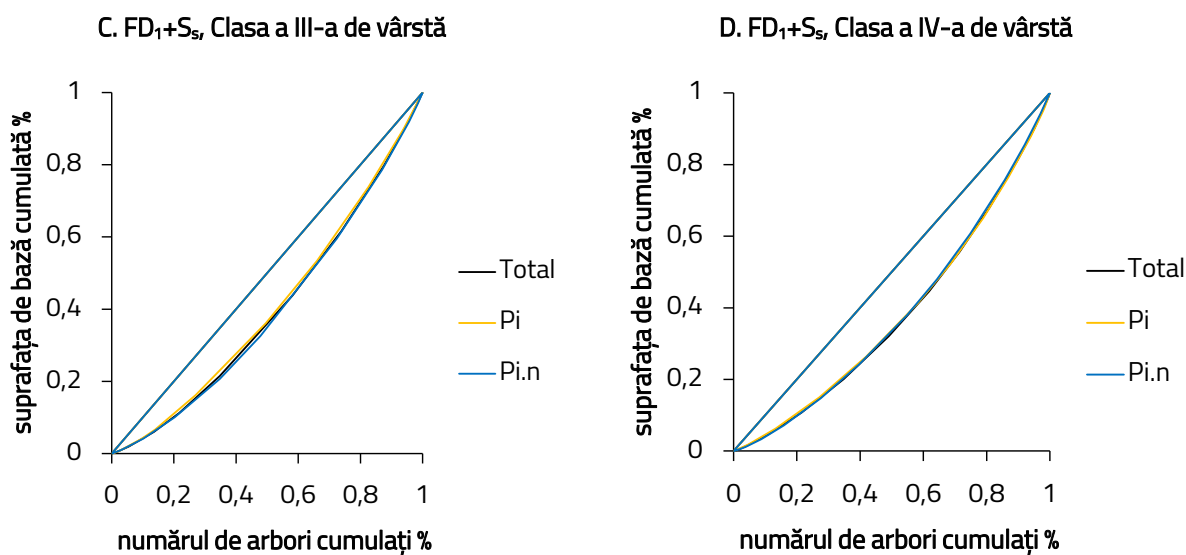


Figura 4.1 Analiza omogenității structurii arboretelor.

Structura arboretelor în raport cu diametrul arborilor

Distribuțiile experimentale au prezentat asimetrii pozitive de stânga, ca urmare a concentrării unui număr semnificativ de arbori în clasele de diametre mici și mijlocii.

Ajustarea distribuțiilor experimentale s-a realizat cu ajutorul funcției teoretice *Beta* (fig. 4.2A, 4.2B, 4.2C, 4.2D).

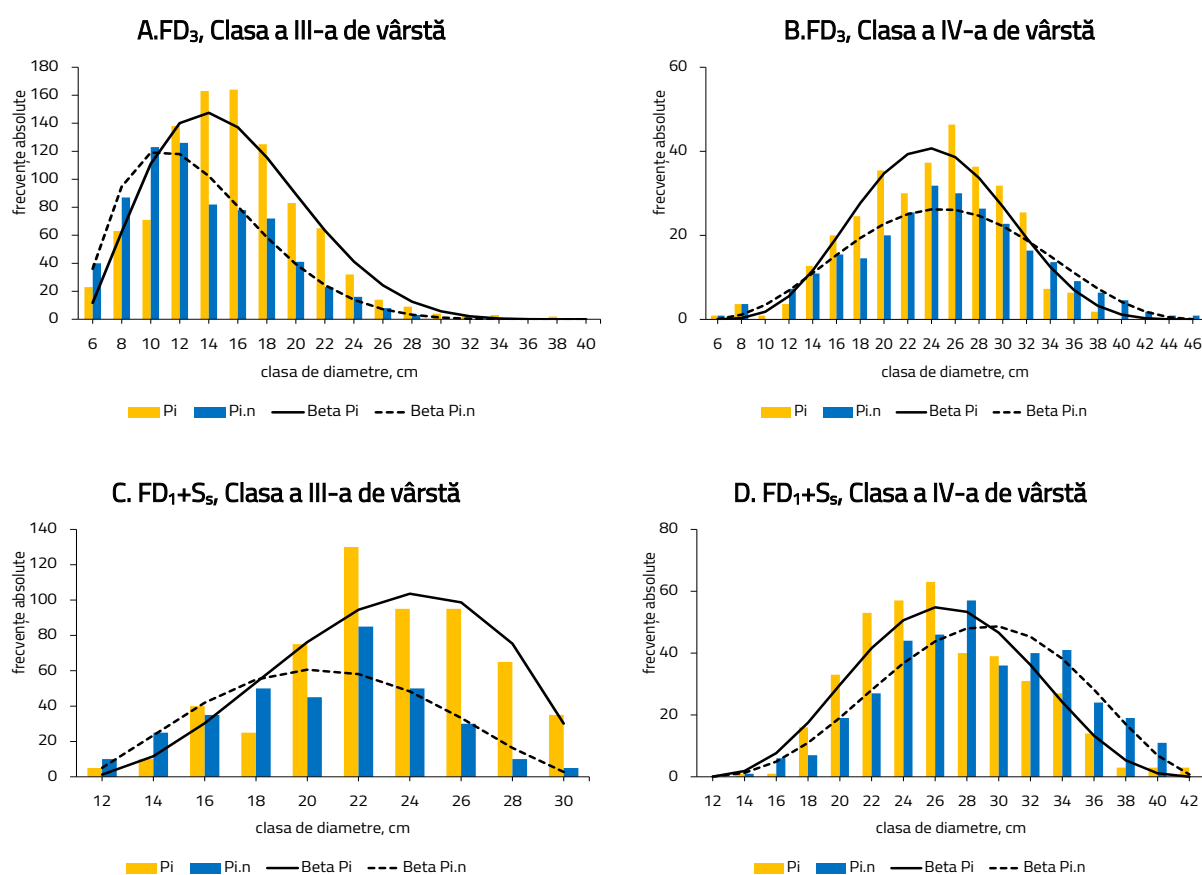


Figura 4.2 Ajustarea distribuțiilor experimentale cu ajutorul funcției de frecvență teoretică Beta.

Prin aplicarea testul de conformitate K-S, arboretele de pin analizate urmează legea distribuției teoretice Beta pentru toate cazurile analizate. Testul Chi pătrat χ^2 a indicat diferențe semnificative între distribuții.

Structura arboretelor în raport cu înălțimea arborilor

Repartiția numărului de arbori pe clase de înălțimi urmează legi de distribuție cunoscute, forma curbelor de frecvență teoretică pentru înălțimi fiind diferențiată față de cea a diametrelor (fig. 4.3A, 4.3B, 4.3C, 4.3D). Distribuțiile experimentale au prezentat asimetrie negativă de dreapta, inversă decât în cazul diametrelor.

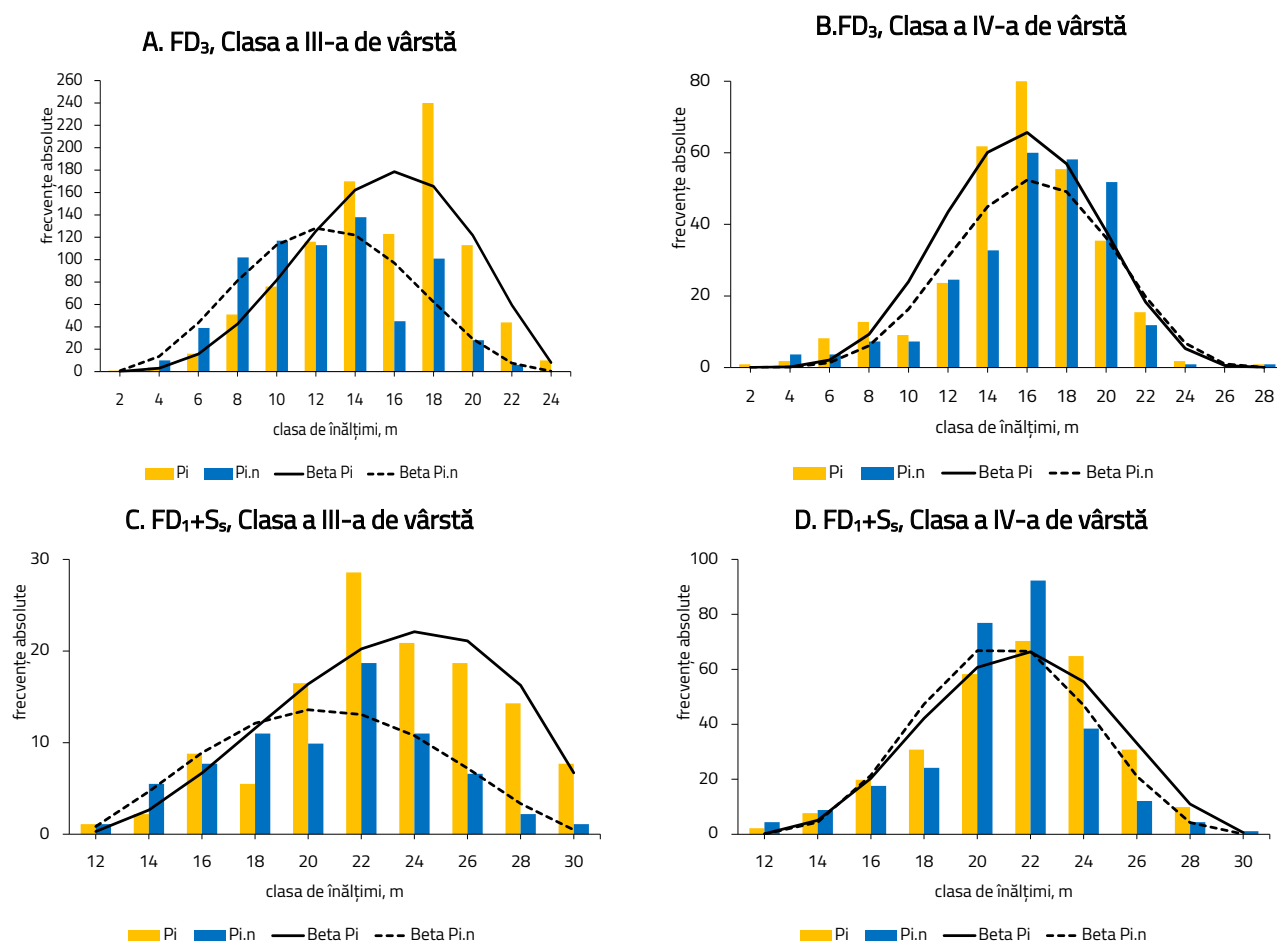


Figura 4.3 Ajustarea distribuțiilor experimentale după funcția de frecvență teoretică Beta.

Testul de conformitate K-S și Chi pătrat (χ^2) au indicat că funcția teoretică Beta este adecvată pentru ajustarea distribuțiilor experimentale, diferențele fiind semnificative la nivelul distribuțiilor.

Structura arboretelor în raport cu volumul arborilor

Distribuțiile experimentale prezintă o puternică asimetrie pozitivă de stânga în cazul volumelor (fig. 4.4A, 4.4B, 4.4C, 4.4D).

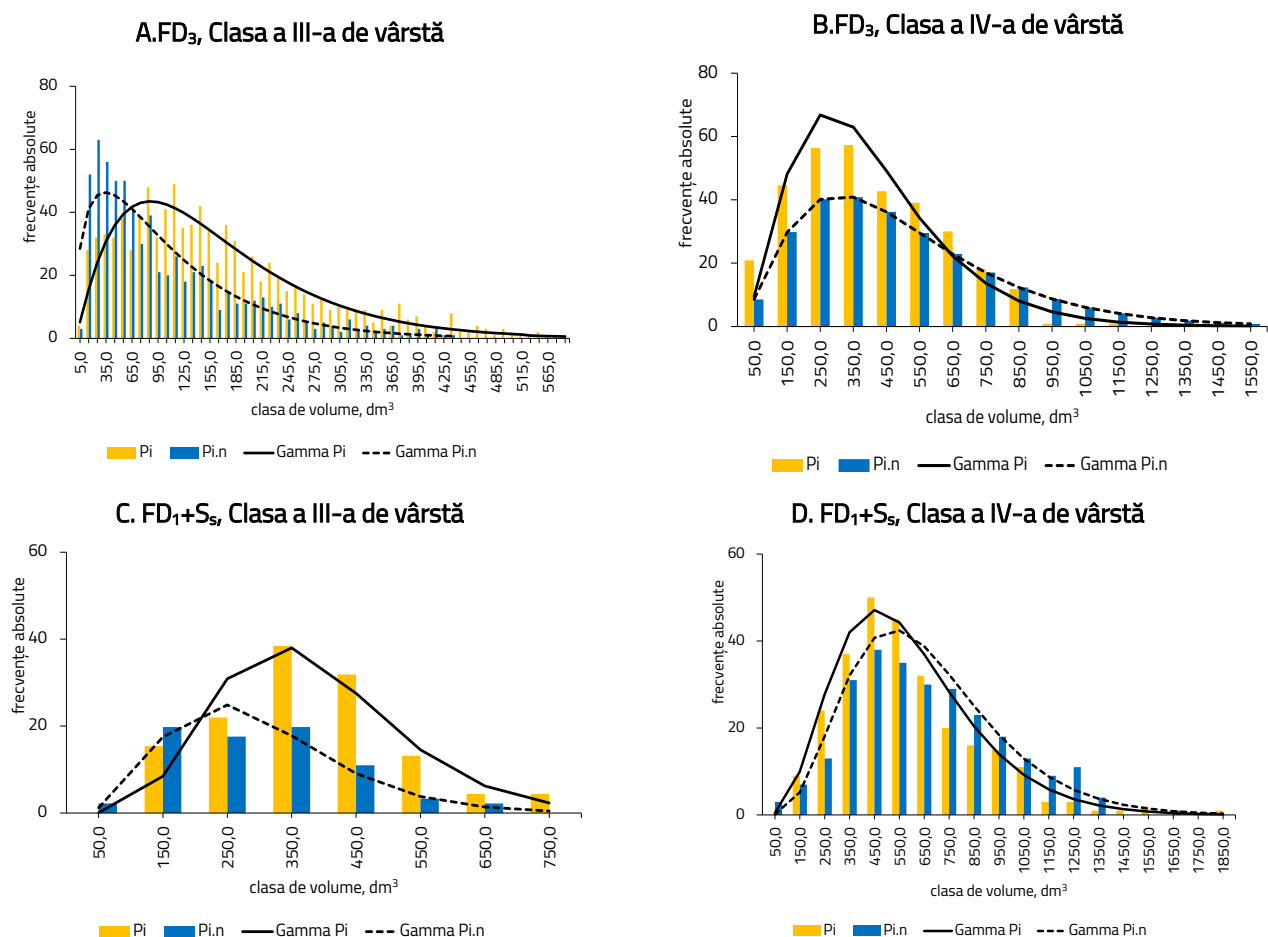
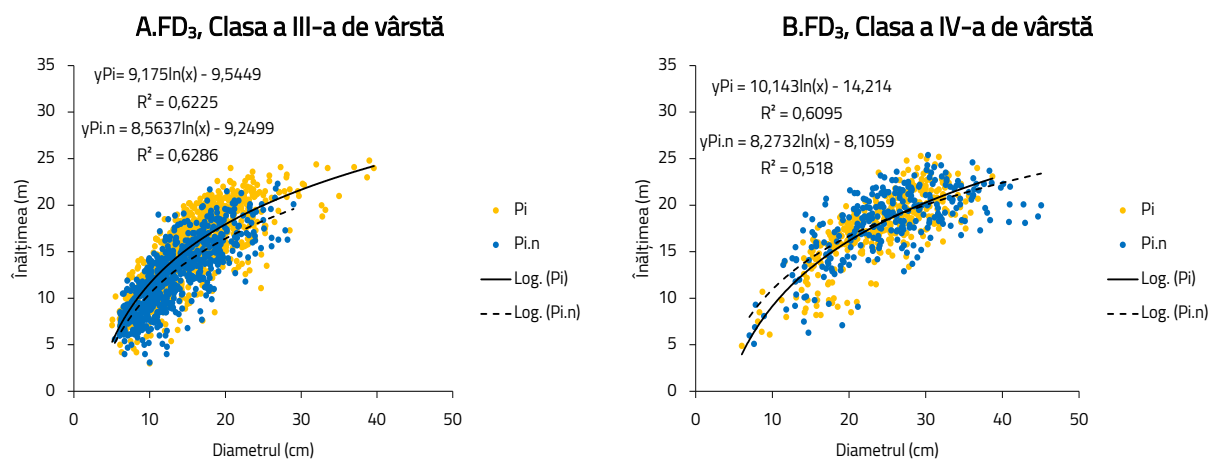


Figura 4.4 Ajustarea distribuțiilor experimentale după funcția de frecvență teoretică Gamma.

În cazul repartizării numărului de arbori pe clase de volume, ajustarea distribuțiilor experimentale cu ajutorul funcției teoretice Gamma s-a dovedit a fi cea mai potrivită, aceasta având un grad mare de elasticitate, conform testului K-S. Testul χ^2 a indicat diferențe semnificative între distribuțiile experimentale și cele teoretice pentru ambele specii de pin analizate.

Relația diametru-înălțime

Din analiza *relației diametru-înălțime*, se constată că înălțimile cresc direct proporțional cu diametrul, cu o tendință de stabilizare a ritmului de creștere ale acestora în jurul diametrelor mari (fig. 4.5A, 4.5B, 4.5C, 4.5D).



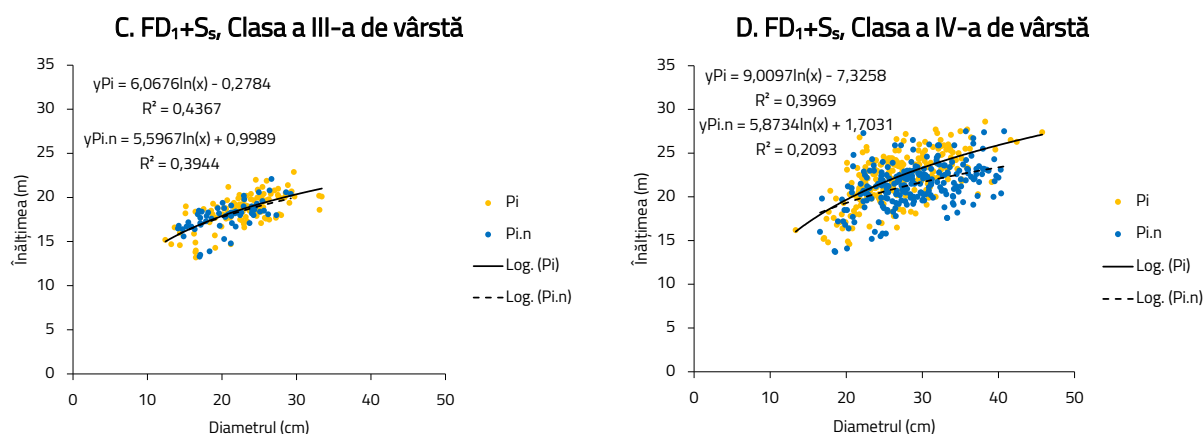


Figura 4.5 Relația dintre diametrul și înălțimea arborilor.

4.2 Evaluarea stării de sănătate ale arboretelor de pin

4.2.1 Intensitatea defolierii și gradul de uscare al arboretelor

Rezultatele au indicat o intensitate ridicată a procentului de defoliere mediu în cadrul populațiilor de pin negru (Figura 4.6). În contrast, intensitatea procentului de defoliere mediu este mai scăzută la nivelul populațiilor de pin silvestru, cu excepția celor încadrate în clasa a III-a de vârstă, aparținând zonei fitoclimatice FD₁+S₅.

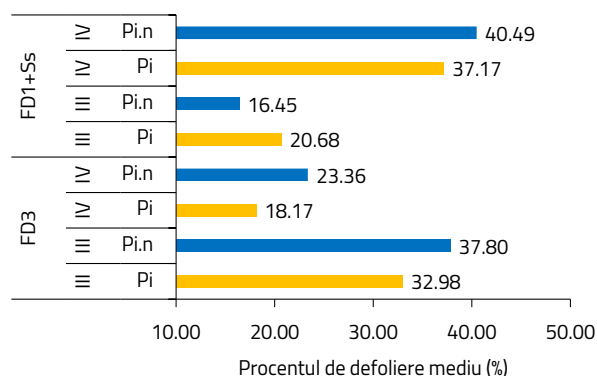


Figura 4.6 Distribuția procentului de defoliere mediu (%) pe specii, clase de vârstă și zonă fitoclimatică.

Testul Anova a confirmat existența unor diferențe semnificative între mediile procentului de defoliere la nivelul grupurilor la o probabilitate de acoperire de 95%, doar în cadrul arboretelor de pin din etajul fitoclimatic FD₃.

Gradul de uscare mediu calculat per total arborete situate în etajul fitoclimatic FD₃ este de 1,91 acestea fiind moderat afectate de uscare (Tabelul 4.3).

Tabelul 4.3 Gradul de uscare mediu (G_u) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din etajul fitoclimatic FD₃

SEP	R _i	Intervalul de clasă	N _t	N _i x R _i	G _u	Intensitatea gradului de uscare mediu al arboretului (G _u)
Clasa a III-a de vârstă						
CA3	0-4	1,5-2,4	51	114	2,24	moderat afectat
CA4	0-4	1,5-2,4	88	166	1,89	moderat afectat
CA5	0-4	1,5-2,4	114	162	1,42	moderat afectat
CA6	0-4	1,5-2,4	86	188	2,19	moderat afectat
CA7	0-4	1,5-2,4	360	414	1,15	slab afectat

SEP	R _i	Intervalul de clasă	N _t	N _i x R _i	G _u	Intensitatea gradului de uscare mediu al arboretului (G _u)
CA8	0-4	1,5-2,4	127	258	2,03	moderat afectat
CA9	0-3	1,5-2,4	121	208	1,72	moderat afectat
CA10	0-4	1,5-2,4	65	137	2,11	moderat afectat
CA11	0-4	2,5-3,4	160	410	2,56	puternic afectat
CA12	0-3	1,5-2,4	154	359	2,33	moderat afectat
CA13	0-3	2,5-3,4	58	153	2,64	puternic afectat
Clasa a IV-a de vârstă						
PS1	0-3	1,5-2,4	44	76	1,73	moderat afectat
PS2	0-2	0,1-1,4	32	16	0,50	slab afectat
PS3	0-4	0,1-1,4	28	21	0,75	slab afectat
PS4	0-4	0,1-1,4	30	37	1,23	slab afectat
PS6	0-4	>3,5	24	117	4,88	foarte puternic afectat
PS7	0-4	2,5-3,4	37	91	2,46	puternic afectat
PS8	0-4	0,1-1,4	26	21	0,81	slab afectat
PS9	0-3	1,5-2,4	101	151	1,50	moderat afectat
PS10	0-4	0,1-1,4	58	36	0,62	slab afectat
PS11	0-4	0,1-1,4	132	95	0,72	slab afectat
RO4	0-3	1,5-2,4	32	52	1,63	moderat afectat
RO7	0-4	0,1-1,4	47	36	0,77	slab afectat
RO9	0-3	0,1-1,4	43	56	1,30	slab afectat
RO10	0-3	0,1-1,4	29	35	1,21	slab afectat

Semnificația simbolurilor: SEP- suprafața experimentală permanentă; R_i- rangul clasei de uscare; N_t- numărul de arbori din clasele Kraft 1, 2, 3; N_i x R_i- produsul dintre numărul de arbori din clasele de defoliere (0-4) și rangul clasei de uscare (0-4).

Gradul de uscare mediu calculat pe total arborete din zona fitoclimatică FD₁+S_s este de 1,83, acestea fiind moderat afectate de uscare (Tabelul 4.4).

Tabelul 4.4 Gradul de uscare mediu (G_u) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din zona FD₁+S_s

SEP	R _i	Intervalul de clasă	N _t	N _i x R _i	G _u	Intensitatea gradului de uscare mediu al arboretului (G _u)
Clasa a III-a de vârstă						
MU12	0-4	0,1-1,4	59	76	1,29	slab afectat
MU17	0-1	0,1-1,4	51	36	0,71	slab afectat
MU18	0-4	0,1-1,4	43	20	0,47	slab afectat
Clasa a IV-a de vârstă						
LI6	0-4	1,5-2,4	90	146	1,62	moderat afectat
LI9	0-4	1,5-2,4	56	113	2,02	moderat afectat
LI10	0-4	1,5-2,4	136	332	2,44	moderat afectat
LI12	1-4	1,5-2,4	161	376	2,34	moderat afectat

Semnificația simbolurilor: SEP- suprafața experimentală permanentă; R_i- rangul clasei de uscare; N_t- numărul de arbori din clasele Kraft 1, 2, 3; N_i x R_i- produsul dintre numărul de arbori din clasele de defoliere (0-4) și rangul clasei de uscare (0-4).

4.2.2 Stabilirea defectelor arborilor și gradul de vătămare al arboretelor

Frecvența arborilor doborâți, aninați, rupti (%) calculată pe total arborete din etajul fitoclimatic FD₃ este de 16,06%, fiind semnalat un grad de vătămare moderat, în care s-au înregistrat doborâturi și rupturi de vânt și de zăpadă destul de frecvente (Tabelul 4.5).

Tabelul 4.5 Gradul de vătămare (G_v) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din etajul fitoclimatic FD₃ calculat în raport cu natura și cuantumul vătămarilor

SEP	Felul amestecului	Nr. de arbori analizați/SEP	Număr de arbori vătămați în raport cu natura vătămării					Frecvența arborilor doborâți, aninați, ruptți (%)	Gradul de vătămare al arboretului (G _v)
			A	VR	TR	VU	Î		
Clasa a III-a de vârstă									
CA3	Amestec (Pi, Pi.n)	64	2	9	-	-	1	17,19	moderat vătămat
CA4	Amestec (Pi, Pi.n)	105	11	15	-	-	3	24,76	moderat vătămat
CA5	Amestec (Pi, Pi.n)	133	11	16	-	3	1	20,30	moderat vătămat
CA6	Amestec (Pi, Pi.n)	126	14	9	2	-	1	19,84	moderat vătămat
CA7	Amestec (Pi, Pi.n)	388	12	19	-	-	3	7,99	slab vătămat
CA8	Pur (Pi)	155	23	18	-	-	1	26,45	moderat vătămat
CA9	Amestec (Pi, Pi.n)	145	10	6	-	2	-	11,03	slab vătămat
CA10	Amestec (Pi, Pi.n)	92	3	4	-	-	-	7,61	slab vătămat
CA11	Amestec (Pi, Pi.n)	207	20	26	-	3	3	22,22	moderat vătămat
CA12	Amestec (Pi, Pi.n)	185	14	9	8	4	1	16,76	moderat vătămat
CA13	Amestec (Pi, Pi.n)	75	3	5		1	-	10,67	slab vătămat
Total (III)		1675	123	136	10	13	14	16,06	
%			7,34	8,12	0,60	0,78	0,84		
Clasa a IV-a de vârstă									
PS1	Amestec (Pi, Pi.n)	53	5	17	-	-	-	41,51	puternic vătămat
PS2	Pur (Pi)	33	3	19	-	-	-	66,67	foarte puternic vătămat
PS3	Pur (Pi)	29	2	4	-	-	-	20,69	moderat vătămat
PS4	Amestec (Pi, Ci)	38	5	-	-	1	-	13,16	moderat vătămat
PS6	Amestec (Pi, Ci)	55	-	4	-	-	2	7,27	slab vătămat
PS7	Amestec (Pi, Ci)	59	2	4	-	-	1	10,17	slab vătămat
PS8	Pur (Pi)	27	1	2	1	-	2	14,81	moderat vătămat
PS9	Pur (Pi.n)	118	21	23	-	-	-	37,29	moderat vătămat
PS10	Pur (Pi.n)	65	2	8	-	-	11	15,38	moderat vătămat

SEP	Felul amestecului	Nr. de arbori analizați/SEP	Număr de arbori vătămați în raport cu natura vătămării					Frecvența arborilor doborâți, aninați, rupti (%)	Gradul de vătămare al arboretului (G_v)
			A	VR	TR	VU	Î		
PS11	Amestec (Pi, Pi.n)	150	11	16	-	-	11	18,00	moderat vătămat
RO4	Amestec (Pi, Pi.n)	40	5	1	-	1	3	15,00	moderat vătămat
RO7	Amestec (Pi, Pa)	56	-	-	-	4	-	0,00	nevătămat
RO9	Pur (Pi.n)	50	6	4	-	1	8	20,00	slab vătămat
RO10	Pur (Pi)	33	-	7	-	1	-	21,21	moderat vătămat
TOTAL (IV)		806	63	109	1	8	38	21,46	
%			7,82	13,52	0,12	0,99	4,71		
TOTAL (III+IV)		2481	186	245	11	21	52	17,82	
%			7,50	9,88	0,44	0,85	2,10		

Notă: SEP- suprafața experimentală permanentă; A- aplecat/aninat; VR- vârful rupt; TR- trunchi rupt; VU- vârful uscat; Î- înfurcit; Pi- pin silvestru; Pi.n- pin negru; Ci- cireș pășăresc; Pa- paltin de câmp.

Frecvența arborilor doborâți, aninați, rupti (%) calculată pe total arborete din zona fitoclimatică FD_1+S_s este de 12,87%, fiind semnalat un grad de vătămare moderat, în care s-au înregistrat doborâturi și rupturi destul de frecvente (Tabelul 4.6).

Tabelul 4.6 Gradul de vătămare (G_v) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din zona FD_1+S_s calculat în raport cu natura și cuantumul vătămarilor

SEP	Felul amestecului	Nr. de arbori analizați/SEP	Număr de arbori vătămați în raport cu natura vătămării					Frecvența arborilor doborâți, aninați ruptți (%)	Gradul de vătămare al arboretului (G _v)
			A	VR	TR	VU	Î		
Clasa a III-a de vârstă									
MU12	Pur (Pi)	145	-	-	1	1	1	12,68	moderat vătămat
MU17	Pur (Pi.n)	69	-	4	-	-	5	-	nevătămat
MU18	Pur (Pi)	47	-	-	1	-	-	2,13	slab vătămat
TOTAL (III)		261	0	4	2	1	6		
%			0,00	1,53	0,77	0,38	2,30		
Clasa a IV-a de vârstă									
LI6	Pur (Pi)	165	1	3	-	3	-	3,85	slab vătămat
LI9	Pur (Pi.n)	88	1	16	4	5	1	22,73	moderat vătămat
LI10	Amestec (Pi, Pi.n)	328	10	47	4	7	7	25,73	puternic vătămat
LI12	Pur (Pi.n)	205	-	8	5	1	1	6,70	moderat vătămat
TOTAL (IV)		786	12	74	13	16	9		
%			1,53	9,41	1,65	2,04	1,15		
TOTAL (III+IV)		1047	12	78	15	17	15		
%			1,15	7,45	1,43	1,62	1,43		

Notă: SEP- suprafața experimentală permanentă; A- aplecat/aninat; VR- vârful rupt; TR- trunchi rupt; VU- vârful uscat; Î- înfurcit; Pi- pin silvestru; Pi.n- pin negru; Ci- cireș pășăresc; Pa- paltin de câmp.

4.3 Dinamica proceselor auxologice ale arboretelor de pin cercetate, instalate pe terenurile degradate

Cercetările privind dinamica *proceselor auxologice* ale arboretelor sunt unele dintre obiectivele principale. *Cu ocazia cercetărilor întreprinse*, pentru evaluarea proceselor de creștere radială, în cadrul SEP s-a realizat un număr total de 20 de sondaje de creștere, codurile fiind actualizate prin inserarea unui simbol specific de autenticitate al speciei (Tabelul 4.7).

Tabelul 4.7 Distribuția numărului de probe la nivelul suprafețelor experimentale cercetate în raport cu specia, în vederea analizei creșterilor radiale și a componentelor rezilienței

Zona fitoclimatică a arboretelor	*Codificarea SEP după specie	Nr. de probe din sondaj
FD ₃	CAS3	19
	CAN3	17
	CAS4	21
	CAN4	23
	CAS5	15
	CAN5	12
	CAS8	20
	CAS9	16
	CAN9	15
	CAS11	23
	CAN11	26
	PSS1	22
	PSN1	23
	PSN9	34
	RON9	24
FD ₁ +S _s	ROS10	17
	LIS10	29
	LIN12	32
	MUS12	22
	MUN17	21
Total probe de creștere		431
Total probe de creștere pin silvestru (Pi)		204
Total probe de creștere pin negru (Pi.n)		227

Notă: *) SEP CAS3, CAN3, CAS4, CAN4, CAS5, CAN5, CAS8, CAS9, CAN9, CAS11, CAN11: "CA" -acronim PA Căciu-Bârsești; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N-cod atribuit speciei pin negru; 3, 4, 5, 8, 9, 11- numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente; SEP PSS1, PSN9: "PS" - acronim PA Pârâul Sărat-Valea Sării; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N- cod atribuit speciei pin negru; 1, 9- numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente; SEP RON9, ROS10: "RO" -acronim PA Roșoiu-Andreiașu; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N- cod atribuit speciei pin negru; 9, 10- numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente; SEP LIS10, LIN12: "LI" - acronim PA Livada-Râmnicu Sărat; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N- cod atribuit speciei pin negru; 10, 12- numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente; SEP MUS12, MUN17: "MU" - acronim PA Murgești; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N- cod atribuit speciei pin negru; 12, 17- numărul de ordine al suprafeței experimentale permanente.

4.3.1 Analiza proceselor auxologice prin intermediul seriilor dendrocronologice de creștere radială

În zonele fitoclimatice întâlnite, seriile de creștere medii ale pinului silvestru și pinului negru (TRW) au prezentat un trend descrescător (Figura 4.7), justificat de dinamica geometriei trunchiului (creșteri radiale mai ridicate în perioada juvenilă, urmate de o reducere treptată odată cu creșterea în diametru).

În zona fitoclimatică FD₃, creșterea radială medie din perioada 1960-2020 (TRW) a fost de 2,01±1,13 mm pentru pinul silvestru, respectiv de 1,92±1,21 mm pentru pinul negru. În contrast, *în zona fitoclimatică FD₁+S_s*, creșterea radială medie (TRW) a pinului negru a fost de 2,48±2,12 mm, cu 13,70% mai mare față de pinul silvestru.

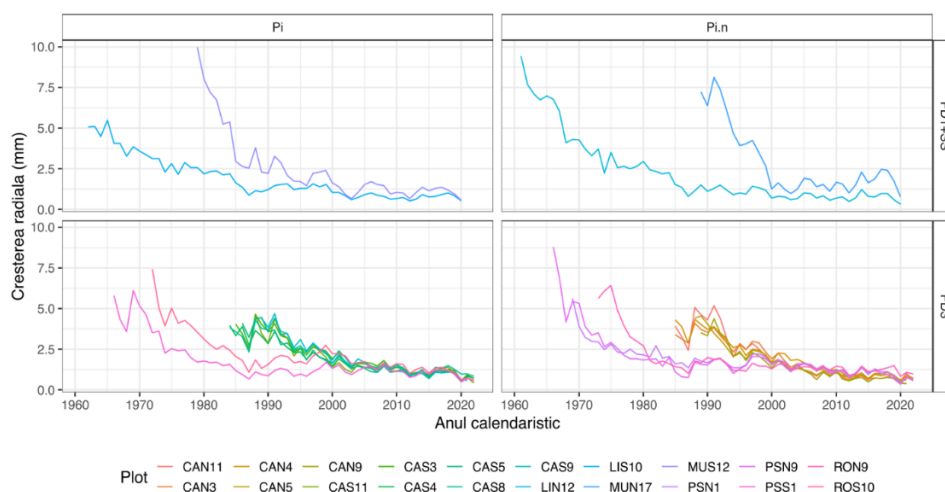


Figura 4.7 Dinamica creșterilor radiale (TRW) la nivel de sondaj (plot) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite

(Semnificația simbolurilor: ex. CAS3, CAN3: "CA"-codul suprafeței experimentale; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N-cod atribuit speciei pin negru; 3- numărul suprafeței experimentale. Analog pentru celelalte codificații).

În zonele fitoclimatice întâlnite, creșterea în suprafața de bază (BAI) urmează aceeași legitate ca în cazul seriilor medii de creștere (TRW), cu un trend crescător în perioada juvenilă, urmate de un trend negativ odată cu înaintarea în vârstă a arborilor (Figura 4.8). În cele mai multe situații acest trend negativ indică o stare de stres ridicată la care sunt supuși arborii care poate să reprezinte un semnal de avertizare timpurie a declinului arborilor (Camarero et al., 2015). Creșterea în suprafața de bază (BAI) prezintă un trend crescător până în anul 2000, cu fluctuații mari ale acestuia pentru ambele specii de pin, rata de creștere fiind mai mare în cazul pinului silvestru în ambele zone fitoclimatice întâlnite.

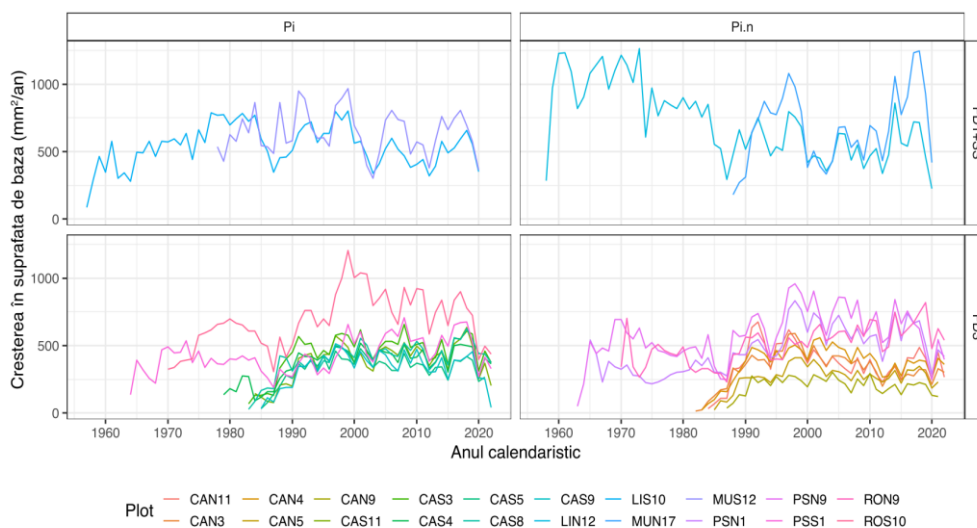


Figura 4.8 Dinamica creșterilor în suprafața de bază (BAI) la nivel de sondaj (plot) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate în raport zonele fitoclimatice întâlnite.

(Semnificația simbolurilor: ex. CAS3, CAN3: "CA"-codul suprafeței experimentale; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N-cod atribuit speciei pin negru; 3- numărul suprafeței experimentale. Analog pentru celelalte codificații)

4.3.2 Modelarea creșterilor radiale, în diametru, în suprafața de bază și în volum

Creșterea arboretelor de pin pe terenurile degradate

În zona fitoclimatică FD_3 , per total arborete de pin și excluzând influența eroziunii asupra creșterii acestora, pinul silvestru a înregistrat o creștere radială medie pe 10 ani (2011-2020) de 10,70 mm, respectiv de 9,17 mm pentru competitorul său pinul negru (Figura 4.9A).

Pe terenurile degradate din zona fitoclimatică (FD_1+S_5), situația este inversă, pinul negru dovedește o capacitate mai bună de creștere, înregistrând o creștere radială medie pe 10 ani de 11,54 mm, rata medie de creștere fiind cu 26,64% mai ridicată față de pinul silvestru. (Figura 4.9B).

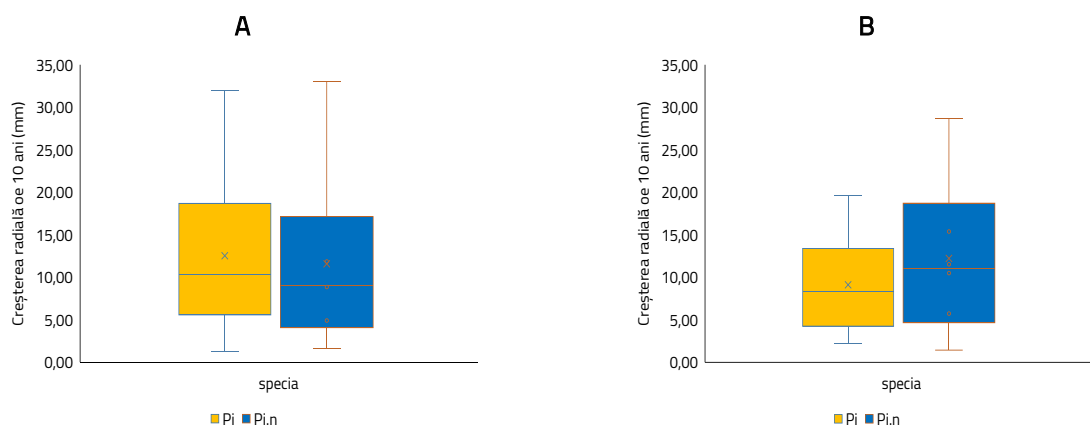


Figura 4.9 Variabilitatea creșterilor radiale pe 10 ani la nivelul arborilor de pin, pe total arborete: A. FD_3 ; B. FD_1+S_5

Testul Anova a indicat prezența unor diferențe semnificative între mediile creșterilor radiale la nivelul grupurilor formate de pinul silvestru și pinul negru ($p < 0,05$).

Creșterea în suprafața de bază și în volum a arboretelor de pin silvestru instalate pe terenurile degradate (Tabelul 4.8).

În zona fitoclimatică (FD_3), media creșterilor în suprafața de bază pentru pinul silvestru variază între $0,99 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAS9) și $2,87 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAS3). Media creșterilor în volum variază între $9,19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAS9) și $32,17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAS3). În zona fitoclimatică (FD_1+S_5), media creșterilor în suprafața de bază pentru pinul silvestru variază între $0,87 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (LIS10) și $1,42 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUS12). Media creșterilor în volum variază între $12,40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (LIS10) și $22,16 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUS12).

Tabelul 4.8 Creșterea în suprafața de bază și în volum a arborilor și arboretelor de pin silvestru din suprafețele experimentale permanente

Zona fitoclimatică	*SEP	Specia	Număr de arbori	Creșterea în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)
FD_3	CAS3	Pi	19	2,87	0,29	32,17	3,22
	CAS4	Pi	21	2,00	0,20	23,73	2,37
	CAS5	Pi	15	1,86	0,19	20,36	2,04
	CAS8	Pi	20	1,82	0,18	21,21	2,12
	CAS9	Pi	16	0,99	0,10	9,19	0,92

Zona fitoclimatică	*SEP	Specia	Număr de arbori	Creșterea în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	CAS11	Pi	23	1,68	0,17	21,67	2,17
	PSS1	Pi	22	2,47	0,25	26,05	2,60
	ROS10	Pi	17	2,26	0,23	27,91	2,79
TOTAL FD_3			153	1,99	0,20	22,79	2,28
FD_1+S_s	LIS10	Pi	29	0,87	0,09	12,40	1,24
	MUS12	Pi	21	1,42	0,14	22,16	2,22
TOTAL FD_1+S_s			50	1,14	0,11	17,28	1,73

Creșterea în suprafața de bază și în volum a arboretelor de pin negru instalate pe terenurile degradate (Tabelul 4.9)

În zona fitoclimatică FD_3 , media creșterilor în suprafața de bază pentru pinul negru variază între 0,51 $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAN9) și 2,72 $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (PSN1). Media creșterilor în volum variază între 5,32 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CAN9) și 37,64 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (PSN1).

În zona fitoclimatică FD_1+S_s , media creșterilor în suprafața de bază pentru pinul negru variază între 0,75 $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (LIN12) și 4,41 $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUN17). Media creșterilor în volum variază între 13,95 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (LIN12) și 51,10 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (MUN17).

Tabelul 4.9 Creșterea în suprafața de bază și în volum a arboretelor de pin negru din suprafețele experimentale permanente

Zona fitoclimatică	*SEP	Specia	Număr de arbori	Creșterea în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în suprafața de bază pe 10 ani ($\text{m}^2 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Creșterea medie anuală în volum pe 10 ani ($\text{m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$)
FD_3	CAN3	Pi.n	17	1,71	0,17	20,59	2,06
	CAN4	Pi.n	23	1,90	0,19	22,84	2,28
	CAN5	Pi.n	12	1,46	0,15	17,46	1,75
	CAN9	Pi.n	15	0,51	0,05	5,32	0,53
	CAN11	Pi.n	26	1,50	0,15	19,87	1,99
	PSN1	Pi.n	23	2,72	0,27	37,64	3,76
	PSN9	Pi.n	34	2,33	0,23	36,79	3,68
	RON9	Pi.n	24	2,03	0,20	28,15	2,82
	TOTAL FD_3		174	1,77	0,18	23,58	2,36
FD_1+S_s	LIN12	Pi.n	32	0,75	0,07	13,95	1,40
	MUN17	Pi.n	21	4,41	0,44	51,10	5,11
TOTAL FD_1+S_s			53	2,58	0,26	32,52	3,25

Influența eroziunii solului asupra creșterilor radiale, în suprafața de bază și în volum la nivelul arborilor de pin de pe terenurile degradate

Analizând graficele din fig. 4.10A, fig. 4.10B, în zona fitoclimatică FD_3 pinul silvestru înregistrează valori medii, ale celor trei categorii de creșteri amintite, mai mari față de cele înregistrate la pinul negru pe ambele tipuri de eroziune.

În contrast, în zona fitoclimatică FD_1+S_s , pinul negru dovedește o capacitate mai bună de creștere, fapt datorat condițiilor ecologice ale speciei manifestat prin amplitudinea sa mai ridicată la condițiile pedoclimatice și staționale din zona analizată.

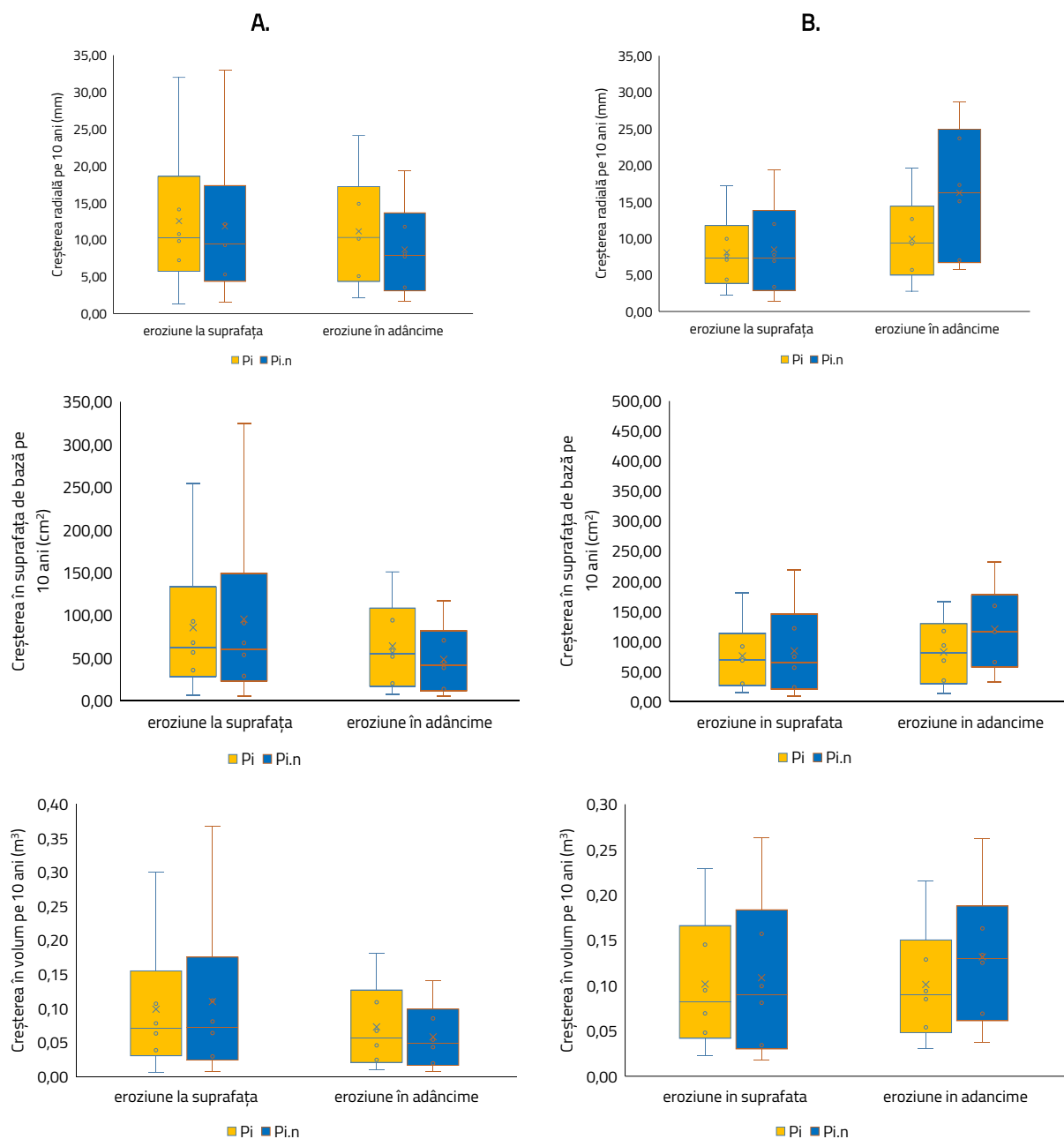


Figura 4.10 Variația creșterilor radiale, în suprafața de bază și în volum pe 10 ani la nivelul arborilor din arborete, pe tipuri de eroziune: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s .

În cadrul tezei de doctorat, analiza statistică a creșterilor pe tipuri principale de eroziune (în suprafață și în adâncime) s-a realizat pentru două cazuri distincte. În rezumat s-a inclus doar *Cazul 2: Specie diferită și forma de eroziune similară*, ca fiind cel mai relevant rezultat.

În ceea ce privește influența eroziunii solului asupra creșterilor radiale pe 10 ani la cele două specii de pin analizate, pe terenurile erodate din zona fitoclimatică FD_3 , testul Anova a indicat diferențe semnificative între mediile creșterilor ($p < 0,05$) pe terenurile erodate în adâncime, rata de creștere medie radială înregistrată la arborii de pin silvestru fiind cu 31,17% mai mare față de cea înregistrată la

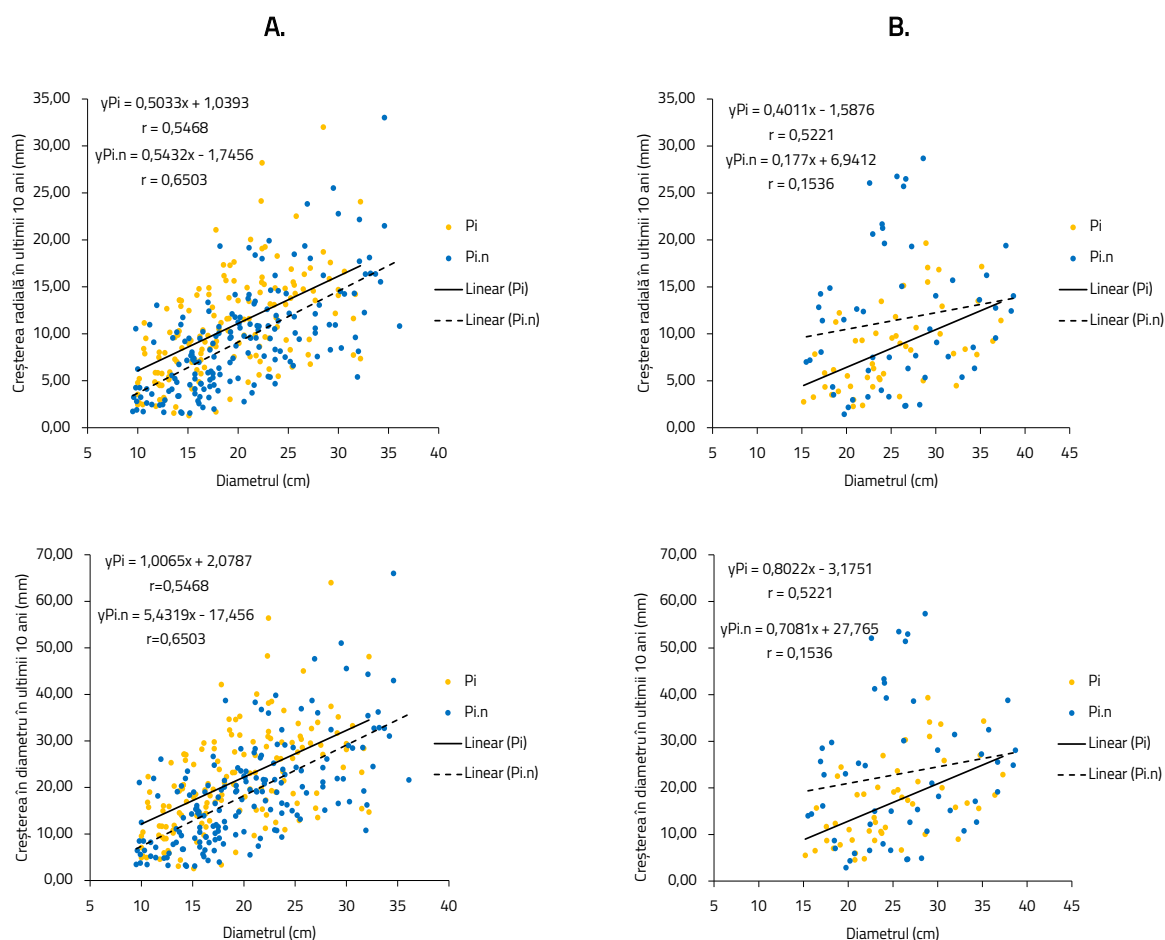
pinul negru pe aceste terenuri. În contrast, *pe terenurile erodate din zona fitoclimatică FD₁+S_s*, testul Anova a indicat diferențe semnificative între mediile creșterilor pe terenurile erodate în adâncime, rate de creștere medie radială înregistrată la arborii de pin negru fiind cu 45,35% mai mare față de cea înregistrată la pinul silvestru pe aceste terenuri.

Referitor la influența eroziunii solului asupra creșterilor în suprafața de bază pe 10 ani la cele două specii de pin, apar diferențe semnificative între medii doar pe terenurile erodate în adâncime din zona fitoclimatică FD₁+S_s, rata de creștere medie a pinului negru fiind cu 41,31% mai mare față de media creșterilor înregistrate la pinul silvestru.

Influența eroziunii solului asupra creșterilor în volum pe 10 ani, în aceleași condiții de teren degradat, nu a condus la apariția unor diferențe semnificative între mediile creșterilor în volum, testul Anova confirmând existența unor similitudini în ceea ce privește modul de creștere în volum al speciilor de pin analizate.

Modelarea creșterilor arborilor de pin

Analizând graficele din fig. 4.11A, fig. 4.11B, se poate confirma legitatea potrivit căreia creșterile se distribuie după o dreaptă specifică arboretelor echine, unde valorile minime ale creșterii se regăsesc la arborii mai subțiri și cresc direct proporțional odată cu diametrul și cu forma trunchiului arborilor



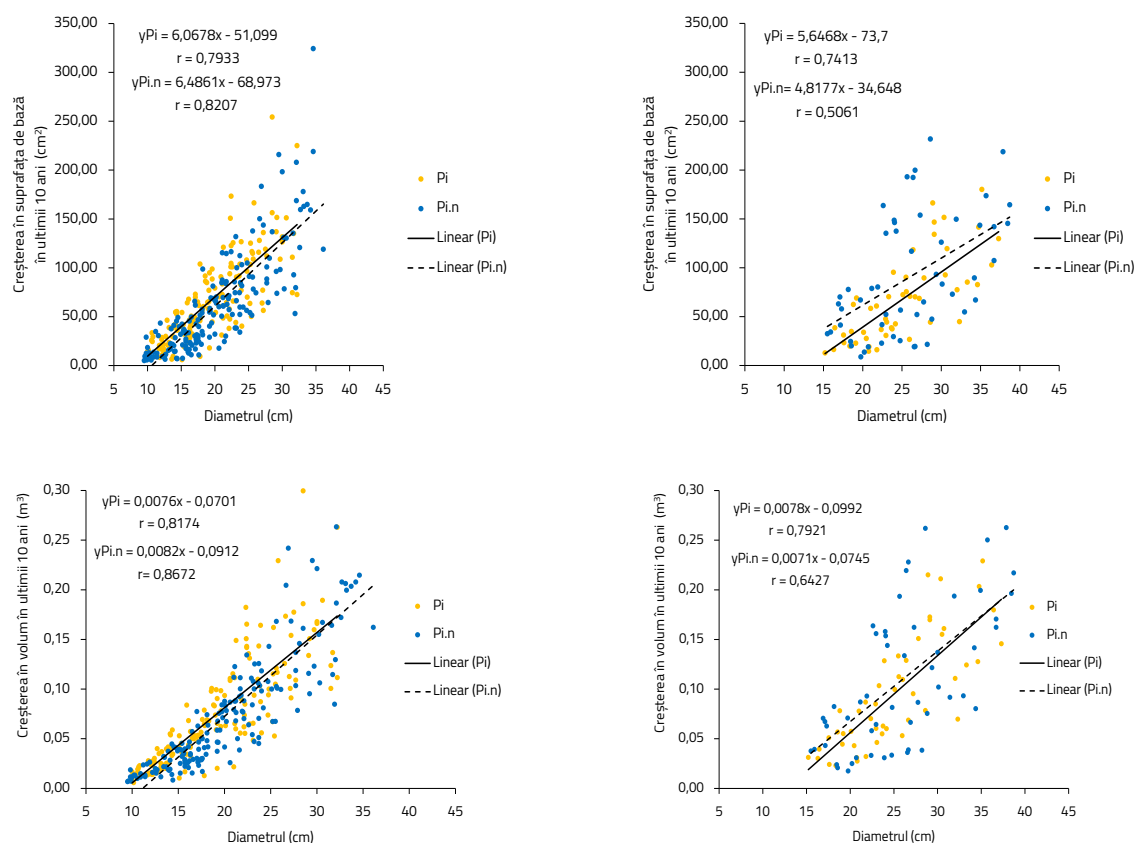


Figura 4.11 Variația creșterilor în raport cu diametrul de bază pentru cele două specii de pin și ajustarea valorilor experimentale prin ecuații de regresie liniare de forma ($ir=b_0+b_1 \cdot d$): A. FD_3 ; B. FD_1+S_5 .

4.3.3 Modele dendroclimatice pentru speciile de pin de pe terenurile degradate

Indicii de creștere reziduali (RWI) au fost obținuți prin standardizarea seriilor de creștere individuale ale speciilor de pin studiate (Figura 4.12). Aceștia au înregistrat un trend negativ în anii 1974, 1987, 1989 și 2020, precum și în anii cei mai secetoși (2000, 2003, 2007).

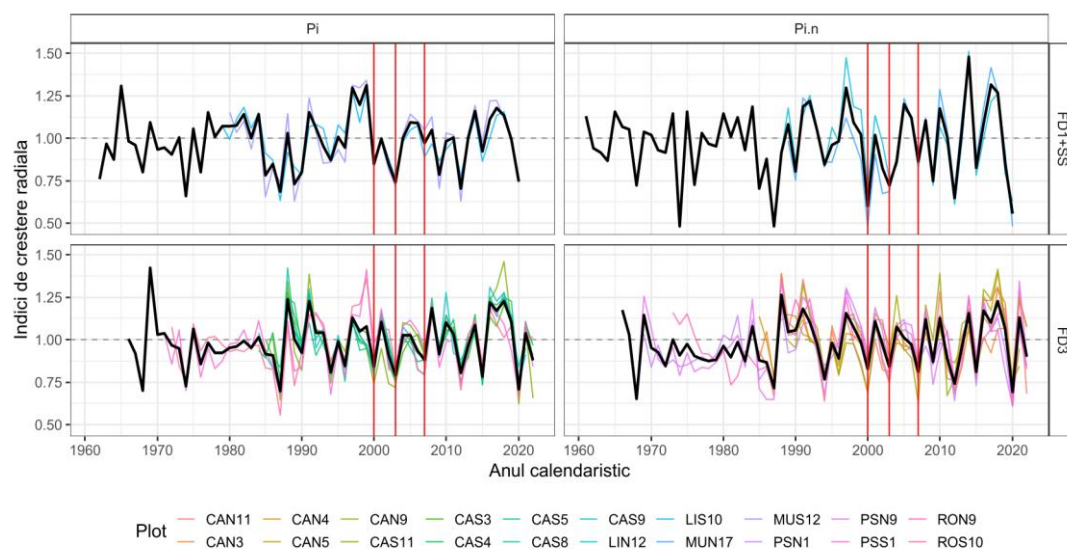


Figura 4.12 Dinamica indicilor de creștere reziduali la nivel de zonă fitoclimatică (cu negru) și sondaj (plot) (cu culori) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate (Semnificația simbolurilor: ex. CAS3, CAN3: "CA"-codul suprafeței experimentale; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N- cod atribuit speciei pin negru; 3- numărul suprafeței experimentale. Analog pentru celelalte codificații; liniile verticale roșii indică 3 cei mai secetoși ani din perioada de studiu).

Modele dendroclimatic pentru temperatura medie și minimă lunară au evidențiat corelații pozitive și semnificative cu procesele de creștere radială doar la specia pin silvestru în luna noiembrie a anului precedent (fig.4.13, fig. 4.14), stocarea carbohidraților non-structurali favorizând creșterile la începutul noului sezon de creștere curent.

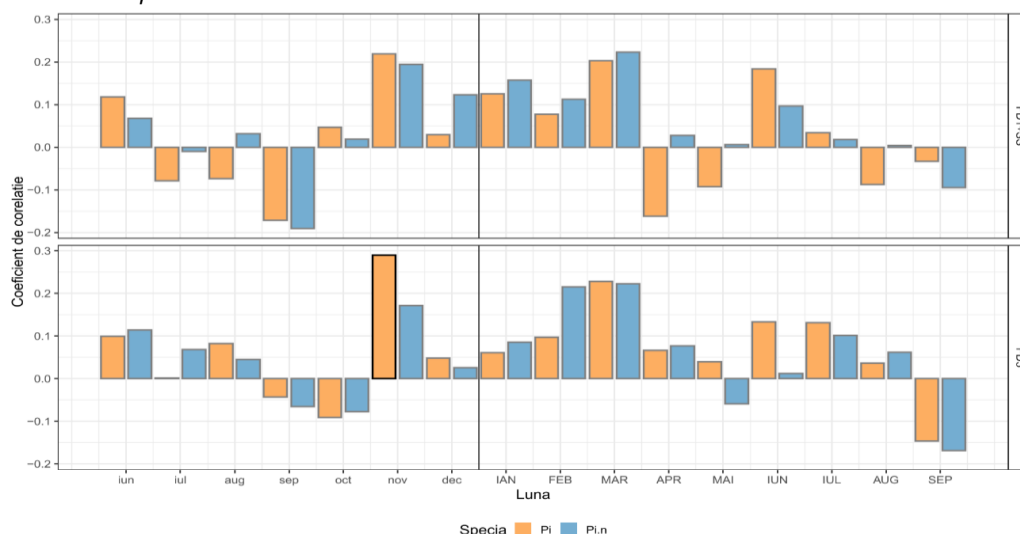


Figura 4.13 Modelul dendroclimatic pentru temperatura medie lunară [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior)

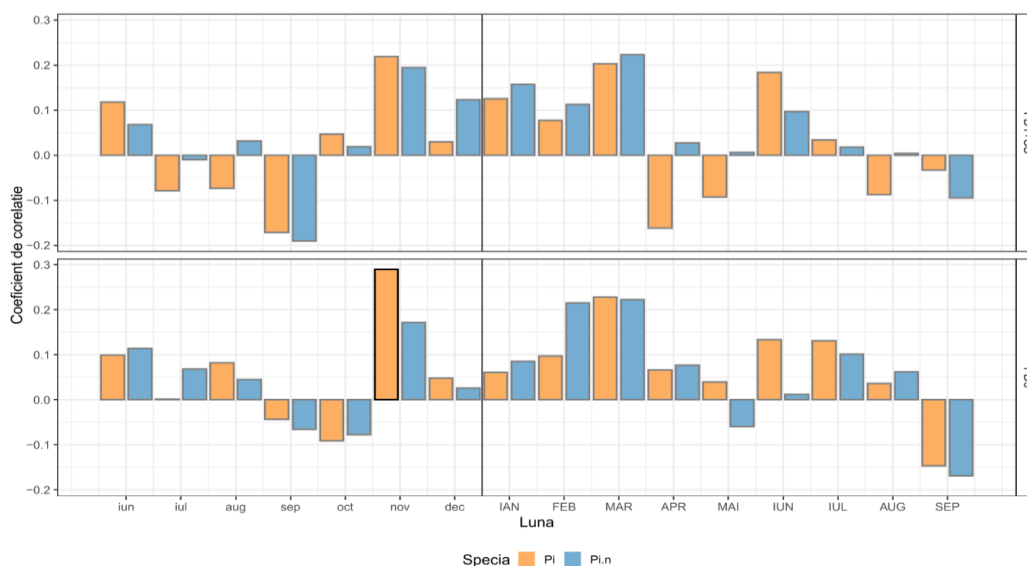


Figura 4.14 Modelul dendroclimatic pentru temperatura minimă lunară [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).

Modelul dendroclimatic pentru temperatura maximă lunară a evidențiat legături inverse cu creșterea în lunile septembrie și octombrie a anului precedent, cu diferențe semnificative doar în luna septembrie la speciile de pin în zona fitoclimatică FD₁+S₅. În luna septembrie a anului precedent corelațiile au fost pozitive cu creșterea, temperatura maximă având un impact asupra stocării nutrienților care au favorizat creșterile în noul sezon de creștere (Figura 4.15).



Figura 4.15 Modelul dendroclimatic pentru temperatura maximă lunară [factorul climatic] în raport zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).

Modelul dendroclimatic pentru precipitații a evidențiat corelații pozitive cu creșterea radială în luna noiembrie din anul precedent (Figura 4.16), cantitatea de apă stocată în toamna anului precedent implicând pozitiv creșterea la începutul sezonului de creștere curent (martie, aprilie), dar și în luna iunie, unde corelațiile au fost semnificative la nivelul speciilor de pin și în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite.

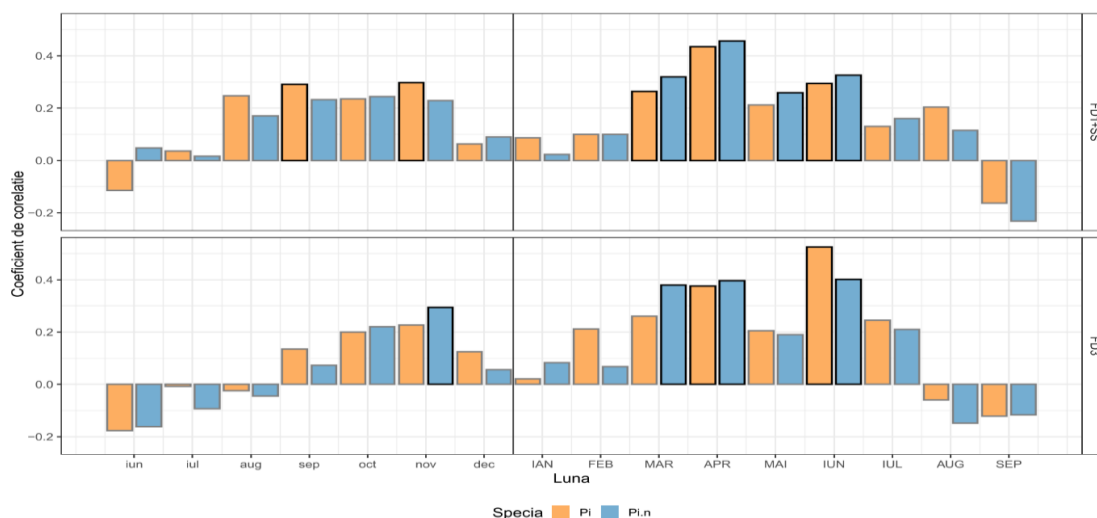


Figura 4.16 Modelul dendroclimatic pentru precipitații [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).

Modelul dendroclimatic pentru bilanțul hidric al apei sau al disponibilității apei din sol a evidențiat corelații pozitive cu creșterea în luna noiembrie a anului precedent (Figura 4.17). Pierderea rezervei de apă din sol prin evapotranspirație nu a afectat bilanțul hidric al apei din toamna precedentă, favorizând

pozitiv creșterea la începutul noului sezon de creștere, dar și în lunile de vară, corelații fiind pozitive și semnificative în lunile aprilie și iunie pentru speciile de pin studiate, indiferent de zona fitoclimatică.

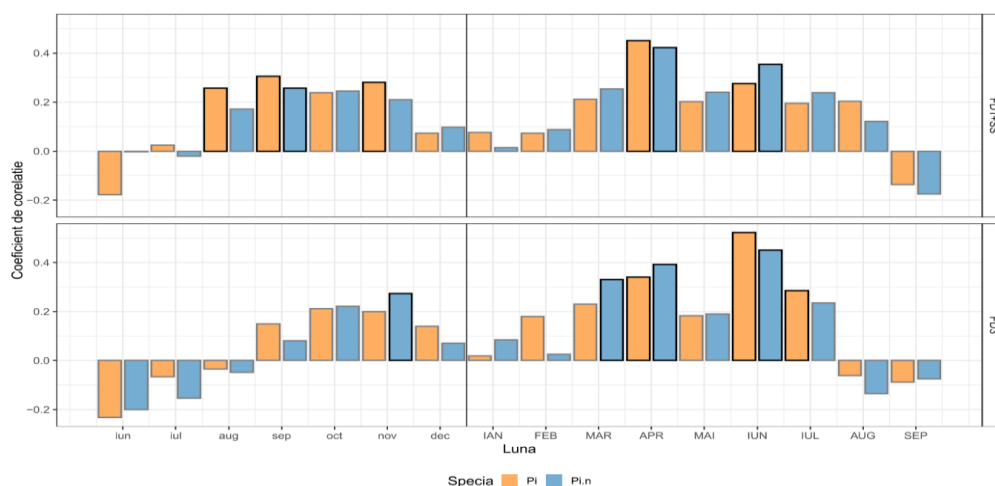
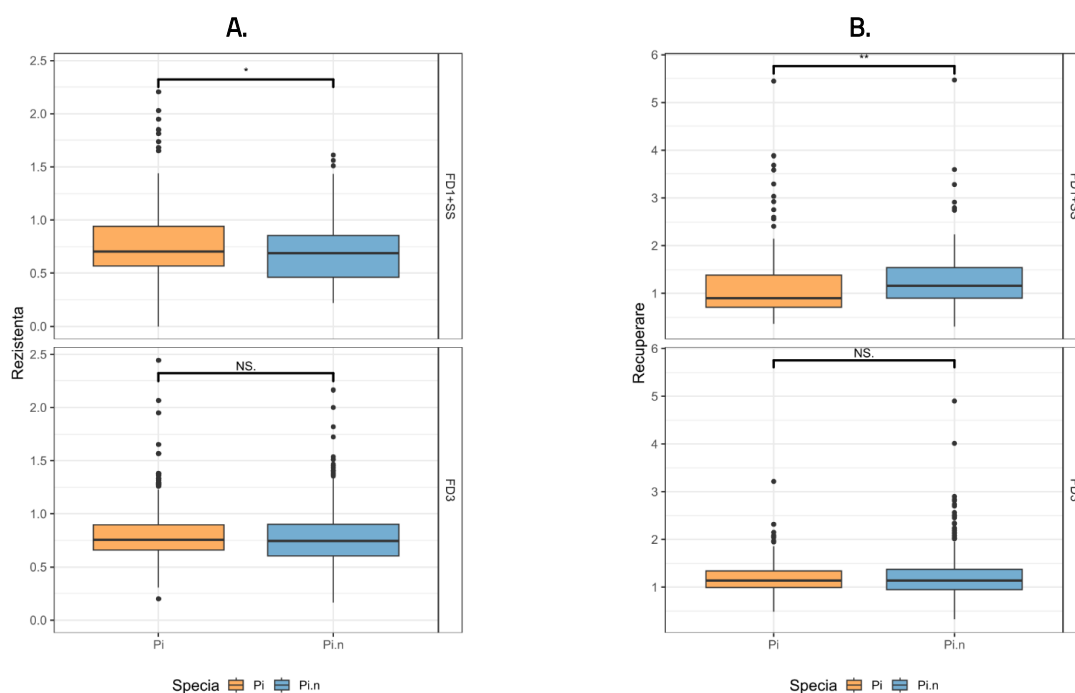


Figura 4.17 Modelul dendroclimatic pentru bilanțul hidric al apei [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).

4.3.4 Variabilitatea componentelor rezilienței

Indicii de reziliență s-au calculat pe baza creșterilor radiale la nivel de arbore. Aceștia indici ne indică practic, răspunsul arborilor la anumite evenimente extreme, în cazul analizat, seceta.

Componentele rezilienței (rezistența, recuperarea, perioada de recuperare și reziliența) determinate la nivelul tuturor arborilor și excluzând eroziunea (fig.4.18A, fig. 4.18B, fig. 4.18C, fig.4.18D), au indicat că pinul silvestru manifestă o capacitate de rezistență mai ridicată față de pinul negru, în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite, reușind să-și recupereze mai rapid pierderile de creștere după evenimentul de secetă, cu diferențe semnificative la nivelul rezistenței și distinct semnificative la nivelul recuperării.



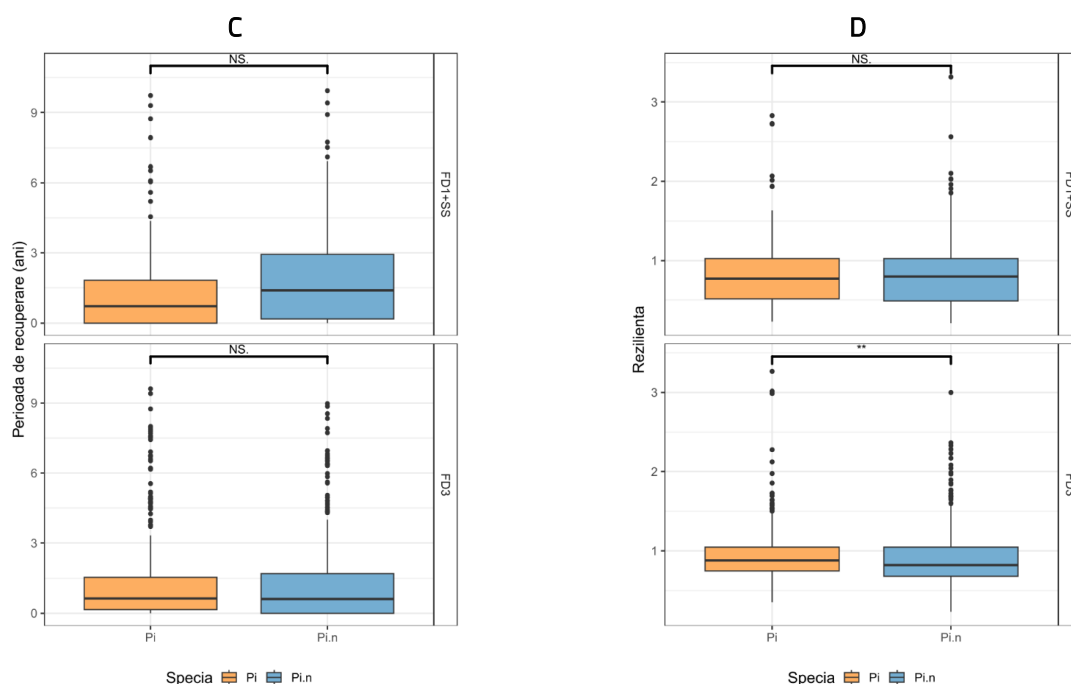


Figura 4.18 Componentele rezilienței pinului în funcție de specie și zona fitoclimatică pentru cei trei ani de secetă similari zonelor de studiu: A-rezistența; B-recuperare; C-perioada de recuperare; D-reziliența (Semnificația simbolurilor: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$).

În raport cu tipurile de eroziune principale (în suprafață și în adâncime), componentele rezilienței (rezistența, recuperarea, perioada de recuperare și reziliența) determinate la nivel de arbori au arătat că pinul silvestru prezintă o capacitate de rezistență superioară față de pinul negru, indiferent de tipul de eroziune și de zona fitoclimatică, reușind să își mențină ritmul de creștere în perioadele post-secetă.

Deși pinul negru este foarte tolerant la secetă și vânt (Isajev et al., 2004) prin conținutul mai mare de potasiu din ace, totuși acesta a manifestat o sensibilitate ridicată în ceea ce privește rezistența și recuperarea după evenimentele de secetă extremă din anii 2000 și 2003, având un impact negativ asupra creșterii. O ipoteză în acest sens ar fi că, pe fondul sensibilității create de secetă asupra arborilor de pin negru, formarea xilemului începe mai târziu, fiind micșorată durata fazei de creștere radială, ceea ce implică formarea unui număr redus de traheide mature (Guada et al., 2016).

Din analiza statistică a datelor, aplicând testul neparametric Wilcoxon, au apărut diferențe distinct semnificative între medii la nivelul arborilor, doar pe terenurile erodate în adâncime pentru indicele de recuperare și reziliență ($P=99\%$), respectiv semnificative pentru indicele de rezistență și perioada de recuperare ($P=95\%$) (fig. 4.19A, 4.19B, fig. 4.19C, fig.4.19D). O ipoteză în acest sens ar fi că, odată cu creșterea cantumului precipitațiilor, terenurile erodate în adâncime (ravene, alunecări) au o capacitate mai ridicată de conservare și stocare a apei în sol, în special atunci când intensitatea ploilor are caracter torențial (în perioada verii), favorizând astfel stocarea nutrienților și amplificarea creșterilor (Lal, 2001).

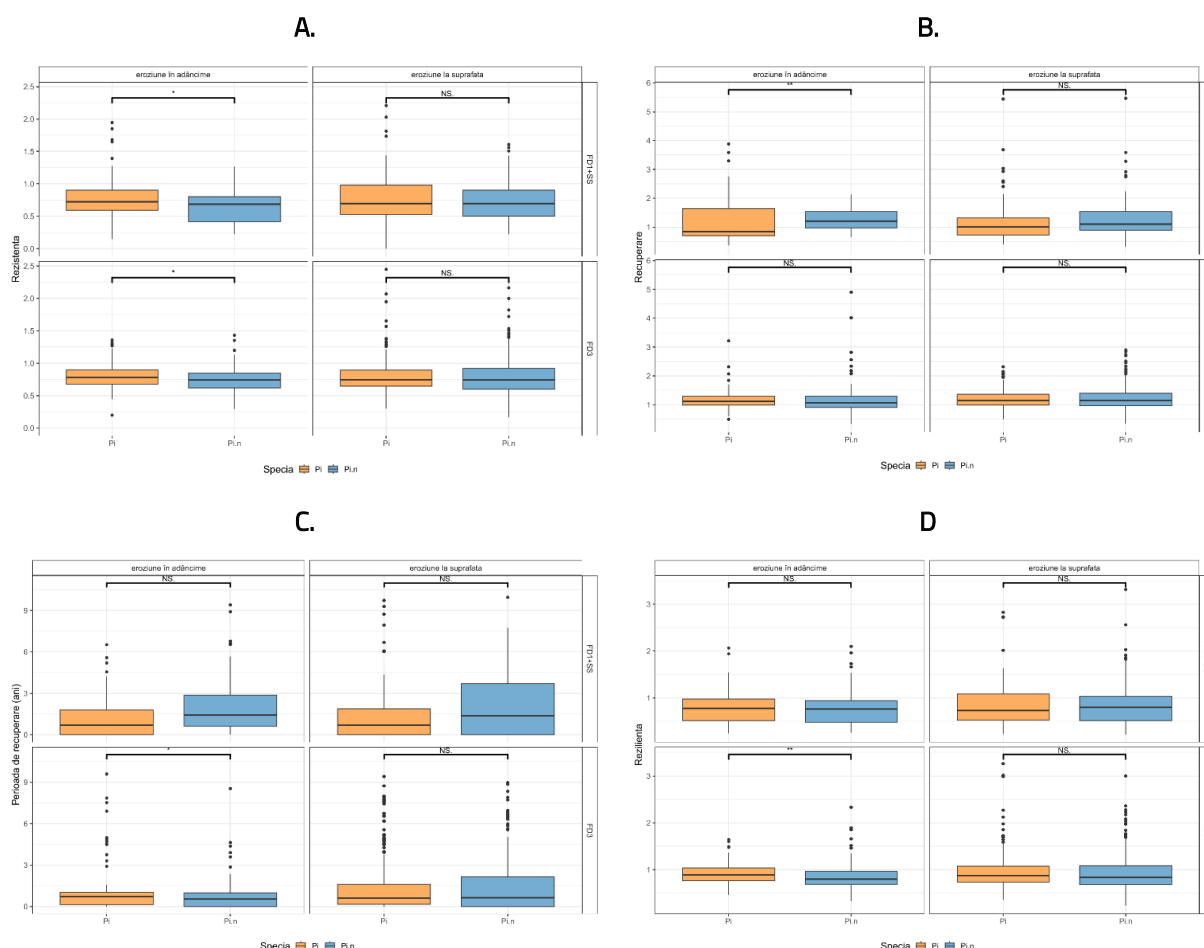


Figura 4.19 Componentele rezilienței pinului în funcție de zona fitoclimatică și de tipul de eroziune a solului pentru cei trei ani de secetă similari zonelor de studiu: A- rezistența; B- recuperarea; C- perioada de recuperare; D- reziliența (Simbolurile: *- $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$).

4.4 Analiza unor indicatori calitativi ai lemnului de pin de pe terenurile degradate

4.4.1 Particularități privind densitatea lemnului de pin

Rezultate privind variația densității lemnului, a biomasei supraterane și a stocului de carbon

În cadrul cercetării desfășurate, s-au evaluat *densitatea lemnului, biomasa supraterană și stocul de carbon* pentru speciile de pin silvestru și pin negru în două zone fitoclimatice (FD_3 și FD_1+S_5). Rezultatele au evidențiat valori superioare pentru toate cele trei variabile în cazul pinului negru, comparativ cu pinul silvestru în ambele zone analizate (între $443,17 \pm 41,76 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ și $524,48 \pm 94,97 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; între $42,75 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ și $49,91 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$; între $21,80 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ și $25,46 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$, față de $405,27 \pm 33,40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ și $454,45 \pm 67,39 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $29,53 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ și $42,04 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$; $15,06 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ și $21,44 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$). Totodată, zona fitoclimatică FD_3 s-a remarcat prin densități medii ale lemnului mai mari ($454,45 \pm 67,39 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pentru pinul silvestru, $524,48 \pm 94,97 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pentru pinul negru), precum și prin niveluri mai ridicate ale biomasei și carbonului stocat ($42,04 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ pentru pinul silvestru și $49,91 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ pentru pinul negru; $21,44 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ pentru pinul silvestru și $25,46 \text{ to} \cdot \text{ha}^{-1}$ pentru pinul negru), sugerând condiții ecologice mai favorabile pentru dezvoltarea arboretelor. Aceste rezultate contribuie la o mai bună înțelegere a potențialului de stocare a carbonului în ecosistemele forestiere din zonele fitoclimatice analizate.

Densitatea lemnului a variat în funcție de tipul de eroziune și specie, pinul negru prezentând valori medii mai ridicate decât pinul silvestru, atât pe terenurile erodate în suprafață (518,06 vs. 456,69 kg·m⁻³), cât și pe cele erodate în adâncime (545,67 vs. 444,14 kg·m⁻³), evidențiind o adaptabilitate superioară a acestei specii în condiții staționale slab productive din zonele fitoclimatice întâlnite (fig. 4.20, fig. 4.21).

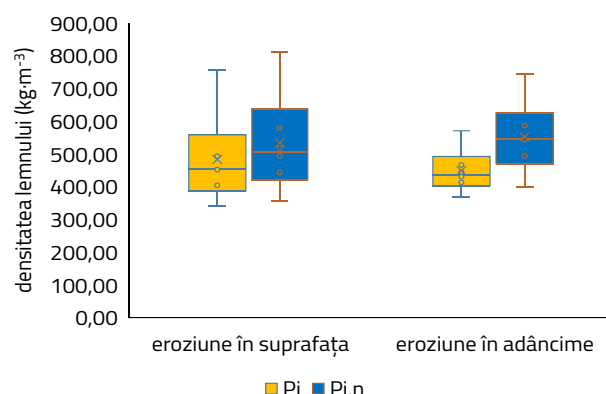


Figura 4.20 Variația densității lemnului de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune (sondaje din arboretele de pin situate în etajul fitoclimatic FD₃).

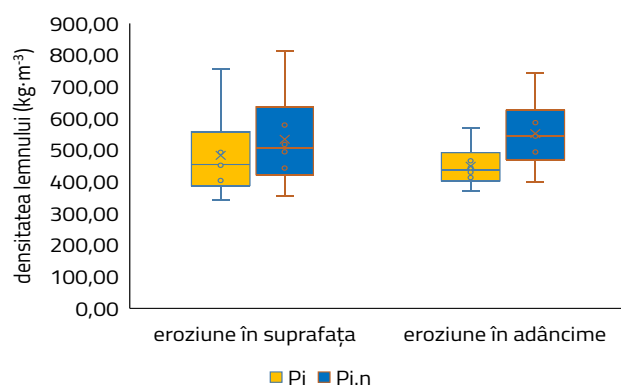


Figura 4.21 Variația densității lemnului de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune (sondaje din arboretele de pin situate în zona fitoclimatică FD₁+S₅).

Testul statistic ANOVA a evidențiat diferențe semnificative între medii în zona fitoclimatică FD₃, unde variabilitatea densității este mai accentuată. În schimb, în zona fitoclimatică FD₁+S₅, diferențele semnificative apar doar pe terenurile erodate în suprafață.

Modelarea densității lemnului și a indicatorilor cantitativi derivați (biomasa suprateană, stocul de carbon)

Modelarea valorilor experimentale individuale ale densității lemnului și a indicatorilor cantitativi asociați a evidențiat relații semnificative cu diametrul de bază al arborilor, utilizând regresia liniară și coeficienții r-Pearson. Rezultatele au arătat corelații pozitive și directe, indicând faptul că, pe măsura creșterii în diametru, valorile densității și ale variabilelor derivate cresc direct proporțional (fig. 4.22A, fig. 4.22B). Cele mai semnificative corelații au fost identificate în arboretele din zona fitoclimatică FD₃, confirmând legătura directă dintre dezvoltarea dimensională a arborilor și caracteristicile calitative ale lemnului.

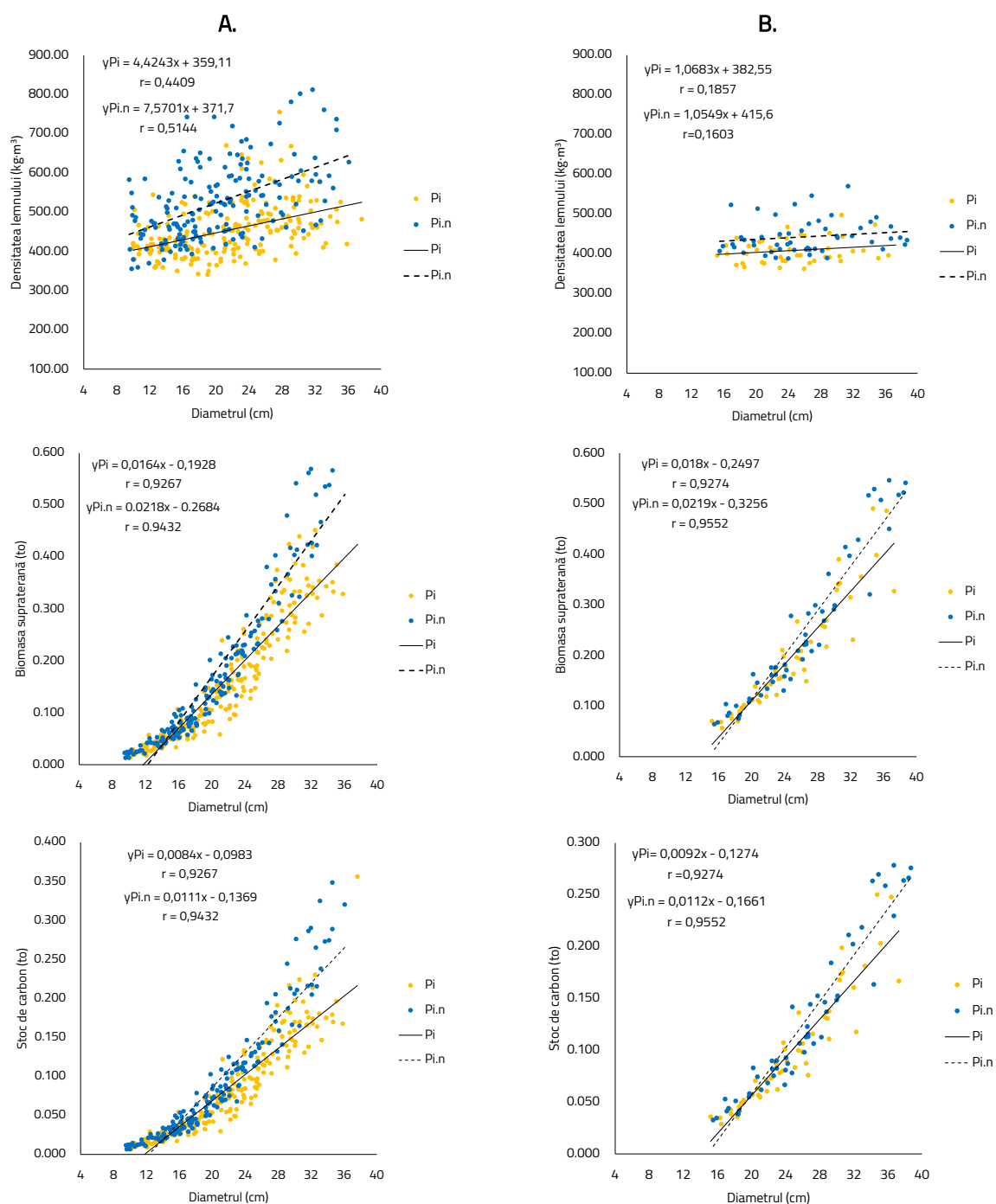


Figura 4.22 Modelarea unor indicatori calitativi ai lemnului în raport cu diametrul arborilor, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD_3 ; B. FD_1+S_5 .

Densitatea reprezintă una dintre cele mai importante proprietăți fizice ale lemnului, influențând direct rezistența mecanică, fiind un indicator cheie în evaluarea calității și a potențialului său de valorificare (Kantieva et al., 2021). Această proprietate variază în funcție de specie, structură anatomică, condiții de mediu și intervenții silviculturale (Brichta et al., 2023). Studiile arată că pinul negru are, în general, o densitate mai ridicată decât pinul silvestru, datorită proporției mai mari de lemn târziu și capacității de adaptare structurală (Pazdrowski, 2004). Variațiile înregistrate la nivelul SEP reflectă influența genetică, a tipului de eroziune și a condițiilor ecologice locale (Thornquist, 1993).

4.4.2 Particularități privind rezistența la micro-foraj la speciile de pin

Rezultate privind variația rezistenței lemnului la micro-foraj

Rezistența medie a lemnului la micro-foraj a prezentat valori mai ridicate în cazul pinului negru (de la $41,78 \pm 8,09\%$ la $42,66 \pm 7,13\%$) comparativ cu pinul silvestru (de la $30,83 \pm 8,47\%$ la $33,67 \pm 7,59\%$), în zonele fitoclimatice întâlnite. Aceste diferențe confirmă superioritatea mecanică a lemnului de pin negru, reflectând o structură internă mai compactă și o proporție mai mare de lemn târziu, indiferent de condițiile staționale (Pazdrowski, 2004).

Rezistența lemnului la micro-foraj a variat semnificativ în funcție de *specie, tipul de eroziune și zona fitoclimatică*. În zona fitoclimatică FD_3 , valorile medii au fost mai ridicate pe terenurile erodate în adâncime comparativ cu cele erodate în suprafață, iar pinul negru a prezentat constant o rezistență superioară pinului silvestru ($45,07\%$ vs. $35,38\%$ eroz. în adâncime; $40,96\%$ vs. $32,79\%$ eroz. în suprafață) (Figura 4.23).

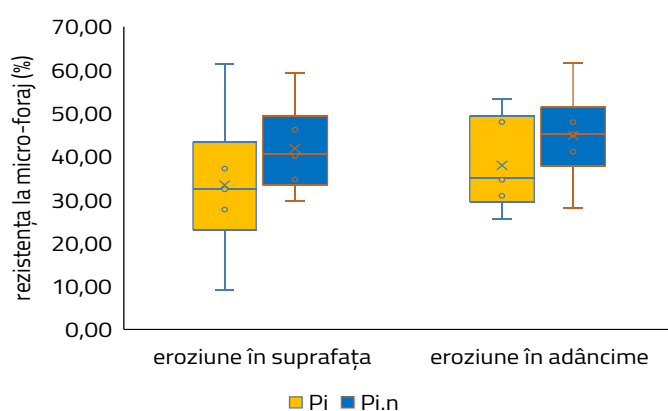


Figura 4.23 Variația rezistenței la micro-foraj din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în etajul fitoclimatic FD_3 .

Variația rezistențelor lemnului pe adâncimea de burghiere depinde de structura internă a acestuia (Fundova et al., 2018). Pe traseul de burghiere apar intervale în care rezistența lemnului scade, fiind influențată de densitatea lemnului pe inelele anuale din secțiunea transversală a lemnului (Krzemień et al., 2015). S-a observat o tendință distinctă de creștere a rezistenței la micro-foraj în secțiune transversală odată cu pătrunderea în duramen, mai accentuată la pinul negru, ca efect al densității medii mai ridicate a lemnului acestei specii (fig. 4.24A, 4.24B).

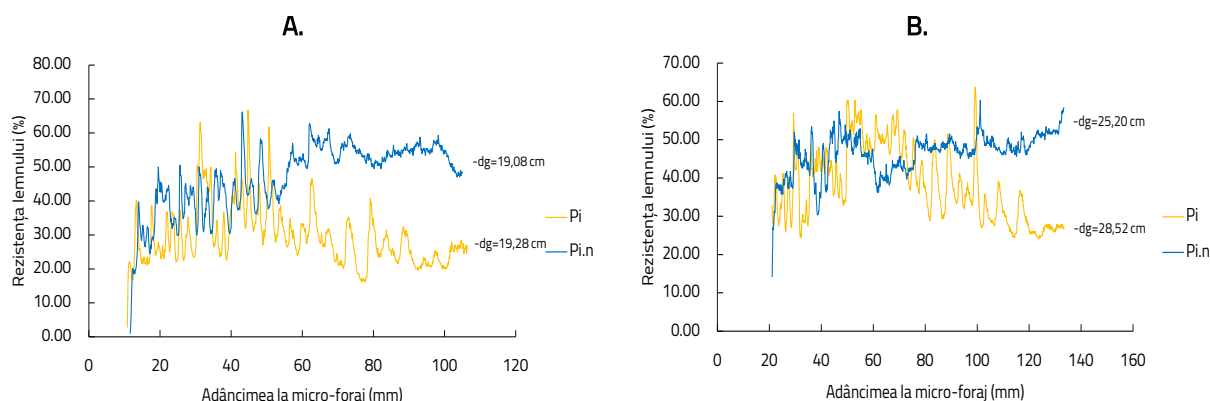


Figura 4.24 Variația rezistenței la micro-foraj la arborii medii: A. PA Caci-Bârsești (CA); B. PA Roșoiu-Andriașu (RO).

În zona fitoclimatică FD_1+S_s , diferențele dintre specii s-au menținut, însă valorile rezistenței au fost mai scăzute, în special pentru pinul silvestru, care a înregistrat cele mai mici valori pe terenurile erodate în adâncime (29,03%) (Figura 4.25). Aceste rezultate subliniază însușiri mecanice superioare ale pinului negru în condiții staționale slab productive, indicând o rezistență structurală mai mare și o adaptabilitate mai bună în ecosisteme forestiere degradate (Figura 4.26).

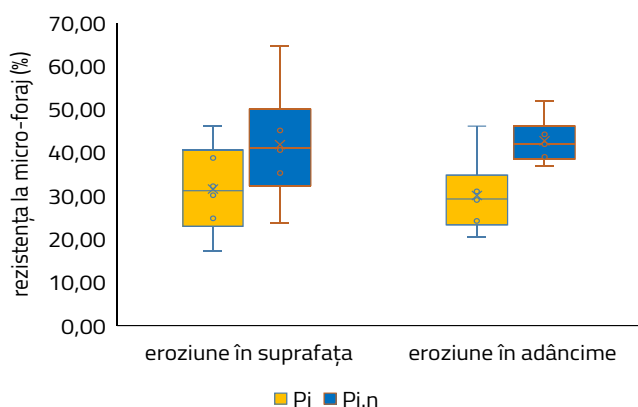


Figura 4.25 Variația rezistenței la micro-foraj din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în zona fitoclimatică FD_1+S_s .

În zona fitoclimatică FD_1+S_s , profilele de rezistență la micro-foraj au evidențiat o predispoziție ridicată de apariție a unor defecte interioare în special la arborii de pin silvestru (Figura 4.26B), acestea semnalând prezența unor caracteristici care afectează structura internă a lemnului (pungi de rășină, putregai ș.a) (Figura 4.26C).

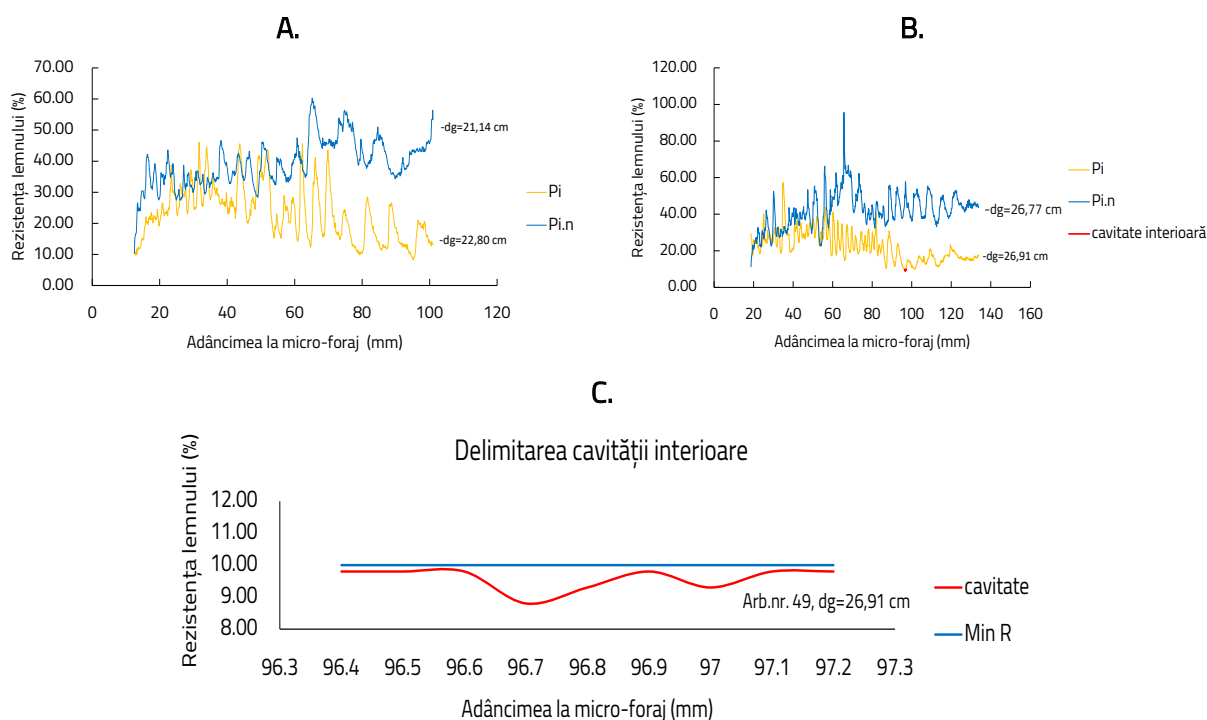


Figura 4.26 Variația rezistenței la micro-foraj la arborii medii: A. PA Murgești (MU); B. PA Livada-Râmnicu Sărat (LI); C. delimitarea unor posibile zone cu putregai (caz particular la arborii medii din PA Livada-Râmnicu Sărat).

Testul Anova a confirmat existența unor diferențe semnificative între mediile rezistenței lemnului calculate la nivelul speciilor de pin ($p < 0,05$) indiferent de tipul de eroziune și de zona fitoclimatică.

Modelarea rezistenței lemnului la micro-foraj în raport cu densitatea lemnului

Rezultatele au evidențiat o legătură corelativă pozitivă și directă între densitatea lemnului și rezistența la micro-foraj, între cele două variabile manifestându-se o relație de interdependență (fig. 4.27A, fig. 4.27B). Corelații semnificative statistic ($p < 0,05$) au fost obținute doar pentru arborii de pin silvestru din zona fitoclimatică FD₃.

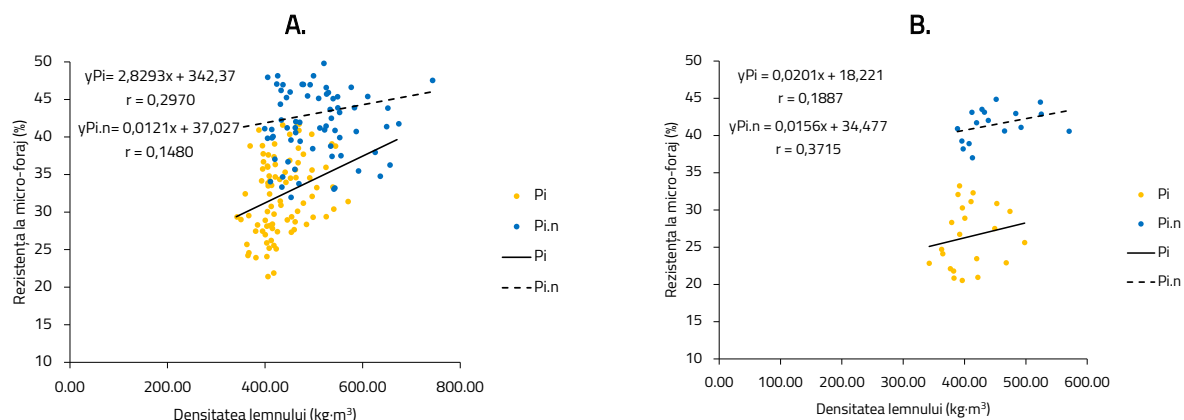


Figura 4.27 Modelarea rezistenței lemnului la micro-foraj în funcție de densitatea lemnului, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD₃; B. FD₁+S₅.

4.4.3 Particularități privind viteza sunetului la speciile de pin

Rezultate privind variația vitezei lemnului prin secțiunea transversală a arborilor

Viteza medie de propagare a sunetului prin lemn a evidențiat variații specifice în funcție de specie și zona fitoclimatică

În ansamblu, valorile au fost superioare la pinul negru (de la $1342,08 \pm 107,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ la $1392,52 \pm 131,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) comparativ cu pinul silvestru ($1283,87 \pm 144,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ la $1298,97 \pm 116,36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) în zonele fitoclimatice întâlnite, iar diferențele apărute reflectă influența directă a condițiilor de mediu și a caracteristicilor dimensionale ale arborilor asupra proprietăților acustice ale lemnului. Analiza vitezei medii de propagare a sunetului prin lemn pe terenurile degradate erodate în suprafață și în adâncime, din zonele fitoclimatice întâlnite, a evidențiat variații influențate de specie și tipul de degradare (fig.4.28, fig.4.29). Viteza de propagare a sunetului a fost constant mai mare în cazul pinului negru, aspect corelat cu densitatea superioară a lemnului acestei specii, influențând pozitiv comportamentul acustic al materialului lemnos.

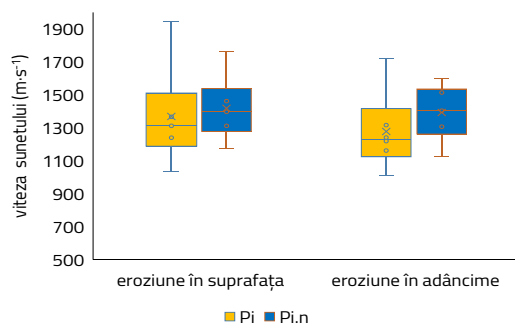


Figura 4.28 Variația vitezei sunetului din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în etajul fitoclimatic FD₃.

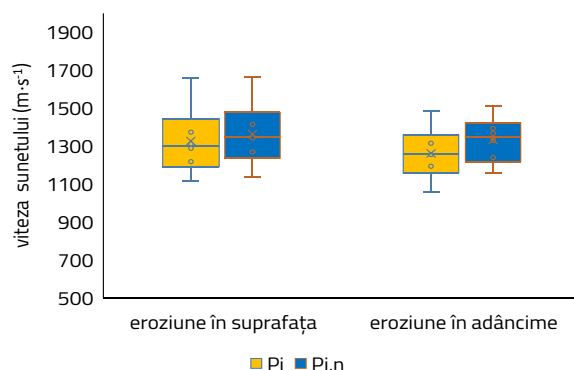


Figura 4.29 Variația vitezei sunetului din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în zona fitoclimatică FD_1+S_s .

Testul ANOVA a evidențiat existența unor diferențe semnificative statistic între valorile medii ale vitezei sunetului pentru speciile de pin studiate ($p < 0,05$), în special în condițiile terenurilor degradate din zona fitoclimatică FD_3 cu creșteri ale vitezei semnificativ mai mari în cazul speciei pin negru.

Modelarea vitezei sunetului în raport cu densitatea lemnului

Analiza relației dintre densitatea lemnului și viteza sunetului a evidențiat o corelație directă, confirmată de modelarea prin regresie liniară, considerată adecvată pentru estimarea interdependenței celor două variabile (fig.4.30A, fig.4.30B). Rezultatele au fost semnificative statistic în arboretele de pin din zona fitoclimatică FD_3 , indicând că o densitate mai mare este asociată cu o creștere a vitezei sunetului. În contrast, în zona fitoclimatică FD_1+S_s , relațiile au fost pozitive, însă nesemnificative, pe fondul unui eșantion redus și al influențelor abiotice care au generat o variabilitate crescută a proprietăților fizico-mecanice ale lemnului. Analiza acustică a demonstrat eficiența sa în detectarea timpurie a defectelor interne ale lemnului, valorile înregistrate pe arborii de pin silvestru și pin negru indicând o stare bună de sănătate a lemnului (viteze $> 1200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Gezer et al., 2015). Propagarea undei sonore este sensibilă la prezența defectelor structurale, precum putregaiul, dar și la factori interni (noduri, lemn de compresiune etc.) (Sasaki et al., 1998). Aceste rezultate confirmă aplicabilitatea metodei în silvicultură, creând premise importante de cercetare cu rol în gestionarea riscului de apariție a unor degradări în structura internă a lemnului precum și în creșterea stabilității și a calității lemnului.

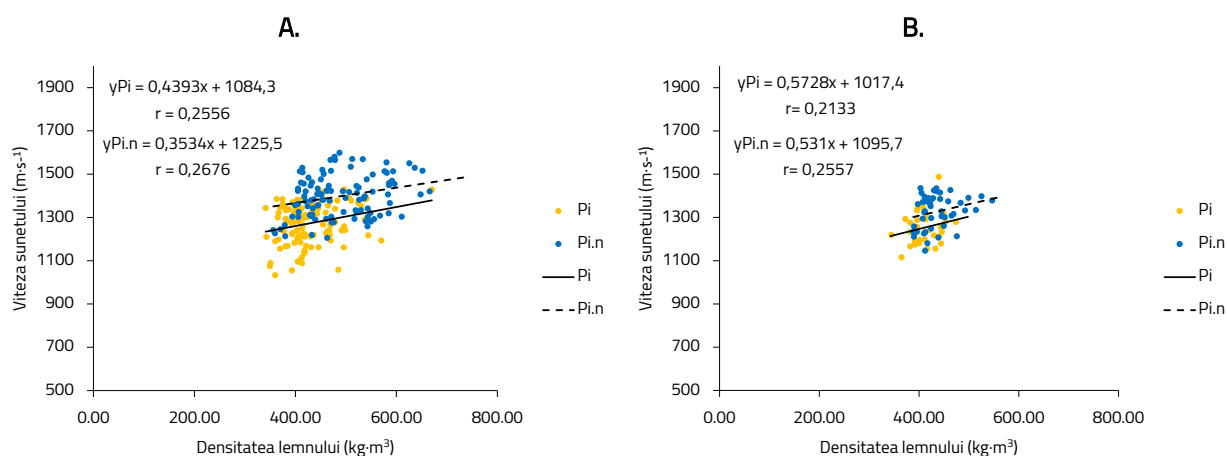


Figura 4.30 Modelarea vitezei sunetului prin lemn în funcție de densitatea lemnului, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s .

5. CONCLUZII

În urma cercetărilor efectuate, a prelucrării informațiilor și analizei rezultatelor obținute în cadrul tezei de doctorat, se pot formula concluzii pertinente, fundamentate științific, care contribuie la dezvoltarea cunoașterii atât în ceea ce privește structura, starea de sănătate și auxologia arborilor și arboretelor de pin instalate pe terenurile degradate din Subcarpații de Curbură, cât și unii indicatori de natură fizico-mecanică ai lemnului arborilor componenți.

În ceea ce privește structura arboretelor în raport cu diametrul arborilor, curbele de frecvență teoretică Beta au prezentat evidente asimetrii pozitive de stânga în cazul arboretelor de pin din clasa a III-a de vârstă (41-60 ani), datorită concentrării unui număr mare de arbori în clasele de diametre inferioare, specifică unor condiții staționale și de vegetație precare, caracteristice terenurilor degradate (sol superficial, pantă ridicată, configurație instabilă a versanților ș.a). În schimb, în arboretele încadrate în clasa a IV-a de vârstă (61-80 ani), apare o tendință de distribuție relativ normală a valorilor experimentale.

În raport cu înălțimea, s-a observat o ușoară tendință de migrare a arborilor de pin din clasele poziționale inferioare spre cele superioare, fapt datorat procesului de eliminare naturală a arborilor care a favorizat ulterior pătrunderea luminii și mărirea spațiului vital de creștere, având impact pozitiv în dezvoltarea unor caracteristici dimensionale importante (diametrul și înălțimea) prin procesul de fotosinteză. În contrast cu situația prezentată anterior, în cazul arboretelor din clasa a III-a de vârstă (41-60 ani), curbele de frecvență teoretică Beta au prezentat evidente asimetrii negative de dreapta. În mod similar, în arboretele de pin încadrate în clasa a IV-a de vârstă (61-80 ani), se manifestă aceeași tendință de distribuție relativ normală a valorilor experimentale, acestea fiind mai stabile și echilibrate din punct de vedere dinamic.

În raport cu volumul arborilor, curbele de frecvență teoretică Gamma au prezentat evidente asimetrii pozitive de stânga, ca și în cazul diametrelor pentru ambele clase de vârstă, surprinzând incapacitatea acestor arborete de a înregistra acumulări mari în volum, fapt cauzat de condițiile staționale limitate, dar și de orografia terenurilor, care a permis evoluția accelerată a proceselor de eroziune.

Prin compararea distribuțiilor experimentale cu cele teoretice s-a constatat existența unor diferențe semnificative la nivelul ambelor specii de pin analizate (pin silvestru și pin negru) teste de conformitate Kolgomorov-Smirnov (K-S) și Chi-pătrat (χ^2) indicând faptul că funcțiile Beta (în cazul diametrelor și a înălțimilor) și Gamma (în cazul volumelor) sunt cele mai potrivite pentru ajustarea valorilor experimentale, având un grad de plasticitate ridicat. De asemenea, prin analiza dinamicii structurii arboretelor de pin analizată cu ajutorul indicilor structurali Camino și Gini, au fost evidențiate trăsături specifice unei structuri echilibrată omogenă din punct de vedere al numărului de arbori și al suprafeței de bază, oferindu-se astfel, indicii importante în evoluția viitoare a acestora.

În ceea ce privește evaluarea stării de sănătate a arboretelor de pin, procentul de defoliere mediu în cazul celor două specii de pin analizate se propagă cu intensitate diferențiată în raport cu vârsta culturilor și a zonei fitoclimatice. Astfel, în arboretele de pin din etajul fitoclimatic FD₃, procentul mediu de defoliere a fost mai ridicat în arboretele de amestec intim cu speciile pin silvestru și pin negru, intensitatea defolierii fiind semnificativă în cadrul populațiilor din specia pin negru. Acest aspect este corelat cu proporția de participare relativ scăzută a pinului negru în compoziție precum și a valorilor indicatorilor structurali inferiori celor obținuți pentru arboretele de pin silvestru. În această accepțiune, gradul de

competiție între cele două specii este manifestat prin frecvența ridicată a rapoartelor de stânjenire, implicând o creștere a procentului mediu de defoliere pentru populațiile de pin negru ca urmare a migrării treptate a arborilor din clase poziționale Kraft superioare spre cele inferioare. În mod similar, procentul mediu de defoliere se menține ridicat și în cazul monoculturilor de pin silvestru și pin negru în zona fitoclimatică delimitată de silvostepa internă și etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_s). Intensitatea defolierii se manifestă diferit în raport specia și cu vârsta arboretelor, cele mai afectate fiind cele din clasa a IV-a de vârstă, cu preponderență asupra populațiilor de pin negru, însă cu diferențe nesemnificative din punct de vedere statistic în privința mediilor.

După gradul de uscare mediu (G_u), arboretele de pin silvestru și pin negru aparținând celor două zone fitoclimatice (FD_3 , FD_1+S_s) au fost moderat afectate de uscare, însă cu o variație mai ridicată a intensității acestuia în arboretele de pin situate în zona fitoclimatică FD_3 , fiind de la slab la foarte puternic afectate. Acest aspect poate fi explicat prin creșterea variației procentului de defoliere în arboretele cu indici de desime și densitate apropiați de valoarea 1, o cauză fiind atribuită clasei poziționale în general inferioară, asociată cu acțiunea factorilor abiotici vătămători (vânt, zăpadă) și a rapoartelor de competiție inter- și intraspecifice care au condus în timp la deteriorarea stării de sănătate a acestor arborete.

După gradul de vătămare (G_v), arboretele de pin silvestru și pin negru aparținând celor două zone fitoclimatice (FD_3 , FD_1+S_s) au fost moderat afectate de vătămări, în cazul acestora fiind înregistrate doborâturi și rupturi produse vânt și de zăpadă destul de frecvente. Variația gradului de vătămare a crescut odată cu înaintarea în vârstă a arboretelor, intensitatea vătămării fiind de la slabă la foarte puternică în arboretele din clasa a IV-a de vârstă (61-80 ani), fiind înregistrate doborâturi și rupturi izolate și foarte frecvente, sesizate în special în treimea superioară a trunchiurilor. Vătămrile destul de frecvente și foarte frecvente prezente în conformarea trunchiurilor arborilor de pin analizați cresc odată cu condițiile staționale grele de creștere atribuite stațiunilor forestiere specifice, de teren degradat. Interacțiunea dintre factorii ecologici și climato-edafici, influențează negativ în comportamentul și starea de sănătate a pinetelor instalate pe cale artificială pe terenurile degradate și creează raționamente științifice pentru reușita reconstrucției ecologice a acestora.

În ceea ce privește dinamica proceselor auxologice ale arboretelor de pin de pe terenurile degradate, cercetările fundamentale reprezintă obiective principale în monitorizarea forestieră. Indicatorii auxologici au fost determinați la nivelul suprafețelor experimentale, pe baza sondajelor de creștere realizate în cadrul acestora, informațiile de natura fiziologică și auxologică fiind identificate în cuprinsul inelului anual de creștere. *Analiza proceselor de creștere radială prin intermediul seriilor dendrocronologice a arătat faptul că* dinamica creșterii arborilor de pin aparținând celor două specii (pin silvestru și pin negru) a prezentat un trend descrescător în zonele de studiu întâlnite, justificat prin geometria trunchiului și a fazelor de dezvoltare ale arborilor (creșteri radiale mai ridicate în perioada juvenilă, fiind urmate de o reducere treptată odată cu creșterea în diametru). Începând din anul 1960 și până în anul 2020, în zona fitoclimatică FD_3 , rata creșterii radiale medii (TRW) a cunoscut o îmbunătățire în sondajele de creștere aparținând speciei pin silvestru fiind mai mare comparativ cu cele de pin negru. În contrast, zona fitoclimatică delimitată de silvostepă internă și etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_s), rata creșterii radiale medii în sondajele de creștere aparținând speciei pin negru a fost mai mare comparativ cu cele de pin silvestru.

În ceea ce privește dinamica proceselor de creștere în suprafața de bază (BAI), curba creșterilor a prezentat un trend crescător în perioada de creștere juvenilă, fiind urmată de rate de creștere mai reduse corelate cu anii secetoși. Creșterea în suprafața de bază (BAI) a prezentat tendință negativă începând cu anul 2003 pentru ambele specii de pin (pin silvestru și pin negru), acesta indicând o stare de stres ridicată la care au fost expuși arborii. Această tendință negativă poate să reprezinte și un semnal de avertizare timpurie a declinului arborilor. S-au remarcat rate de creștere în suprafața de bază (BAI) mai mari în cazul sondajele cu arbori pin silvestru din arboretele încadrate în zona fitoclimatică FD_3 , respectiv al celor cu arbori pin negru din arboretele încadrate în zona de silvostepă internă și etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_s). Fluctuațiile BAI au fost mai numeroase în sondajele cu arbori pin negru, cu creșteri ale ratelor BAI mai ridicate după anul 2000, în sondajele cu arbori pin silvestru.

În arboretele de pin pe terenurile degradate în perioada de analiză 2011-2020, s-a obținut o rată de creștere radială medie în ultimii 10 ani mai mare în sondajele cu arbori pin silvestru din zona fitoclimatică FD_3 , fapt ce a implicat și creșterea ratei BAI după anul 2000, această specie dovedind o adaptabilitate mai bună la condițiile staționale superficiale existente în această zonă. În contrast, în zona de silvostepă internă și etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_s) s-a obținut o rată de creștere radială medie în ultimii 10 ani mai mare în sondajele cu arbori pin negru, arborii pin silvestru fiind mult mai predispuși la factorii de stres din această zonă cercetată, semnalând un declin al creșterii în perioada de analiză 2011-2020.

În zona fitoclimatică FD_3 , rata de creștere medie în suprafața de bază a fost mai mare în sondajele de creștere cu arbori pin silvestru comparativ cu cele din zona fitoclimatică FD_1+S_s , respectiv mai mare în sondajele de creștere cu arbori pin negru aparținând zonei fitoclimatice FD_1+S_s comparativ cu cele din zona fitoclimatică FD_3 , cele două specii de pin (pin silvestru și pin negru), având un comportament diferit în privința acumulărilor de biomasă lemnoasă în raport cu condițiile ecologice ale speciei și a fluctuațiilor de creștere corelate cu factorii climatici. Totodată, valorile obținute pentru creșterile în volum atât la nivelul arborilor cât și la nivelul arboretelor semnalează o productivitate mai bună a arboretelor de pin silvestru din FD_3 , respectiv a arboretelor de pin negru din FD_1+S_s , fapt datorat variabilității ridicate a valorilor individuale ale creșterii radiale, ca urmare a proceselor intense de competiție inter- și intraspecifică, a condițiilor diversificate ale microstațiunilor rezultate din cartarea stațională, dar și a acțiunii factorilor abiotici vătămători care a implicat pe de o parte, reducerea numărului de arbori în anumite puncte de concentrare ale arboretelor, iar pe de altă parte, destabilizarea fiziologică la nivelul aparatului foliar prin vătămările multiple înregistrate în treimea superioară a fusului. În mod cert, producția acestor arborete nu este influențată în totalitate de valorile individuale ale creșterilor radiale, ci depinde de un cumul de factori implicați în evaluarea acesteia, cei mai importanți fiind specia, vârsta și clasa de producție.

În ceea ce privește evoluția proceselor de creștere radială pe tipuri de eroziune, în sondajele din etajul fitoclimatic FD_3 , arborii de pin silvestru au avut o rată de creștere radială medie mai mare comparativ cu arborii de pin negru pe ambele tipuri de eroziune, diferențele dintre medii fiind semnificative la o probabilitate de acoperire de 95% doar pe terenuri erodate în adâncime. În contrast, în sondajele realizate în zona de silvostepă și etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_s), arborii de pin negru au avut o rată de creștere radială medie mai mare față de cei de pin silvestru pe ambele tipuri de eroziune, diferențele între medii fiind semnificative doar pe terenuri erodate în adâncime. Raportându-ne la sondajele realizate în cele două zone studiate, creșterea în suprafața de bază și în volum stabilite prin metoda

indirectă urmează aceeași legitate potrivit căreia valorile creșterilor radiale se distribuie uniform după o ecuație de regresie liniară de forma $y=a \cdot x+b$ specifică arboretelor echienice, unde valorile experimentale ale creșterii cresc direct proporțional cu diametrul arborilor și cu geometria trunchiurilor. În același mod, creșterile în suprafața de bază și în volum au variat în raport cu cerințele ecologice ale speciilor, vârsta și clasele de producție, sub influența unor factori de natură climatică (temperatură, precipitații) care au implicat acumulări semnificative de masă lemnoasă în special pe terenurile erodate în adâncime.

În ceea ce privește influența temperaturilor (medii lunare, minime, maxime), a precipitațiilor și a bilanțului hidric asupra proceselor de creștere radială ale arborilor, prin intermediul modelelor dendroclimatice s-a evidențiat că :

- *În cazul temperaturii medii lunare*, majoritatea corelațiilor au fost pozitive și semnificative cu procesele de creștere radială pentru arborii din specia pin silvestru din sondajele realizate în etajul fitoclimatic FD_3 , dar și pentru arborii de pin negru din cadrul sondajelor realizate în zona de silvostepă și în etajul cvercetelor de deal (FD_1+S_5). Cele două specii reacționează în mod similar prin corelații pozitive la începutul noului sezon de creștere al anului curent în sondajele din etajul FD_3 , însă, arborii de pin silvestru sunt mai predispuși la factorul climatic analizat în zona FD_1+S_5 , corelațiile fiind negative la începutul sezonului de vegetație din anul curent. Aceste elemente indică o diferențiere între cele două specii de pin analizate în ceea ce privește răspunsul creșterii lor la temperaturile medii lunare.
- *Temperatura minimă lunară* din luna noiembrie a anului precedent formării inelului anual, se corelează pozitiv și semnificativ cu procesele de creștere radială la ambele specii de pin. În anul curent, temperaturile minime din luna septembrie au înregistrat o corelație negativă.
- *În cazul temperaturii maxime lunare*, majoritatea corelațiilor cu procesele de creștere radială au fost negative în lunile de vară a anului curent în special la arborii din specia pin negru din sondajele realizate în etajul fitoclimatic FD_3 . În contrast, în sondajele realizate în zona de silvostepă internă și etajul de cvercete (FD_1+S_5), s-au înregistrat corelații negative cu procesele de creștere la arborii din specia pin silvestru, pierderea de creștere fiind mai mare în acest caz.
- *Cuantumul lunar de precipitații* din toamna anului precedent a condus la accelerarea proceselor de creștere radială din anul curent pentru ambele specii de pin, corelațiile fiind pozitive și semnificative în lunile aprilie și iunie a anului curent. Corelații negative s-au evidențiat în schimb în luna august a anului precedent și curent, dar și în luna septembrie a anului curent, creșterea fiind puternic influențată negativ de acest factor climatic.
- *Bilanțul hidric al apei (disponibilitatea apei din sol)*, evidențiază o situație similară cu cea a cuantumului lunar de precipitații, rezerva de apă stocată în toamna anului precedent conducând la existența unor corelații pozitive în anul curent cu procesele de creștere radială datorită amplificării acesteia.

În ceea ce privește răspunsul oferit de arbori în anii secetoși (2000, 2003, 2007) cuantificat prin indicii de reziliență, s-a observat o diferențiere clară în capacitatea de rezistență și de recuperare ale celor două specii de pin în raport cu zona fitoclimatică și tipul de eroziune. Conform rezultatelor obținute, arborii pin silvestru au avut o capacitate mai ridicată de rezistență și de recuperare comparativ cu arborii pin negru după secetă, indiferent de zona fitoclimatică și de tipul de eroziune la nivelul celor trei ani secetoși, fiind un semnal clar că reziliența acestei specii nu este condiționată de factorul stațional, ci de

cerințele sale ecologice și de implicarea unor factori de natură climatică care activează anumite funcții de autoreglare fiziologică. În ciuda faptului că pinul negru s-a remarcat prin creșteri net superioare comparativ cu pinul silvestru în sondajele de creștere realizate în zonele de altitudine joasă, totuși acesta prezintă o sensibilitate ridicată în privința rezistenței și a recuperării după evenimentele de secetă, fiind mult mai predispus la declinul fiziologic. Pe fondul manifestării acestei sensibilități, o ipoteză susținută științific este strict legată de întârzierea formării lemnului în timpul factorului de stres, implicând micșorarea fazei de derulare a proceselor de creștere radială și formarea unui număr redus de traheide mature.

În ceea ce privește analiza indicatorilor calitativi de natură fizico-mecanică (densitatea, rezistența la micro-foraj, viteza sunetului prin lemn), s-au evidențiat particularități net superioare în structura internă ale lemnului de pin negru comparativ cu cea a pinului silvestru, acesta dovedind o capacitate de rezistență ridicată la acțiunea mecanică a unor factori perturbatori:

- *Referitor la densitatea lemnului,* rezultatele au indicat o probabilitate ridicată de apariție a diferențelor semnificative dintre mediile densității lemnului pe terenurile erodate în adâncime în sondajele realizate în FD₃, cu amplitudini mai mari ale acestora la specia pin negru, fapt datorat capacității sale mai ridicate de a forma lemn intermediar și lemn târziu comparativ cu pinul silvestru, implicând creșterea densității și a durității acestuia. Mai mult decât atât, arborii de pin silvestru și pin negru au înregistrat valori ale densității mai mari pentru arborii situați în clasele de diametre inferioare, fapt datorat prezenței unor factori de stres suplimentari care au implicat accelerarea proceselor de creștere radială și implicit creșterea densității, rezistenței și a durității acestuia.
- *Referitor la rezistența lemnului la micro-foraj,* s-a observat că valorile experimentale ale acestora cresc direct proporțional cu valorile densității lemnului în secțiunea transversală de referință a arborilor, în special pe terenurile erodate în adâncime, cu diferențe semnificative între medii la nivelul celor două specii de pin analizate. Rezultatele au indicat valori mai ridicate la rezistenței la micro-foraj la arborii de pin negru, fiind confirmată ipoteza formării unei proporții mai mari de lemn târziu și lemn intermediar care au generat ulterior forțe de rezistență suplimentare la micro-foraj.
- *Referitor la viteza de propagare a sunetului prin lemn,* rezultatele au indicat valori experimentale ridicate ale acestora în secțiunea transversală de referință a arborilor de pin negru comparativ cu cei de pin silvestru, cu diferențe semnificative între medii în special pe terenuri erodate în adâncime, trendul acestora fiind crescător pe măsura creșterii densității lemnului. Variabilitatea ridicată a valorilor vitezei sunetului poate fi o cauză a modificărilor de natură fizică a lemnului care constituie creșterea reactivă (lemn de compresiune și de tensionare), însă un grad accentuat de afectare poate fi constituit de o serie de factori de influență prezenți în structura internă a lemnului (nodurilor interne, conținutul de umiditate, lemn de compresiune ș.a).

*

*

*

Prin cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat s-au obținut informații științifice noi cu privire la dinamica structurii arboretelor de pin silvestru și pin negru, starea de sănătate a acestora în contextul schimbărilor climatice, dinamica proceselor de creștere radială și modul prin care procesele de creștere radială sunt influențate de factorii climatici, capacitatea de rezistență și de recuperare a celor două specii de pin după perioadele alternante de secetă și în condiții de eroziune activă a solului, precum și

evaluarea calității lemnului de pin în structura sa internă folosind mijloace moderne de determinare a proprietăților fizico-mecanice ale acestuia. Concluzia generală a rezultatelor cercetărilor obținute prin elaborarea tezei de doctorat este că arboretele de pin de pe terenurile degradate instalate pe cale artificială, în pofida condițiilor staționale slab productive și a factorilor climatici severi, reușesc totuși, prin capacitatea lor de adaptare la aceste condiții, să-și îndeplinească cu succes funcțiile și serviciile ecosistemice specifice acestor tipuri de arborete. Rezultatele au indicat a adaptabilitate mai bună a pinului silvestru în ceea ce privește condițiile climato-edaifice de pe terenurile degradate, având o capacitate mai bună de creștere, de rezistență și de recuperare în condițiile unor factori de stres comparativ cu pinul negru, sensibilitatea sa fiind scăzută la efectele severe ale acestora. În schimb, pinul negru a prezentat caracteristici calitative superioare fiind mult mai rezistent la acțiunea unor forțe mecanice manifestate de factorii abiotici vătămători.

În acest context, se impune elaborarea unor măsuri silvotehnice suplimentare dirijate spre a asigura un management durabil al plantațiilor artificiale de pin, în special a celor de pin negru de pe terenurile degradate din zona Subcarpaților de Curbură, prin care să se urmărească reglarea dinamicii structurii prin aplicarea la timp a lucrărilor speciale de conservare, evoluția în timp a regenerărilor naturale și promovarea ochiurilor cu semințiș într-o manieră controlată, precum și analiza periodică prin sondaje a proprietăților fizico-chimice ale solului, în vederea stabilirii unor raționamente științifice pentru reușita reconstrucției ecologice viitoare a acestora.

6. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Pe baza cercetărilor efectuate cu ocazia elaborării tezei de doctorat, a rezultatelor obținute și a concluziilor formulate, pot fi enunțate importante contribuții științifice personale cu caracter de originalitate. Acestea se referă în principal la obținerea unor indicatori care au surprins modul de *organizare și de funcționare a arboretelor de pin de pe terenurile degradate* în condițiile acțiunii unor factori de stres de ordin competițional și stațional, *starea de sănătate* actuală a acestora, *dinamica creșterilor arborilor și arboretelor de pin*, adaptarea la scenariile climatice actuale prin *capacitatea de rezistență, de recuperare și de reziliență* după evenimente de secetă, precum starea unor indicatori calitativi de natură fizico-mecanică a lemnului, aducând o contribuție importantă în gestionarea durabilă a acestor păduri prin reducerea impactului eroziunii asupra solului, a conservării biodiversității și a diminuării riscurilor apărute în urma unor calamități naturale. Aceste contribuții personale se prezintă după cum urmează:

- ❖ Realizarea pentru prima dată în țara noastră, pentru zona cercetată, prin intermediul cuantificării unor indicatori specifici, a unei analize actuale a structurii arboretelor de pin silvestru și pin negru instalate în două zone fitoclimatice (FD_3 și FD_1+S_3) și clase de vârstă distincte (a III-a și a IV-a).
- ❖ Modelarea structurii actuale a arboretelor de pin cercetate, distinct pe specii, clase de vârstă și zone fitoclimatice, utilizând funcții teoretice adecvate și cu un grad de plasticitate ridicat în ajustarea valorilor experimentale.
- ❖ Evaluarea și analiza în premieră a stării de sănătate a arboretelor de pin silvestru și pin negru instalate în două zone fitoclimatice (FD_3 și FD_1+S_3), exprimată prin procentul mediu de uscare, gradul de uscare mediu și gradul de vătămare, utilizați în sistemul de cercetare/monitorizare a stării pădurilor.

- ❖ Analiza potențialului silvo-productiv al arboretelor de pin silvestru și pin negru, prin stabilirea unor indicatori auxologici pentru perioada 2011-2020 și evidențierea caracteristicilor fiziologice superioare ale speciilor de pin prin efectuarea unor comparații statistice distinct pe tipuri de eroziune principale (în suprafață și în adâncime) și pe zone fitoclimatice.
- ❖ Crearea în premieră a seriilor dendrocronologice prin intermediul creșterilor radiale pentru speciile de pin silvestru și pin negru utilizate la reconstrucția ecologică a terenurilor degradate în două zone fitoclimatice distincte din perioada anilor 1960-2020.
- ❖ Analiza influenței factorilor climatici asupra proceselor de creștere radială a arborilor de pin prin intermediul modelelor dendroclimatice realizate distinct pe specii și pe zonele fitoclimatice cercetate.
- ❖ Cuantificarea răspunsului oferit de arborii de pin silvestru și pin negru la scenariile climatice actuale prin indicii de reziliență (rezistență, recuperare, perioadă de recuperare și reziliență) și compararea din punct de statistic al acestora pe specii și pe tipuri principale de eroziune (în suprafață și în adâncime), reflectând capacitatea de rezistență și de recuperare a acestora după evenimente de secetă.
- ❖ Evaluarea calității lemnului de pin în secțiunea transversală de referință (1,30m) la arborii pe picior, prin determinarea unor indicatori calitativi de natură fizico-mecanică a lemnului de pin (densitatea, rezistența la micro-foraj, viteza de propagare a sunetului prin lemn).
- ❖ Estimarea calității structurii interne a lemnului de pin silvestru și pin negru cu implicare atât în gestionarea riscului de apariție a unor posibile vătămări apărute în secțiunea transversală a arborelui, cât și în elaborarea unor măsuri de prevenire a extinderii defectelor care amenință stabilitatea și însușirile fiziologice ale speciilor de pin.
- ❖ Analiza comparativă din punct de vedere statistic a unor indicatori calitativi de natură fizico-mecanică ai lemnului de pin silvestru și pin negru, distinct pe tipuri principale de eroziune (eroziunea în suprafață și în adâncime) și pe zone fitoclimatice din cuprinsul Subcarpaților de Curbură.
- ❖ Surprinderea unor diferențieri privind dinamica unor indicatori cantitativi și calitativi ai celor două specii de pin pe terenurile degradate și crearea de noi premise de cercetare prin care să se urmărească optimizarea structurii arboretelor și promovarea speciilor de pin în compozițiile de împădurire pe astfel de terenuri.

7. DISEMINAREA REZULTATELOR

A. Lucrări din domeniul tezei de doctorat, publicate în reviste indexate ISI

1. Constandache, C., **Tudor, C.**, Vlad, R., Dincă, L., & POPOVICI, L. (2021). The productivity of pine stands on degraded lands. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, 10. <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2021/Art11.pdf> (autor corespondent)
2. Constandache, C., **Tudor, C.**, Popovici, L., & Dincă, L. (2022). Ecological reconstruction of the stands affected by drought from meadows of inland rivers. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, 11. <https://www.landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2022/Art9.pdf> (autor corespondent)
3. Constandache, C., **Tudor, C.**, Popovici, L., & Radu, V. (2023). The state and behavior of some forestry cultures installed on degraded lands in the forest-steppe site. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, 12. <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2023/Art28.pdf> (autor corespondent)
4. Cristinel, C., **Ciprian, T.**, Popovici, L., Radu, V., Crișan, V., & Dincă, L. C. (2024). Structural characteristics of the pine stands on degraded lands in the south-east of Romania, in the context of climate changes. Applied Sciences, 14(18), 8127. <https://doi.org/10.3390/app14188127> (autor corespondent)
5. Constandache, C., **Tudor, C.**, & Popovici, L. (2025). Indicators of the Structural and Compositional Diversity of Stands on Degraded Lands in the Vrancea Area. BOOK OF ABSTRACTS - Section 5: Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture", University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest Bucharest, Romania- articol acceptat, în curs de publicare (autor corespondent) https://agricultureforlife.usamv.ro/images/2025/Book_of_Abstracts/Land_Reclamation_Book_of_Abstracts_2025.pdf
6. **Tudor, C.**, Constandache, C., Dinca, L., Murariu, G., Badea, N.O., Tudose, N.C., & Marin M. (2025). Pines as a Solution for Degraded Lands: Carbon Sequestration and Ecological Restoration. Forest Landscape Restoration (FLR) and Carbon Storage Dynamics, Submitted on: 16 Jun 2025- în curs de publicare (autor principal) <https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change>

B. Lucrări din domeniul tezei de doctorat, publicate în reviste BDI

1. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L., & Vlad, R. (2022). The characteristics of some pine stands from outside the habitat, affected by drying. Lucrări Științifice Seria Horticultură, USV Iași, 65(1), 85–90 (autor principal)
2. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L., Ivan, V., & Badea, N. O. (2023). Health state and behaviour of pine stands on degraded lands in the Vrancea Subcarpathians. Revista de Silvicultură și Cinegetică, 28(53). <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1928477> (autor principal)
3. Pleșca, B.I., **Tudor, C.**, Frink, J.P., Constandache, C., Popovici, L., Pleșca, I.M. (2025). O stațiune nouă de Quercus pubescens Willd. în Subcarpații Vrancei: importantă resursă genetică pentru reconstrucția terenurilor degradate. Revista Pădurilor, 140(1), 3-20. <https://www.revistapadurilor.com/wp-content/uploads/2025/05/01-Plesca-et-al.pdf>

4. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L., Badea, N.O. (2025). Investigations on the structure of pine stands on degraded lands. *Revista de Silvicultură și Cinegetică*, nr. 56- acceptat, în curs de publicare (autor principal) <https://www.progresulsilvic.ro/#>

C. Lucrări în afara domeniului tezei de doctorat, publicate în reviste indexate ISI

1. Tereșneu, C. C., **Tudor, C.**, & Vasilescu, M. M. (2022). Laser caliper reliability in upper-stem diameter measurements by multiple users. *Forests*, 13(9), 1522. <https://doi.org/10.3390/f13091522>
2. Constandache, C., **Tudor, C.**, Aga, V., & Popovici, L. (2024). Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 13. <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2024/Art7.pdf> (autor corespondent)

D. Lucrări în afara domeniului tezei de doctorat, publicate în reviste BDI

1. Moldovan, M., Tăut, I., Șimonca, V., Constandache, C., Popovici, L., & **Tudor, C.** (2023). Studies regarding the identification of some solutions for the renaturation of forest lands which have been used for the growing of pheasants. *Current Trends in Natural Sciences*, 12(23), 118-125. <https://doi.org/10.47068/ctns.2023.v12i23.013>

E. Participări la Conferințe internaționale

1. Constandache, C., **Tudor, C.**, Vlad, R., Dincă, L., & Popovici, L. (2021). The productivity of pine stands on degraded lands. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", June 3-5, 2021, Bucharest, Romania- prezentare orală;
2. Constandache, C., **Tudor, C.**, Popovici, L., & Dincă, L. (2022). Ecological reconstruction of the stands affected by drought from meadows of inland rivers. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", June 2-4, 2022, Bucharest, Romania- prezentare orală;
3. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L. (2022). The influence of the structure on the health state of the pine stands installed on the degraded lands in the Vrancea Subcarpathians. 10th International Symposium Forest and Sustainable Development, October 14-15, 2022, Brașov, Romania- poster;
4. Constandache, C., **Tudor, C.**, Popovici, L., & Radu, V. (2023). The state and behavior of some forestry cultures installed on degraded lands in the forest-steppe site. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", June 8-10, 2023, Bucharest, Romania- prezentare orală;
5. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L., Ivan, V., & Badea, N. O. (2023). Health state and behaviour of pine stands on degraded lands in the Vrancea Subcarpathians. 90th "Marin Drăcea" INCDS Anniversary International Scientific Conference "Forest science for people and societal challenges" October 2-5, 2023, Bucharest, Romania- prezentare orală;
6. Constandache, C., **Tudor, C.**, Aga, V., & Popovici, L. (2024). Ecological restoration of Norway spruce stands affected by drying from outside the natural range. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", June 6-8, 2024, Bucharest, Romania- poster;

7. Pleșca, B.I., **Tudor, C.**, Frink, J.P., Constandache, C., Popovici, L., Pleșca, I.M. (2024). A new site with *Quercus pubescens* Willd. in the Vrancea Subcarpathians: an important forest genetic resource for reconstructing degraded lands. 11th International Symposium Forest and Sustainable Development, October 17-18, 2024, Brașov, Romania- poster;
8. **Tudor, C.**, Constandache, C., Popovici, L., Aga, V. (2024). The health state of some pine stands and their behaviour on degraded lands from forest steppe site of Subcarpathians of Curvature 11th International Symposium Forest and Sustainable Development, October 17-18, 2024, Brașov, Romania- poster.
9. Constandache, C., **Tudor, C.**, & Popovici, L. (2025). Indicators of the Structural and Compositional Diversity of Stands on Degraded Lands in the Vrancea Area. The International Conference of the University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest "Agriculture for Life, Life for Agriculture", June 5-7, 2025, Bucharest, Romania- poster.

LISTA DE TABELE

Tabelul 3.1 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente	14
Tabelul 3.2 Cartarea stațională a suprafețelor experimentale studiate.....	17
Tabelul 3.3 Intensitatea vătămării arborilor în funcție de procentul de defoliere	19
Tabelul 3.4 Gradul de uscare pe intervale de clase.....	22
Tabelul 3.5 Stabilirea gradului de vătămare ale arboretelor de pin	22
Tabelul 4.1 Gruparea suprafețelor experimentale, în vederea analizei structurii arboretelor și a stării de sănătate a acestora	23
Tabelul 4.2 Principalii indicatori structurali ai arboretelor de pin	24
Tabelul 4.3 Gradul de uscare mediu (G_u) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din etajul fitoclimatic FD_3	28
Tabelul 4.4 Gradul de uscare mediu (G_u) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din zona FD_1+S_s	29
Tabelul 4.5 Gradul de vătămare (G_v) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din etajul fitoclimatic FD_3 calculat în raport cu natura și quantumul vătămarilor	30
Tabelul 4.6 Gradul de vătămare (G_v) al arboretelor de pin afectate de vânt și zăpadă din zona FD_1+S_s calculat în raport cu natura și quantumul vătămarilor.....	31
Tabelul 4.7 Distribuția numărului de probe la nivelul suprafețelor experimentale cercetate în raport cu specia, în vederea analizei creșterilor radiale și a componentelor rezilienței	32
Tabelul 4.8 Creșterea în suprafața de bază și în volum a arborilor și arboretelor de pin silvestru din suprafețele experimentale permanente.....	34
Tabelul 4.9 Creșterea în suprafața de bază și în volum a arboretelor de pin negru din suprafețele experimentale permanente.....	35

LISTA DE FIGURI

Figura 3.1 Localizarea cercetărilor: A. Distribuția arealului natural al speciilor de pin silvestru și pin negru în Europa (Euforgen, 2008); B. Suprafața ocupată de păduri în România (în caseta roșie zona studiată); C. Suprafețele experimentale permanente în care s-au efectuat cercetările.	10
Figura 3.2 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Caci-Bârsești.	11
Figura 3.3 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Pârâul-Sărat-Valea Sării.	11
Figura 3.4 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Roșoiu-Andreiașu.	12
Figura 3.5 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Livada-Râmnicu Sărat.	12
Figura 3.6 Rețeaua suprafețelor experimentale permanente din PA Murgești.	12
Figura 3.7 Climatograma corespunzătoare etajului fitoclimatic FD_3 (după Walter și Lieth, 1967).	13
Figura 3.8 Climatograma corespunzătoare zonei de silvostepă și a etajului fitoclimatic FD_1 (după Walter și Lieth, 1967).	13
Figura 4.1 Analiza omogenității structurii arboretelor.	25
Figura 4.2 Ajustarea distribuțiilor experimentale cu ajutorul funcției de frecvență teoretică Beta.	25
Figura 4.3 Ajustarea distribuțiilor experimentale după funcția de frecvență teoretică Beta.	26
Figura 4.4 Ajustarea distribuțiilor experimentale după funcția de frecvență teoretică Gamma.	27
Figura 4.5 Relația dintre diametrul și înălțimea arborilor.	28
Figura 4.6 Distribuția procentului de defoliere mediu (%) pe specii, clase de vârstă și zonă fitoclimatică.	28
Figura 4.7 Dinamica creșterilor radiale (TRW) la nivel de sondaj (plot) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite.	33
Figura 4.8 Dinamica creșterilor în suprafața de bază (BAI) la nivel de sondaj (plot) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate în raport zonele fitoclimatice întâlnite.	33
Figura 4.9 Variabilitatea creșterilor radiale pe 10 ani la nivelul arborilor de pin, pe total arborete: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s	34
Figura 4.10 Variația creșterilor radiale, în suprafața de bază și în volum pe 10 ani la nivelul arborilor din arborete, pe tipuri de eroziune: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s	36
Figura 4.11 Variația creșterilor în raport cu diametrul de bază pentru cele două specii de pin și ajustarea valorilor experimentale prin ecuații de regresie liniare de forma ($ir=b_0+b_1 \cdot d$): A. FD_3 ; B. FD_1+S_s	38
Figura 4.12 Dinamica indicilor de creștere reziduali la nivel de zonă fitoclimatică (cu negru) și sondaj (plot) (cu culori) în perioada 1960-2020 pentru cele două specii de pin studiate (Semnificația simbolurilor: ex. CAS3, CAN3: "CA"-codul suprafeței experimentale; S- cod atribuit speciei pin silvestru; N-cod atribuit speciei pin negru; 3- numărul suprafeței experimentale. Analog pentru celelalte codificații; liniile verticale roșii indică 3 cei mai secetoși ani din perioada de studiu).	38
Figura 4.13 Modelul dendroclimatic pentru temperatura medie lunară [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).	39
Figura 4.14 Modelul dendroclimatic pentru temperatura minimă lunară [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).	39

Figura 4.15 Modelul dendroclimatic pentru temperatura maximă lunară [factorul climatic] în raport zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).	40
Figura 4.16 Modelul dendroclimatic pentru precipitații [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).	40
Figura 4.17 Modelul dendroclimatic pentru bilanțul hidric al apei [factorul climatic] în raport cu zonele fitoclimatice întâlnite pentru pinul silvestru și pinul negru din perioada 1960-2020 (cu chenar negru sunt marcate corelațiile semnificativ statistic; lunile scrise cu majuscule corespund anului în care s-a format inelul anual, iar celelalte anului anterior).	41
Figura 4.18 Componentele rezilienței pinului în funcție de specie și zona fitoclimatică pentru cei trei ani de secetă similari zonelor de studiu: A-rezistența; B-recuperare; C-perioada de recuperare; D-reziliența (Semnificația simbolurilor: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$).	42
Figura 4.19 Componentele rezilienței pinului în funcție de zona fitoclimatică și de tipul de eroziune a solului pentru cei trei ani de secetă similari zonelor de studiu: A- rezistența; B- recuperarea; C- perioada de recuperare; D- reziliența (Simbolurile: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$).	43
Figura 4.20 Variația densității lemnului de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune (sondaje din arboretele de pin situate în etajul fitoclimatic FD_3).	44
Figura 4.21 Variația densității lemnului de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune (sondaje din arboretele de pin situate în zona fitoclimatică FD_1+S_s).	44
Figura 4.22 Modelarea unor indicatori calitativi ai lemnului în raport cu diametrul arborilor, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s .	45
Figura 4.23 Variația rezistenței la micro-foraj din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în etajul fitoclimatic FD_3 .	46
Figura 4.24 Variația rezistenței la micro-foraj la arborii medii: A. PA Caci-Bârsești (CA); B. PA Roșoiu-Andreiașu (RO).	46
Figura 4.25 Variația rezistenței la micro-foraj din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în zona fitoclimatică FD_1+S_s .	47
Figura 4.26 Variația rezistenței la micro-foraj la arborii medii: A. PA Murgești (MU); B. PA Livada-Râmnicu Sărat (LI); C. delimitarea unor posibile zone cu putregai (caz particular la arborii medii din PA Livada-Râmnicu Sărat).	47
Figura 4.27 Modelarea rezistenței lemnului la micro-foraj în funcție de densitatea lemnului, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s .	48
Figura 4.28 Variația vitezei sunetului din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în etajul fitoclimatic FD_3 .	48
Figura 4.29 Variația vitezei sunetului din cadrul sondajelor cu arbori de pin silvestru și pin negru pe terenuri cu diferite forme de eroziune situate în zona fitoclimatică FD_1+S_s .	49
Figura 4.30 Modelarea vitezei sunetului prin lemn în funcție de densitatea lemnului, prin intermediul ecuațiilor de regresie liniare: A. FD_3 ; B. FD_1+S_s .	49

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Badea, O., & Tănase, M. (2004). Studiul creșterii arborilor și arboretelor în sistemul de supraveghere intensivă a ecosistemelor forestiere (Monitoring forestier nivel II). Ministry of Environment and Forestry.
- Badea, O. (2008). Manual privind metodologia de supraveghere pe termen lung a stării ecosistemelor forestiere aflate sub acțiunea poluării atmosferice și modificărilor climatice [Manual on long-term monitoring methodology of forest ecosystems affected by atmospheric pollution and climate change]. Editura Silvică.
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., & Beguería, M. S. (2017). Package 'spei'. Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. <https://cran.r-project.org/web/packages/spei/spei.pdf>
- Beldeanu, C. E. (2008). Produse forestiere [Forest Products]. Editura Universității Transilvania din Brașov.
- Brichta, J., Vacek, S., Vacek, Z., Cukor, J., Mikeska, M., Bílek, L., ... & Brabec, P. (2023). Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the 21st century. *Central European Forestry Journal*, 69(1), 3-20. <https://doi.org/10.2478/cefj-2023-0001>
- Bucur, V. (2023). A review on acoustics of wood as a tool for quality assessment. *Forests*, 14(8), 1545. <https://doi.org/10.3390/f14081545>
- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sanchez, G., & Penuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474-1478. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102564108>
- Chave, J. (2005). Measuring wood density for tropical forest trees: A field manual for the CTFS sites. Université Paul Sabatier.
- Ciortuz, I., & Păcurar, V. D. (2004). Ameliorații silvice. Ed. Lux Libris.
- Constandache, C. (2003). The aspect concerning the installation of conditions and functional efficiency of forest protection cultures installed in the degraded lands from Vrancea County. ANALS, Forestry Technique Publishing House, Bucharest.
- Constandache, C., Nistor, S., & Ivan, V. (2006). Împădurirea terenurilor degradate ineficiente pentru agricultură din sud-estul țării. *Annals of Forest Research*, 49, 187–204.
- Constandache, C., Nistor, S., Ivan, V., Munteanu, F., & Păcurar, V. D. (2010). Functional efficiency of forestry crop protection and the improvement works of degraded lands. *Forest Magazine*, 1, 26–31. (in Romanian)
- Constandache, C., Dincă, L., & Tudose, N. C. (2017). The vulnerability to climate changes of pine forest cultures from outside their natural range. In VIII International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2017", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 2017 (pp. 2605–2610). Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo.
- Constandache, C. (2019). The ecological reconstruction of forest ecosystems affected by landslides. *Natural Resources and Sustainable Development*, 9(2), 144–159.
- De Camino, R. (1976). Zur Bestimmung der Bestandeshomogenität. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 147(1–2), 54–58.
- Dendoncker, M., Guisset, C., Jonard, M., Delente, A., Ponette, Q., & Vincke, C. (2025). Drought resilience of three coniferous species from Belgian arboreta highlights them as promising alternatives for future forests in Western Europe. *Dendrochronologia*, 89, 126282. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2025.126282>

- EUFORGEN. (2008). European forest genetic resources: Status and trends. European Forest Genetic Resources Programme.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., & Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 557–581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Fundova, I., Funda, T., & Wu, H. X. (2018). Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. *PLoS ONE*, 13(9), e0204518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- Gezer, E. D., Temiz, A., & Yüksek, T. (2015). Inspection of wooden poles in electrical power distribution networks in Artvin, Turkey. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 659818. <https://doi.org/10.1155/2015/659818>
- Giurgiu, V. (1979). *Dendrometrie și auxologie forestieră*. Ed. Ceres.
- Giurgiu, V. (2004). *Silvologie*. Vol. III B, Gestionarea durabilă a pădurilor României. Ed. Academiei Române.
- Guada, G., Camarero, J. J., Sánchez-Salguero, R., & Cerrillo, R. M. N. (2016). Limited growth recovery after drought-induced forest dieback in very defoliated trees of two pine species. *Frontiers in Plant Science*, 7, 418. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00418>
- IPCC. (2003). International Panel on Climate Change: Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, & F. Wagner, Eds.). Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC. (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (M. L. Change et al.). Cambridge University Press.
- Isajev, V., Fady, B., Semerci, H., & Andonovski, V. (2004). EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for European black pine (*Pinus nigra*). Bioversity International.
- Kantieva, E., Snegireva, S., & Platonov, A. (2021, October). Formation of density and porosity of pine wood in a tree trunk. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 875, No. 1, p. 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/875/1/012016>
- Kaźmierczak, K., & Zawieja, B. (2016). Tree crown size as a measure of tree biosocial position in a 135-year-old oak (*Quercus robur* L.) stand. *Folia Forestalia Polonica*, 58(1), 31–42.
- Kollmann, F. F., Côté, W. A., & Côté, W. A. (1968). The structure of wood and the wood cell wall. In *Principles of wood science and technology: I. Solid wood* (pp. 1–54). Springer-Verlag.
- Krzemień, L., Strojceki, M., Wroński, S., Tarasiuk, J., & Łukowski, M. (2015). Dynamic response of earlywood and latewood within annual growth ring structure of Scots pine subjected to changing relative humidity. *Holzforschung*, 69(5), 555–561. <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0140>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Leahu, I. (1994). *Dendrometrie*. Ed. Didactică și Pedagogică.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19311.x>

- Loustau, D., Bosc, A., Colin, A., Ogée, J., Davi, H., François, C., ... & Delage, F. (2005). Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level. *Tree Physiology*, 25(7), 813–823. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.7.813>
- Martín-Benito, D., Del Río, M., & Cañellas, I. (2010). Black pine (*Pinus nigra* Arn.) growth divergence along a latitudinal gradient in Western Mediterranean mountains. *Annals of Forest Science*, 67(4), 401. <https://doi.org/10.1051/forest/2009122>
- Matveev, S. (2003). Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central Forest-Steppe. Voronezh: VGLTA.
- MMAP (2022). Ordinul Ministrului Mediului, Apelor și Pădurilor nr. 2.536/2022 pentru aprobarea Normelor tehnice privind amenajarea pădurilor și a Ghidului de bune practici privind amenajarea pădurilor. Monitorul Oficial, I, 999 / 14 octombrie 2022.
- Móricz, N., Garamszegi, B., Rasztovits, E., Bidló, A., Horváth, A., Jagicza, A., ... & Gálos, B. (2018). Recent drought-induced vitality decline of black pine (*Pinus nigra* Arn.) in South-West Hungary—is this drought-resistant species under threat by climate change? *Forests*, 9(7), 414. <https://doi.org/10.3390/f9070414>
- Muth, C. C., & Bazzaz, F. A. (2003). Tree canopy displacement and neighborhood interactions. *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 1323–1330. <https://doi.org/10.1139/x03-108>
- Pazdrowski, W. (2004). The proportion and some selected physical and mechanical properties of juvenile, maturing and adult wood of black pine and Scots pine. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 7(1).
- Popa, I. (1999). Aplicații informatice utile în silvicultură, Programul Carota și programul PROARB. *Revista Pădurilor*, 2, 41–42.
- Popescu, R., & Dinulică, F. (2020). The influence of the phenological category on tree growth and beech (*Fagus sylvatica* L.) wood density. *Forest Systems*, 29(2), e024. <https://doi.org/10.5424/fs/2020292-15488>
- Rebetez, M., & Dobbertin, M. (2004). Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0046-2>
- Roibu, C. (2010). Cercetări dendrometrice, auxologice și dendrocronologice în arborete de fag din Podișul Sucevei [Dendrometric, auxological, and dendrochronological research in beech stands in the Suceava Plateau] (Doctoral dissertation, manuscript).
- Ross, R. J. (Ed.). (2015). Nondestructive evaluation of wood. Government Printing Office. Forest Service (US), Forest Products Laboratory (US).
- Sasaki, Y., Iwata, T., & Ando, K. (1998). Acoustoelastic effect of wood II: Effect of compressive stress on the velocity of ultrasonic longitudinal waves parallel to the transverse direction of the wood. *Journal of Wood Science*, 44(1), 21–27.
- Silvestru-Grigore, C. V., Spârchez, G., & Dinulică, F. (2016). The health condition of pine stands installed on degraded lands in Buzău Subcarpathians. *Revista Pădurilor*, 131(3–4), 7–18.
- Sprague, G. F., Jr., Blair, L. C., & Thorner, J. (1983). Cell interactions and regulation of cell type in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Annual Review of Microbiology*, 37, 623–660.
- Sumner, G. N., Romero, R., Homar, V., Ramis, C., Alonso, S., & Zoritam, E. (2003). An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty-first century. *Climate Dynamics*, 20(6), 789–805. <https://doi.org/10.1007/s00382-002-0293-7>
- Șofletea, N., & Curtu, L. (2007). Dendrology. Transilvania University Publishing House.

- Thörnquist, T. (1993). Juvenile wood in coniferous trees (Document D13). Uppsala University.
- Traci, C., & Costin, E. (1966). Degraded lands and their valorification on forestry way. Agro-forestry Publishing House.
- Tudoran, G. M., Dobre, A. C., Cicșa, A., & Pascu, I. S. (2021). Development of mathematical models for the estimation of dendrometric variables based on unmanned aerial vehicle optical data: A Romanian case study. *Forests*, 12(2), 200. <https://doi.org/10.3390/f12020200>
- Vacek, Z., Linda, R., Cukor, J., Vacek, S., Šimůnek, V., Gallo, J., & Vančura, K. (2021). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), the suitable pioneer species for afforestation of reclamation sites? *Forest Ecology and Management*, 485, 118951. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118951>
- Vacek, Z., Vacek, S., & Cukor, J. (2023). European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises, and management strategies. *Journal of Environmental Management*, 332, 117353. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117353>
- van der Maaten-Theunissen, M., Trouillier, M., Schwarz, J., Skiadaresis, G., Thurm, E. A., & van der Maaten, E. (2021). pointRes 2.0: New functions to describe tree resilience. *Dendrochronologia*, 70, 125899. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125899>
- Viljur, M. L., Abella, S. R., Adámek, M., Alencar, J. B. R., Barber, N. A., Beudert, B., ... & Thorn, S. (2022). The effect of natural disturbances on forest biodiversity: An ecological synthesis. *Biological Reviews*, 97(5), 1930–1947. <https://doi.org/10.1111/brv.12862>
- Vlad, R., & Constandache, C. (2014). Dinamica unor parametrii de stabilitate în arborete de pin silvestru instalate pe terenuri degradate. *Revista Pădurilor*, 5-6, 44–49.
- Walter, H., Lieth, H., Rehder, H., & Harnickell, E. (1960). Klimadiagramm-Weltatlas (p. 103). G. Fischer.
- Wang, X., Allison, R. B., Wang, L., & Ross, R. J. (2007). Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. Research Paper FPL-RP-642. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-642>
- Wiemann, M. C., & Williamson, G. B. (2013). Biomass determination using wood specific gravity from increment cores. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-225, 1–9. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/44881>
- Zang, C., & Biondi, F. (2015). treeclim: An R package for the numerical calibration of proxy–climate relationships. *Ecography*, 38(4), 431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>

Link-uri web:

www.wikipedia.org

<https://climexp.knmi.nl/>

SCURT REZUMAT

Plantațiile artificiale de pin realizate pe terenurile degradate, în afara arealului natural sunt ecosisteme forestiere cu un rol extrem de important în combaterea proceselor active de degradare, asigurând un complex de funcții eco-protective ale unor obiecte de interes economic și social importante. În condițiile schimbărilor climatice actuale, aceste arborete sunt supuse unui declin fiziologic incipient, fiind necesare măsuri silvotehnice urgente de natură să conducă la obținerea unor arborete rezilente climatic. Totodată, pe fondul scenariilor climatice severe care au indus seceta, a intensificării proceselor de degradare la nivelul solului și a acțiunii combinate a unor factori abiotici vătămători, pinetele

artificiale au suferit modificări importante în structura lor, generând o vulnerabilitate ridicată la acești factori de risc. Având în vedere tendința de creștere a temperaturii, reducerea cantității de precipitații, creșterea evapotranspirației potențiale și a intensificării proceselor de degradare, este necesară și oportună monitorizarea intensivă a stării de sănătate a acestor păduri și a evoluției lor în dinamica structurală și auxologică, pentru a preveni și gestiona durabil riscurile apărute în cazul producerii unor dezastre naturale.

Cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat reprezintă un prim demers în sprijinul acestui deziderat, fiind urmărită studierea modului de organizare și de funcționare ale acestor arborete de pin instalate pe terenurile degradate, prin utilizarea unor tehnici de modelare a structurii arboretelor, a principalilor indicatori de monitorizare a stării de sănătate, a metodelor de aprofundare dendrocronologică și dendroclimatică prin furnizarea de modele de creștere standardizate și a identificării factorilor climatici care influențează creșterea în anul prioritar formării inelelor anuale (anul precedent) și a anului formării efective ale inelelor anuale (anul curent), analiza răspunsului oferit de arborii de pin silvestru și pin negru la evenimente de secetă, prin cuantificarea indicatorilor de reziliență, precum și prin furnizarea unor date preliminare ale calității lemnului obținute prin tehnologii moderne care pot dezvălui noi concepte viitoare de dezvoltare a unor modele de testare a calității lemnului.

Cercetările au evidențiat o reziliență mai bună a pinului silvestru în timpul secetei, reușind să își mențină creșterea de referință și să o recupereze mai repede față de pinul negru în special pe terenurile erodate în adâncime (ravene, alunecări de teren). În contrast, pinul negru a dovedit creșteri semnificativ mai mari în perioada de analiză 2011-2020 față de pinul silvestru, însă acesta prezintă o sensibilitate ridicată în timpul episoadelor de secetă, fiind mult mai predispus la un posibil scenariu de declin fiziologic. Totodată, acumulările de creștere cu tendință accentuată de formare a mai multor traheide în zonele cu lemn târziu, a favorizat obținerea unor însușiri calitative superioare de natura fizico-mecanică ale lemnului de pin negru, făcându-l mai puțin vulnerabil la apariția incipientă a unor factori favorizanți ai dezastrelor naturale și mult mai valoros din punct de vedere economic.

Mesajul esențial transmis prin teza de doctorat este acela de a orienta viitoarele cercetări în manieră să asigure un management sustenabil al arboretelor de pin, prin crearea unor raționamente științifice din domeniul reconstrucției ecologice care să favorizeze creșterea capacității de rezistență ale arboretelor de pin pe terenurile degradate prin promovarea speciilor care prezintă reziliență climatică ridicată, în vederea asigurării cu continuitate a funcțiilor eco-protective pe terenurile afectate de degradare.

SHORT ABSTRACT

Artificial pine plantations established on degraded lands, outside their natural range, are forest ecosystems with an extremely important role in combating active degradation processes, ensuring a complex of eco-protective functions for economically and socially important assets. Under current climate change conditions, these stands are experiencing early physiological decline, making it necessary to implement urgent silvicultural measures aimed at achieving climate-resilient forest stands.

Moreover, against the backdrop of severe climate scenarios that have induced drought, intensified soil degradation processes, and the combined action of harmful abiotic factors, artificial pine forests have undergone significant structural changes, leading to increased vulnerability to these risk factors.

Given the trends of rising temperatures, decreasing precipitation levels, increasing potential evapotranspiration, and the intensification of degradation processes, it is both necessary and timely to conduct intensive monitoring of the health status of these forests and their structural and growth dynamics, in order to sustainably prevent and manage risks associated with natural disasters.

The research carried out within this doctoral thesis represents a first step in support of this goal, aiming to study the organization and functioning of these pine stands established on degraded lands, through the use of modeling techniques for stand structure, key indicators for monitoring forest health, dendrochronological and dendroclimatic analysis methods, by providing standardized growth models and identifying the climatic factors influencing growth in the year preceding the formation of annual rings (the previous year) and in the actual year of ring formation (the current year). It also includes an analysis of the response of Scots pine and black pine trees to drought events by quantifying resilience indicators, as well as the provision of preliminary data on wood quality obtained using modern technologies that may reveal new concepts for future development of wood quality testing models.

The research highlighted a better resilience of Scots pine during drought, managing to maintain its reference growth and recover more quickly compared to black pine, especially on deeply eroded lands (gullies, landslides). In contrast, black pine exhibited significantly higher growth during the 2011–2020 analysis period compared to Scots pine, but it shows high sensitivity during drought episodes, making it more prone to potential physiological decline. At the same time, the increased growth tendency through the formation of more tracheids in latewood areas has favored superior physical-mechanical wood properties in black pine, making it less vulnerable to the early emergence of factors contributing to natural disasters and more valuable from an economic perspective.

The essential message conveyed by the doctoral thesis is to guide future research towards ensuring the sustainable management of pine stands, through the creation of scientific reasoning in the field of ecological reconstruction that supports the enhancement of the resilience capacity of pine forests on degraded lands by promoting species with high climate resilience, in order to continuously ensure the eco-protective functions of lands affected by degradation.