



Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Silvicultură și Exploatare Forestiere

Ing. Gheorghe PEI

**EVALUAREA CALITĂȚII ARBORILOR PE PICIOR ÎN ARBORETE
TINERE DE MOLID**

**QUALITY ASSESSMENT OF THE STANDING TREES IN YOUNG
NORWAY SPRUCE STANDS**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof. dr. ing. Arcadie CIUBOTARU

BRAȘOV, 2022

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov
Nr. din

PREȘEDINTE:

Prof. dr. ing. Iosif VOROVENCII
Universitatea Transilvania din Brașov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:

Prof. dr. ing. Arcadie CIUBOTARU
Universitatea Transilvania din Brașov

REFERENȚI:

Prof. dr. ing. Adrian Ioan TIMOFTE
Universitatea din Oradea

CS I dr. ing. Radu VLAD
Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură
„Marin Drăcea” – Câmpulung-Moldovenesc

Prof. dr. ing. Vasile Răzvan CÂMPU
Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:, ora, sala

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa gheorghe.pei@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim!

CUPRINS

	Pg. teză	Pg. rezumat
MULȚUMIRI	11	11
LISTA DE FIGURI	12	-
LISTA DE TABELE	16	-
LISTA DE NOTAȚII	17	12
LISTA DE ABREVIERI	17	12
1. INTRODUCERE	18	13
2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR	20	15
2.1 Scopul cercetărilor.....	20	15
2.2 Obiectivele cercetărilor.....	20	15
3. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR	21	16
3.1 Stadiul actual al cunoștințelor privind calitatea lemnului arborilor de molid.....	21	16
3.1.1 Generalități.....	21	16
3.1.2 Factorii care influențează calitatea lemnului arborilor de molid.....	23	17
3.1.2.1 Densitatea lemnului la molid.....	23	17
3.1.2.2 Ciuperci xilofage care atacă molidul.....	24	17
3.1.2.3 Vătămările produse prin activitatea de exploatare a pădurilor.....	27	17
3.1.2.4 Rănille produse de cervide.....	29	18
3.1.2.5 Caracteristicile genetice și de mediu.....	30	18
3.1.2.6 Intervențiile silvotehnice.....	31	18
3.2 Stadiul actual al cunoștințelor privind metodele nedistructive de evaluare a calității lemnului arborilor.....	32	19
3.2.1 Generalități.....	32	19
3.2.2 Metoda bazată pe examinarea probelor de creștere și analizarea prin intermediul fractometrului.....	34	19
3.2.3 Metode bazate pe determinarea rezistențelor mecanice ale lemnului.....	36	20
3.2.4 Metode bazate pe proprietățile acustice ale lemnului.....	38	20

3.2.5 Metode bazate pe măsurarea rezistențelor electrice ale lemnului.....	39	20
3.2.6 Metode bazate pe identificarea unor compuși organici volatili.....	40	21
3.2.7 Metode care folosesc imagini termice.....	41	21
3.2.8 Metode care folosesc tomograme.....	43	21
3.2.9 Metode bazate pe radiații X și radiații Gamma.....	45	22
3.3 Evaluarea calitativă a arborilor de molid.....	45	22
4. LOCUL CERCETĂRILOR. MATERIALUL ȘI METODA DE CERCETARE.....	50	24
4.1 Locul cercetărilor.....	50	24
4.2 Materialul de cercetare.....	50	24
4.3 Metodologia de cercetare.....	54	25
4.3.1 Culegerea și înregistrarea informațiilor din teren.....	54	25
4.3.2 Prelucrarea statistică și analiza datelor.....	58	29
5. REZULTATELE CERCETĂRILOR.....	66	36
5.1 Structura arboretelor de molid analizate.....	66	36
5.1.1 Generalități.....	66	36
5.1.2 Caracterizarea structurală a arboretelor de molid analizate.....	66	36
5.1.2.1 Desimea și densitatea arboretelor.....	66	36
5.1.2.2 Analiza parametrilor dimensionali.....	67	36
5.1.2.3 Modelul spațial orizontal.....	72	40
5.1.2.4 Modelul spațial vertical.....	74	40
5.1.2.5 Diversitatea structurală.....	78	44
5.2 Calitatea arborilor și arboretelor de molid analizate.....	79	45
5.2.1 Calitatea arborilor ca urmare a prezenței putregaiului.....	79	45
5.2.2 Parametrii statistici generali ai arborilor cu putregai.....	80	45
5.2.3 Distribuția arborilor cu putregai pe categorii de diametre.....	81	46
5.2.4 Distribuția volumului arborilor cu putregai pe categorii de diametre.....	84	47
5.2.5 Frecvența arborilor cu putregai de rădăcină.....	85	49
5.2.6 Distribuția spațială a arborilor cu putregai.....	88	51
5.2.7 Modelul spațial orizontal al distribuției arborilor cu putregai.....	88	51

5.3 Caracteristici fizico-mecanice specifice lemnului și arborilor de molid afectați de putregai.....	92	53
5.3.1 Densitatea lemnului cu putregai la arborii de molid.....	92	53
5.3.2 Rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid.....	95	54
5.3.3 Viteza sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid. Tomografia lemnului.....	98	56
5.3.4 Stabilitatea arborilor de molid afectați de putregai.....	107	60
5.4 Particularități privind evaluarea volumului lemnului de lucru în arboretele de molid afectate de putregai.....	116	62
5.4.1 Generalități.....	116	62
5.4.2 Distribuția arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai.....	116	63
5.4.3 Parametrii statistici ai distribuției arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai.....	119	64
5.4.4 Sortarea primară și dimensională a volumului din arboretele de molid afectate de putregai.....	121	65
5.4.5 Influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului masei lemnoase pe picior.....	128	69
6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR.....	130	70
6.1 Concluzii.....	130	70
6.1.1 Referitor la structura arboretelor de molid analizate.....	130	70
6.1.2 Referitor la calitatea arboretelor de molid analizate.....	131	70
6.1.3 Referitor la caracteristicile fizico-mecanice specifice lemnului și arborilor afectați de putregai.....	131	71
6.1.4 Referitor la particularitățile privind evaluarea volumului lemnului de lucru în arboretele de molid afectate de putregai.....	132	71
6.1.5 Referitor la influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului masei lemnoase pe picior.....	133	72

6.2 Contribuții personale.....	134	72
6.3 Diseminarea rezultatelor.....	135	73
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	138	76
Rezumat.....	158	79

CONTENT

	Pg.	Pg.
	thesis	abstract
ACKNOWLEDGMENTS	11	11
LIST OF FIGURES	12	-
LIST OF TABLES	16	-
LIST OF NOTATIONS	17	12
LIST OF ABBREVIATIONS	17	12
1. INTRODUCTION	18	13
2. AIMS AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH	20	15
2.1 Aims of the research	20	15
2.2 Objectives of the research	20	15
3. STATE OF THE ART	21	16
3.1 State of the art regarding the wood quality of Norway spruce trees	21	16
3.1.1 Overview	21	16
3.1.2 Influencing factors on the wood quality of Norway spruce trees	23	17
3.1.2.1 Norway spruce wood density	23	17
3.1.2.2 Xylophagous fungi affecting Norway spruce	24	17
3.1.2.3 Damages caused by forest harvesting	27	17
3.1.2.4 Damages caused by red deer	29	18
3.1.2.5 Genetic and environmental characteristics	30	18
3.1.2.6 Silvicultural interventions	31	18
3.2 State of the art regarding nondestructive quality assessment methods of the trees wood	32	19
3.2.1 . Overview	32	19
3.2.2 Method based on the examination of growth samples and analysis using fractometer	34	19
3.2.3 Methods based on the determination of mechanical resistances of wood	36	20
3.2.4 Methods based on the acoustic properties of wood	38	20

3.2.5 Methods based on measuring the electrical resistivity of wood.....	39	20
3.2.6 Methods based on the identification of volatile organic compounds.....	40	21
3.2.7 Methods that use thermal imaging.....	41	21
3.2.8 Methods that use tomography.....	43	21
3.2.9 Methods based on X-rays and Gamma radiation.....	45	22
3.3 Quality assessment of Norway spruce trees.....	45	22
4. RESEARCH LOCATION. MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH.....	50	24
4.1 Research location.....	50	24
4.2 Research materials.....	50	24
4.3 Methods of research.....	54	25
4.3.1 Field data collection.....	54	25
4.3.2 Statistical processing and data analysis.....	58	29
5. RESEARCH RESULTS.....	66	36
5.1 The structure of the analyzed Norway spruce stands.....	66	36
5.1.1 Overview.....	66	36
5.1.2 Structural characterization of the Norway spruce stands analyzed.....	66	36
5.1.2.1 Thickness and density of the stands.....	66	36
5.1.2.2 Dimensional parameters analysis.....	67	36
5.1.2.3 Horizontal spatial pattern.....	72	40
5.1.2.4 Vertical spatial pattern.....	74	40
5.1.2.5 Structural diversity.....	78	44
5.2 Quality of the analyzed Norway spruce trees and stands.....	79	45
5.2.1 The quality of the trees due to the presence of rot.....	79	45
5.2.2 General statistical parameters of the trees with rot.....	80	45
5.2.3 Distribution of the trees with rot by diameter categories.....	81	46
5.2.4 Distribution of the volume of the trees with rot by diameter categories.....	84	47
5.2.5 Frequency of trees with root rot.....	85	49
5.2.6 Spatial distribution of the trees with rot.....	88	51
5.2.7 Horizontal spatial pattern of the distribution of the trees with rot.....	88	51

5.3 Physico-Mechanical characteristics specific to the wood and Norway spruce trees affected by rot.....	92	53
5.3.1 Wood density of the Norway spruce trees with rot.....	92	53
5.3.2 Micro-drilling resistance of the wood with rot in Norway spruce trees.....	95	54
5.3.3 . Speed of sound through Norway spruce trees with trunk rot. Wood tomography.....	98	56
5.3.4 Stability of Norway spruce trees affected by trunk rot.....	107	60
5.4 Particularities in assessing the volume of industrial wood in Norway spruce stands affected by rot.....	116	62
5.4.1 Overview.....	116	62
5.4.2 Distribution of the trees by quality classes in Norway spruce stands affected by rot.....	116	63
5.4.3 Statistical parameters of trees distribution by quality classes in Norway spruce stands affected by rot.....	119	64
5.4.4 Industrial and dimensional sorting of the volume in the Norway spruce stands affected by rot.....	121	65
5.4.5 Influence of the volume of industrial and dimensional assortments in Norway spruce stands affected by rot on the unit price of standing wood.....	128	69
6. CONCLUSIONS AND PERSONAL CONTRIBUTIONS. DISSEMINATION OF RESULTS.....	130	70
6.1 Conclusions.....	130	70
6.1.1 Regarding the structure of the analyzed Norway spruce stands.....	130	70
6.1.2 Regarding the quality of the analyzed Norway spruce stands.....	131	70
6.1.3 Regarding the physico-mechanical characteristics specific to the wood and Norway spruce trees affected by rot.....	131	71
6.1.4 . Regarding the particularities of the assessment of the volume of industrial wood in Norway spruce stands affected by rot.....	132	71
6.1.5 Regarding the influence of the volume of industrial and dimensional assortments in Norway spruce stands affected by rot on the unit price of standing wood.....	133	72

6.2 Personal contributions.....	134	72
6.3 Dissemination of results.....	135	73
REFERENCES	138	76
Abstract.....	158	79

-

MULȚUMIRI

La finalul studiilor universitare de doctorat, o etapă deosebit de importantă în cariera mea profesională, îmi exprim recunoștința față de câteva persoane minunate, care m-au îndrumat, susținut și încurajat pe parcursul acestei perioade și fără de care nu aș fi reușit să finalizez prezenta lucrare.

Cel dintâi om minunat, față de care îmi exprim recunoștința și îl asigur de toată prețuirea mea, este domnul **Prof. univ. dr. ing. Arcadie CIUBOTARU**, care a avut bunăvoința de a mă accepta ca student-doctorand și care m-a călăuzit permanent în desfășurarea acestui demers. Îi mulțumesc pentru toată răbdarea, înțelegerea, încrederea și îndrumările valoroase pe care mi le-a oferit pe tot parcursul desfășurării stagiului de doctorat. Îi mulțumesc pentru exigența profesională, pentru sfaturile de viață, pentru faptul că mi-a fost mai mult decât un conducător științific.

Doresc să le mulțumesc membrilor Comisiei de îndrumare, domnilor: Prof. univ. dr. ing. Stelian Alexandru BORZ, Prof. univ. dr. ing. Răzvan Vasile CÂMPU și Prof. univ. dr. ing. Florin DINULICĂ pentru sprijinul constant și indicațiile valoroase oferite pe toată durata studiilor doctorale.

Un alt om minunat, față de care îmi exprim întreaga recunoștință este domnul CS I dr. ing. Radu VLAD, căruia îi mulțumesc pentru sprijinul necondiționat, pentru sugestiile și indicațiile metodologice date, pentru tot ceea ce a făcut pentru mine.

Adresez sincere mulțumiri domnului Prof. univ. dr. ing. Iosif VOROVENCII, președintele comisiei de doctorat, precum și domnilor Prof. univ. dr. ing. Adrian Ioan TIMOFTE, CS I dr. ing. Radu VLAD și Prof. univ. dr. ing. Vasile Răzvan CÂMPU pentru amabilitatea și onoarea de a accepta calitatea de referenți științifici ai tezei de doctorat.

Aduc mulțumiri și întreaga mea recunoștință domnului ing. Nichifor TOFAN, pentru încurajări, pentru susținerea morală și pentru tot efortul de a mă sprijini în dezvoltarea profesională.

Mulțumesc din suflet doamnei Șef lucrări dr. ing. Elena Camelia Mușat pentru tot sprijinul acordat.

Exprim întreaga mea grațitudine cadrelor didactice de la Facultatea de Silvicultură a Universității „Ștefan cel Mare” din Suceava și de la Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere a Universității Transilvania din Brașov care, prin profesionalism și dăruire, au contribuit semnificativ la formarea mea ca specialist.

Mulțumesc totodată colegilor mei de muncă pentru tot sprijinul, încurajările și înțelegerea acordată pe parcursul acestei perioade.

Aduc mulțumiri colectivului Stațiunii de cercetare-dezvoltare și experimentare-producție Câmpulung Moldovenesc din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea” pentru sprijinul acordat.

În final, pentru încrederea și susținerea necondiționată, morală și materială, mulțumesc întregii mele familii, părinților Greta și Costică, soției Elena și fiicei Emilia. Voi sunteți cei în care am regăsit mereu puterea și motivația de a merge mai departe, iar cuvintele nu sunt de ajuns pentru a vă mulțumi.

Tuturor vă aduc profunde mulțumiri și vă asigur de toată prețuirea mea!

Brașov, 2022

Autorul,

LISTA DE NOTAȚII

A_{MO} – indicele profilului vertical	kJ – kilojouli
$asim.$ - asimetria	K_n – indicele de desime
Bq – becquerel	m – metru
cm – centimetri	$M1; 2; 3$ – Mijlociu 1; 2; 3
cm^3 – centimetri cubi	m^2 – metru pătrat
$CS\ 137$ – cesiu 137	m^3 – metru cub
$cv(\%)$ – coeficientul de variație	$max.$ – maximumul
d_{gM} – diametrul central al suprafeței de bază	$min.$ – minimumul
E – excesul	mm – milimetri
€ - euro	$O.S.$ – ocol silvic
g – grame	$^{\circ}C$ – grade Celcius
G – indicele Gini	PI – indicele Pielou
$G\ 1;2; 3$ – Gros 1; 2; 3;	R – indicele Clark Evans
H – indicele de de diversitate Shannon	s – abaterea standard
ha - hectar	s - secundă
ID – indicele de dispersie	THD – diversitatea înălțimii arborilor
J – Jouli	$u.a.$ – unitate amenajistică
K – Kelvin	$U.P.$ – unitate de producție
K_{dv} – indicele de densitate după volum	W – watt
kg – kilograme	\bar{x} – media aritmetică

LISTA DE ABREVIERI

APV – Actul de Punere în Valoare
BIPM – International Bureau of Weights and Measures
IUFRO - International Union of Forest Research Organizations
NT – Norma Tehnică
SE – Suprafața Experimentală
VTA – Visual Tree Assessment

1. INTRODUCERE

Molidul (*Picea abies* L. Karst) este una dintre speciile importante din punct de vedere ecologic și economic, această afirmație fiind justificată, în primul rând, de suprafața ocupată, dar și de alte considerente legate de productivitatea ridicată, ciclurile de producție scurte, efectele ecologice ș.a. (Kahle *et al.*, 2005; Șofletea și Curtu, 2007; Șchiop, 2015; Dinulică, 2020).

În România molidul este considerat specie de bază, arealul natural și de cultură însumând circa 1.372.326 ha, ceea ce reprezintă 19,8% din suprafața forestieră și 77,2% din suprafața ocupată de rășinoase (<http://roifn.ro/>). Este specia predominantă în etajele montane ale țării și formează un întreg etaj fitoclimatic – al molidișurilor - (Curtu, 2003), având capacitatea de a se adapta chiar și deasupra rariștilor subalpine (Șofletea și Curtu, 2007). În prezent este considerată principala specie pentru stocarea carbonului din Carpații Românești, suprafața cea mai mare fiind concentrată în Carpații Orientali (Dutcă et al., 2010; Dutcă, 2011). Volumul de lemn pe picior estimat al speciei în pădurile României este de circa 560.155.285 m³ (<http://roifn.ro/>), reprezentând 23,8% din volumul total de lemn pe picior. Din volumul total al rășinoaselor, molidul are o pondere de 74,4%.

Molidul este deosebit de important și pentru industrie, volumul speciei recoltat la nivel național în anul 2020 fiind de 6.902.787 m³ (www.mmediu.ro) și reprezentând aproximativ 33,8% din volumul total recoltat. Lemnul de lucru a reprezentat 72,8% din volumul de molid total exploatat, lemnul de foc 16,6% iar coaja și vârfurile 10,6%.

Având în vedere aspectele ecologice și economice mai sus prezentate, una dintre cele mai importante probleme ale gospodăririi acestor arborete, pe lângă asigurarea stabilității și polifuncționalității, este aceea a ridicării calității producției de masă lemnoasă. Producția sortimentelor de lemn de lucru valoroase este corelată pozitiv în marea majoritate a cazurilor cu efectele ecologice ale pădurii. La molid, s-a considerat o perioadă lungă de timp că numai vânturile de mare intensitate reprezintă un pericol și pot provoca calamități (Vlad, 2002a). În cea de a doua parte a secolului XX au fost realizate numeroase cercetări și în România cu privire la influența negativă și a altor factori cum ar fi putregaiul (de rădăcină și de trunchi) asupra acestei specii, acesta provocând pierderi calitative și cantitative ireversibile de masă lemnoasă și constituind unul din factorii favorizanți în producerea rupturilor respectiv a doborâturilor de vânt și zăpadă (Vlad și Petrescu, 1977; Ichim, 1993a; Balabasciuc, 1994; Vlad, 2002a). Pe lângă acestea, în cazul unor frecvențe și intensități puternice ale putregaiului (de rădăcină și de trunchi) are loc o scurtare a ciclului de producție, fiind afectată calitatea lemnului, deci implicit valoarea acestuia (Berglund, 2005). De asemenea, este de subliniat faptul că obținerea lemnului de lucru de calitate superioară a reprezentat dintotdeauna unul din țelurile principale de gospodărire în amenajamentul românesc, în funcție de acesta fiind stabilite celelalte măsuri de gospodărire.

Modalitatea de evaluare calitativă a arborilor în urma unei analize vizuale, utilizată în practica silvică curentă, nu este tot timpul obiectivă deoarece nu există întotdeauna o corelație între aspectul exterior al fusului și existența unor defecte interioare. Arborele afectat de putregai poate părea sănătos, are o coroană verde, plină și vegetează în condiții aparent normale (Delatour, 1990). De asemenea, subiectivismul operatorului la evaluarea calitativă a arborilor poate duce la erori în ceea ce privește

existența sau lipsa putregaiului (Wunder *et al.*, 2017; Vasilescu *et al.*, 2020). Având în vedere multitudinea de factori ce influențează evaluarea calitativă trebuie luat în considerare faptul că aceasta este permanent perfectibilă și presupune utilizarea de noi instrumente și metode de evaluare. Aceasta are o contribuție dintre cele mai importante la valorificarea superioară și complexă a lemnului și, implicit, la obținerea unui rezultat ecologic și economic pozitiv al activității de gospodărire a acestor categorii de arborete (Ciubotaru, 1997; Beldeanu, 2007).

Pornind de la aceste premise, precum și de la actualele circumstanțe internaționale, când se pune tot mai mult accentul pe creșterea rolului pădurii ca resursă naturală regenerabilă și oferirea de produse indispensabile vieții umane și a unor servicii sociale, în lucrarea de față se dorește a fi aduse o serie de noi informații științifice legate de cunoașterea unor elemente structurale și calitative specifice arboretelor de molid din zone de risc la acțiunea factorului perturbator considerat (putregaiul de rădăcină și de trunchi), de utilizare a unor instrumente moderne ce permit evaluări calitative nedistructive sau minim invazive ale lemnului arborilor, de necesitatea utilizării unor metodologii moderne de estimare a volumului utilizabil adaptate la aceste tipuri de arborete.

2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR

2.1. Scopul cercetărilor

Având în vedere valoarea economică și ecologică majoră a pădurilor de molid din țara noastră și ținând cont de conceptul de gestionare durabilă a pădurilor, **scopul** lucrării de față este acela de a oferi o serie de noi informații cu privire la evaluarea calității lemnului arborilor de molid afectați de putregai (de rădăcină și de trunchi), posibilitățile de utilizare a unor instrumente moderne ce permit evaluări calitative nedistructive sau minim invazive și necesitatea utilizării unor metodologii de evaluare a volumului utilizabil, adaptate acestor categorii de arborete.

2.2. Obiectivele cercetărilor

Având în vedere scopul propus, precum și efectele economice și ecologice negative cauzate de prezența putregaiului (de rădăcină și de trunchi) în arboretele de molid, prin cercetările efectuate s-a urmărit atingerea următoarelor **obiective** principale:

- cunoașterea principalilor factori care influențează calitatea lemnului arborilor de molid;
- cunoașterea caracteristicilor și a stării unor arborete de molid din nordul Carpaților Orientali prin analiza indicilor structurali la nivel de arboret;
- analiza unor elemente calitative specifice arborilor și arboretelor de molid din zona în care au fost desfășurate cercetările;
- realizarea de evaluări calitative și cantitative prin utilizarea unor dispozitive moderne ce au ca principiu de funcționare metode nedistructive sau minim invazive (Rotfinder®, Resistograph®, ARBOTOM® - Tree Impulse Tomograph);
- stabilirea unor particularități cu privire la caracteristicile fizico-mecanice specifice ale lemnului arborilor de molid afectați de putregai în zonele în care au fost desfășurate cercetările (densitate; rezistență la micro-foraj; viteza sunetului; stabilitatea arborilor);
- evidențierea unor legături corelative între caracteristicile fizico-mecanice specifice ale lemnului arborilor de molid și prezența putregaiului (de rădăcină și de trunchi), precum și a unor relații de calcul ce pot fi utilizate pentru a face estimări expeditiv, *in situ*, cu privire la calitatea acestora;
- evidențierea unor particularități și cuantificarea influenței caracteristicilor putregaiului de trunchi asupra volumului sortimentelor primare și dimensionale ce rezultă din astfel de arborete prin utilizarea a două metode de calcul diferite;
- analiza influenței pe care o are volumul sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai de trunchi asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior.

3. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIINȚELOR

3.1. Stadiul actual al cunoștințelor privind calitatea lemnului arborilor de molid

3.1.1. Generalități

Calitatea arborilor, respectiv a lemnului acestora, are un impact profund în ceea ce privește industrializarea, calitatea și comercializarea produsului final (Zobel, 1984; Kellison *et al.*, 1984). Scăderea calității lemnului duce la o scădere a rentabilității managementului forestier, a productivității, a calității produselor și la o creștere a costurilor de producție (Constantino și Haley, 1988; Zhang, 2003; Beldeanu, 2007). Chiar efectele ecologice ale pădurii sunt corelate, în marea majoritate a cazurilor pozitiv, cu producția de sortimente de lemn de lucru valoroase (Drăghiciu, 2005; Câmpu, 2009).

Modul în care silvicultorii, procesatorii și consumatorii finali percep termenul de calitate a lemnului este foarte diferit, neexistând o definiție a calității unanim acceptată (Kliger *et al.*, 1994; Zhang, 2003; Beldeanu, 2007).

La nivel internațional s-au făcut multe încercări de definire a calității lemnului și implicit a arborilor, în foarte multe cazuri, termenul fiind utilizat ca un sinonim al densității lemnului, mulți oameni de știință din domeniul forestier considerând densitatea lemnului și lungimea fibrei ca fiind principalele atribute ale calității, indiferent de utilizările finale (Vlad și Petrescu, 1977; Keith și Kellogg, 1986; Kliger *et al.*, 1994; Zhang, 2003). Definiția propusă de Mitchell (1961) pare a fi cel mai frecvent citată în literatura internațională de specialitate: „*calitatea lemnului reprezintă rezultanta proprietăților fizice și chimice ale lemnului dintr-un arbore, sau o parte a arborelui, ce îi permit să îndeplinească cerințele pentru anumite proprietăți ale produselor finale*”. Întrucât consideră că această definiție nu ia în considerare toate aspectele care sunt importante atât pentru silvicultori, procesatori, dar și pentru consumatorul final, precum și cele legate de rentabilitatea întregului lanț de producție, Zhang (2003) definește calitatea lemnului ca reprezentând „*toate caracteristicile lemnului care afectează bilanțul economic și viabilitatea produselor finale*”.

În țara noastră, pentru silvicultură și, în special, pentru domeniul exploatării și valorificării lemnului, calitatea *produsului lemn* este definită ca „*ansamblul caracteristicilor care îi conferă acestuia capacitatea de a satisface nevoile utilizatorului (în principiu ale întreprinderii de prelucrare care realizează produsul finit destinat consumatorului), răspunzând astfel unor comandamente de ordin tehnic, economic, ecologic și social*” (Beldeanu, 2007).

Evaluarea calitativă este realizată prin utilizarea unor valori ale unor caracteristici care se pot determina (măsura) exact și exprima cantitativ sau pot fi utilizate și caracteristici exprimate prin atribute. Drept urmare, un rol important în stabilirea calității l-ar putea avea și datele privind unele proprietăți (fizice, mecanice, tehnologice), stabilite prin încercări specifice de laborator. Numărul caracteristicilor analizate, respectiv al parametrilor urmăriți, poate fi mereu reconsiderat, prin utilizarea de noi instrumente și metode de determinare, concluzionând astfel că evaluarea calității este *permanent perfectibilă*.

Calitatea lemnului este influențată de acțiunea unor factori interni (genetici) sau externi (fizico-geografici, zoogeni, fitogeni, silvotecnici, antropici, tehnologici) asupra arborilor sau a unor părți de

arbore, aceștia putând conduce la modificări ale stării normale a lemnului (Ciubotaru, 1997). În condițiile în care aceste modificări influențează în sens negativ calitatea lemnului, fiindu-i astfel restrânse domeniile de valorificare superioară atunci acestea sunt considerate *defecte ale lemnului* (Corlățeanu, 1978; Pescăruș, 1982; Ciubotaru, 1998).

3.1.2. Factorii care influențează calitatea lemnului arborilor de molid

3.1.2.1. Densitatea lemnului la molid

Densitatea este considerată ca fiind unul dintre cei mai importanți predictorii ai calității lemnului (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Zhang, 2003) fiind influențată de mulți factori, unii dintre cei mai importanți fiind cei genetici (Gräns *et al.*, 2009) dar și vârsta arborilor și condițiile staționale (Leahu, 1994; Giurgiu *et al.*, 2004; Câmpu și Ciubotaru, 2013).

În conformitate cu *Sistemul internațional de unități de măsură* (BIPM, 2006) termenul de *densitate* este înlocuit cu *masa volumică*. Având însă în vedere utilizarea larg răspândită atât în practică, cât și literatura de specialitate, în lucrarea de față va fi folosit termenul de *densitate*.

3.1.2.2. Ciuperci xilofage care atacă molidul

Unii dintre dăunătorii cei mai importanți ai molidului, cu influență directă asupra calității lemnului arborilor pe picior și a arboretelor, chiar și în stațiuni favorabile, sunt reprezentați de ciupercile xilofage, fiind mai periculoase atunci când atacul lor este asociat și cu acțiunea altor factori vătămători, de natură abiotică (Moreau și Schaeffer, 1962; Balabasciuc, 1994). Acțiunea ciupercilor xilofage duce la apariția putregaiului (Vasiliauskas și Stenlid, 1998a; 1998b; Vasaitis *et al.*, 2012). În România cercetările legate de ciupercile xilofage ce atacă molidul s-au axat mai mult pe identificarea speciilor, a biometriei putregaiului, a interacțiunii acestuia cu factorii de mediu, în timp ce în străinătate a fost studiată aprofundat partea biologică, genetică, aspectele biochimice ale interacțiunii gazdă-parazit, precum și o serie de metode și modalități de combatere chimică sau biologică a miceliului acestor ciuperci (Bârnoaia, 2004; Berglund, 2005).

3.1.2.3. Vătămările produse prin activitatea de exploatare a pădurilor

Vătămările produse arborilor cu ocazia procesului de exploatare a pădurilor, mai ales la molid, specie la care procesul de cicatrizare este greoi, expun direct lemnul și devin porți de intrare ale ciupercilor xilofage și a altor agenți patogeni, conducând la o reducere a creșterilor și la o serie de modificări ale proprietăților fizico-mecanice, putând reactiva ciuperci pătrunse deja în lemn și aflate într-un stadiu latent (Vlad și Petrescu, 1977; Filip *et al.*, 1995; Câmpu, 2018). De asemenea, în urma rănirii poate apărea deformarea trunchiului arborilor, precum și pierderea calității, acestea accentuându-se cu cât arborele rămâne mai mult în arboret. În timp, arborii afectați prezintă un risc crescut de a produce pagube colaterale, existând posibilitatea de a fi rupți de vânt sau zăpadă, constituind în unele cazuri surse de infecție pentru arborii sănătoși.

Există numeroase clasificări ale vătămărilor, în funcție de poziția acestora pe arbore, de localizarea pe trunchiul arborelui, de intensitate și tip, de orientare, de formă și de suprafața lor (Vlad și Petrescu, 1977; Ciubotaru, 2002). Cea mai utilizată încadrare a arborilor în categoria vătămător și clasificarea tipului de vătămare, atât în practica silvică, cât și în literatura de specialitate din țara noastră, este realizată în conformitate cu sistemul unitar de clasificare al vătămărilor (Ciubotaru, 2002):

zdelirea (îndepărtarea parțială a cojii sau a scoarței fără a afecta zona cambială), *cojirea* (îndepărtarea unei porțiuni de coajă până la lemn), *așchieria* (îndepărtarea unei porțiuni de coajă și lemn), *ruperea* (a trunchiului sau a crăcilor) și *dezdăcăcinarea* (parțială sau totală).

3.1.2.4. Rănila produse de cervide

La fel ca și în cazul vătămarilor produse arborilor cu ocazia procesului de exploatare, rănila produse de cervide pe trunchiul arborilor de molid constituie porți de intrare pentru ciupercile xilofage, afectând starea de sănătate a arborilor și provocând pierderi calitative ireversibile ale masei lemnoase (Ichim, 1990; O'Connell și Turner, 1993; Graber, 1994; Vasiliauskas și Steirlid, 1998a). Importanța acestora și influența asupra calității sunt cu atât mai mari cu cât aceste răni sunt localizate spre baza arborelui, acolo unde arborii au dimensiunile cele mai mari și de unde rezultă sortimentele cele mai valoroase (Ichim *et al.*, 1971; Ichim, 1975a, 1990, 1993a; Vlad, 2002a; Vlad și Sidor, 2011). De asemenea, constituie unul din factorii favorizanți în producerea rupturilor, respectiv a doborâturilor de vânt și zăpadă (Ichim și Barbu, 1979; Ichim, 1980; Barbu și Cenușă, 1984; Vlad, 2002a).

În străinătate preocupări în această direcție de cercetare au avut Rohmeder (1937), Haufe (1938) citat de Vlad (2002a), Heger (1955), Schimitschek (1939), Baader (1956), Hildebrand (1959), Roeder (1972) și Kurth (1964) - citați de Ichim (1975a), precum și Zaruba-Snajdr (1966), Graber (1994), deCalesta și Witmer (1994). Problematika rănilor produse de cervide a apărut în silvicultura României abia în jurul anului 1960, semnalarea efectelor acestora făcându-se în zonele forestiere care înregistrau efective sporite de cervide (Onofrei, 1969; Popescu, 1978).

3.1.2.5. Caracteristicile genetice și de mediu

Caracteristicile calitative ale lemnului unui arbore sunt rezultatul potențialului genetic de a produce un anumit tip de lemn sub influența directă a factorilor de mediu (Giurgiu, 1979; Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Zobel și Jett, 1995; Witkowska, 2008). Cercetările realizate în străinătate au demonstrat faptul că, la molid, o serie de caracteristici, cum ar fi evoluția fenologică, conținutul de lignină, grosimea pereților celulari, unghiul microfibrilor și diametrul traheidelor, sunt sub o puternică influență genetică (Zobel și Jett, 1995; Persson și Persson, 1997; Hannrup *et al.*, 2004). În România, în urma analizării unor caracteristici ale ramurilor (numărul de ramuri pe verticil, unghiul de inserție, diametrul), ale coroanei (diametrul coroanei, suprafața laterală a coroanei) și ale trunchiului (înălțimea elagată, indicele de zveltețe) la arbori de molid cu proveniență diferită (Carpații Orientali, Meridionali și Occidentali), a fost constatat faptul că arborii având ca proveniență populațiile din Carpații Orientali au avut valori ale parametrilor analizați superiori celorlalte proveniențe (Budeanu *et al.*, 2012; Budeanu și Șofletea, 2013).

Anumite caracteristici calitative ale arborilor (diametrul trunchiului, înălțimea, rectitudinea, conicitatea) sunt influențate în mod direct de factorii de mediu (Giertych, 1998; Witkowska, 2008).

3.1.2.6. Intervențiile silvotehnice

Intervențiile silvotehnice pot influența într-o mare măsură calitatea arborilor și proprietățile lemnului (Petrescu, 1977; Klang, 2000; Witkowska, 2008). Factorii silviculturali, cum sunt metoda de regenerare, schema de plantare și realizarea lucrărilor de îngrijire și conducere (intensitate, mod de aplicare) acționează asupra calității arborilor prin influența asupra spațiului oferit și a concurenței dintre aceștia (Johansson, 1997; Florescu și Nicolescu, 1998; Nicolescu *et al.*, 2020).

3.2. Stadiul actual al cunoștințelor privind metodele nedistructive de evaluare a calității lemnului arborilor

3.2.1. Generalități

Calitatea lemnului arborilor poate fi evaluată prin numeroase metode moderne, clasificate în două mari categorii: *metode distructive* și *metode nedistructive*. În cadrul acestor metode nedistructive se deosebesc grupe de metode, în funcție de natura lor (metode acustice, mecanice, atomice, electromagnetice, chimice etc.), cât și în funcție de caracteristica lemnului ce urmează a fi determinată (metode pentru determinarea densității, a rezistențelor, a conținutului de celuloză etc.) (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Bucur, 2003; David, 2011).

Evaluarea nedistructivă a calității este definită ca *procesul prin care proprietățile fizice și mecanice ale unui material sunt evaluate fără deteriorarea sau modificarea posibilităților sale de utilizare finală* (Ross și Pellerin, 1991; Bodig, 1994; Beall, 1996; Bucur, 2003; Ross, 2015).

În ceea ce privește clasificarea metodelor nedistructive de evaluare a calității lemnului arborilor pe picior există mai multe propuneri de clasificare. Ross (2015) clasifică metodele nedistructive de evaluare a calității lemnului în funcție de proprietățile lemnului ce urmează a fi evaluate, respectiv metode vizuale, chimice, fizice și mecanice.

Sobue (1993) citat de Bucur (2003) propune o clasificare a acestor metode în funcție de proprietățile fizice ale lemnului (proprietăți dielectrice, termice, mecanice, optice ș.a.) și de necesitatea evaluării unui anumit parametru (umiditate, densitate, prezența nodurilor, prezența putregaiului, orientarea fibrelor). Având în vedere parametrul urmărit se pot distinge: metode gravimetrice, pe bază de vibrații și ultrasunete, rezistență la penetrare, la încovoiere și compresiune, microdensitometrie, rezonanță magnetică nucleară ș.a.

În străinătate, primele încercări de evaluare nedistructivă a calității arborilor de molid sunt făcute de Rohmeder (1937) ce propune a se construi un aparat care în funcție de modificarea proprietăților undelor acustice, să poată fi utilizat la detectarea putregaiului de rădăcină. Kollmann (1950) citat de Kolmann și Côté (1984) a construit un aparat electric pentru măsurarea sunetului ce trece prin trunchiul arborilor iar Waid și Wodman (1957) citați de Ichim (1993a) au încercat utilizarea ultrasunetelor. Manka (1959) citat de Ichim (1993a) s-a ocupat cu diagnosticarea acustică și a propus o scară de sunete cu trei grade, care să permită aprecierea gradului de dezvoltare a putregaiului în trunchiul arborilor de molid la momentul lovirii acestuia.

În țara noastră, Ichim (1975a) clasifică metodele de evaluare calitativă a arborilor de molid pe picior (distructive și nedistructive), menționând metodele vizuale de analiză, metoda auditivă (lovirea trunchiului și interpretarea timbrului sonor), metoda rezistenței la penetrare și metoda examinării probelor de creștere. Dumitriu-Tătăranu *et al.* (1983) publică o lucrare amplă privind estimarea calității lemnului arborilor pe picior (printre care și a molidului) prin metoda carotelor de sondaj.

3.2.2. Metoda bazată pe examinarea probelor de creștere și analizarea prin intermediul fractometrului

Această metodă presupune extragerea unor probe de creștere din locul unde se dorește a fi realizată evaluarea calitativă. Pentru aceasta pot fi folosite sonde de creșteri, ciocane de sondaj sau burghie

Pressler. Primele două instrumente sunt folosite doar pentru a preleva probe de dimensiuni mici de la suprafața pieselor analizate.

Caracterul „nedistructiv” al acestei metode este însă relativ, deoarece în urma extragerii carotelor se produc vătămări ale trunchiului, găurile rezultate, mai ales în condițiile în care nu sunt închise cu anumite materiale (parafină, masticuri speciale ș.a.) constituind porți de pătrundere a ciupercilor xilofage în lemn, permițând astfel răspândirea ciupercilor în lemnul sănătos (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Lawday și Hodges, 2000). Evaluarea calității lemnului arborilor pe picior cu ajutorul carotelor de creștere poate fi combinată cu utilizarea fractometrului, instrument ce măsoară elasticitatea și rezistența la rupere a unei probe de lemn (Matheny *et al.*, 1999; Leong *et al.*, 2012).

3.2.3. Metode bazate pe determinarea rezistențelor mecanice ale lemnului

În categoria metodelor mecanice sunt incluse toate acele metode care permit estimări cantitative directe sau pe bază de corelații sau estimări indirecte, ale unor caracteristici fizico-mecanice ale lemnului (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983).

Aceste metode sunt suficient de precise, determinările realizate fiind expeditiv, ceea ce duce la o diminuare semnificativă a costului diverselor cercetări, precum și a posibilității apariției unor deprecieri ale lemnului arborilor pe picior. Dintre metodele care sunt cel mai frecvent utilizate se enumeră cea a **torsiometrului**, **pilodyna** și cea a **rezistenței la penetrare - rezistograful** (dendrodensitometrul).

3.2.4. Metode bazate pe proprietățile acustice ale lemnului

Aceste metode au la bază principiul conform căruia viteza de propagare a undelor acustice în trunchiul arborilor este influențată de densitatea acestora. Undele acustice se propagă diferit în lemnul din trunchiul arborilor sănătoși în comparație cu cel ce conține putregai (McCracken și Vann, 1983; Sandoz, 1999; Lawday și Hodges, 2000; David, 2011; Leong *et al.*, 2012; Ross și Pellerin, 2014). Deși aceste metode au un grad mare de aplicabilitate, fiind folosite în mai multe domenii, în silvicultură au fost introduse relativ târziu, fiind folosite în prezent la evaluări calitative și pentru a detecta defectele interioare (David, 2011).

Pot fi utilizate frecvențe (f) ale undelor acustice < 20 kHz (unde acustice receptate de urechea umană) sau pot fi extinse la > 20 kHz, denumite ultrasunete. Utilizarea undelor acustice la frecvențe ridicate oferă informații cu o acuratețe mai ridicată în ceea ce privește localizarea și exinderea unui defect interior (Bucur, 2003).

În acest moment sunt disponibile, pe scară largă, numeroase versiuni electronice ale instrumentelor ce folosesc unde acustice, cu frecvențe mai mici sau mai mari de 20 kHz, principiul de funcționare fiind cel al măsurării vitezei undelor acustice în momentul trecerii prin trunchiul arborilor (Arbosonic Decay Detector, Metriguard Stress Wave Timer, p Microsecond Timer, IML Micro Hammer, Silvatest Duo și Silvatest Trio).

3.2.5. Metode bazate pe măsurarea rezistențelor electrice ale lemnului

Rezistențele electrice ale lemnului sunt influențate de umiditatea acestuia, temperatură și conținutul de ioni (Torgovnikov, 1993; Nicolotti și Miglietta, 1998; Leong *et al.*, 2012).

Lemnul afectat de putregaiul brun are un conținut de apă de 60-80%, în timp ce lemnul afectat de putregaiul alb, putregaiul de rădăcină sau bacterii poate ajunge la un conținut de apă de 200-300%

(Leong *et al.*, 2012). Shigo (1993) citat de David (2011) indică valorile între care trebuie să se încadreze rezistența electrică a lemnului sănătos (400-500 k Ω) și a lemnului cu putregai (190-200 k Ω). Valorile mai mici, respectiv de 50 k Ω , sunt considerate critice și pot să indice atât lemn cu putregai, cât și lemn sănătos dar uscat.

3.2.6. Metode bazate pe identificarea unor compuși organici volatili

Putregaiul, apărut în urma acțiunii ciupercilor xilofage, elimină o serie de compuși organici volatili ce produc un miros specific.

În contrast cu metodele nedistructive sofisticate de evaluare a calității arborilor pe picior, în Suedia există instituții specializate în dresajul câinilor pentru identificarea putregaiului de rădăcină și de trunchi la arbori (Davner, 1986). Pentru identificarea putregaiului interior la arbori, aflat în stadiul incipient, au fost create mai multe modele comerciale de „nas electronic” (e-nose), modele ce au fost testate atât în condiții de laborator, cât și în teren prin utilizarea unor probe provenite de la arbori de diferite specii, sănătoși sau afectați de putregai (Baietto *et al.*, 2010). Este necesar ca „nasul electronic” să fie să fie calibrat pe baza unei colecții de fișiere de recunoaștere, fiind astfel necesară o „bibliotecă de referință” cu astfel de fișiere.

3.2.7. Metode care folosesc imagini termice

Folosirea imaginilor termice la detectarea defectelor interne la arborii pe picior este o metodă nedistructivă de evaluare a calității interne, cu un potențial ridicat de utilizare în determinarea prezenței și a extinderii acestora. Principiul imagisticii termice constă în măsurarea căldurii radiante a arborilor, folosind o cameră cu infraroșu ce detectează emisii cu lungimi de undă între 2-5,6 μm sau 8-14 μm (Nicolotti și Miglietta, 1998; Catena, 2004; David, 2011). Camerele cu infraroșu actuale sunt capabile să detecteze variațiile de temperatură cu o acuratețe de 0,05°C pe o suprafață de 6 mm², de la o distanță de 10 m (NEC, 2010).

Principiul care stă la baza metodei este reprezentat de faptul că zonele alterate, cu putregai sau alte defecte, produc așa numitele „pete reci” ce pot fi detectate de o cameră cu infraroșu (Catena, 2003; Catena și Catena, 2008; Burcham *et al.*, 2011; Leong *et al.*, 2012)

3.2.8. Metode care folosesc tomograme

Tehnologiile bazate pe tomograme permit reconstituirea structurii interne a arborilor pentru secțiunea analizată. Obținerea tomogramelor poate fi realizată prin utilizarea vitezei de propagare a undelor acustice sau pe baza măsurării rezistențelor electrice ale lemnului din trunchiul arborilor.

Tomogramele obținute cu ajutorul ultrasunetelor au fost gândite și folosite inițial în domeniul medical, dar pe baza dezvoltării tehnologiilor din ultima perioadă au ajuns să fie folosite și pentru evaluarea calității interne a arborilor (Wang *et al.*, 2009; David, 2011). Reconstituirea structurii interne a arborelui pentru secțiunea analizată se bazează pe densitatea și modulul de elasticitate al lemnului. Viteza de propagare a undelor acustice depinde de sănătatea lemnului, descreșterea acesteia fiind pusă pe seama degradării lemnului (Câmpu, 2008 citat de David, 2011; Dinulică, 2020).

Unele din cele mai răspândite și utilizate dispozitive sunt reprezentate de PiCUS Sonic Tomograph, produs de Argus Electronics GmbH –Germania, Arbotom[®], produs de Rinntech e.K. – Germania și ArborSonic 3D Acoustic Tomograph, produs de Fakkop Enterprise BT – Ungaria.

În ceea ce privește tomogramele obținute prin măsurarea rezistențelor electrice ale lemnului se precizează faptul că tehnologia în sine provine din geofizică și a fost adaptată pentru utilizarea la arbori. Este posibilă detectarea fazelor incipiente ale atacului produs de ciuperci xilofage chiar dacă densitatea lemnului nu a suferit încă modificări, ceea ce nu este posibil cu ajutorul tomografiei acustice. Unul dintre dispozitivele cele mai răspândite este **ArborElectro Impedance Tomograph**, produs de Fakkop Enterprise BT – Ungaria.

3.2.9. Metode bazate pe radiații X și radiații Gamma

Radiațiile X reprezintă o formă de radiații electromagnetice, asemănătoare luminii, dar cu o lungime de undă mai mică și capabile să penetreze corpuri solide.

Radiațiile Gamma sunt radiații de frecvențe înalte, diferența față de radiațiile X fiind reprezentată de faptul că acestea sunt emise de nucleele unor atomi radioactivi. Acest tip de radiații este folosit frecvent în testarea industrială nedistructivă, în vederea depistării golurilor și a defectelor posibile ale obiectelor mari și structurilor la care nu se pot aplica metode cu radiații X. Trecerea acestor tipuri de radiații prin obiectele scanate se bazează pe densitatea materialului analizat și se realizează prin intermediul unor substanțe radioactive (iridium – 192, cobalt – 60, cesiu-137) care generează radiațiile (Bucur, 2003; David, 2011; Leong *et al.*, 2012).

Habermehl și Ridder (1998) citați de Bucur (2003) au fost pionieri în cercetările privind posibilitatea dezvoltării unor instrumente portabile ce pot fi folosite pentru arbori. Ei au propus două tipuri de echipamente portabile (MCT-3 și MCTF). Aceste echipamente sunt folosite doar experimental, au costuri foarte mari dar oferă informații extrem de precise referitoare la densitate, distribuția apei în tulpină, prezența incluziunilor, diferențele dintre alburn și lemnul de inimă, crăpături, noduri, pungi de rășină etc.

3.3. Evaluarea calitativă a arborilor de molid

Din punct de vedere practic, pentru satisfacerea anumitor cerințe silviculturale, tehnologice și funcționale, precum și pentru o judicioasă repartizare a masei lemnoase ce urmează a fi exploatată, evaluarea calitativă a arborilor pe picior este realizată prin încadrarea în *clase de calitate* (Corlățeanu, 1978).

Primele informații referitoare la calitatea arborilor pe picior sunt oferite printr-o serie de criterii de analiză (Giurgiu, 1979). Primul criteriu este cel al *speciei forestiere* (oferă informații privind valoarea de întrebuințare a biomasei lemnoase), urmat de *criteriul dimensional* (diametrul fusului sau a porțiunilor din fus, lungimea unui sortiment) și *criteriul privind proprietățile fizico-mecanice și/sau chimice*. Unul dintre cele mai importante criterii este cel al *frecvenței și mărimii defectelor tehnologice* (curbură, putregai, nodurozitate ș.a.), în raport cu acest criteriu fiind definite patru clase de calitate. Această clasificare are un caracter silvicultural și urmărește, cu precădere, evidențierea arborilor în raport cu necesitatea menținerii lor în arboret, fiind identificați, totodată, și cei cu calități tehnologice superioare.

Sistemul de clasificare calitativă a arborilor pe picior propus de IUFRO (Organizația Internațională a Institutelor de Cercetări Forestiere) ține cont de calitatea trunchiului și utilizează trei clase de calitate (lemn valoros, lemn normal și lemn defect) (Vidal *et al.*, 2016).

Un alt criteriu important de clasificare calitativă a arborilor este reprezentat de proporția lemnului de lucru. Decei și Dissescu (1960) au propus o clasificare a arborilor în patru clase de calitate în funcție de proporția lemnului de lucru pe care îl conțin și în funcție de care se stabilește indicele de utilizare a lemnului (definit ca raport între volumul lemnului de lucru și volumul total).

Aprecierea calității arborilor se face vizual, astfel că operatorul trebuie să cunoască atât prevederile standardelor de specialitate în privința condițiilor de admisibilitate ale sortimentului cu cele mai largi limite, cât și legătura corelativă dintre aspectul exterior al arborelui nedoborât și defectele interioare ale fusului (Ciubotaru, 1998). Sunt considerate ca lemn de lucru porțiunile din fus care pot avea utilizări industriale ca lemn de lucru rotund (lemn pentru furnire, cherestea, mină, construcții, celuloză, ș.a.).

Această metodă este utilizată în prezent la stabilirea calității arborilor și încadrarea în clase de calitate, atât din punct de vedere al practicii silvice (amenajarea pădurilor, exploatare forestieră), dar și din punct de vedere legal (*Normele tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării – 4* aprobate prin O.M. 1651 din 31.10.2000), fiind necesară în etapele de întocmire a actelor de evaluare a volumului de lemn destinat comercializării (APV).

Orice defect care determină eliminarea din categoria lemnului de lucru a unei porțiuni din trunchi poate conduce la schimbări ale clasei de calitate, chiar și în cazurile în care restul porțiunii cu lemn de lucru îndeplinește condițiile de încadrare după lungime, într-o anumită clasă de calitate. Modalitatea de încadrare a arborilor pe picior în clase de calitate în raport cu proporția (lungimea) lemnului de lucru nu este tot timpul obiectivă, deoarece nu există întotdeauna o concordanță între aspectul exterior al fusului și existența unor defecte interioare (putregai, noduri). Pentru lucrări pretențioase (în cazul arborilor cu lemn de mare valoare) clasificarea calitativă a arborilor trebuie realizată analitic, cu luarea în considerare a poziției porțiunilor cu lemn de lucru pe fusul arborilor (Giurgiu, 1979).

Pentru arborii de molid pe picior cu lemn de rezonanță au fost elaborate două modele axiale de calitate (modelul axial general și modelul axial particular), în funcție de modul de distribuție al nodurilor și anumite caracteristici dimensionale (Albu, 2010).

De asemenea, ținând cont de distribuția zonelor de calitate (A, B, C) a lemnului de molid de rezonanță în secțiune transversală (Beldeanu, 2001), în vederea evaluării calitative a arborilor pe picior cu lemn de rezonanță au fost definite șase clase de calitate structurală (Albu, 2010).

În cazul arboretelor de molid vătămate de cervide, a fost dezvoltat programul automat de calcul VÂNAT 1.1. pentru estimarea producției de lemn și determinarea volumului ocupat de lemnul cu putregai de trunchi și declasarea în structură, pe sortimente dimensionale. În cazul acestui program nu se mai impune stabilirea clasei de calitate a arborilor (Vlad, 2002a, 2007; Vlad și Cuciurean, 2007, 2009; Vlad și Sidor, 2014; Pei *et al.*, 2020a).

În ceea ce privește evaluarea calitativă a arborilor de molid pe picior prin metode și tehnici nedistructive moderne, cu mici excepții (metode bazate pe examinarea carotelor de creștere și „procedeu lovirii”, utilizate la identificarea arborilor cu lemn de rezonanță), în țara noastră este realizată deocamdată doar la nivel experimental și științific (Pei *et al.*, 2018b, 2020b, 2021a, 2021b; Vlad *et al.*, 2018a, 2018b, 2018d, 2019, 2020; Dinulică *et al.*, 2019; Dinulică, 2020), nefiind încă utilizată în practica silvică curentă.

4. LOCUL CERCETĂRIILOR. MATERIALUL ȘI METODA DE CERCETARE

4.1. Locul cercetărilor

În conformitate cu scopul și cu obiectivele tezei de doctorat, cercetările efectuate pentru evidențierea calității și a caracteristicilor lemnului arborilor pe picior în arborete de molid din nordul Carpaților Orientali s-au desfășurat în zone reprezentative din punct de vedere al impactului economic și ecologic generat de către putregaiul de rădăcină și de trunchi asupra acestei categorii de arborete.

Astfel, cercetările de teren au fost localizate în păduri de molid de pe raza județului Suceava, în cadrul Ocolului silvic Moldovița (Direcția Silvică Suceava), Ocolului silvic Pojorâta (Direcția Silvică Suceava) și Stațiunii de cercetare-dezvoltare și experimentare-producție Câmpulung Moldovenesc (Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Silvicultură „Marin Drăcea”), în bazinul superior al râului Moldova (figura 4.1).

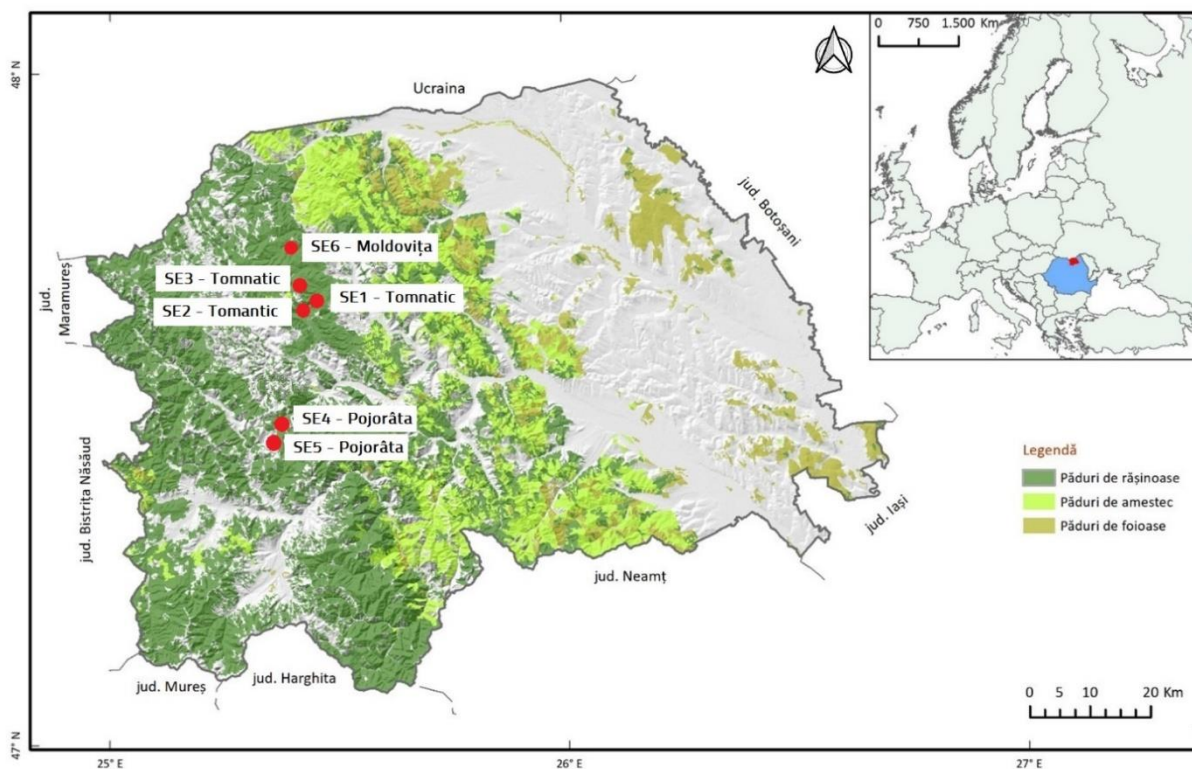


Figura 4.1. Localizarea geografică a cercetărilor

4.2. Materialul de cercetare

Pornind de la obiectivele specifice tezei de doctorat, materialul de cercetare este reprezentat din arborete artificiale de molid, afectate în proporții diferite de putregai de rădăcină și de putregai de tulpină.

Pentru ca datelor primare culese din arboretele de molid să le fie asigurată reprezentativitatea, au fost instalate șase suprafețe experimentale, în zone caracteristice considerate după vârstă, clasă de producție, prezența factorului perturbator specificat (putregaiul de rădăcină și de trunchi), după cum

urmează: SE1 – Stațiunea de cercetare-dezvoltare și experimentare-producție Câmpulung Moldovenesc, unitatea amenajistică 43A; SE2 - Stațiunea de cercetare-dezvoltare și experimentare-producție Câmpulung Moldovenesc, unitatea amenajistică 53A; SE3 – Stațiunea de cercetare-dezvoltare și experimentare-producție Câmpulung Moldovenesc, unitatea amenajistică 104H; SE4 – Ocolul silvic Pojorâta, unitatea amenajistică 100A; SE5 - Ocolul silvic Pojorâta, unitatea amenajistică 99A și SE6 - Ocolul silvic Moldovița, unitatea amenajistică 135A.

Arboretele analizate prezintă intensități și frecvențe diferite de vătămare produse de către putregai. Ele sunt reprezentative pentru obiectivele tezei de doctorat și a zonei destinate cercetărilor, fiind arborete cu vârste cuprinse între 65 ani și 80 de ani, cu o consistență aproape plină (0,7-0,8), caracterizate printr-o clasă de producție superioară (arborete din clasele de producție 2).

4.3. Metodologia de cercetare

4.3.1. Culegerea și înregistrarea informațiilor din teren

Pentru a evidenția calitatea și caracteristicile lemnului arborilor pe picior în arborete de molid din nordul Carpaților Orientali afectate de putregai de rădăcină și de trunchi, s-au efectuat inventarieri statistice pe itinerar, în suprafețe experimentale cu caracter permanent. Acestea au fost amplasate în timpul derulării cercetărilor, în perioada 2018-2020, având la bază conținutul Programului de cercetare științifică din cadrul Programului individual de doctorat.

Ca regulă generală, amplasarea suprafețelor de probă a urmărit surprinderea unor zone reprezentative pentru populația analizată, atât sub aspectul omogenității cât și sub cel al volumului selecției (Girgiu, 1972; Palaghianu, 2009). Aceasta s-a făcut în concordanță cu obiectivul general urmărit prin elaborarea tezei de doctorat, și anume analiza calității și a caracteristicilor fizico-mecanice ale lemnului arborilor din arborete de molid din nordul Carpaților Orientali, prin cuantificarea efectului putregaiului de rădăcină și de trunchi. Suportul pentru amplasarea suprafețelor experimentale a fost reprezentat de analiza bazelor de date amenajistice de pe raza ocoalelor silvice unde au fost desfășurate cercetările (Vlad, 2007).

Metoda utilizată a fost cea corespunzătoare suprafețelor experimentale de formă pătrată (100x100 m), cu suprafața de 10.000 m². Colțurile suprafețelor experimentale permanente au fost materializate prin țărnuși. A fost efectuată și o delimitare a perimetrului acestora prin marcarea cu o bandă de vopsea orizontală, a arborilor de limită, din 25 în 25 m. Suprafețe elementare de 100 m² (10x10m) au fost pichetate în interiorul suprafețelor permanente prin jaloane.

În suprafețele experimentale au fost analizați și inventariați un total de **2.715** arbori (inventariere integrală) cu diametrul mai mare sau egal cu 8 cm, pentru care au fost înregistrate următoarele caracteristici: specia; numărul curent al arborelui; poziția arborilor în plan conform cu coordonate carteziane (X, Y) în m; diametrul de bază (cm), ca medie a două diametre perpendiculare măsurate cu clupa forestieră; diametrul (cm) măsurat la 2,0 m (la arbori cu putregai de trunchi ca urmare a rănilor produse de cervide); înălțimea totală (m); înălțimea elagată (m), măsurate cu aparatul Vertex IV; două diametre perpendiculare ale coroanelor (pe axa X și pe axa Y) în m; clasa de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru (în conformitate cu prevederile *Normelor tehnice 4 pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării* din 2000); existența unui defect și tipul acestuia (putregaiul

de trunchi ca urmare a rănilor produse de vânat, putregai de rădăcină, rupturile de vârf, rănilor de exploatare).

Pentru arborii cu putregai de trunchi apărut ca urmare a rănilor produse de cervide a fost măsurat diametrul la 2,0 m înălțime, deoarece în zona diametrului de bază trunchiul prezintă deformări. Ulterior, pentru calcule, a fost realizată transformarea diametrului măsurat la 2,0 m în diametrul de bază prin utilizarea unei ecuații de regresie ce exprimă legătura corelativă dintre cei doi parametri (Vlad, 2002a).

Obținerea datelor primare privind prezența sau absența putregaiului de rădăcină a presupus analiza cu ajutorul aparatului Rotfinder® (figura 4.2) a arborilor ce au fost încadrați inițial, în urma observațiilor vizuale, ca arbori sănătoși. Analiza cu acest aparat a fost realizată la **1.046** de arbori.



Figura 4.2. Dispozitivul Rotfinder® și modul de utilizare pentru identificarea prezenței putregaiului de rădăcină

Aparatul Rotfinder® este utilizat pentru identificarea existenței putregaiului la arborii pe picior și a fost dezvoltat de compania Rotfinder AB (Krossverksgatan 3, 216 16 Limhamn, Malmö, Suedia) în colaborare cu Institutele de cercetări silvice din Suedia (Skogforsk) și Danemarca (Skov & Landskab).

Modul de lucru se bazează pe măsurarea conductivității electrice a secțiunii trunchiului. Aceasta este diferită pentru lemnul sănătos comparativ cu lemnul cu putregai din arborii atacați de *Heterobasidion spp.*, deoarece acesta din urmă are, printre altele, concentrații mai mari de ioni metalici, buni conductori electrici (Romeralo, 2010; Oliva *et al.*, 2011).

Aparatul are 4 senzori de 3 cm lungime și 3-4 mm diametru, ce sunt fixați pe trunchiul arborelui în zona în care se realizează măsurătoarea. Acești senzori pătrund aproximativ 1 cm în alburn, producând astfel daune minime arborelui. Este utilizată o scală cu 10 trepte care indică o creștere a probabilității ca arborele să fie afectat de putregai de rădăcină, în funcție de proporția lemnului afectat (figura 4.3).

Astfel, valoarea 0 indică un arbore sănătos, iar valoarea 10 indică o probabilitate ridicată de existență a putregaiului.



Figura 4.3. Valori indicate de dispozitivul Rotfinder® și proporția lemnului afectat de putregai de rădăcină

Conform manualului de utilizare, nu se recomandă utilizarea aparatului în perioada în care lemnul arborilor este înghețat sau imediat după perioadele cu ploaie. De asemenea, existența lemnului de compresiune poate duce la obținerea unor erori în modul de evaluare.

Culegerea datelor primare pentru cuantificarea densității lemnului provenit de la arborii cu putregai (de rădăcină și de trunchi) a vizat un număr de **66** arbori, din care au fost extrase probe de creștere cu ajutorul burghiului Pressler (Chave, 2005; Cown, 2006; Gao *et al.*, 2017). Pentru estimarea proporției putregaiului din suprafața secțiunii transversale analizate au fost prelevate, cu ajutorul burghiului Pressler, câte două probe de creștere, dispuse perpendicular. A fost realizată măsurarea lungimii porțiunii de lemn sănătos pentru fiecare probă cu ajutorul șublerului electronic, în calculele ulterioare fiind utilizată valoarea medie a celor două măsurători.

Măsurarea rezistenței la micro-foraj a secțiunilor transversale ale arborilor cu putregai (de rădăcină și de trunchi) a fost realizată cu aparatul Resistograph® IML RESI F500-S (Instrumenta Mechanik Labor System GmbH, Großer Stadtacker 2, 69168, Wiesloch, Germania). Au fost luați în considerare pentru măsurători **66** de arbori afectați de putregai. Aparatul folosește un dispozitiv de micro-foraj echipat cu un burghiu mic de 3 mm diametru și 50 cm lungime și o viteză de pătrundere ce se adaptează automat (Rinn *et al.*, 1996). Rezistența la micro-foraj este înregistrată la o rezoluție de 0,01 mm (figura 4.4).



Figura 4.4. Măsurarea rezistenței la micro-foraj cu aparatul IML Resistograph® la arborii de molid cu putregai

Rezistența la micro-foraj a fost măsurată, pentru fiecare arbore, la înălțimea de 1,30 m, în zona opusă răni, deoarece în zona apropiată sunt deformări ale trunchiului arborelui ce pot genera erori la

măsurare. La arborii identificați ca având putregai de rădăcină, măsurătoarea s-a făcut în amonte, tot la înălțimea de 1,30 m.

Datele primare referitoare la viteza sunetului prin trunchiul arborilor de molid cu putregai, tomografia secțiunii analizate, respectiv stabilitatea acestora au fost colectate prin utilizarea aparatului ARBOTOM® - Tree Impulse Tomograph (Rinntech-Metriwerk GmbH & Co. KG, Hardtstr. 20-22, D-69124 Heidelberg, Germania). Acesta folosește mai mulți senzori (accelerometrii) ce sunt poziționați pe circumferința secțiunii transversale a trunchiului la distanțe cunoscute (Gilbert și Smiley, 2004, Dinulică *et al.*, 2019). Echipamentul măsoară viteza undelor de la senzorul percutat la fiecare dintre senzorii ce îi recepționează vibrațiile (figura 4.8). Datele colectate se trimit simultan la un computer, iar software-ul ARBOTOM® asociază mărimea vitezei cu densitatea locală și oferă grafic reconstituirea structurii interne a arborelului pentru secțiunea analizată, cu tomograme.

Ținând cont de recomandările din literatura de specialitate (Wunder *et al.*, 2013; Rinn, 2014), potrivit cărora numărul de senzori trebuie să fie suficient de mare pentru a surprinde complexitatea secțiunii analizate, au fost utilizați câte 6 senzori pentru fiecare arbore.



Figura 4.5. Realizarea evaluărilor calitative cu ajutorul tomografului acustic ARBOTOM®

Cu ajutorul modulului grafic Mechanic ARBOTOM® a fost realizată evaluarea și prezentarea vizuală a momentului rezistenței relative. În această analiză sunt luate în considerare zonele cu putregai, precum și diferite tensiuni și rezistența lemnului la compresiune, fiind calculat procentual cu cât se diminuează stabilitatea arborelului, prin raportarea la momentul de rupere (Li *et al.*, 2012). Pentru colectarea datelor legate de viteza sunetului, tomografie, diminuarea stabilității individuale a arborilor, cât și în scopul stabilirii unei relații dintre diminuarea stabilității arborilor în raport cu proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale analizate, au fost realizate măsurători la 24 de arbori.

În scopul reprezentării modului de distribuție a arborilor în spațiu, sub raportul procentului de diminuare a stabilității individuale, pentru a permite identificarea zonelor de stabilitate (arbori sănătoși), precum și a zonelor de risc (arbori afectați de putregai de rădăcină sau de trunchi) au fost utilizate datele legate de diminuarea stabilității pentru 472 de arbori (184 arbori sănătoși și 288 arbori afectați de putregai) din patru suprafețe de probă (50x50 m) din cadrul suprafețelor experimentale (43A; 104H; 100A; 135A).

4.3.2. Prelucrarea statistică și analiza datelor

Având în vedere relațiile statistice complexe ce există între datele primare culese pe teren și parametrii determinați la birou, în prelucrarea statistico-matematică a datelor au fost utilizate metodele specifice din silvicultură, cu programe focusate asupra fiecărui obiectiv considerat, cea mai mare parte a prelucrărilor statistice și matematice a datelor fiind realizată cu ajutorul Microsoft Excel.

Analiza structurii arboretelor, din punct de vedere al parametrilor dimensionali, a presupus ajustarea distribuțiilor experimentale cu o serie de repartiții teoretice continue (normală, tip Beta și Gamma), recomandate de literatura de specialitate pentru caracterizarea acestor categorii de arborete (Vlad, 2002a; Palaghianu și Clinovski, 2008). Ajustarea distribuțiilor experimentale cu ajutorul unor funcții de frecvență teoretice a impus și analiza statistico-matematică a semnificației diferenței dintre distribuția experimentală și distribuția teoretică. Au fost folosite, în acest sens, teste statistico-matematice specifice (testul χ^2) pentru evaluarea semnificației distribuțiilor (Giurgiu, 1972). Pentru calculul distribuțiilor teoretice s-a utilizat aplicația SilvaStat® (Popa, 1999), care are la bază funcții de frecvență uzuale folosite în silvicultură (Giurgiu, 1979).

În ceea ce privește intensitatea corelației dintre anumite elemente analizate, exprimată prin coeficientul de corelație, aceasta a fost estimată cu scala Roemer-Orphal (0.0-0.10, inexistentă; 0.10-0.25, foarte slabă; 0.25-0.40, slabă; 0.40-0.50, moderată; 0.50-0.75, puternică; 0.75-0.90, foarte puternică; 0.90-1.0, maximă), pentru o probabilitate de acoperire de 95% și o eroare de reprezentativitate de 10%.

Structura arboretelor de molid analizate: referitor la structura arboretelor de molid din nordul Carpaților Orientali analizate, aspectele de cercetare abordate au fost relevate prin prelucrarea statistică și spațială a datelor primare culese pe teren (diametrul, înălțimea, înălțimea elagată, coordonatele carteziene ale arborilor).

Dintre caracteristicile structurale specifice arboretelor, *desimea* a avut în vedere numărul de arbori/ha iar *densitatea* arboretului, a avut în vedere suprafața de bază·ha⁻¹ și volumul·ha⁻¹.

Pentru suprafețele experimentale a fost calculat indicele de desime (K_n), acesta exprimând măsura în care desimea suprafețelor analizate, respectiv numărul de arbori pe unitatea de suprafață, corespunde desimii considerate optime (Giurgiu, 1979; Vlad, 2007; Ciubotaru și Păun, 2014). Astfel, a fost calculat ca raport între desimea reală a arboretului și mărimea desimii teoretice a arboretului, corespunzătoare speciei, vârstei și clasei de producție din tabelele de producție (Giurgiu și Drăghiciu, 2004).

Indicele de densitate (K_{dv}) a fost calculat ca raport între volumul real la hectar și cel din tabelele de producție corespunzătoare (Giurgiu, 1979; Giurgiu și Drăghiciu, 2004; Ciubotaru și Păun, 2014).

Analiza parametrilor dimensionali în arboretele analizate a evidențiat statistici descriptive ale distribuțiilor dimensiunilor arborilor pe arboret (minim, medie, maxim, abaterea standard, coeficientul

de variație, asimetria, excesul), precum și distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre și înălțimi (Barbeito *et al.*, 2009, Pretzsch și Schütze, 2014).

Modelul spațial orizontal a fost evidențiat prin compararea modelului spațial cu distribuția Poisson folosind distanțele dintre arbori, utilizând în acest sens indicele Clark-Evans – R și indicele Pielou – P . S-a efectuat și compararea modelului spațial cu distribuția Poisson folosind densitățile măsurate în quadrate prin indicele de dispersie – ID , indicele Green și indicele Morisita. În final, a fost aplicată și metoda profilelor bidimensionale (Clark și Evans 1954; Pielou, 1959).

Pentru caracterizarea modelului spațial orizontal al arboretelor de molid și pentru analiza și interpretarea distribuțiilor spațiale a fost utilizată aplicația SPATIAL® (Palaghianu și Horodnic, 2007; Palaghianu, 2009). Aplicația folosește drept metodă de selecție a probelor atât metoda quadratelor, cât și metoda dependentă de distanțe – în funcție de modulul selectat. În ceea ce privește gruparea datelor, aceasta se bazează inițial pe prelucrări ale coordonatelor indivizilor din suprafața analizată. Metoda quadratelor folosește coordonatele pentru a determina fiecare individ cărui quadrat aparține, iar metoda distanțelor calculează distanțele dintre arbori în baza acelorași coordonate ale indivizilor.

Pentru reprezentarea profilelor spațiale bidimensionale (în plan orizontal și vertical) a fost utilizată aplicația software PROARB® (Popa, 1999).

Modelul vertical a fost bazat pe: diversitatea înălțimii arborilor – THD , caracterizată prin indicele Shannon aplicat numărului total de arbori diferențiat pe clase de înălțimi; indicele profilului vertical – A_{MO} , definit de indicele Shannon, aplicat numărului de arbori diferențiat pe clase de înălțimi și specii; distribuția numărului de arbori pe clase de înălțimi (MacArthur și MacArthur, 1961; Kuuluvainen *et al.*, 1996; Staudhammer și LeMay, 2001; Pretzsch, 2009).

Diversitatea structurală a fost evidențiată prin intermediul indicelui Gini (de Camino, 1976; Duduman și Drăgoi, 2019).

Calitatea arboretelor de molid analizate: metodele de prelucrare a informațiilor și de analiză a rezultatelor obținute pentru acest obiectiv au fost utilizate la punerea în evidență: (i) a calității arborilor ca urmare a prezenței anumitor defecte; (ii) a parametrilor statistici generali ai arborilor cu putregai; (iii) a distribuției arborilor cu putregai pe categorii de diametre; (iv) a distribuției volumului arborilor cu putregai pe categorii de diametre; (v) a frecvenței arborilor cu putregai de rădăcină; (vi) a distribuției spațiale a arborilor cu putregai; (vii) a modelului spațial orizontal al arborilor cu putregai.

Calitatea arborilor ca urmare a prezenței putregaiului și anumitor defecte a fost analizată în raport cu elementele calitative specifice arborilor și arboretelor, după cum urmează: putregai de rădăcină, putregai de trunchi, rupturi de vârf, respectiv răni produse ca urmare a procesului de exploatare.

Parametrii statistici generali ai arborilor cu putregai (media aritmetică, abaterea standard, coeficientul de variație, minimul și maximum) au fost stabiliți pentru diametru, înălțime și volum în blocurile experimentale cercetate.

Distribuția arborilor cu putregai pe categorii de diametre a urmărit prezentarea categoriilor de diametre cele mai afectate de putregaiul de rădăcină și de trunchi precum și ajustarea distribuțiilor experimentale cu o serie de repartiții teoretice continue.

Distribuția volumului arborilor cu putregai pe categorii de diametre a urmărit prezentarea volumului arborilor afectați de putregai (de rădăcină și de trunchi) pentru fiecare suprafață experimentală precum și distribuția acestuia pe categorii de diametre.

Frecvența arborilor cu putregai de rădăcină a urmărit reliefaarea repartizării numărului de arbori (%) în funcție de valorile indicate de aparatul Rotfinder®, repartizarea valorilor indicate de aparatul Rotfinder® în funcție de diametrul de bază, precum și cuantificarea relației dintre valoarea indicată de aparatul Rotfinder® și proporția ocupată de putregaiul de rădăcină din secțiunea transversală a arborilor de molid. Cuantificarea relației dintre valoarea indicată de aparatul Rotfinder® și proporția ocupată de putregaiul de rădăcină din secțiunea transversală a fost realizată pentru 35 de arbori. Proporția ocupată de putregaiul de rădăcină din suprafața secțiunii transversale a fost stabilită cu ajutorul probelor de creștere extrase cu burghiul Pressler și calcularea ariei zonei afectate.

Distribuția spațială a arborilor cu putregai a fost evidențiată prin metoda profilelor bidimensionale și metoda „Kriging”. Metodele clasice combină analiza de regresie polinomială de ordin scăzut cu proiectările factoriale fracționale. „Kriging”-ul este o metodă de interpolare a datelor sinonimă cu termenul generic de ”prognoză optimă”, a cărei caracteristică este faptul că poate să genereze anumite valori pe baza datelor observate, cunoscute, pentru care se cunoaște locația. Aceasta asigură o interpolare „exactă”, adică valorile de ieșire previzionate la intrările deja observate sunt egale cu valorile de ieșire simulate prin intermediul hărților tematice interpolate, prin metoda geostatistică Kriging. O astfel de interpolare este atractivă în simularea deterministă și este adesea aplicată în inginerie asistată de computer (van Beers și Kleijnen, 2004).

Modelul spațial orizontal al arborilor cu putregai a fost exprimat prin aplicarea metodei distanței dintre arbori și metoda densităților măsurate în quadrate, așa cum a mai fost prezentat anterior.

Caracteristicile fizico-mecanice specifice lemnului și arborilor de molid afectați de putregai: au vizat următoarele aspecte de cercetare: (i) densitatea lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior; (ii) rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior; (iii) stabilitatea arborilor pe picior.

Densitatea lemnului este considerată a fi cel mai important predictor al calității lemnului. Determinarea acesteia a fost realizată prin utilizarea probelor de creștere recoltate cu burghiul Pressler, această metodă fiind comună încă din anii 60 ai secolului trecut (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Chave, 2005; Cown, 2006) și a devenit o metodă standard (Gao *et al.*, 2017; Dinulică, 2020). Densitatea lemnului anhidru a fost determinată prin metoda gravimetrică-stereometrică, probele fiind asimilate cilindrului iar desitatea fiind reprezentată de raportul dintre masă și volum (Dumitriu-Tătăranu *et al.*, 1983; Beldeanu, 2001; Câmpu și Ciubotaru, 2013; Dinulică, 2020).

Probele de creștere au fost uscate în etuvă, la o temperatură de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (Leahu, 1994; Usta, 2003; Câmpu și Ciubotaru, 2013) până când masa acestora a rămas constantă, aceasta reprezentând masa lemnului în stare anhidră. Lungimea și diametrul probelor au fost măsurate cu șublerul electronic, fiind evitată presarea probelor. Diametrul a fost calculat ca medie a trei citiri (la capetele și mijlocul probei). Volumul probelor a fost calculat cu relația matematică de calcul a volumului unui cilindru.

Porțiunea afectată de putregai a fost stabilită în urma analizei vizuale a probelor, ținând cont de faptul că lemnul afectat capătă o culoare mai închisă decât cea a lemnului sănătos încă din primele stadii de

dezvoltare ale putregaiului (Ciubotaru, 1998; David, 2011). S-au înregistrat separat lungimea totală a probei, lungimea lemnului sănătos și lungimea putregaiului.

În prezentele cercetări au fost avute în vedere următoarele situații: (i) densitatea lemnului cu putregai (proba extrasă), (ii) densitatea putregaiului din proba extrasă, (iii) densitatea lemnului sănătos din proba extrasă (figura 4.6).

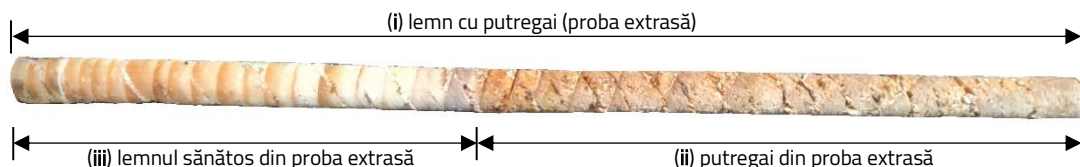


Figura 4.6. Situații considerate la determinarea densității prin utilizarea probelor de creștere

Au fost stabilite statisticile de bază ale distribuțiilor (minim, medie, maxim, abatere standard, asimetrie sau exces) pentru analiza densității lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior, precum și valoarea medie a densității pentru lemnul de molid cu putregai. De asemenea, a fost urmărită și stabilirea relației dintre densitatea lemnului cu putregai în raport cu proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale, precum și cu valoarea rezistenței la micro-foraj (%) pentru secțiunile analizate.

Rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior a urmărit determinarea unei valori medii pentru arboretele de molid analizate din nordul Carpaților Orientali. Pentru calculul rezistenței la micro-foraj, lemnul a fost împărțit în inele concentrice de 1/2 mm lățime (figura 4.7).

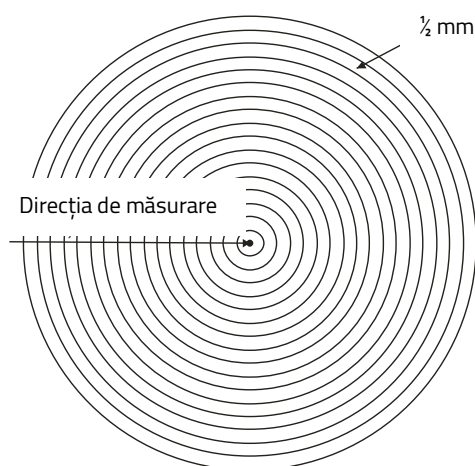


Figura 4.7. Reprezentarea schematică a sistemului numeric folosit pentru calcularea rezistenței medii la micro-foraj

Media a fost calculată prin ponderarea fiecărei măsurători (R_j) cu aria zonei respective (A_j) (Kahl *et al.*, 2009). Media ponderată a fost calculată după cum urmează:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n R'_{ij} \cdot A'_j}{A_{totală}}$$

în care:

R – valoarea rezistenței medii la micro-foraj (%);

R'_{ij} – valoarea rezistenței la micro-foraj pentru sectorul i al inelului de cerc j (%);

A'_j – aria inelului de cerc j (mm²);

$A_{totală}$ – aria secțiunii transversale unde s-a efectuat măsurătoarea (mm²);

n – numărul de inele rezultat, de 1/2 mm lățime.

A fost urmărită și stabilirea relației dintre valoarea rezistenței la micro-foraj (%) pentru secțiunile analizate în raport cu proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale.

Viteza sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid pe picior a urmărit analiza propagării sunetului și repartizarea categoriilor de viteze ale sunetului pentru secțiunile analizate (Mușat, 2017), în funcție de proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale. Au fost luate în considerare șapte categorii ale intervalului de variație a vitezei sunetului (201-300 m·s⁻¹; 301-400 m·s⁻¹; 401-500 m·s⁻¹; 501-600 m·s⁻¹; 601-700 m·s⁻¹; 701-800 m·s⁻¹; 801-900 m·s⁻¹).

Evaluarea *stabilității arborilor* pe picior afectați de putregai de trunchi a fost făcută folosind software-ul aparatului ARBOTOM®. Modulul grafic Mechanic ARBOTOM® se bazează pe conceptul potrivit căruia aria afectată de putregai a secțiunii transversale reduce momentul de rezistență al arborelui. Acesta permite evaluarea și prezentarea vizuală a momentului rezistenței relative pentru arbori cu orice geometrie în secțiune transversală. Zonele cu putregai sunt luate în considerare, precum și diferite tensiuni și rezistența lemnului la compresiune (Li *et al.*, 2012).

Software-ul ARBOTOM® prezintă momentul de rezistență ca pe un grafic luând în considerare toate direcțiile vântului (figura 4.8).

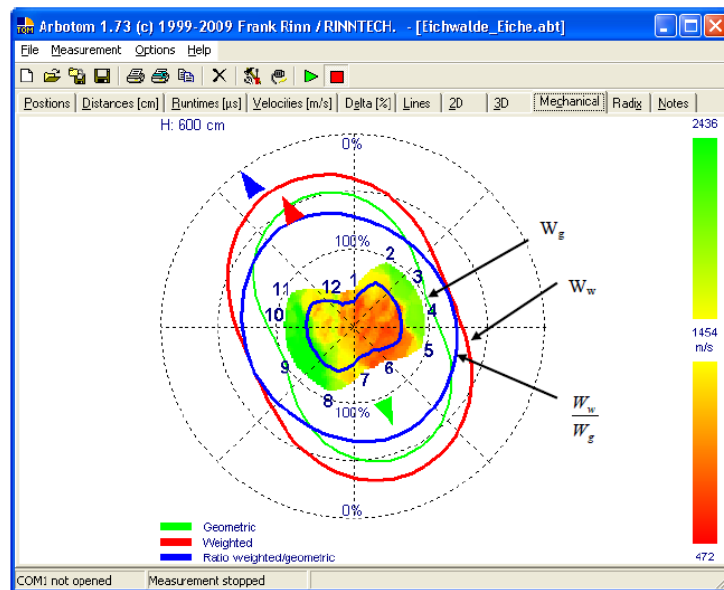


Figura 4.8. Evaluarea stabilității arborilor pe picior afectați de putregai de trunchi (ARBOTOM® User Manual)

(W_g – momentul geometric; W_w – momentul geometric ponderat; W_w/W_g – momentul rezidual)

Pe direcția în care curbura este maximă, momentul de rezistență atinge minimul la acel punct. Acesta permite calculul următoarelor elemente de stabilitate: (i) momentul geometric, fără luarea în considerare a putregaiului; (ii) momentul geometric ponderat, cu luarea în considerare a putregaiului și a altor defecte; (iii) momentul rezidual, momentul rezidual de rezistență calculat pentru rezistența lemnului sănătos. O reducere a valorilor pentru linia de 50% înseamnă că arborele a pierdut 50% din capacitatea sa de a rezista la vânt.

S-a urmărit stabilirea relației dintre diminuarea stabilității arborilor (%) în raport cu proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale analizate.

Pentru o analiză exhaustivă a modului de organizare și de structurare a arboretelor de molid afectate de putregai de rădăcină și de trunchi, s-a urmărit exprimarea distribuției spațiale în raport cu procentul de diminuare a stabilității individuale a arborilor prin intermediul hărților tematiche interpolate prin metoda geostatistică Kriging. Modul de distribuție a arborilor în spațiu, sub raportul procentului de diminuare a stabilității individuale a arborilor, poate permite identificarea zonelor de stabilitate (arborii care nu prezintă putregai de rădăcină sau de trunchi), precum și a zonelor de risc din cadrul acestor arborete (arbori care prezintă putregai de rădăcină sau de trunchi).

A fost realizat și profilul tridimensional al suprafețelor de probă analizate, în raport cu diminuarea procentuală a stabilității arborilor, prin utilizarea aplicației software Surfer 8.0® (Golden Software Inc., 2002). De asemenea, s-a încercat evidențierea unei tendințe de diminuare a stabilității arboretului, exprimată procentual, în funcție de frecvența arborilor cu putregai.

Particularități privind estimarea volumului lemnului de lucru în arboretele de molid afectate de putregai: prin acest obiectiv s-a urmărit cuantificarea influenței prezenței arborilor cu putregai de trunchi asupra volumului lemnului de lucru ce rezultă din astfel de arborete, folosind două metode conceptual diferite de stabilire a volumului sortimentelor primare și dimensionale.

În cadrul acestui obiectiv au fost abordate următoarele aspecte de cercetare: (i) distribuția arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai; (ii) parametrii statistici ai distribuției arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai; (iii) sortarea primară și dimensională a volumului din arboretele de molid afectate de putregai; (iv) influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior.

Distribuția arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai analizate a urmărit repartizarea arborilor pe cele patru clase de calitate (în conformitate cu prevederile *Normelor tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării – 4* din 2000), stabilirea relației dintre frecvența arborilor cu putregai de trunchi și proporția arborilor din arboret pe clase de calitate, respectiv distribuția arborilor pe clase de calitate și categorii de diametre în cadrul acestor arborete.

Parametrii statistici generali (media aritmetică, abaterea standard, coeficientul de variație (%), asimetria, excesul, minimul și maximum), pentru diametrul arborilor în relație cu clasa de calitate, au fost folosiți pentru a studia efectul arborilor cu putregai asupra dinamicii distribuțiilor.

Sortarea primară și dimensională a volumului din arboretele de molid afectate de putregai analizate a fost realizată prin intermediul programului FOND FORESTIER® – modulul calcul APV (Tomsoft, v.15.98D) utilizat frecvent în practica silvică (Brad, 2010; Badea *et al.*, 2013) și prin intermediul programului automat de calcul VÂNAT 1.1. (Vlad, 2002a, 2007) ce a fost dezvoltat pentru estimarea producției de lemn și determinarea volumului ocupat de lemnul cu putregai de trunchi, precum și declasarea în structura pe sortimente dimensionale în arboretele de molid vătămate de cervide.

Diferența în modul de calcul a volumului sortimentelor primare și dimensionale între cele două programe este reprezentată de faptul că programul FOND FORESTIER® are la bază clasificarea arborilor pe clase de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru pe care îl conțin, în timp ce în

cazul programului automat de calcul VÂNAT 1.1. nu se mai impune stabilirea clasei de calitate a arborilor. Pe lângă datele inițiale necesare calculării volumului (diametre, înălțimi), VÂNAT 1.1. utilizează informațiile legate de frecvența vătămarilor, vârsta rănilor produse de cervide și a coeficienților ecuației de regresie ce exprimă corelația dintre diametrul de bază și vârsta rănilor (specifci pentru fiecare arboret).

Au fost abordate următoarele aspecte: calculul volumului pe sortimente primare și dimensionale în arborete de molid afectate de putregai prin intermediul programului FOND FORESTIER® – modulul calcul APV; calculul volumului pe sortimente primare și dimensionale în arborete de molid afectate de putregai prin intermediul programului automat de calcul VÂNAT 1.1; stabilirea cuantumului volumului calculat prin programul VÂNAT 1.1 și programul FOND FORESTIER.

Ca urmare a calculelor primare efectuate, în continuare au fost stabilite: relația dintre frecvența arborilor cu putregai de trunchi și procentul ocupat de lemnul cu putregai de trunchi din volumul arboretului; relația dintre diferența volumului lemnului cu putregai de trunchi calculat prin intermediul programului VÂNAT 1.1 și a programului FOND FORESTIER, raportată la frecvența arborilor cu putregai de trunchi; ponderea sortimentelor dimensionale în funcție de metoda de calcul utilizată; diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret (calculate cu programul VÂNAT 1.1.), precum și tendința manifestată de diferența dintre sortimentele dimensionale (calculate cu programul VÂNAT 1.1.) corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret, raportată la proporția arborilor cu putregai din arboret.

Influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior: ținând cont de faptul că la stabilirea prețurilor de referință pentru masa lemnoasă pe picior este utilizat în modul de calcul și volumul sortimentelor primare și dimensionale, s-a urmărit analiza influenței pe care volumul acestora o are asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior, pentru ambele metode (programe) de calcul a volumului sortimentelor analizate.

Astfel, au fost utilizate în calcul prețurile de referință ale masei lemnoase pe picior pentru anul de producție 2021, stabilite prin Decizia 706 din 19.10.2020 a Regiei Naționale a Pădurilor – Romsilva, pentru gradul III de accesibilitate (501-1.000 m), produse secundare rărituri (în acord cu vârsta arboretelor)(http://www.rosilva.ro/files/content/bucuresti/Decizia%20nr_%20706%20din%2019_10_2020_Preturi%20de%20referinta%20pentru%20anul%20de%20productie%202020_fa.pdf). Prețurile rezultate au fost exprimate în euro, fără TVA, fiind folosită o paritate de 1€ = 4,8691 lei (curs BNR la 04.01.2021). S-a urmărit și reliefaarea unei tendințe manifestată de influența proporției arborilor cu putregai de trunchi asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior.

5. REZULTATELE CERCETĂRILOR

5.1. Structura arboretelor de molid analizate

5.1.1. Generalități

Analiza modului în care arborii ocupă spațiul de creștere, respectiv distribuția acestora în plan orizontal și în plan vertical, însoțită de atribute specifice, este esențială pentru a înțelege dinamica și structura arboretelor. Cunoașterea caracteristicilor structurale ale arboretelor este una dintre cele mai importante componente necesare în stabilirea deciziilor în managementul forestier (Pretzsch, 1997; Gadow și Hui, 1999; Kint *et al.*, 2000).

5.1.2. Caracterizarea structurală a arboretelor de molid analizate

5.1.2.1. Desimea și densitatea arboretelor

Mărimile acestor parametri în cadrul suprafețelor experimentale din arboretele de molid studiate variază după cum urmează (tabelul 5.1): numărul de arbori·ha⁻¹ are valori cuprinse între 289 (43A) și 604 (135A), suprafața de bază·ha⁻¹ între 28,1 m² (99A) și 50,2 m² (135A), iar volumul·ha⁻¹ între 412,0 m³ (99A) și 623,5 m³ (135A).

Tabelul 5.1. Desimea și densitatea arboretelor de molid analizate

Parametrul	U.M.	Suprafața experimentală					
		43A	53A	104H	100A	99A	135A
Numărul de arbori	nr. arbori/ha	289	467	339	600	416	604
Suprafața de bază	m ² /ha	30,8	40,2	35,1	38,7	28,1	50,2
Volumul	m ³ /ha	454,7	588,2	528,9	563,5	412	623,5

În ceea ce privește mărimea indicatorilor specifici pentru desime și densitate, valorile obținute sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Indicatorii specifici pentru desime și densitate

Indicatorul specific	Suprafața experimentală					
	43A	53A	104H	100A	99A	135A
Indicele de desime (K_n)	0,30	0,62	0,38	0,55	0,38	0,68
Indicele de densitate după volum (K_{dv})	0,65	0,72	0,71	0,86	0,63	0,84

S-a constatat faptul că indicele de desime (K_n) are valoarea cea mai mică în suprafața experimentală 43A (0,30) și valoarea cea mai mare în suprafața 135A (0,68). Indicele de densitate (K_{dv}) are valori cuprinse între 0,63 (99A) și 0,86 (100A), variațiile valorilor între suprafețele experimentale fiind reduse.

5.1.2.2. Analiza parametrilor dimensionali

Statisticile de bază ale distribuțiilor (minim, medie, maxim, abatere standard, asimetrie sau exces) au fost folosite pentru a studia efectul arboretelor pure asupra dinamicii temporale a distribuțiilor.

Pentru arboretele de molid în care au fost desfășurate cercetările, diametrul mediu variază între valorile $28,2 \pm 5,3$ cm (100A) și $36,0 \pm 7,6$ cm (43A) (tabelul 5.3). Variabilitatea diametrelor populației de arbori, pentru arboret este scăzută, fiind indicată de un interval al valorilor coeficientului de variație cuprins între 18,7% (100A) și 25,5% (135A).

Tabelul 5.3. Parametrii statistici generali pentru diametru și înălțime în suprafețele experimentale cercetate

Suprafața experimentală	Parametri statistici, pentru:													
	Diametre (cm)							Înălțimi (m)						
	\bar{x}	s	cv(%)	asim.	E	min.	max.	\bar{x}	s	cv(%)	asim.	E	min.	max.
43A	36	7,6	21,1	-0,3	-0,2	15,5	54,8	32,6	2,5	7,7	0,5	-0,8	17,5	37,6
53A	32,2	7,5	23,4	-0,5	-0,3	12,4	49,1	31,3	2,9	9,2	0,6	-0,9	14	36,3
104H	35,6	7	19,8	-0,2	-0,1	17,1	52	33,1	2,4	7,2	0,5	-0,7	19	37,7
100A	28,2	5,3	18,7	0,2	-0,3	10,1	41,4	29,9	3,6	11,9	2,8	-1,1	12,6	36,8
99A	28,7	6	21,1	0,3	0,5	15	47	30,2	3,6	12	0,2	-0,1	19,4	39
135A	30,6	7,8	25,5	-0,5	0,1	13,8	50	27,7	4	14,5	-0,3	-0,6	16,8	35,3

\bar{x} - media aritmetică; s - abaterea standard; cv(%) - coeficientul de variație; asim. - asimetria; E - excesul; min. - minimumul; max. - maximumul.

Înălțimea medie, variază între valorile $27,7 \pm 4,0$ m (100A) și $33,1 \pm 2,4$ m (104H). Variabilitatea populației de arbori, din punct de vedere al înălțimii, în arborete este scăzută, fiind indicată de un interval al valorilor coeficientului de variație cuprins între 7,2% (104H) și 14,5% (135A).

Din punct de vedere al distribuției numărului arborilor pe categorii de diametre (figura 5.1), se constată că, în suprafețele experimentale 43A, 100A și 104H, distribuția teoretică normală realizează cel mai bine ajustarea distribuției experimentale, în timp ce în suprafețele experimentale 53A și 135A distribuția teoretică Beta. În suprafața experimentală 99A, distribuția teoretică Gamma realizează cel mai bine ajustarea distribuției experimentale. Testul χ^2 arată că diferența dintre distribuția experimentală și distribuția teoretică este nesemnificativă Distribuția numărului de arbori pe clase de înălțimi are, ca și în cazul diametrelor, forme regulate (figura 5.2). Se constată că, în majoritatea suprafețelor experimentale, distribuția teoretică Beta realizează cel mai bine ajustarea distribuției experimentale, excepție făcând suprafața experimentală 99A. Testul χ^2 arată că diferența dintre distribuția experimentală și distribuția teoretică este nesemnificativă.

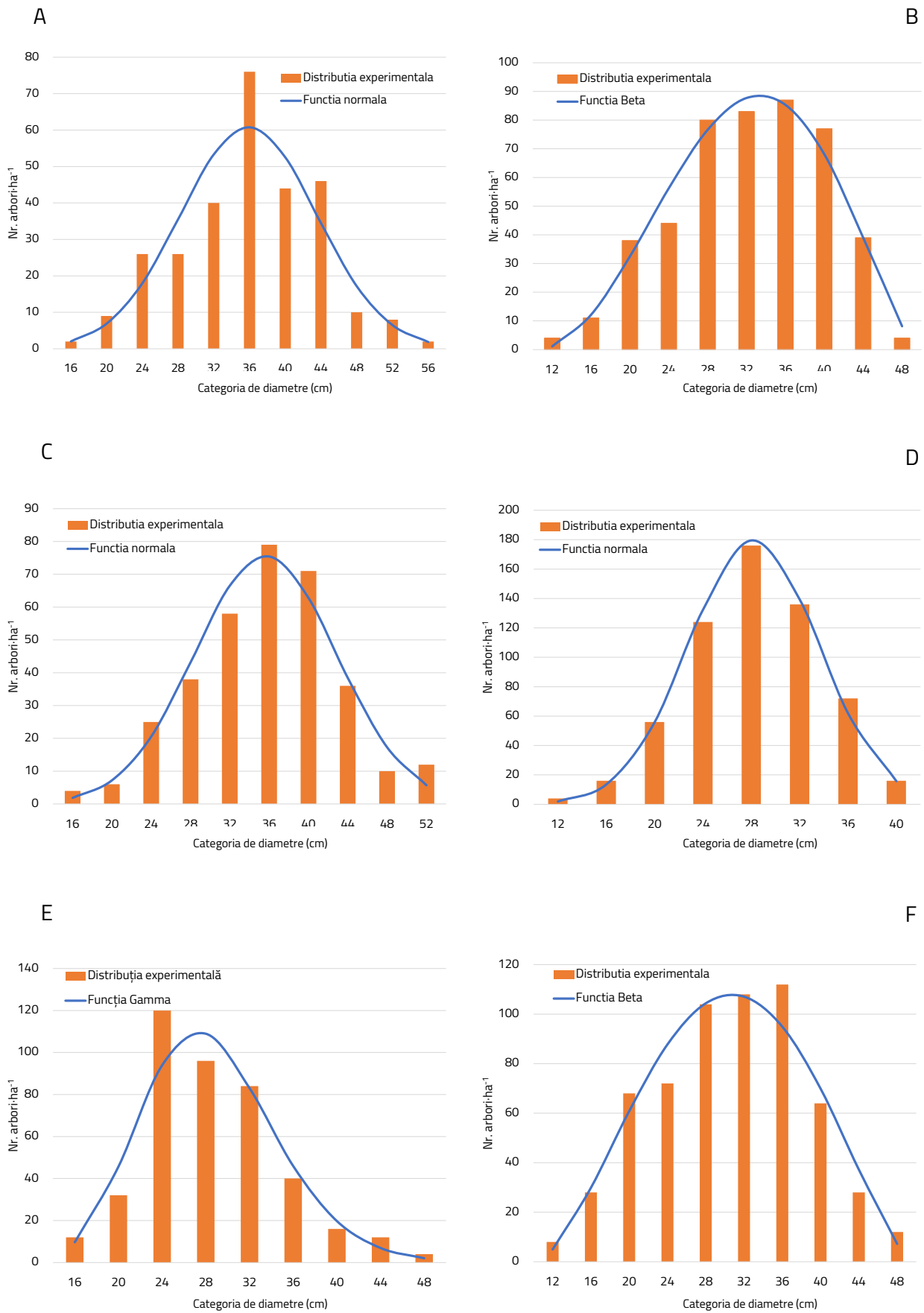


Figura 5.1. Distribuția numărului de arbori pe categorii de diametre și ajustarea distribuției experimentale prin intermediul distribuțiilor teoretice specifice pentru suprafețele:
 A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

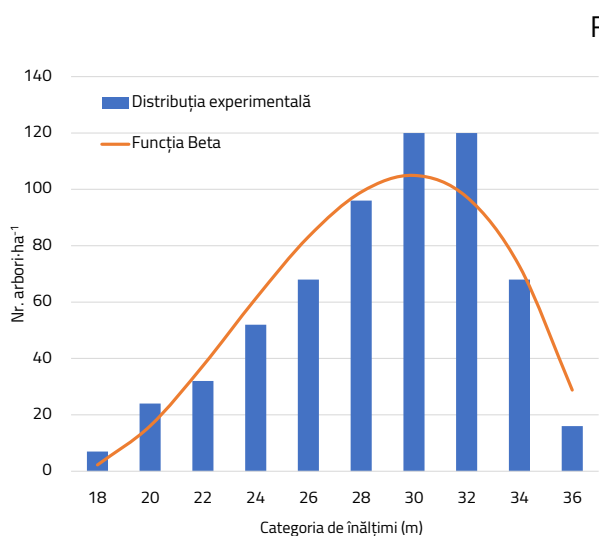
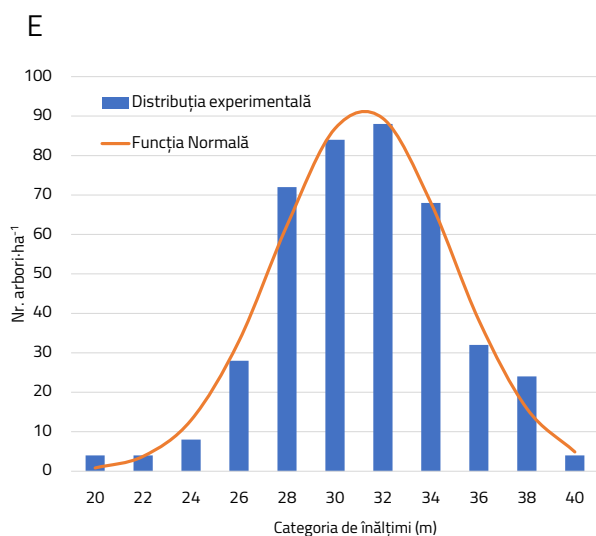
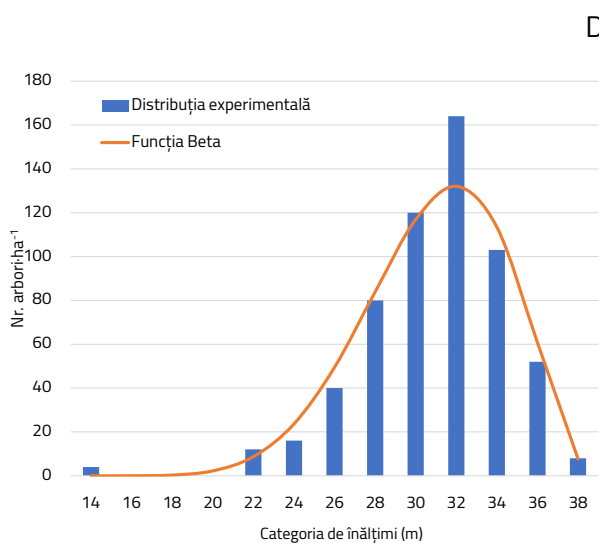
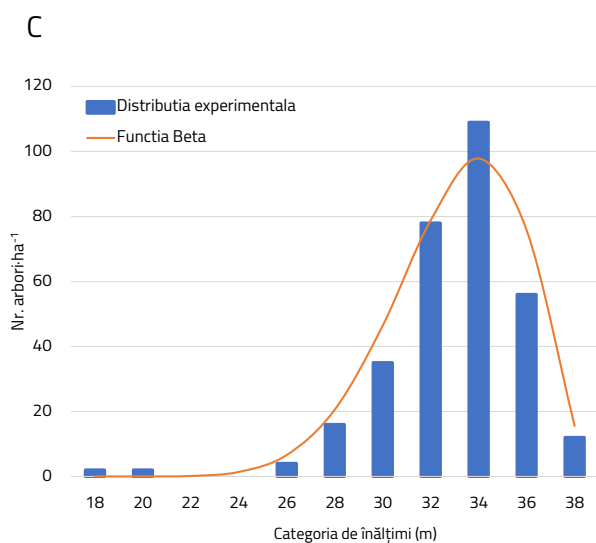
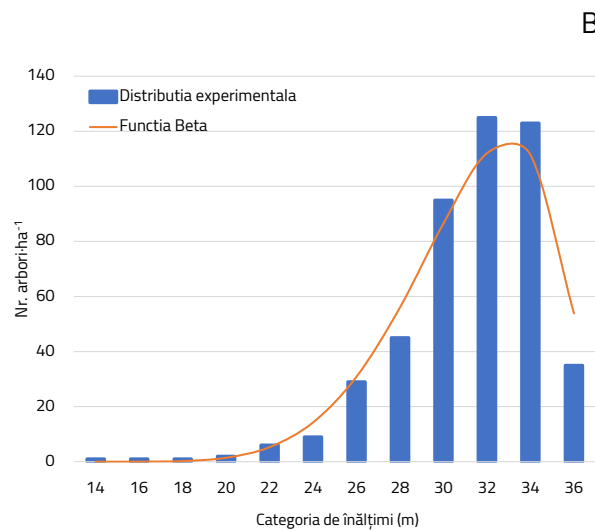
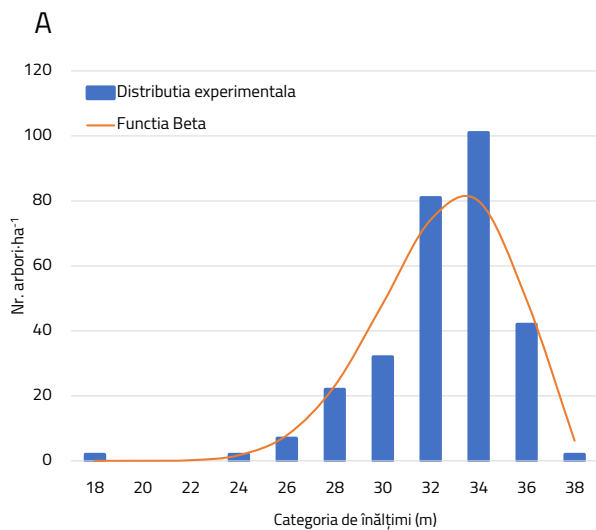


Figura 5.2. Distribuția numărului de arbori pe categorii de înălțimi și ajustarea distribuției experimentale prin intermediul distribuțiilor teoretice, pentru suprafețele:
A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

5.1.2.3. Modelul spațial orizontal

Modelul distribuției spațiale orizontale (figura 5.3) a fost analizat prin metoda distanței dintre arbori (Clark și Evans, 1954; Pielou, 1959) și metoda quadrantelor (Morisita, 1962; Green, 1966; Johnson și Zimmer, 1985), așa cum rezultă din tabelul 5.4.

Tabelul 5.4. Indici pentru caracterizarea modelului spațial orizontal în suprafețele analizate

Metoda	Indicatori	Suprafața experimentală					
		43A	53A	104H	100A	99A	135 A
Distanța dintre arbori	Indicele Clark Evans (R)	1,078	0,959	1,060	0,947	1,064	0,960
	Indicele Pielou (PI)	1,204	1,059	1,083	0,840	1,080	0,914
Numărul de arbori din quadrate	Indice dispersie (ID)	1,362	1,274	1,280	1,030	0,926	2,977
	Indicele Green	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,020
	Indicele Morisita	1,133	1,06	1,087	1,005	0,982	1,484

Rezultatele aplicării metodei distanței dintre arbori arată faptul că, pentru arboretele de molid, indicatorii de distribuție pentru populația totală variază între 0,840 (suprafața experimentală 100A) și 1,204 (suprafața experimentală 43A). A rezultat faptul că modelul spațial orizontal al distribuției arborilor este aleatoriu în majoritatea suprafețelor. Excepție face suprafața experimentală 100A, unde este indicat un model spațial orizontal agregat.

Indicatorii calculați pe baza numărului de arbori din quadrate au valorile cuprinse între 0,001 (indicele Green) și 2,977 (indicele de dispersie). Mărimile acestor indici sugerează o distribuție aleatoare (indicii Green și Morisita), respectiv regulată (indicele de dispersie). Face excepție suprafața 135A în care indicele de dispersie și indicele Morisita sugerează o distribuție agregată.

5.1.2.4. Modelul spațial vertical

Înălțimea arborelui este variabila cea mai importantă, care poate fi utilizată pentru a descrie structura verticală a arboretului. Indicele de diversitate Shannon (H) a fost propus pentru a descrie diferențierea verticală într-un arboret, respectiv diversitatea înălțimii arborilor – THD și indicele profilului vertical – A_{MO} (MacArthur și MacArthur, 1961; Kuuluvainen *et al.* 1996).

Pentru arboretele de molid analizate, diversitatea înălțimii arborilor – THD , calculată cu relația lui Shannon (1948), respectiv indicele profilului vertical – A_{MO} , calculat cu relația lui Pretzsch (1997), variază între 1,5 în suprafața experimentală 104H și 2,1 în suprafața experimentală 135A (figurile 5.4a și 5.4b). Valorile menționate arată tendința de monoetajare a structurii verticale a arboretelor analizate în suprafețele 43A, 53A și 104H, iar pentru suprafețele experimentale 100A, 99A și 135A este indicată o tendință bietajată.

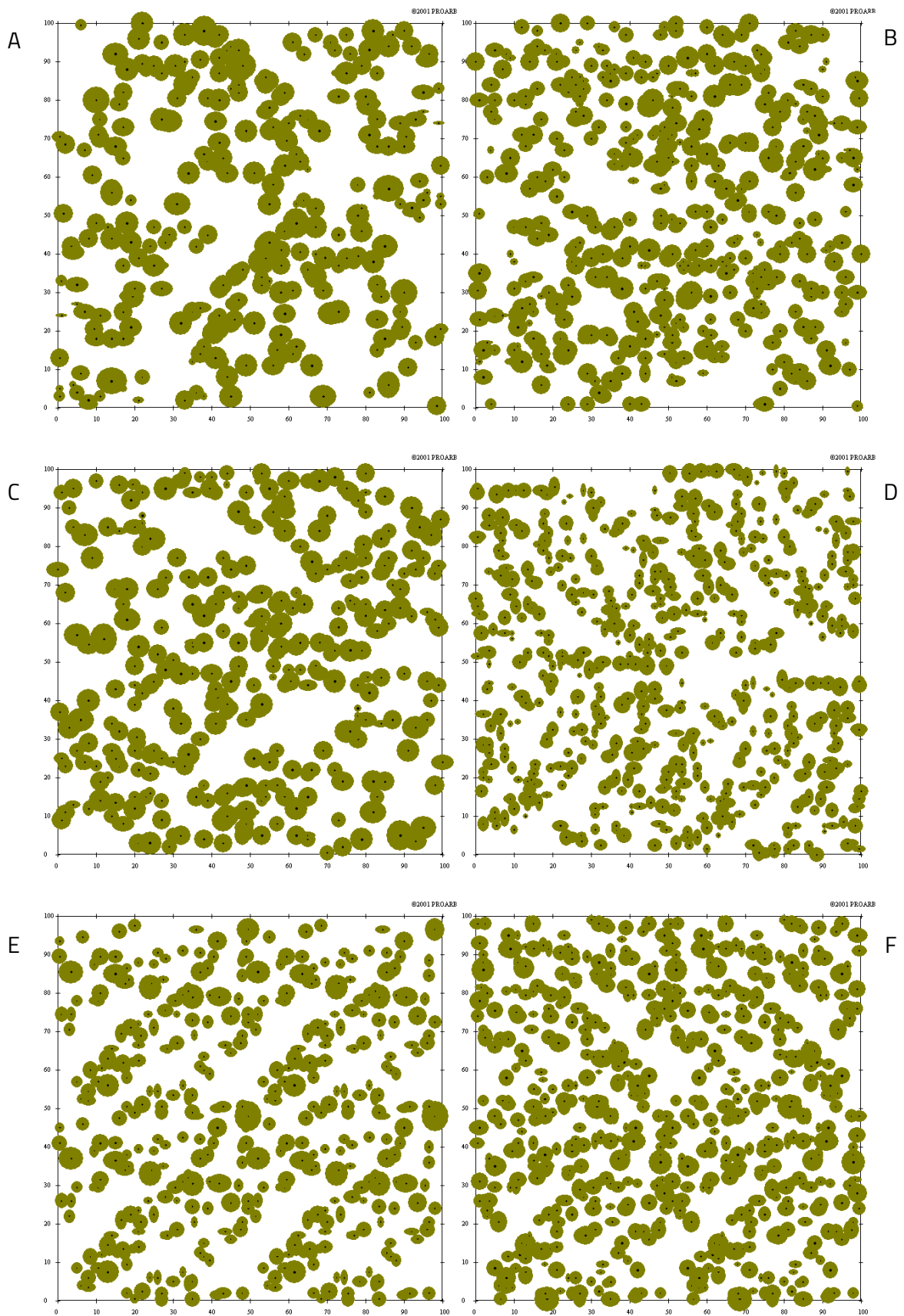


Figura 5.3. Distribuția în plan orizontal a arborilor în suprafețele:
 A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135

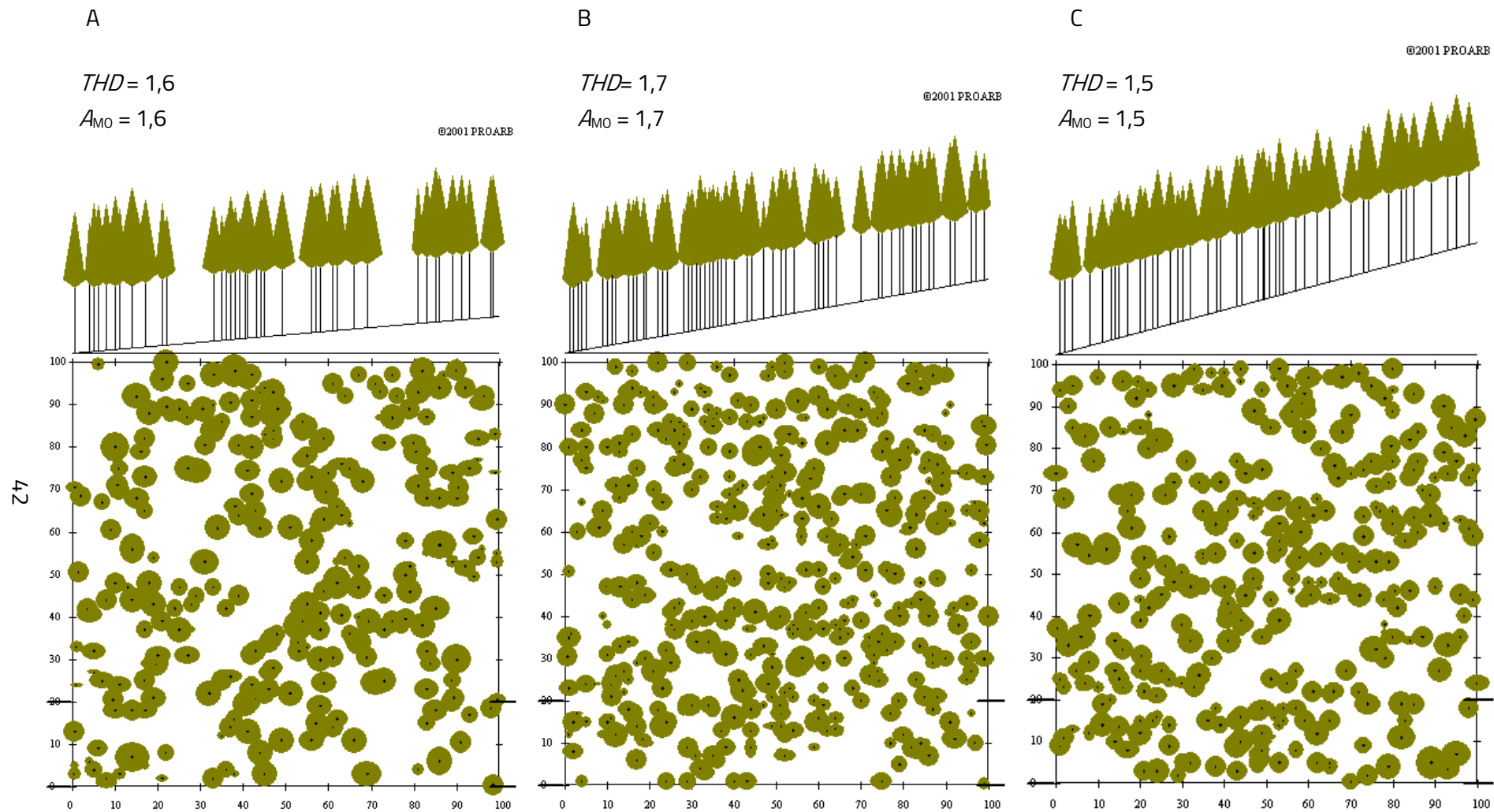


Figura 5.4a. Cuantificarea structurii verticale prin intermediul indicelui profilului vertical (A_{M0}), pentru suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H

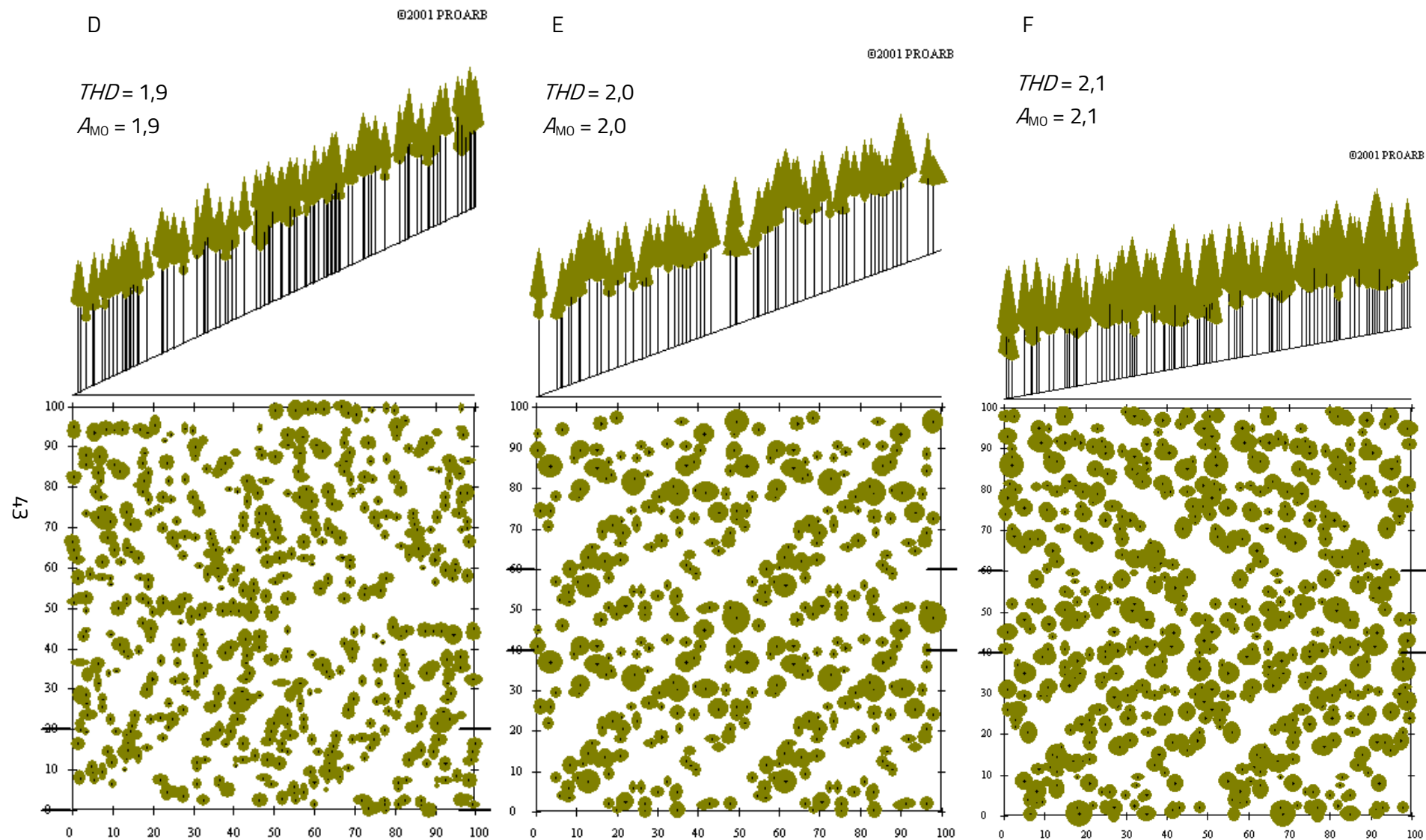


Figura 5.4b. Cuantificarea structurii verticale prin intermediul indicelui profilului vertical (A_{M0}), pentru suprafețele: D – 100A; E – 99A; F – 135A

5.1.2.5. Diversitatea structurală

Dinamica ecosistemelor forestiere, exprimată prin diminuarea numărului de arbori-ha⁻¹ și reducerea consistenței arboretelor ca rezultată a efectuării lucrărilor silvotehnice specifice fiecărui stadiu de dezvoltare, precum și a acțiunii factorilor abiotici din zonă (vântul), au influențe specifice asupra eterogenității structurale. Gradul de diversitate structurală, exprimată prin intermediul indicelui Gini, are aspecte specifice în arboretele analizate.

A fost constatat faptul că în cadrul suprafețelor analizate, valorile indicelui Gini sunt cuprinse între 0,21 și 0,27, ceea ce pune în evidență gradul ridicat de omogenitate structurală (figura 5.5). De asemenea, în raport cu valoarea acestui indice rezultă faptul că arboretele au o structură echienă ($G \leq 0,35$).

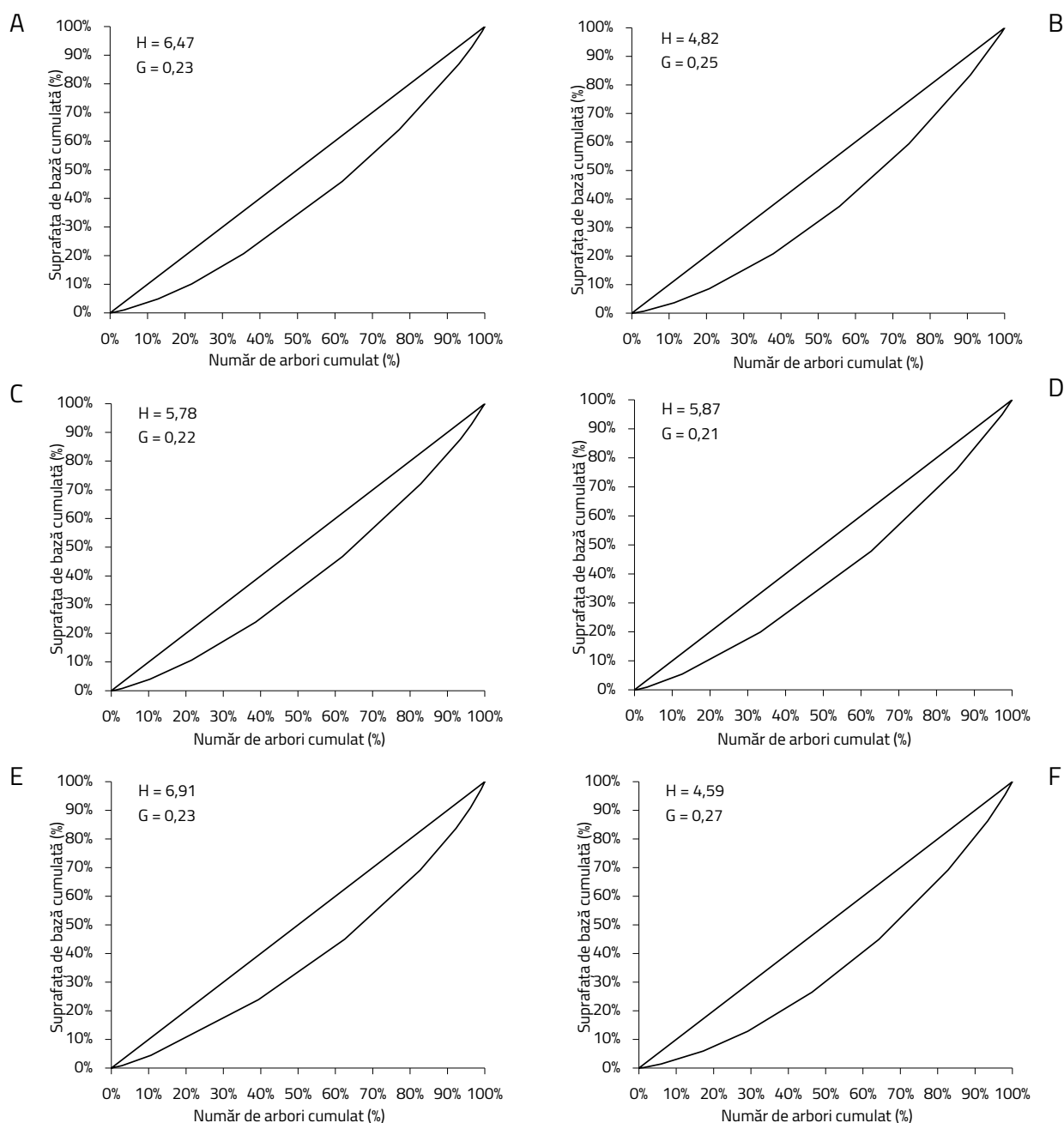


Figura 5.5. Curba Lorentz și gradul de omogenitate structurală pentru suprafețele:

A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

5.2. Calitatea arborilor și arboretelor de molid analizate

5.2.1. Calitatea arborilor ca urmare a prezenței putregaiului

În suprafețele experimentale permanente, constituite pentru evaluarea calității arborilor, exemplarele de molid cu putregai de trunchi apărut ca urmare a rănilor produse de cervide au o frecvență cuprinsă între 13% (suprafața 53A) și 86% (suprafața 100A). În ceea ce privește arborii cu putregai de rădăcină, frecvența acestora variază între 8% (suprafața 43A) și 16% (suprafața 53A). Ca o rezultată, arborii cu putregai (de rădăcină și de trunchi) însumează 26% (suprafața 43A) respectiv 55% (suprafața 135A) (figura 5.6).

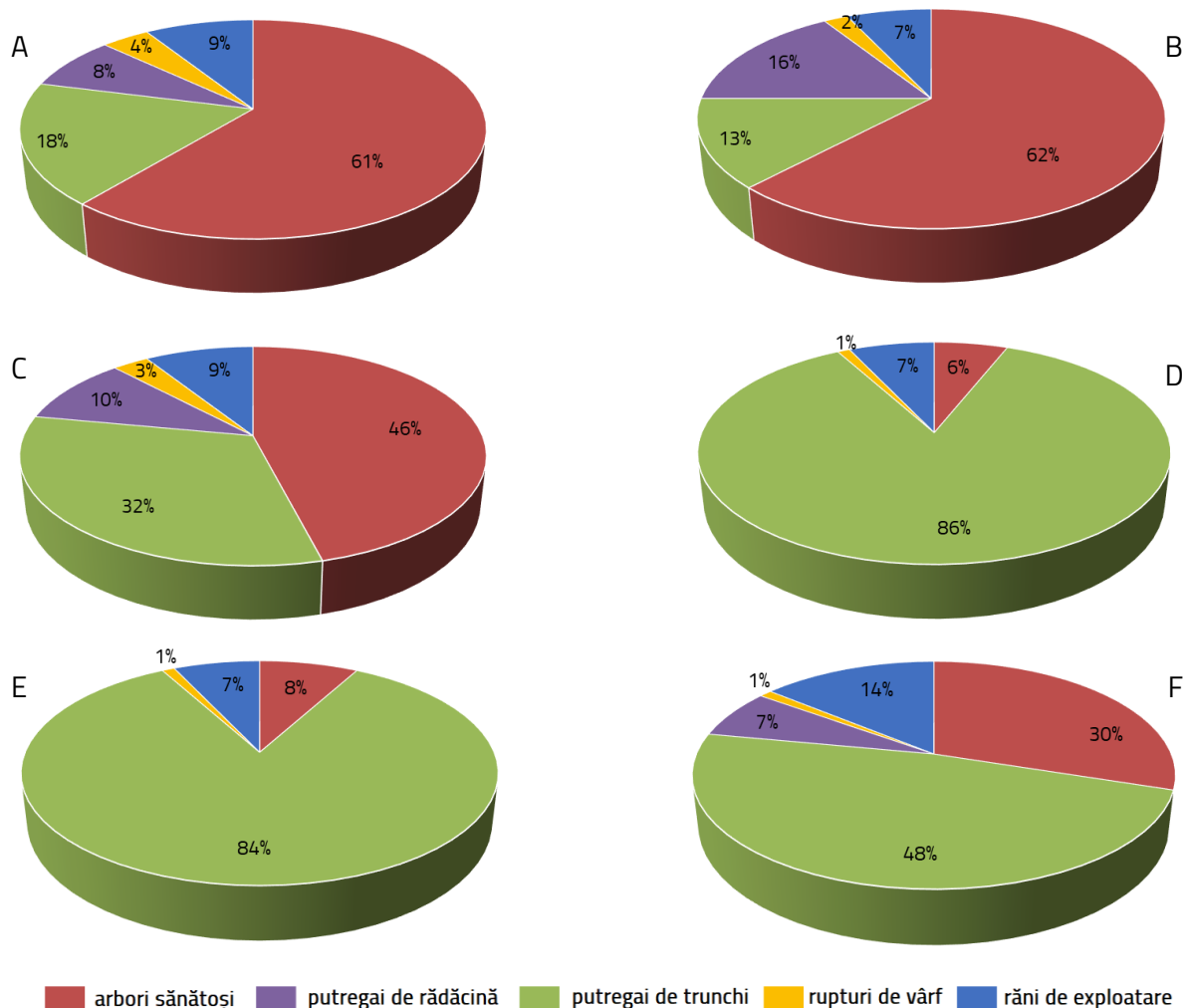


Figura 5.6. Calitatea arborilor de molid pentru suprafețele:
A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A.

Arborii cu rupturi de vârf au o proporție redusă în cadrul suprafețelor experimentale, frecvența acestora variind între 1% (suprafața 100A, 99A și 135A) și 4% (suprafața 43A). Arborii cu răni produse ca urmare a procesului de exploatare forestieră variază între 7% (suprafața 53A, 99A și 100A) și 14% (suprafața 135A).

5.2.2. Parametrii statistici generali ai arborilor cu putregai

Pentru arboretele de molid analizate, valorile parametrilor statistici ai principalelor caracteristici (diametrul, înălțimea și volumul) ale arborilor cu putregai sunt prezentate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Parametrii statistici generali pentru diametru, înălțime și volum la arborii cu putregai în suprafețele analizate

Parametrul	Parametrul statistic	Suprafața experimentală					
		43A	53A	104H	100A	99A	135A
Diametrul (cm)	\bar{x}	30,3	29,5	32,9	28,0	28,2	29,7
	s	6,8	8,0	6,6	5,1	5,4	7,9
	cv (%)	22,6	27,1	20,1	18,1	19,3	26,7
	min.	15,5	12,4	17,1	10,1	15,0	13,8
	max.	43,0	45,5	52,0	41,4	47,0	47,6
Înălțimea (m)	\bar{x}	30,7	30,3	32,3	29,9	29,9	27,4
	s	2,6	3,3	2,3	3,5	3,4	4,2
	cv (%)	8,5	10,9	7,2	11,7	11,2	15,4
	min.	23,6	21,1	25,1	12,6	19,4	16,8
	max.	34,9	35,5	37,7	36,8	39,0	34,6
Volumul (m ³)	\bar{x}	1,1	1,1	1,3	0,9	0,9	1,0
	s	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5
	cv (%)	45,7	53,5	42,1	40,5	46,5	56,3
	min.	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1
	max.	2,2	2,4	3,3	2,2	2,9	2,6

\bar{x} - media aritmetică; s - abaterea standard; cv(%) - coeficientul de variație; min. – minimul; max. – maximumul.

5.2.3. Distribuția arborilor cu putregai pe categorii de diametre

În ceea ce privește distribuția arborilor cu putregai pe categorii de diametre, aceasta este prezentată grafic în figura 5.7. Proporția cea mai mare a arborilor afectați de putregai se regăsește la diametrele 24 cm (24% din totalul arborilor cu putregai) și 36 cm (30% din totalul arborilor cu putregai).

În ceea ce privește suprafața experimentală 135A, arborii cu putregai (de rădăcină și de trunchi) sunt prezenți în intervalul categoriilor de diametre 12-48 cm, 55% dintre arbori prezentând putregai. Dintre aceștia 7% au putregai de rădăcină în timp ce restul de 48% prezintă putregai de trunchi. Proporția cea mai mare a arborilor afectați de putregai se găsește la categoriile de diametre 28 cm (17% din totalul arborilor cu putregai), 32 cm (17%) și 36 cm (19%).

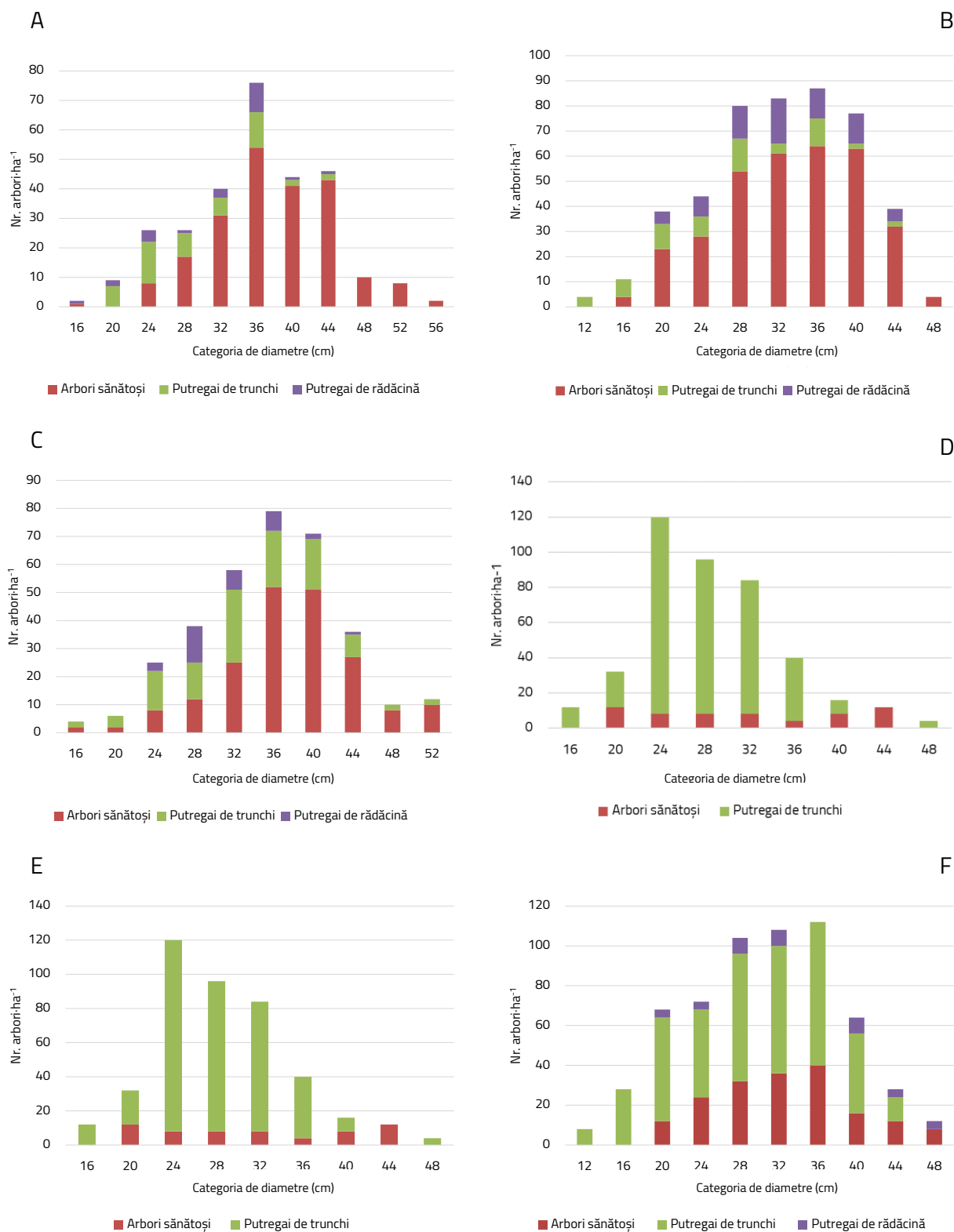


Figura 5.7. Distribuția arborilor cu și fără putregai pe categorii de diametre, în suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

5.2.4. Distribuția volumului arborilor cu putregai pe categorii de diametre

În ceea ce privește distribuția volumului arborilor cu putregai (de trunchi și de rădăcină) pe categorii de diametre, aceasta este reprezentată grafic pentru fiecare suprafață experimentală în figura 5.8.

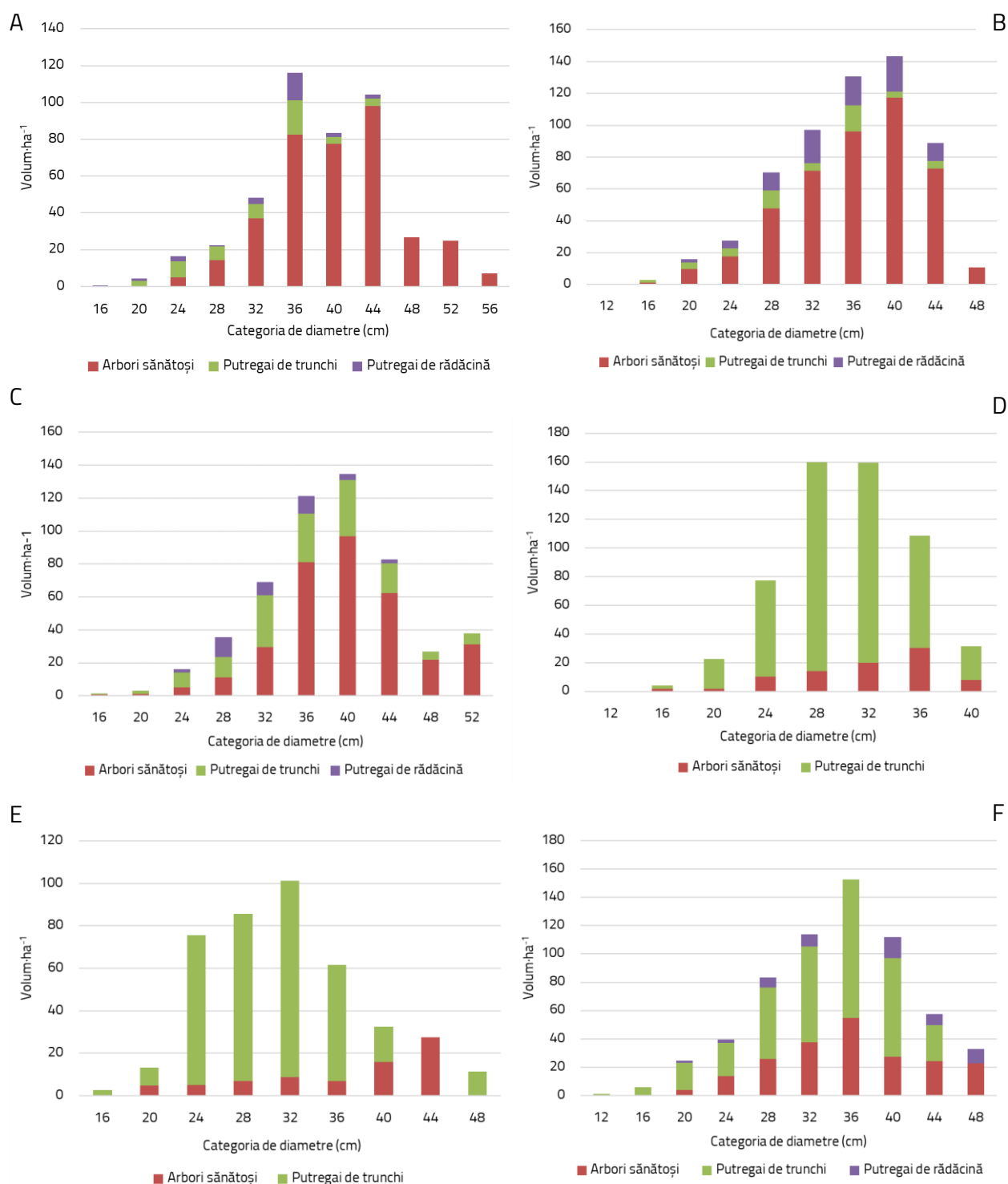


Figura 5.8. Distribuția volumului arborilor cu și fără putregai pe categorii de diametre, în suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

În suprafața experimentală 43A se constată faptul că volumul·ha⁻¹ cel mai afectat este în categoria de diametre 36 cm iar în suprafața experimentală 53A, volumul·ha⁻¹ al arborilor afectați de putregai are cea mai mare pondere în categoria de diametre 36 cm. Pentru suprafața experimentală 104H distribuția volumului arborilor afectați de putregai pe categorii de diametre indică faptul că un volum·ha⁻¹ maxim, cu valori apropiate, se găsește la categoriile de diametre 32-40 cm iar în suprafața experimentală 100A, se constată faptul că volumul·ha⁻¹ are cea mai mare valoare la categoria de diametre 28 cm. Distribuția volumului cu putregai pe categorii de diametre, în suprafața

experimentală 99A arată că volumul·ha⁻¹ cel mai mare se găsește la categoria de diametre 32 cm, iar în suprafața experimentală 135A, distribuția volumului arborilor afectați de putregai pe categorii de diametre indică faptul că un volum·ha⁻¹ maxim se găsește la categoria de diametre 36 cm

5.2.5. Frecvența arborilor cu putregai de rădăcină

Urmare a culegerii datelor primare privind prezența sau absența putregaiului de rădăcină cu ajutorul aparatului Rotfinder® la arborii ce au fost încadrați în urma analizei vizuale ca arbori sănătoși, s-a constatat faptul că din totalul arborilor ponderea arborilor afectați are valori de 8% în suprafața experimentală 43A, 16% în 53A, 10% în 104H și 7% în suprafața experimentală 135A.

Referitor la intensitatea cu care este afectat lemnul de către putregaiul de rădăcină, dat de proporția ocupată de putregai din suprafața secțiunii transversale a trunchiului arborilor, indicată la rândul ei de valoarea dată de aparatul Rotfinder®, rezultatele pentru suprafețele experimentale sunt prezentate în figura 5.9.

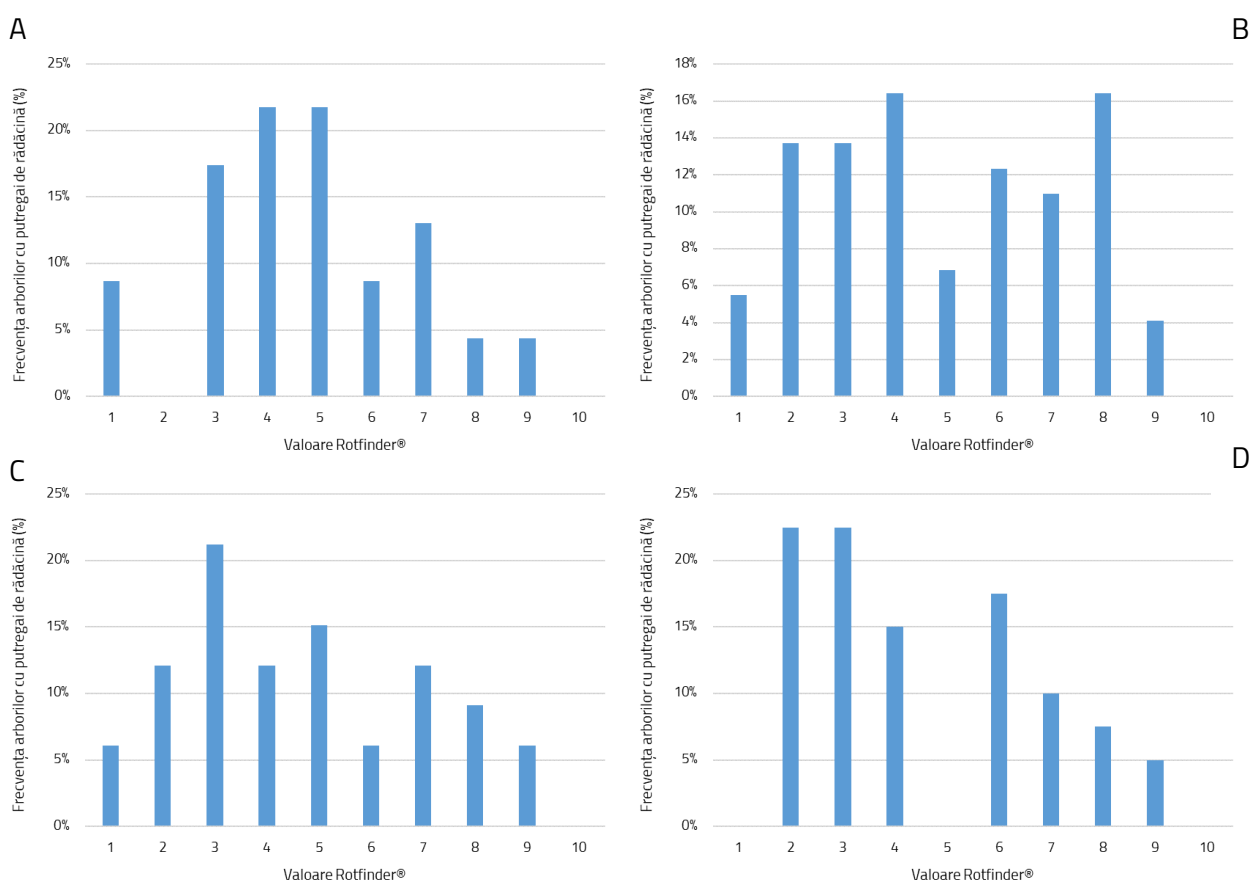


Figura 5.9. Frecvența arborilor cu putregai de rădăcină în funcție de valorile indicate de aparatul Rotfinder®, pentru suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 135A

Din punct de vedere al repartizării valorilor indicate de aparatul Rotfinder® în funcție de diametrul de bază (figura 5.10), putregai de rădăcină a fost identificat la arbori cu diametre cuprinse între 16 și 48 cm. În ceea ce privește intensitatea cu care este afectat lemnul de către putregaiul de rădăcină în funcție de diametrul de bază, se constată faptul că, la arborii cu diametrul cuprins între 16 cm și 28 cm, valorile indicate de Rotfinder® au fost, în general, cuprinse între 1 și 5, în timp ce la diametre mai mari valorile indicate au tendința de a fi cuprinse mai mult între 5 și 9.

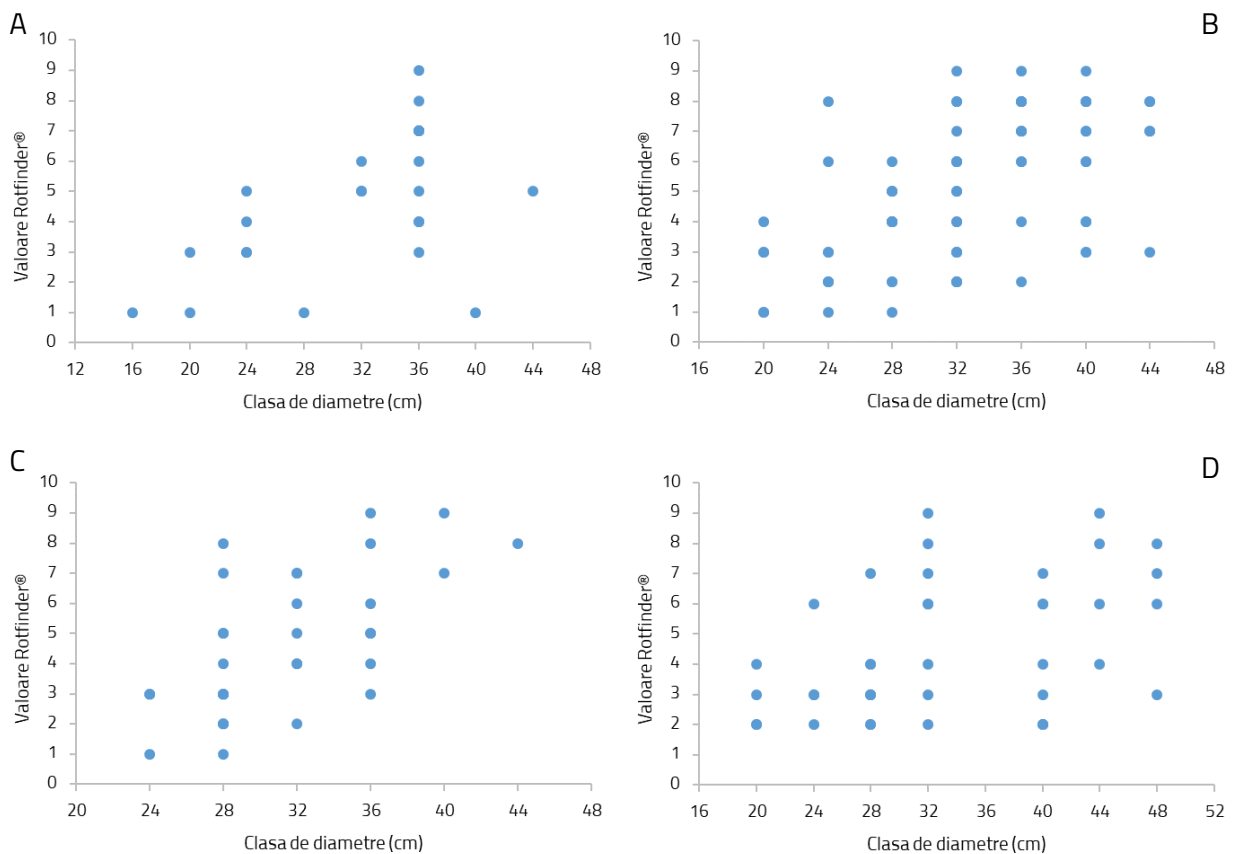


Figura 5.10. Repartizarea valorilor indicate de aparatul Rotfinder® în funcție de diametrul de bază, pentru suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 135A.

Relația dintre valoarea indicată de aparatul Rotfinder® și proporția ocupată de putregaiul de rădăcină din secțiunea transversală a arborilor de molid, se face conform ecuației logaritmice de *tipul* $y = a + b/\ln x$, unde y reprezintă proporția ocupată de putregai din secțiunea transversală a arborilor de molid (%) – media pentru valorile indicate de aparat iar x – valoarea indicată de aparatul Rotfinder®. Intensitatea corelației este foarte puternică ($r = 0,956$) (figura 5.11).

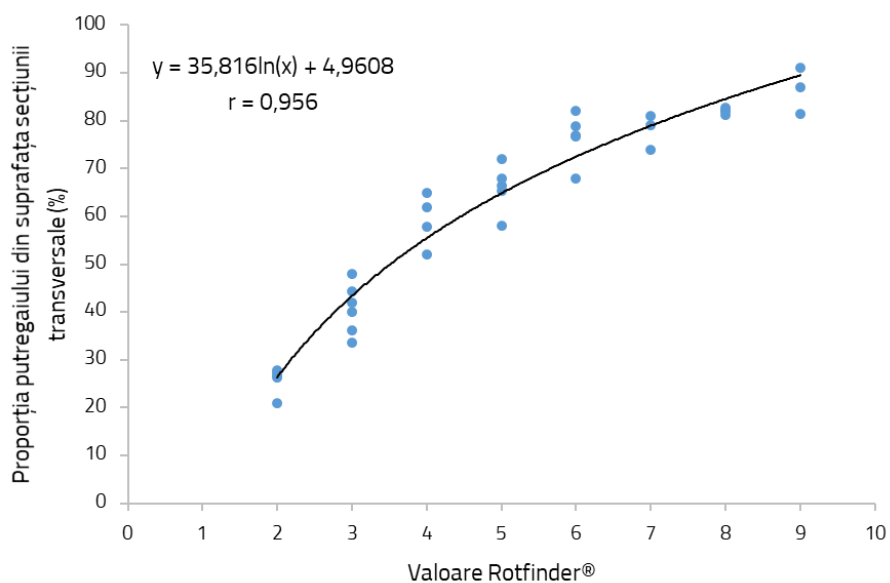


Figura 5.11. Relația dintre valoarea indicată de aparatul Rotfinder® și proporția ocupată de putregaiul de rădăcină din secțiunea transversală a arborilor de molid

5.2.6. Distribuția spațială a arborilor cu putregai

O analiză completă a structurii arboretelor de molid analizate în raport cu calitatea arborilor implică și exprimarea distribuției spațiale a arborilor cu putregai (de rădăcină și de trunchi) prin intermediul profilelor orizontale (figura 5.12). S-a constatat faptul că exprimarea distribuției spațiale permite evidențierea modului de distribuție al arborilor în spațiu și din punct de vedere al diametrului de bază, ceea ce permite identificarea concentratorilor de biomasă din interiorul suprafețelor experimentale în funcție de intensitatea cu care sunt afectate acestea de factori biotici și abiotici.

5.2.7. Modelul spațial orizontal al distribuției arborilor cu putregai

Modelul spațial orizontal al arborilor cu putregai, exprimat prin aplicarea metodei distanței dintre exemplare, indică faptul că modelul spațial este aleatoriu în majoritatea suprafețelor (tabelul 5.6). Excepție face suprafața experimentală 100A, unde modelul spațial orizontal este agregat. Indicii de distribuție (Clark Evans) variază între 0,941 (suprafața experimentală 100A) și 1,081 (suprafața experimentală 53A).

Tabelul 5.6. Indici pentru caracterizarea modelului spațial orizontal în suprafețele analizate

Metoda	Indicatori	Suprafața experimentală					
		43A	53A	104H	100A	99A	135 A
Distanța dintre arbori	Indicele Clark Evans (R)	0,917	1,081	0,944	0,941	0,999	1,012
	Indicele Pielou (P/I)	1,078	1,361	0,972	0,849	0,978	1,001
Numărul de arbori din quadrate	Indice dispersie (ID)	1,355	1,149	1,340	0,946	1,171	0,930
	Indicele Green	0,005	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
	Indicele Morisita	1,481	1,111	1,239	0,990	1,048	0,984

În ceea ce privește metoda densităților măsurate în quadrate (10/10 m) arborii cu putregai prezintă în general, o structură de tip aleatoriu (suprafețele experimentale 53A; 100A; 99A și 135A) și agregat (suprafețele experimentale 43A și 104H). Spre deosebire de arboretul total, în cazul arborilor cu putregai mai apare o suprafață experimentală în care modelul spațial este unul agregat.

La nivelul clusterelor de analiză (quadrate), valorile indicelui Morisita sunt cuprinse între 0,984 (suprafața experimentală 135A) și 1,481 (suprafața experimentală 43A). Indicele Green are valori cuprinse între 0,001 (suprafețele experimentale 53A; 100A; 99A; 135A) și 0,005 (suprafața experimentală 43A), iar indicele de dispersie (ID) are valori cuprinse între 0,930 (suprafața experimentală 135A) și 1,355 (suprafața experimentală 43A).

Din cele expuse s-a constatat faptul că, în ceea ce privește metoda distanțelor, odată cu creșterea numărului de arbori·ha⁻¹ cu putregai modelul spațial orizontal tinde să fie aleatoriu. Referitor la metoda quadratelor, cu cât e mai mare numărul de arbori cu putregai modelul spațial orizontal trece de la agregat la aleatoriu.

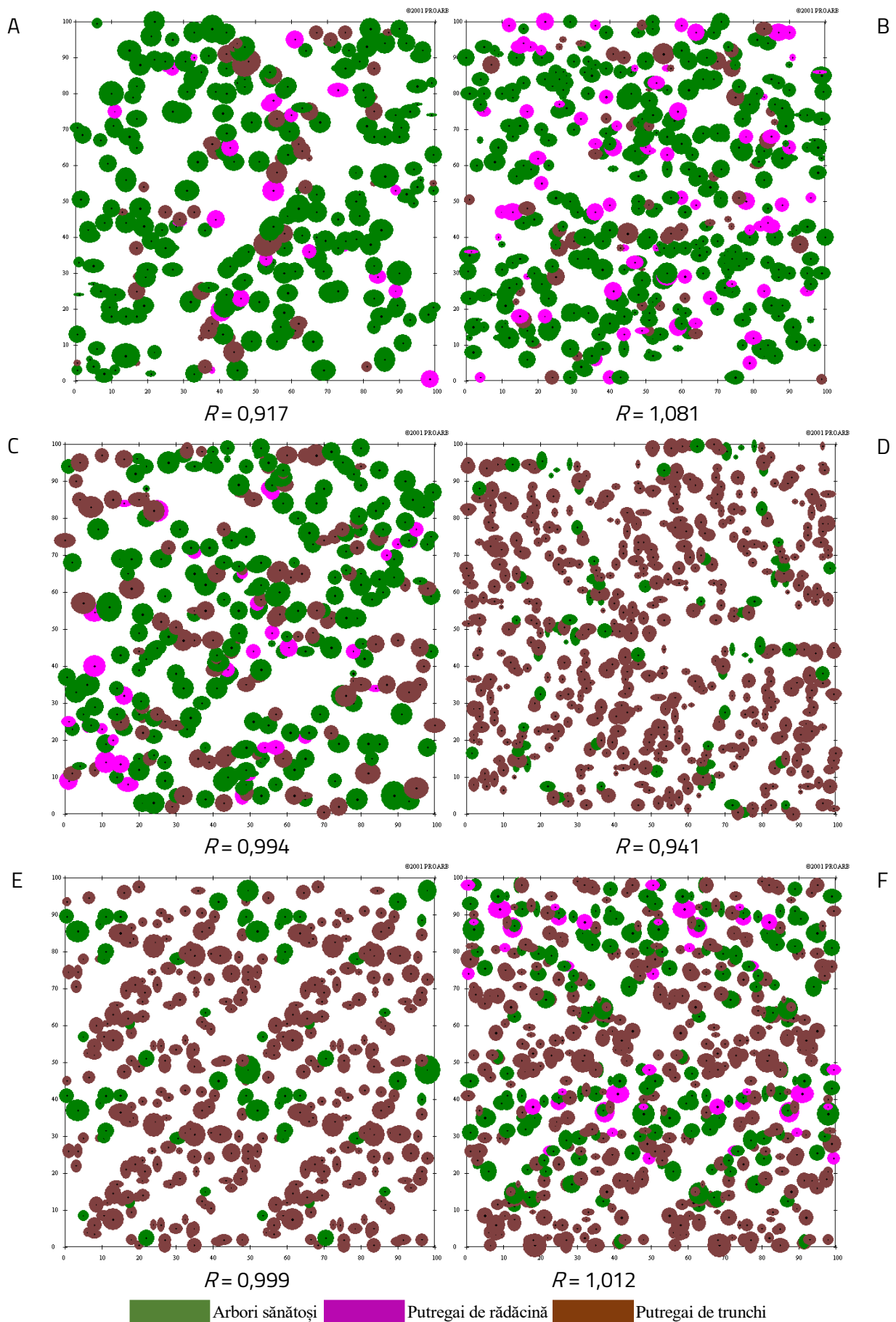


Figura 5.12. Distribuția spațială a arborilor cu putregai de trunchi și de rădăcină, în suprafețele:
 A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

5.3. Caracteristici fizico-mecanice specifice lemnului și arborilor de molid afectați de putregai

5.3.1. Densitatea lemnului cu putregai la arborii de molid

Statisticile de bază ale distribuțiilor (minim, medie, maxim, abatere standard, asimetrie sau exces) au fost folosite pentru a studia specificitatea densității lemnului cu putregai la arborii de molid. În prezentele cercetări au fost avute în vedere următoarele aspecte: (i) densitatea lemnului cu putregai (proba extrasă); (ii) densitatea putregaiului din proba extrasă; (iii) densitatea lemnului sănătos din proba extrasă.

Pentru arboretele de molid analizate, densitatea lemnului cu putregai (proba extrasă) are o valoare medie de $0,365 \pm 0,044 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (tabelul 5.7).

Tabelul 5.7. Statisticile de bază ale distribuțiilor pentru analiza densității lemnului cu putregai la arborii de molid

Specificații	Simbol	Densitatea ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), pentru:		
		lemnul cu putregai (proba extrasă)	putregaiul din proba extrasă	lemnul sănătos din proba extrasă
Media aritmetică	\bar{x}	0,365	0,338	0,413
Abaterea standard	s	0,044	0,082	0,113
Coeficientul de variație	cv(%)	12,14	24,41	27,29
Asimetria	asim.	0,830	4,972	2,861
Excesul	E	0,870	0,390	-1,270
Valoarea minimă	min.	0,294	0,022	0,021
Valoarea maximă	max.	0,510	0,590	0,696

Variabilitatea populației pentru lemnul cu putregai (proba extrasă) este scăzută, indicată de o valoare de 12,14% a coeficientului de variație. În cazul arboretelor de molid analizate, asimetria este de stânga (pozitivă). În ceea ce privește excesul, valoarea acestuia indică faptul că alura curbei are un exces pozitiv pentru cazul analizat. Valoarea minimă a densității lemnului cu putregai la arborii de molid este de $0,294 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, în timp ce valoarea maximă este de $0,510 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Densitatea medie corespunzătoare putregaiului din proba extrasă este de $0,338 \pm 0,082 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. În ceea ce privește densitatea medie corespunzătoare lemnului sănătos din proba extrasă, aceasta are valoarea $0,413 \pm 0,113 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Valorile medii prezentate, raportate la valori ale lemnului mort aflat în diferite stadii de degradare, obținute prin cercetări din străinătate (Yatskov *et al.*, 2003; Kahl *et al.*, 2009), indică faptul că acesta se încadrează, în cele mai multe cazuri, între clasa de degradare 1 (alburnul și duramenul prezintă colorații și degradări ușoare) și clasa de degradare 2 (alburnul este degradat, dar duramenul este în mare parte sănătos).

Cercetările efectuate în arboretele de molid arată faptul că densitatea lemnului scade pe măsură ce crește proporția lemnului cu putregai (%) în suprafața secțiunii transversale. Aceasta se face conform ecuației de regresie liniară (figura 5.13), de tipul $y = a - bx$ (unde y reprezintă densitatea lemnului cu putregai, iar x - proporția lemnului cu putregai din suprafața secțiunii transversale). Intensitatea corelației dintre cei doi parametri analizați, evaluată prin mărimea coeficientului de corelație ($r = 0,664$), este puternică.

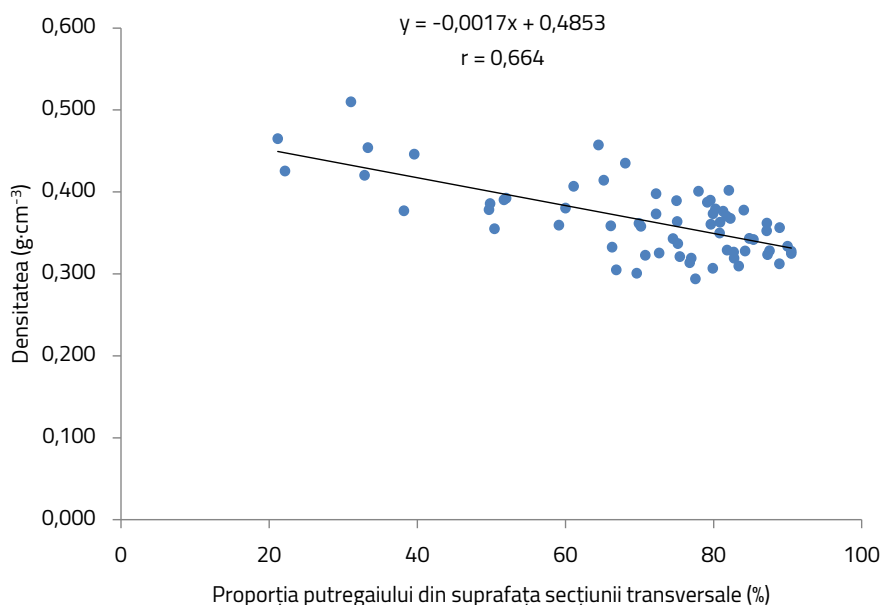


Figura 5.13. Relația dintre proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale și densitatea lemnului cu putregai

Nu s-au constatat diferențe mari între valorile densității corespunzătoare putregaiului de rădăcină și cele ale putregaiului de trunchi..

5.3.2. Rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid

Din cercetările efectuate a rezultat că rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai (proba extrasă), la arborii de molid analizați, are o valoare medie de $20,1 \pm 0,75\%$ și corespunde unei densități a lemnului cu putregai de $0,360 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Valoarea minimă a rezistenței la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid este de $10,3\%$, în timp ce valoarea maximă este de $35,1\%$. Variabilitatea populației este la limita dintre o variabilitate mare și una scăzută, indicată de o valoare a coeficientului de variație egală cu 30% .

În ceea ce privește influența densității asupra valorii rezistenței la micro-foraj, măsurată cu aparatul Resistograph, s-a constatat că aceasta crește pe măsură ce crește densitatea lemnului cu putregai. Corelația dintre cei doi parametri (figura 5.14) poate fi exprimată printr-o ecuație de regresie liniară de tipul $y = a + bx$ (y reprezintă densitatea lemnului cu putregai, iar x - valoarea rezistenței indicată de Resistograph). În acest caz, intensitatea corelației este foarte puternică ($r = 0,797$). Cercetările realizate au demonstrat faptul că rezistența la micro-foraj oferă un instrument de lucru util pentru evaluarea densității lemnului cu putregai *in situ*.

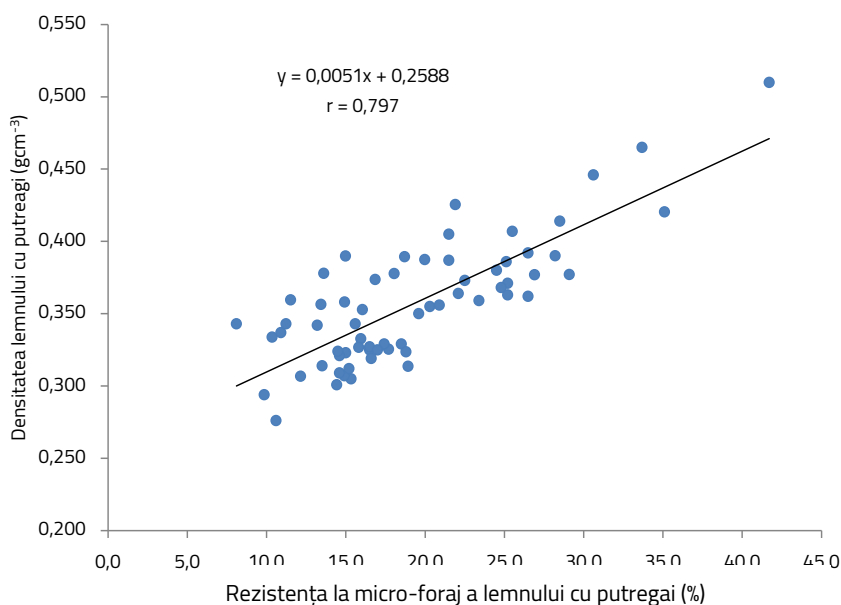


Figura 5.14. Relația dintre valoarea rezistenței la micro-foraj (%) indicată de aparatul Resistograph® și densitatea lemnului cu putregai

În ceea ce privește relația dintre rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai și proporția putregaiului din secțiunea transversală a arborilor (figura 5.15), aceasta poate fi exprimată printr-o ecuație de regresie polinomială de tipul $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ (y - proporția putregaiului din secțiunea transversală, iar x - rezistența lemnului cu putregai la micro-foraj indicată de aparatul Resistograph). Valoarea coeficientului de corelație ($r = 0,847$) sugerează o intensitate foarte puternică a corelației.

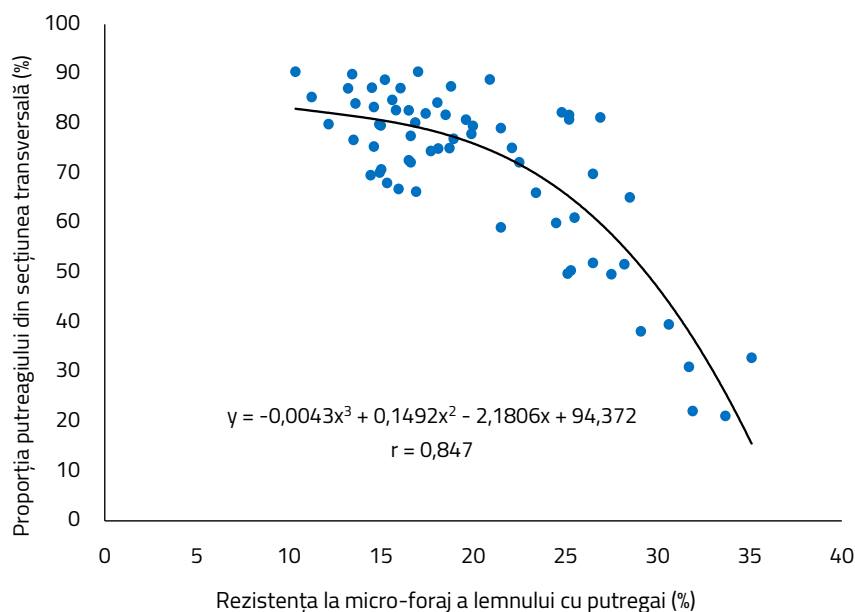


Figura 5.15. Relația dintre valoarea rezistenței lemnului cu putregai la micro-foraj (%) indicată de aparatul Resistograph® și proporția putregaiului din secțiunea transversală

5.3.3. Viteza sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid. Tomografia lemnului

Pe baza tomogramelor (figura 5.16) au fost obținute vitezele minime și maxime ale sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi. Sunt prezentate rezultatele de la 10 arbori, stratificați în funcție de proporția ocupată de putregai din secțiunea transversală, care variază între 31% și 90% (tabelul 5.8).

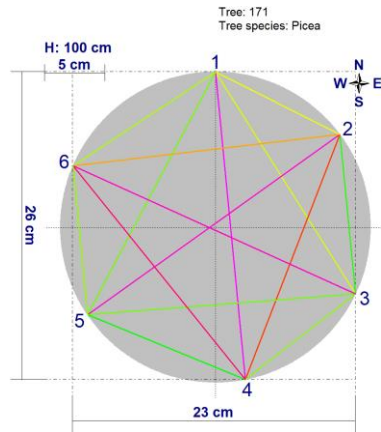
În ceea ce privește vitezele de propagare ale sunetului, s-a constatat că acestea au valori minime cuprinse între $269 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (arborele nr. 25, din u.a. 135A, la o secțiune situată la 50 cm deasupra solului, senzorii 2-5) până la $552 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (arborele nr. 161, din u.a. 100A, secțiune situată la 100 cm deasupra solului, senzorii 5-1) și valori maxime cuprinse în intervalul $602 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (arborele nr. 25, din u.a. 135A, la o secțiune situată la 50 cm deasupra solului, senzorii 5-1) și $826 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (arborele nr. 161, din u.a. 100A, secțiune situată la 100 cm deasupra solului, senzorii 1-5).

Dacă se face referire la categoriile de viteze ale sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi, se constată că vitezele cu care circulă sunetul sunt în relație cu ponderea putregaiului în suprafața secțiunii transversale. Astfel, se constată faptul că maximum numărului de cazuri în care viteza sunetului este cuprinsă între $501\text{-}600 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se înregistrează până la o valoare de 80% a ponderii putregaiului în suprafața secțiunii transversale. Odată cu creșterea acestuia se observă faptul că maximum de cazuri înregistrate trece la categoriile inferioare de viteze, respectiv categoria $401\text{-}500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ și categoria $301\text{-}400 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. De asemenea, amplitudinea intervalului de variație al vitezei sunetului suferă modificări, în sensul că odată cu creșterea procentului de putregai din secțiunea transversală și numărul de cazuri corespunzătoare unor viteze ale sunetului mai mici ($200\text{-}300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) va crește (tabelul 5.9).

Tabelul 5.8. Viteza minimă și maximă a sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid

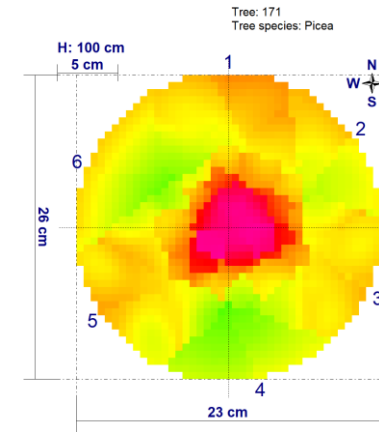
Numărul arborelui / suprafața experimentală	Ponderea putregaiului din suprafața secțiunii transversale (%)	Înălțimea secțiunii (cm)	Diametrul (cm)	Nr. senzori	Caracteristici V_{\min}			Caracteristici V_{\max}		
					Viteza ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Distanța dintre senzori (cm)	Direcția	Viteza ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Distanța dintre senzori (cm)	Direcția
171/100A	31	100	25,8	6	450	33	2-5	687	23	1-5
129/100A	35	100	33,1	6	540	33	6-3	764	31	1-3
149/100A	50	100	29,3	6	490	29	1-4	692	16	2-3
20/135A	60	80	39,5	6	471	33	4-2	687	19	6-5
69/100A	70	130	30,9	6	398	31	3-6	805	14	4-5
41/135A	75	100	41,4	6	429	41	3-6	649	24	2-3
161/100A	80	100	28,6	6	552	24	4-2	826	26	1-5
61/135A	85	100	32,4	6	304	32	5-2	615	29	1-5
37/135A	85	90	24,8	6	298	25	5-2	600	14	4-3
25/135A	90	50	54,1	6	269	47	2-5	602	52	5-1

Project: Doctorat
Location: 100A



A

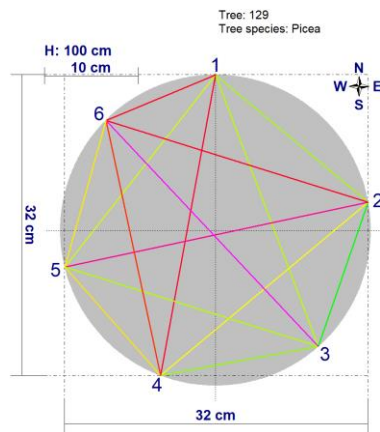
Date: 12.09.2018 Project: Doctorat
North: 0° Location: 100A



Date: 12.09.2018
North: 0°

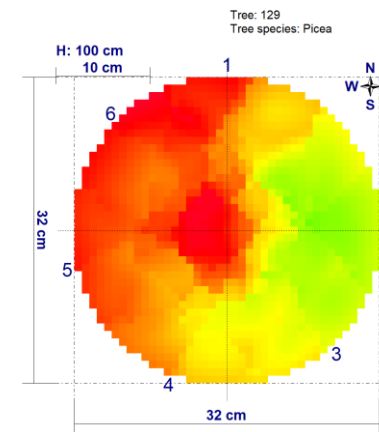


Project: Doctorat
Location: 100A



B

Date: 12.09.2018 Project: Doctorat
North: 0° Location: 100A



Date: 12.09.2018
North: 0°



Figura 5.16. Construcția tomogramei pe baza vitezei de propagare a sunetului între senzori la arborii de molid cu putregai de trunchi, pentru:

A – arborele 171, suprafața experimentală 100A; B – arborele 129, suprafața experimentală 100A

Tabelul 5.9. Repartizarea categoriilor de viteze ale sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid

Numărul arborelui / suprafața experimentală	Ponderea putregaiului din suprafața secțiunii transversale (%)	Înălțimea secțiunii (cm)	Diametrul (cm)	Intervalul de variație al vitezei sunetului (m·s ⁻¹)													
				201-300		301-400		401-500		501-600		601-700		701-800		801-900	
				Nr.*	%**	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%	Nr.	%
171/100A	31	100	25,8					6	20	17	57	7	23				
129/100A	35	100	33,1					5	17	9	30	13	43	3	10		
149/100A	50	100	29,3					5	17	14	47	11	36				
20/135A	60	80	39,5					6	20	12	40	9	30	3	10		
69/100A	70	130	30,9			1	3	3	10	11	37	12	40	2	7	1	3
41/135A	75	100	41,4					1	3	17	57	9	30	3	10		
161/100A	80	100	28,6			1	3	9	30	13	43	5	17	2	7		
61/135A	85	100	32,4	3	10	16	53	8	27	2	7	1	3				
37/135A	85	90	24,8	8	27	10	33	9	30	3	10						
25/135A	90	50	54,1	3	10	8	27	8	27	8	27	2	6	1	3		

*Nr. - numărul de cazuri în care viteza sunetului (m·s⁻¹) între senzori se încadrează într-un anumit interval de variație considerat;

**% - ponderea intervalului de variație a vitezei sunetului (din numărul total de cazuri) pentru arborele analizat.

5.3.4. Stabilitatea arborilor de molid afectați de putregai

Rezultatele preliminare privind acest aspect de cercetare indică faptul că rezistența la vânt a arborilor de molid cu putregai, indicată de Mechanic ARBOTOM®, scade pe măsură ce crește procentul ocupat de putregai în suprafața secțiunii transversale a arborilor. Aceasta poate fi exprimată cu o ecuație de regresie polinomială (figura 5. 17), de tipul:

$$y = ax^2 + bx + c$$

în care:

- y este proporția cu care se diminuează rezistența la vânt, indicată de Mechanic ARBOTOM®;
- x este proporția ocupată de putregai din suprafața secțiunii transversale.

Intensitatea corelației este foarte puternică ($r = 0,838$).

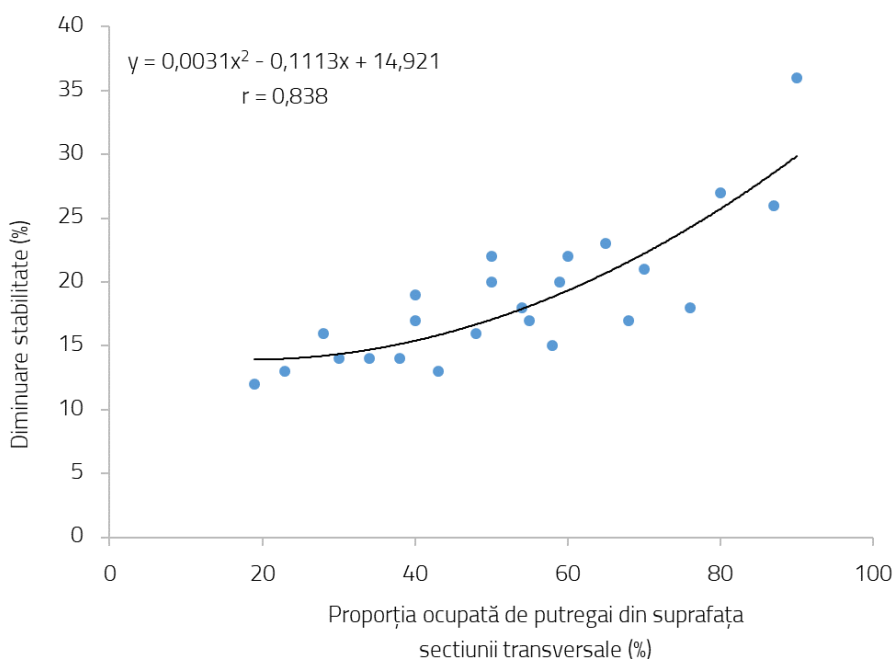


Figura 5.17. Relația dintre proporția ocupată de putregai din suprafața secțiunii transversale (%) și procentul cu care se diminuează stabilitatea arborilor (%)

Acest tip de relație este important pentru că se poate determina, în primul rând, la nivel de arbore și arboret (apoi pe spații mari forestiere), cu cât se diminuează stabilitatea individuală și de grup.

O analiză exhaustivă a modului de organizare și de structurare a arboretelor de molid afectate de putregai de rădăcină și de trunchi implică exprimarea distribuției spațiale în raport cu procentul de diminuare a stabilității individuale a arborilor, prin intermediul hărților tematice interpolate prin metoda geostatistică Kriging. Modul de distribuție a arborilor în spațiu, sub raportul procentului de diminuare a stabilității individuale a arborilor, permite identificarea zonelor de stabilitate (arborii care nu prezintă putregai de rădăcină sau de trunchi), precum și zonele de risc din cadrul acestor arborete (arbori care prezintă putregai de rădăcină sau de trunchi). Această metodă, a fost utilizată în patru suprafețe de probă amplasate în cadrul suprafețelor experimentale 43A, 104H, 100A și 135A, diferențiate funcție de frecvența arborilor cu putregai de rădăcină și de trunchi (ca urmare a vătămărilor produse de cervide). Ca și exemplificare se prezintă suprafața 43A.

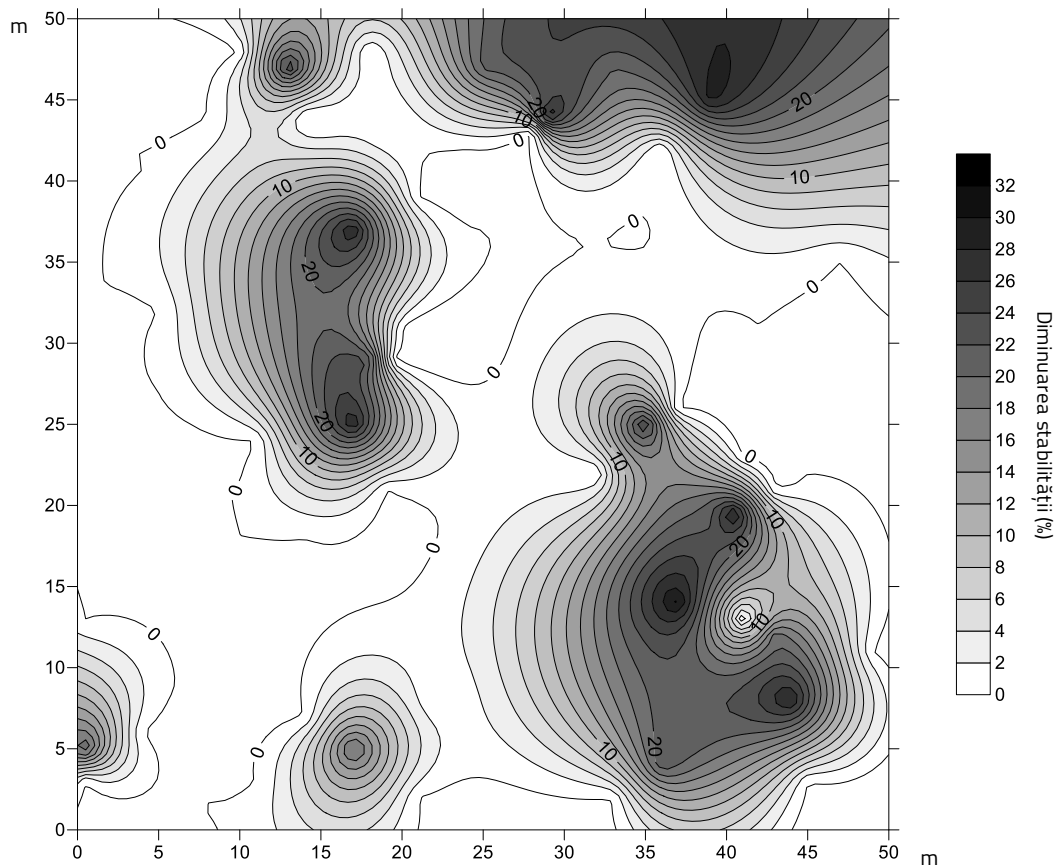


Figura 5.18. Distribuția spațială a arborilor în raport cu diminuarea procentuală a stabilității individuale în suprafața de probă 43A

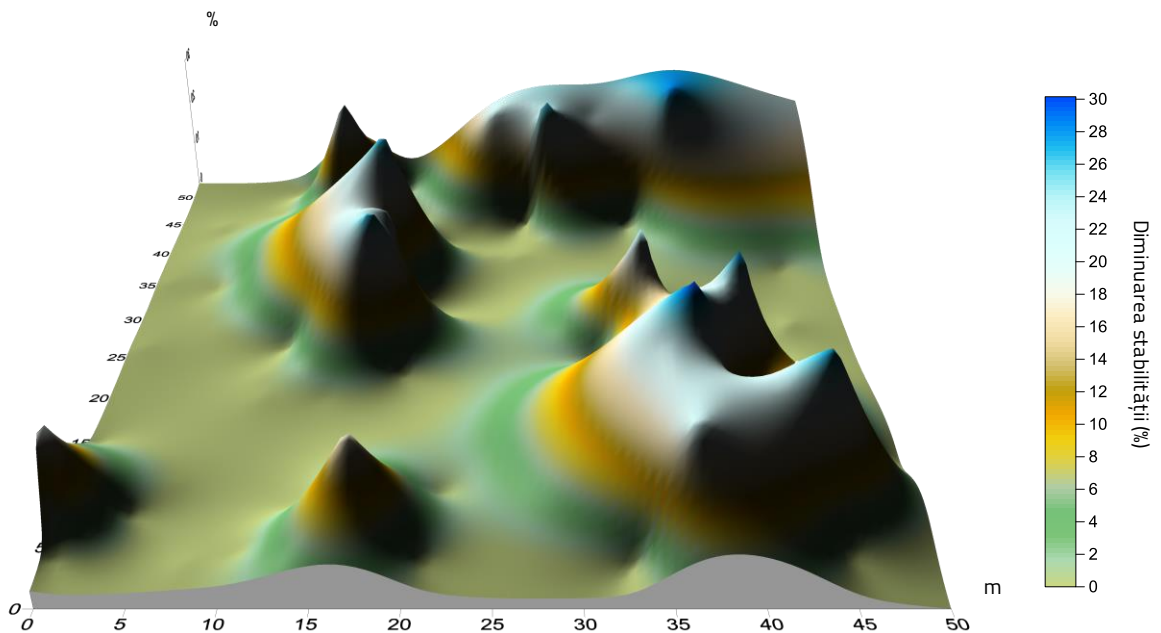


Figura 5.19. Profilul tridimensional al arboretului din suprafața de probă 43A, în raport cu diminuarea procentuală a stabilității arborilor

Pornind de la relația dintre proporția ocupată de putregai din suprafața secțiunii transversale (%) și procentul cu care se diminuează stabilitatea arborilor, s-a încercat evidențierea unei tendințe de diminuare a stabilității arboretului în suprafețele de probă, exprimată procentual, în funcție de frecvența arborilor cu putregai. Aceasta se face conform unei ecuații de regresie liniară (figura 5.20) de tipul:

$$y = ax + b$$

în care:

- y este proporția cu care se diminuează rezistența arboretelor la vânt;
- x este frecvența arborilor cu putregai din arborete.

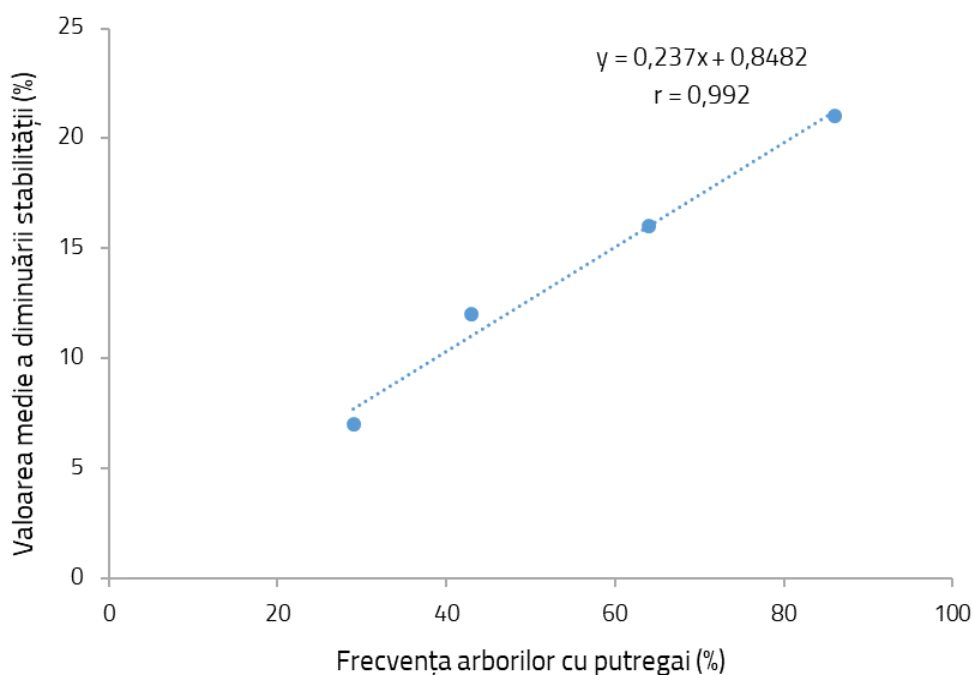


Figura 5.20. Tendința diminuării stabilității arboretului (%) în funcție de frecvența arborilor cu putregai (%) pentru suprafețele de probă analizate

De remarcat este faptul că diminuarea stabilității arboretelor afectate de putregai vine în completarea vulnerabilității acestora datorate parametrilor biometrici (diametru și înălțime), exprimați prin coeficientul de zveltețe.

5.4. Particularități privind evaluarea volumului lemnului de lucru în arboretele de molid afectate de putregai

5.4.1. Generalități

Ținând cont de faptul că putregaiul (de rădăcină și tulpină) este localizat în prima treime a trunchiului, în porțiunea în care se află cea mai mare proporție a lemnului de lucru și de unde rezultă sortimentele cele mai valoroase (Ichim, 1993b; Balabasciuc, 1994; Ciubotaru, 1998), analiza influenței acestuia asupra proporției și calității lemnului de lucru este importantă pentru zona studiată.

5.4.2. Distribuția arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai

Având la bază clasificarea arborilor pe clase de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru pe care îl conțin, influențată în mod direct de existența anumitor defecte, conform prevederilor *Normelor tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării* – 4 din 2000, a fost realizată distribuția arborilor pe clase de calitate (figura 5.21).

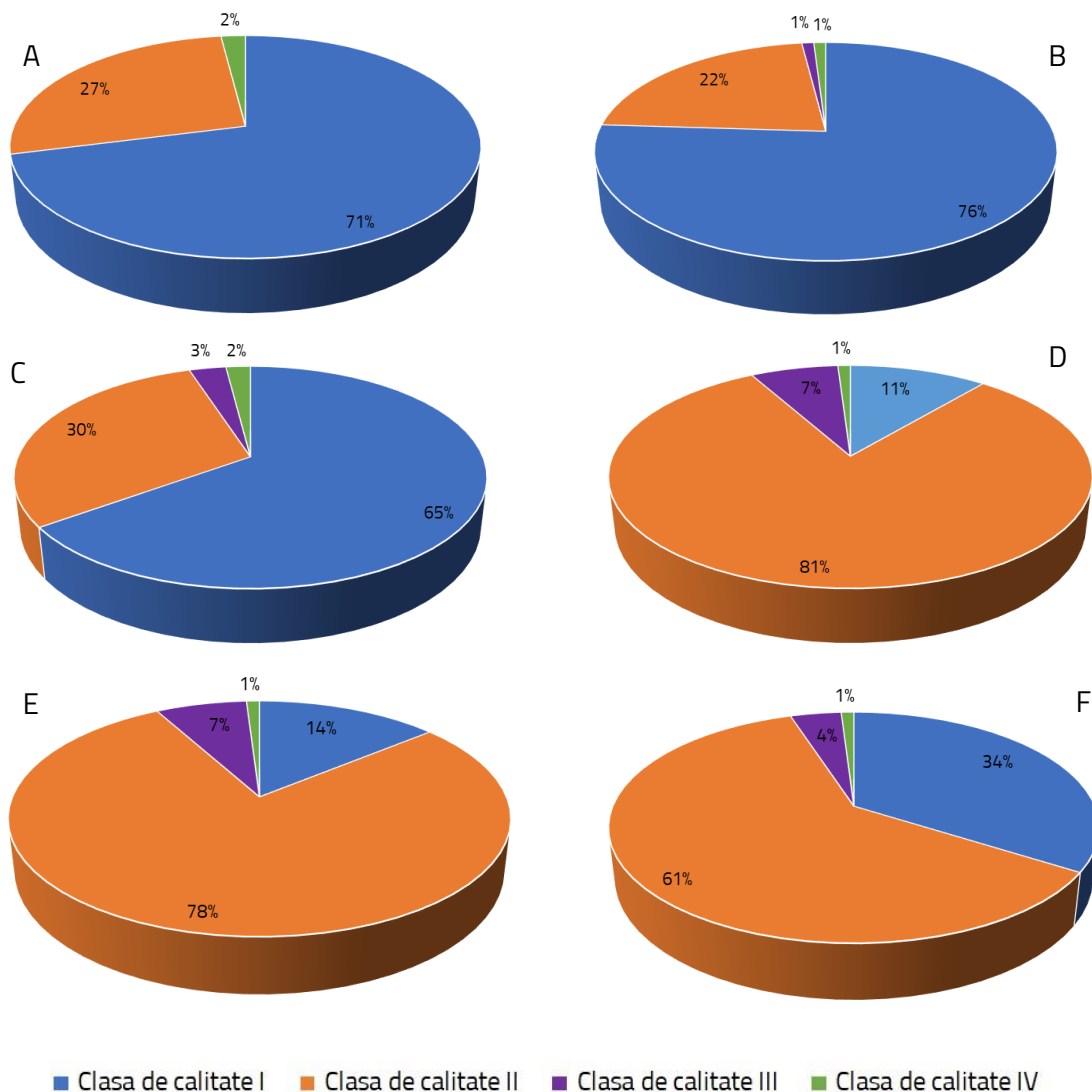


Figura 5.21. Distribuția arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai, pentru suprafețele: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

Ca urmare a celor expuse s-a stabilit că tendința exprimată de relația dintre frecvența arborilor cu putregai de trunchi și distribuția arborilor din arboret, pe clase de calitate, are aspecte specifice. Astfel, pentru clasa de calitate I, aceasta indică faptul că, odată cu creșterea proporției arborilor cu putregai de trunchi din arboret, proporția arborilor din clasa de calitate I scade conform unei ecuații de regresie exponențială de tipul $y = a e^{bx}$, în care y reprezintă proporția arborilor din clasa de calitate I, iar x proporția arborilor cu putregai de trunchi din arboret. Corelația este foarte puternică ($r = 0,966$) (figura 5.22). În ceea ce privește clasa de calitate a II-a, tendința indică faptul că odată cu creșterea proporției arborilor cu putregai de trunchi din arboret, proporția arborilor din clasa de calitate a II-a crește conform unei ecuații de regresie logaritmică de tipul $y = a + b \cdot \ln x$, în care y reprezintă proporția

arborilor din clasa de calitate II, iar x proporția arborilor cu putregai de trunchi. Corelația este foarte puternică ($r = 0,960$).

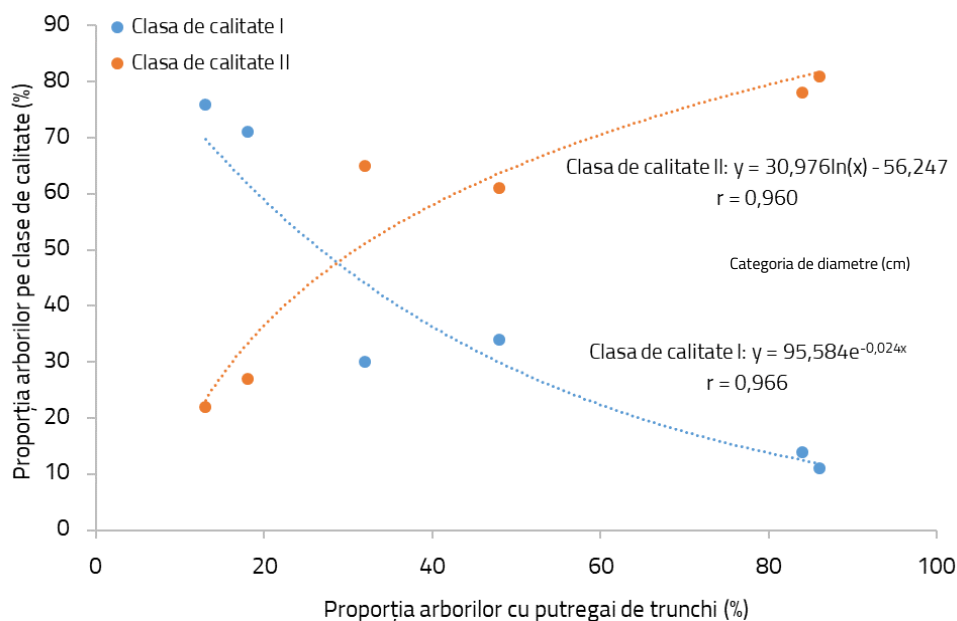


Figura 5.22. Corelația dintre frecvența arborilor cu putregai de trunchi și distribuția arborilor din arboret pe clase de calitate

5.4.3. Parametrii statistici ai distribuției arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai

Parametrii statistici generali ai distribuției arborilor pe clase de calitate în arboretele de molid afectate de putregai (minim, medie, maxim, abatere standard, asimetri sau exces) au fost folosiți pentru a studia efectul arborilor cu putregai asupra dinamicii distribuțiilor. Pentru arboretele de molid analizate, diametrul mediu specific clasei de calitate I variază între valorile $31,4 \pm 5,1$ cm (100A) și $37,8 \pm 6,8$ cm (53A). Variabilitatea populației de arbori este scăzută, indicată de un interval al valorilor coeficientului de variație cuprins între 16,3% (100A) și 27,2% (99A).

În ceea ce privește clasa de calitate a II-a, diametrul mediu variază între valorile $28,2 \pm 8,1$ cm (43A) și $33,7 \pm 6,8$ cm (104H). Variabilitatea populației de arbori este scăzută, valorile coeficientului de variație fiind cuprinse între 17,3% (100A) și 28,6% (43A). Valorile specifice clasei de calitate a III-a arată faptul că diametrul mediu variază între valorile $18,2 \pm 3,8$ cm (53A) și $33,1 \pm 12,1$ cm (104H). Variabilitatea populației de arbori este scăzută pentru suprafețele experimentale 53A, 100A și 99A, indicată de un interval al valorilor coeficientului de variație cuprins între 4,7% (99A) și 22,7% (100A). Pentru restul suprafețelor experimentale variabilitatea populației de arbori este ridicată, cu valori ale coeficientului de variație cuprinse între 30,2% (135A) și 36,6% (100A).

Întrucât clasa a IV-a de calitate este foarte slab reprezentată (inexistentă în suprafața experimentală 43A, 2% în suprafața 104H și 1% în cadrul celorlalte suprafețe) nu au mai fost analizați parametrii statistici generali aferenți acesteia.

5.4.4. Sortarea primară și dimensională a volumului din arboretele de molid afectate de putregai

În lucrarea de față s-a propus a fi realizată o comparație între volumul sortimentelor primare și dimensionale rezultat pentru suprafețele experimentale analizate prin utilizarea a două metode de calcul diferite, respectiv:

- programul FOND FORESTIER – modulul calcul APV, utilizat frecvent în practica silvică și având la bază clasificarea arborilor pe clase de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru pe care îl conțin, stabilită după analiza vizuală și estimarea influenței anumitor defecte, în conformitate cu prevederile *Normelor tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării – 4 din 2000* (Brad, 2010; Badea *et al.*, 2013), și
- programul automat de calcul VÂNAT 1.1. ce a fost dezvoltat pentru estimarea producției de lemn și determinarea volumului ocupat de lemnul cu putregai de trunchi și declasarea în structura pe sortimente dimensionale în arboretele de molid vătămate de cervide. În cazul acestui program nu se mai impune stabilirea clasei de calitate a arborilor. Pe lângă datele inițiale necesare calculării volumului (diametre, înălțimi), sunt utilizate informațiile legate de frecvența vătămarilor, vârsta rănilor produse de cervide și coeficienții ecuației de regresie ce exprimă corelația dintre diametrul de bază și vârsta rănilor (specifci pentru fiecare arboret) (Vlad, 2002a și 2007).

Ca urmare a celor expuse, în tabelul 5.10 se prezintă volumul rezultat pe sortimente primare și dimensionale în arboretele de molid studiate și afectate de putregaiul de trunchi, ca urmare a utilizării celor două metode (programe) de calcul.

În ceea ce privește sortimentarea dimensională rezultată prin aplicarea celor două metode de calcul, se constată faptul că, cu cât numărul de arbori cu putregai de trunchi este mai mare cu atât diferențele privind ponderea sortimentelor sunt mai mari (figura 5.23). Această diferențiere se datorează faptului că în cazul programului FOND FORESTIER, la baza calculului sortimentelor dimensionale stă clasificarea vizuală a arborilor pe clase de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru, iar în cazul programului VÂNAT 1.1. este avută în vedere frecvența vătămarilor, vârsta rănilor produse de cervide și a coeficienților ecuației de regresie ce exprimă corelația dintre diametrul de bază și vârsta rănilor.

Tabelul 5.10. Centralizatorul calculului volumului pe sortimente primare și dimensionale în arborete de molid afectate de putregai prin intermediul programelor FOND FORESTIER – calcul APV și VÂNAT 1.1.

Nr. crt.	Suprafața experimentală	Sortare dimensională (mc)							Coaja lemnului de lucru (mc)	Lemn de foc (mc)	Vârfuri (mc)	Total volum brut (mc)
		Lemn gros			Lemn mijlociu		Lemn subțire	Total lemn de lucru (mc)				
		G 1 (>34 cm)	G 2 (24-34 cm)	G 3 (20-24 cm)	M1 (14-20 cm)	M2 (10-14 cm)	S (5-10 cm)					
Program FOND FORESTIER												
1	43 A	113	161	39	26	9	3	351	40	18	14	409
2	53 A	94	231	66	52	16	6	465	57	22	18	544
3	104 H	117	192	46	31	10	4	400	41	37	19	478
4	100 A	21	270	102	79	21	7	500	54	59	25	613
5	99 A	35	153	79	61	16	3	347	37	40	17	424
6	135 A	78	251	79	68	20	7	503	53	48	24	604
Program VÂNAT 1.1.												
1	43 A	100	167	42	37	5	1	352	34	28	13	414
2	53 A	82	246	77	73	12	2	491	46	33	19	570
3	104 H	90	191	54	47	6	1	388	36	74	20	498
4	100 A	4	95	90	114	26	6	335	35	247	25	617
5	99 A	21	71	55	77	17	4	245	25	159	18	429
6	135 A	50	179	78	83	17	4	410	40	180	26	630

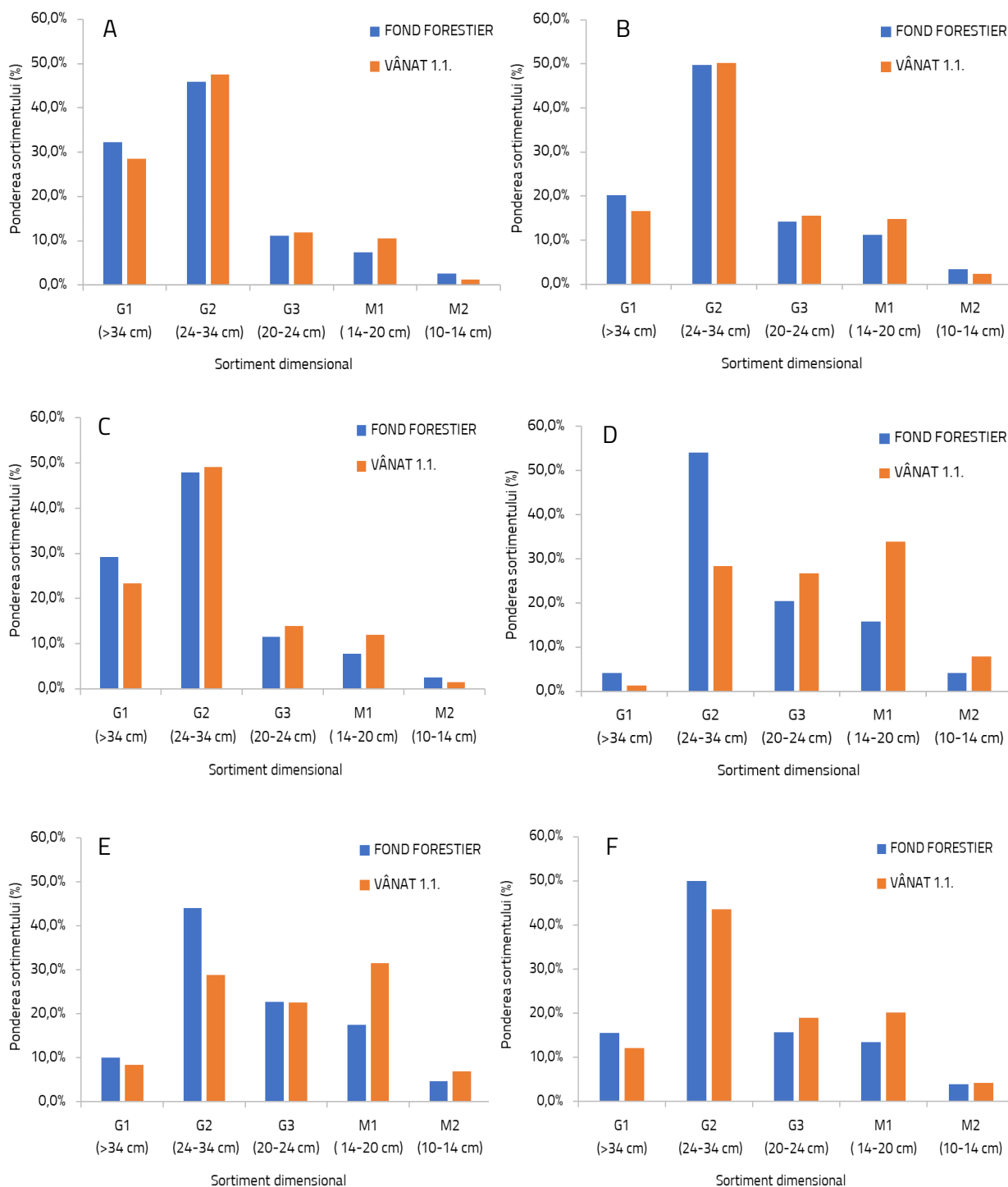


Figura 5.23. Pondere sortimentelor dimensionale în funcție de metoda de calcul a volumului sortimentației pentru suprafețe: A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

De asemenea, prin utilizarea programului VÂNAT 1.1. s-a reliefat diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total (fără a fi luat în considerare volumul afectat de putregai) și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret (cu luarea în considerare a volumului afectat de putregai) (figura 5.24). Astfel, pentru sortimentul G1 diferența variază între 5% (43A) și 69,4% (100A), pentru sortimentul G2 diferența variază între 4,7% (53A) și 67,9% (100A), iar pentru sortimentul G3 diferența este între 5,4% (53A) și 34,2% (100A).

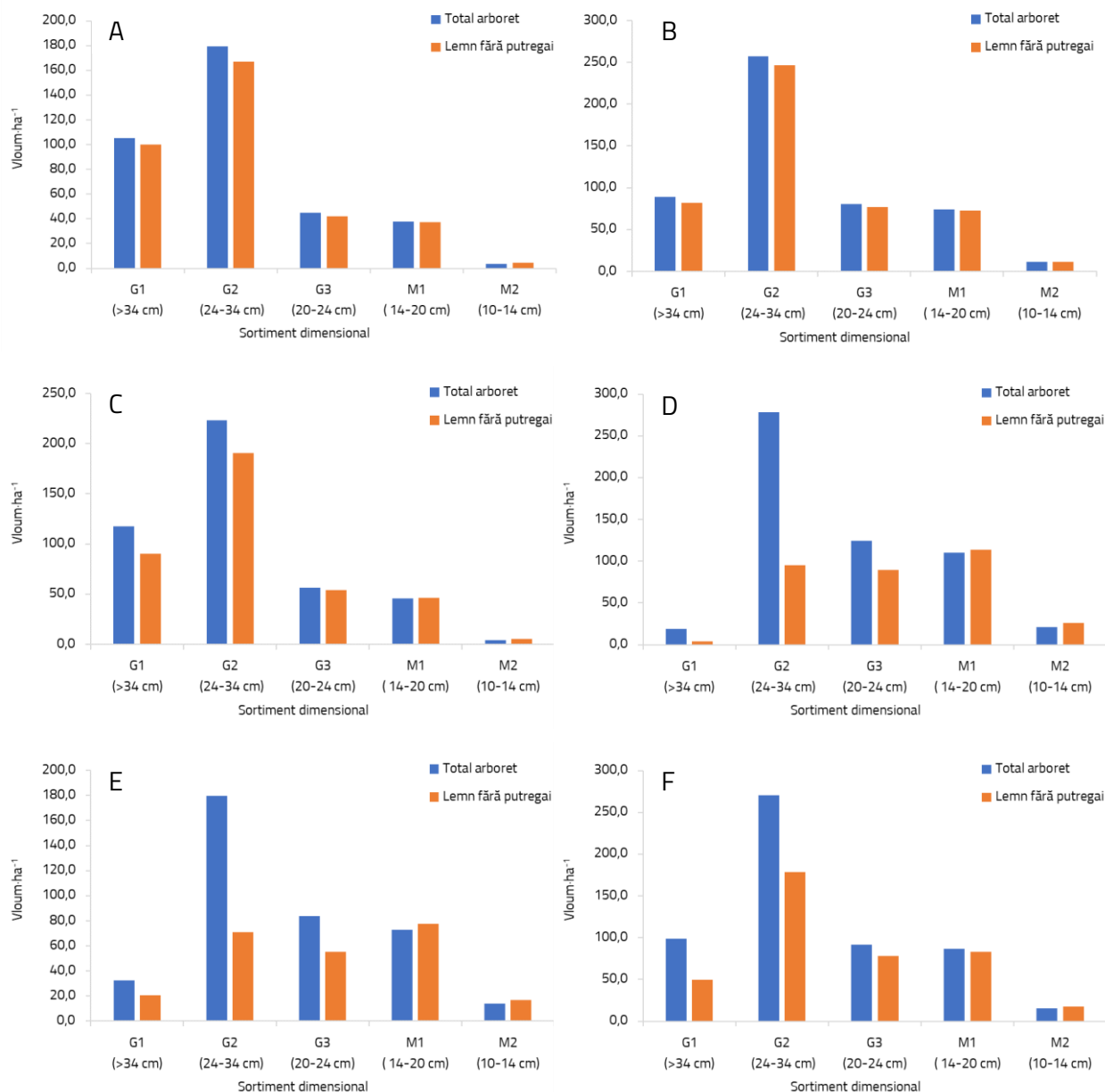


Figura 5.24. Diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret pentru suprafețele:

A – 43A; B – 53A; C – 104H; D – 100A; E – 99A; F – 135A

În ceea ce privește tendința manifestată de diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret, raportată la proporția arborilor cu putregai din arboret, pentru arboretele de molid afectate de putregai analizate, aceasta este dată de o regresie de putere de forma $y = a^{bx}$, în care x reprezintă diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret, iar y proporția arborilor cu putregai din arboret. Corelația este foarte puternică pentru sortimentele dimensionale G1 ($r = 0,957$), G2 ($r = 0,997$) și G3 ($r = 0,844$) (figura 5.25).

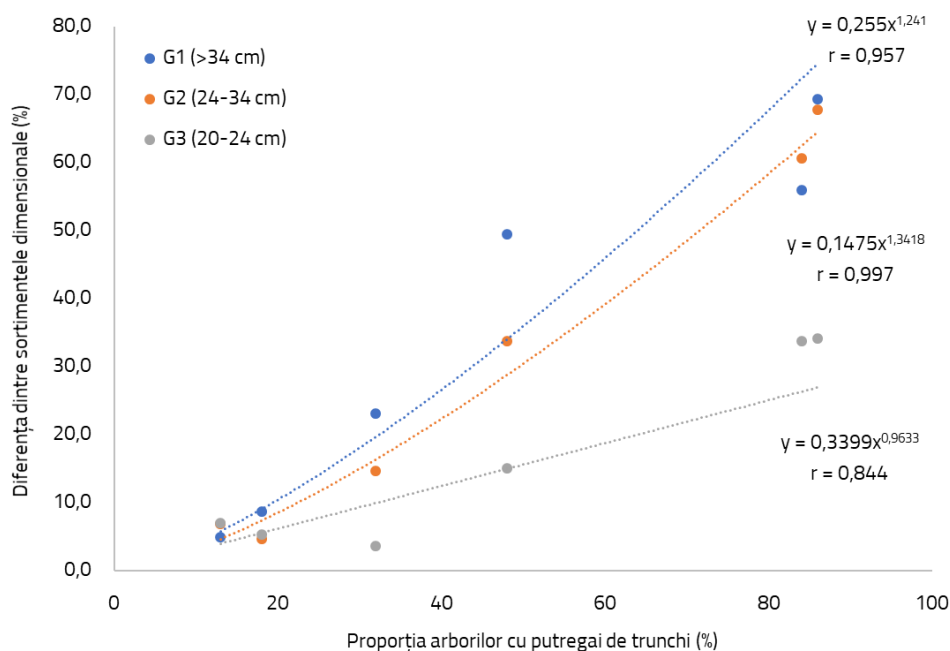


Figura 5.25. Tendința manifestată de diferența dintre sortimentele dimensionale corespunzătoare arboretului total și cele corespunzătoare lemnului sănătos din arboret, raportată la proporția arborilor cu putregai din arboret

5.4.5. Influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior

Având în vedere faptul că, în conformitate cu prevederile *Regulamentului de valorificare a masei lemnoase din fondul forestier proprietate publică* (***, 2017) la stabilirea prețurilor de referință pentru masa lemnoasă pe picior sunt luate în calcul și sortimentele primare și dimensionale (pe lângă specie sau grupa de specii, grad de accesibilitate, natura produsului), a fost analizată influența pe care volumul acestora o are asupra prețului masei lemnoase pe picior rezultat, pentru ambele metode de calcul ale volumului sortimentelor analizate. Rezultatele obținute pentru fiecare suprafață experimentală sunt prezentate în tabelul 5.11.

Tabelul 5.11. Valoarea unitară a masei lemnoase pe picior pentru suprafețele experimentale analizate

Nr. crt.	Suprafața experimentală	Proportia volumului lemnului de lucru (%)		Valoarea unitară a masei lemnoase pe picior (€/mc)*	
		FOND FORESTIER	VÂNAT 1.1.	FOND FORESTIER	VÂNAT 1.1.
1	43 A	85,8	85,0	30,6	29,8
2	53 A	85,5	86,1	28,2	27,8
3	104 H	83,7	78,0	29,5	26,8
4	100 A	81,6	54,4	24,4	15,9
5	99 A	81,8	57,2	25,1	17,4
6	135 A	83,3	65,2	26,6	20,9

*valoare fără TVA

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE. DISEMINAREA REZULTATELOR

6.1. Concluzii

6.1.1. Referitor la structura arboretelor de molid analizate

Urmare a cercetărilor realizate în scopul cunoașterii caracteristicilor structurale și a stării unor arborete de molid din nordul Carpaților Orientali, s-a constatat:

- diferențele mari între valorile indicelui de desime (K_n) și indicelui de densitate după volum (K_{dv}) în anumite suprafețe experimentale (43A, 104H), duc la concluzia că, arborii extrași (cu ocazia lucrărilor silviculturale) au fost din categoriile inferioare de diametre;
- modelul spațial orizontal al arborilor, analizat prin metoda distanței dintre aceștia (cu ajutorul indicilor Clark Evans - R și Pielou – P'), este unul aleatoriu, în majoritatea suprafețelor analizate; excepție face suprafața experimentală 100A unde modelul spațial orizontal este unul agregat;
- dacă se face referire la analiza prin metoda densităților măsurate în quadrate, arboretele studiate prezintă, în general, o distribuție de tip aleatoriu (indicele Green și Morisita), respectiv regulată (indicele de dispersie); o excepție o constituie suprafața experimentală 135A, distribuția fiind una agregată;
- pentru arboretele de molid analizate, atât diversitatea înălțimii arborilor (THD) cât și indicele profilului vertical (A_{Mo}), indică o tendință de monoetajare a structurii verticale, în cazul suprafețelor experimentale 43A, 53A și 104H, și o tendință de bietajare, pentru suprafețele experimentale 100A, 99A și 135A;
- cu privire la diversitatea structurală a arboretelor analizate, evaluată prin utilizarea indicelui Gini (G), s-a constatat faptul că valorile acestuia pun în evidență gradul ridicat de omogenitate structurală; de asemenea, în raport cu valoarea acestui indice rezultă faptul că arboretele au o structură echienă.

6.1.2. Referitor la calitatea arboretelor de molid analizate

În suprafețele experimentale constituite pentru evaluarea calității arborilor de molid, au fost constatate următoarele:

- în ceea ce privește distribuția volumului arborilor cu putregai (de rădăcină și de trunchi) pe categorii de diametre, se constată că volumul- ha^{-1} cel mai afectat este în categoria de diametre 36 cm, fiind urmat de categoria de diametre 32 cm și categoria 28 cm;
- în urma identificării arborilor cu putregai de rădăcină în suprafețele experimentale, cu ajutorul aparatului Rotfinder®, și a intensității cu care este afectat lemnul, s-a constatat faptul că, frecvența arborilor cu putregai de rădăcină însumează cele mai ridicate valori în primele 5 clase indicate de aparat;
- exprimarea distribuției spațiale a arborilor cu putregai (de rădăcină și de trunchi) prin intermediul profilelor orizontale și prin evidențierea distribuției diametrului de bază al arborilor pe hărți tematice (variograme) a dus la concluzia că în arboretele de molid cercetate se remarcă o neuniformizare evidentă a modului de repartiție spațială a arborilor cu putregai și în consecință și a diametrelor corespunzătoare;
- modelul spațial orizontal al arborilor cu putregai, analizat prin aplicarea metodei distanței dintre arbori indică faptul că tiparul spațial este în majoritatea suprafețelor analizate unul aleatoriu; excepție face suprafața experimentală 100A unde modelul este unul agregat; s-a constatat faptul că prin

aplicarea acestei metode, odată cu creșterea numărului de arbori-ha⁻¹ cu putregai, modelul spațial orizontal tinde să fie aleatoriu;

- prin aplicarea metodei densităților măsurate în quadrate, s-a constatat faptul că arborii cu putregai prezintă o structură de tip aleatoriu (53A; 100A; 99A;135A) și agregat (43A; 104H); de asemenea, s-a constatat faptul că, prin utilizarea acestei metode, cu cât e mai mare numărul de arbori cu putregai, modelul spațial orizontal trece de la agregat la aleatoriu.

6.1.3. Referitor la caracteristicile fizico-mecanice specifice lemnului și arborilor afectați de putregai

În ceea ce privește densitatea lemnului, au fost constatate următoarele:

- densitatea lemnului scade pe măsură ce crește proporția putregaiului în suprafața secțiunii transversale;
- nu au fost constatate diferențe semnificative între valorile densității corespunzătoare putregaiului de rădăcină și cele ale putregaiului de trunchi.

În ceea ce privește rezistența la micro-foraj:

- valoarea rezistenței la micro-foraj crește pe măsură ce crește densitatea lemnului cu putregai;

Cu privire la viteza de propagare ale sunetului:

- dacă se face referire la categoriile de viteze ale sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi, s-a constatat că vitezele cu care variază sunetul sunt în relație cu ponderea putregaiului în suprafața secțiunii transversale;
- intervalele de variație al vitezei sunetului suferă modificări, în sensul că, odată cu creșterea ponderii putregaiului în secțiunea transversală, și numărul de cazuri corespunzătoare unor viteze ale sunetului mai mici crește;
- analiza tomogramelor obținute pe baza vitezei de propagare a undelor acustice poate fi folosită cu succes pentru a determina modificările din interiorul trunchiului arborilor însă imaginile reconstituite oferă informații despre viteza de propagare a sunetului prin lemn numai la nivelul analizat și nu pentru întreg trunchiul; în plus, analiza tomogramelor nu relevă tipul defectului, ci indică doar zonele cu densitate redusă.

Stabilitatea arborilor:

- rezistența la vânt a arborilor de molid cu putregai scade pe măsură ce crește ponderea putregaiului în suprafața secțiunii transversale a arborilor;
- diminuarea stabilității arboretelor afectate de putregai vine în completarea vulnerabilității acestora datorate parametrilor biometrici (diametru și înălțime), exprimați prin coeficientul de zveltețe.

6.1.4. Referitor la particularitățile privind evaluarea volumului lemnului de lucru în arboretele de molid afectate de putregai

Având la bază clasificarea arborilor pe clase de calitate după criteriul proporției lemnului de lucru pe care îl conțin, precum și utilizarea programelor de calcul VÂNAT 1.1. și FOND FORESTIER, au fost constatate următoarele:

- distribuția arborilor pe clase de calitate este influențată de frecvența arborilor afectați de putregai, în sensul că cu cât este mai mare frecvența acestora, și proporția corespunzătoare claselor de calitate inferioare este semnificativă;
- s-a constatat că există o diferență semnificativă între volumul lemnului cu putregai de trunchi estimat prin intermediul programului VÂNAT 1.1 și cel estimat prin programul FOND FORESTIER, exprimat procentual, în funcție de frecvența arborilor cu putregai de trunchi; aceasta crește pe măsură ce frecvența arborilor cu putregai de trunchi este mai mare;
- cu cât numărul de arbori cu putregai de trunchi este mai mare, cu atât diferențele privind ponderea sortimentelor dimensionale sunt mai mari;
- în suprafețele experimentale cu o pondere ridicată a arborilor cu putregai de trunchi, ca urmare a vătămărilor produse de cervide, se constată faptul că în urma estimării volumului sortimentelor dimensionale prin programul automat de calcul VÂNAT 1.1., în comparație cu cel estimat prin programul FOND FORESTIER, are loc o migrare a volumelor din sortimentul dimensional G2 în sortimentele inferioare G3 și M1, aspect cu un impact economic semnificativ.

6.1.5. Referitor la influența volumului sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior

- diferențele între valorile unitare (€/mc), obținute prin utilizarea în calcul a volumelor sortimentelor primare și dimensionale rezultate prin utilizarea cele două programe de calcul, cresc odată cu creșterea frecvenței arborilor cu putregai de trunchi;
- există o legătură corelativă între frecvența arborilor cu putregai de trunchi din suprafețele experimentale și valoarea unitară a masei lemnoase obținută, intensitatea acesteia fiind foarte puternică în cazul utilizării sortimentelor rezultate din programul FOND FORESTIER cât și a celor rezultate din programul din VÂNAT 1.1.

6.2. Contribuții personale

În urma desfășurării cercetărilor se desprind mai multe contribuții personale importante, dintre care pot fi menționate:

- reliefaarea particularităților structurale ale unor arborete de molid afectate de putregai (de rădăcină și de trunchi) din nordul Carpaților Orientali prin intermediul indicilor pentru caracterizarea structurii la nivelul arboretelor (indicele de desime - K_n ; indicele de densitate după volum - K_{dv} ; indicele Clark Evans - R ; indicele Pielou - P ; indicele de dispersie - ID ; indicele Green; indicele Morisita; diversitatea înălțimii arborilor - THD ; indicele profilului vertical - A_{MO} și indicele Gini);
- prezentarea unor elemente specifice calității arborilor și arboretelor de molid afectate de putregai (de rădăcină și de trunchi) din nordul Carpaților Orientali (distribuția arborilor cu putregai pe categorii de diametre; distribuția volumului arborilor cu putregai pe categorii de diametre; frecvența arborilor cu putregai de rădăcină; distribuția spațială a arborilor cu putregai);
- prezentarea unei relații de calcul ce permite estimarea proporției ocupate de putregaiul de rădăcină din suprafața secțiunii transversale a arborelui analizat pe baza valorilor indicate de aparatul Rotfinder®;

- cuantificarea densității lemnului cu putregai, a putregaiului și a lemnului sănătos din proba extrasă;
- evidențierea legăturii corelative dintre densitatea lemnului cu putregai și proporția acestuia din suprafața secțiunii transversale;
- stabilirea unei valori medii a rezistenței la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid afectați și a densității corespunzătoare acesteia;
- stabilirea unor relații între rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai și proporția putregaiului din suprafața secțiunii transversale a arborilor, precum și cu densitatea lemnului cu putregai, care, calculate și validate pentru anumite zone și specii, pot fi utilizate pentru a face estimări expeditivă, *in situ*, ale calității lemnului în funcție de valoarea rezistenței la micro-foraj indicată de aparatul Resistograph;
- evidențierea vitezei de propagare a sunetului prin lemnul cu putregai de trunchi la arborii de molid și a influenței ponderii putregaiului din secțiunea transversală analizată asupra acesteia;
- stabilirea unor legături corelative cu privire la stabilitatea arborilor de molid afectați de putregai, în relație cu ponderea putregaiului în suprafața secțiunii transversale a acestora;
- evidențierea distribuției spațiale în raport cu procentul de diminuare a stabilității individuale a arborilor cu ajutorul hărților tematice interpolate prin metoda geostatistică Kriging, hărți ce permit identificarea zonelor de risc din astfel de categorii de arborete;
- cuantificarea influenței prezenței arborilor cu putregai de trunchi asupra volumului lemnului de lucru ce rezultă din astfel de arborete prin utilizarea a două metode (programe) de calcul diferite de stabilire a volumului, și anume programul FOND FORESTIER® – modulul calcul APV, respectiv programul VÂNAT 1.1;
- evidențierea influenței pe care o are volumul sortimentelor primare și dimensionale din arboretele de molid afectate de putregai, obținut prin două programe de calcul conceptual diferite, asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior.

Sperăm ca toate aceste informații să fie utile atât teoriei, cât și practicii silvice și să contribuie la includerea unor elemente noi în fundamentarea deciziilor de management durabil a acestor ecosisteme forestiere montane situate în zone de risc la acțiunea putregaiului de rădăcină și de trunchi.

6.3. Diseminarea rezultatelor

Lucrări publicate în reviste indexate ISI

1. Brandstetter, M., Zeleniuc, O., Pei, G., Câmpean, M., 2020: Conversion efficiency of fir roundwood into sawlogs, *BioResources*, 15(3), pp. 5653-5665, DOI: 10.15376/biores.15.3.5653-5665 https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2020/06/BioRes_15_3_5653_Brandstetter_ZPC_Conversion_Efficiency_Fir_Roundwood_Sawlogs_17377.pdf
2. Vlad, R., Sidor, C., G., Dincă, L., Constandache, C., Grigoroaea, D., Ispravnic, A., Pei, G., 2019: Dead wood diversity in a Norway spruce forest from the Calimani National Park (Eastern Carpathians). *Baltic Forestry*, Vol. 25, No. 2(50), pp. 238-248, DOI: <https://doi.org/10.46490/vol25iss2pp238> <https://www.balticforestry.mi.lt/ojs/index.php/BF/article/view/271>

3. Vlad, R., Zhiyanski, M., Dincă, L., Sidor, C., G., Constandache, C., **Pei, G.**, Ispravnic, A., Blaga, T., 2018: Assessment of the density of wood with stem decay of Norway spruce trees using drill resistance. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, Vol. 71, No. 11, pp. 1502-1510, DOI: 10.7546/CRABS.2018.11.09, http://www.proceedings.bas.bg/cgi-bin/mitko/ODOC_doiV2.pl

Lucrări publicate în reviste indexate BDI

1. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ștefan, A., 2021: Evaluarea calității lemnului arborilor de molid afectați de putregai prin metoda măsurării rezistențelor electrice. Știința Agricolă, Nr. 2: 54-58, DOI: 10.5281/zenodo.5834537, CZU: 630*81
<https://sa.uasm.md/index.php?journal=sa&page=article&op=view&path%5B%5D=759&path%5B%5D=767>
2. Vlad, R., A., Ispravnic, Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2020: Stabilitatea arborilor de molid pe picior afectați de putregai de trunchi. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXV, Nr. 47: 32-37
http://progresusilvic.ro/wp-content/uploads/RCS_47_2020.pdf
3. Vlad, R., Ispravnic, A., Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2019: Rezistența la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIV, Nr. 45: 37-42
http://progresusilvic.ro/wp-content/uploads/RSC_45_2019.pdf
4. Ispravnic, A., Vlad, R., Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2018: Specific structural elements in mixed stands of Norway spruce, Silver fir and European beech in the northern part of Eastern Carpathians. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIII, Nr. 43: 18-27 http://progresusilvic.ro/wp-content/uploads/RCS_43_2018.pdf
5. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018: Quality assessment of Norway spruce standing trees through non-destructive methods and techniques. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIII, Nr. 43: 28-33, http://progresusilvic.ro/wp-content/uploads/RCS_43_2018.pdf
6. Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., **Pei, G.**, 2018: Productivitatea în amestecuri de molid, brad și fag din nordul Carpaților Orientali. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIII, Nr. 42: 44-50, http://progresusilvic.ro/wp-content/uploads/RSC_42_2018.pdf

Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe internaționale

1. **Pei, G.**, Vlad, R., Ciubotaru, A., Ispravnic, A., Ștefan, G., 2021: Analysing the sound speed through the wood of Norway spruce trees affected by root rot. În: 5th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, Forestry Faculty, "Ștefan cel Mare" University, 29 October, 2021, Book of abstracts: 66.
http://www.silvic.usv.ro/imer2021/IMER_2021_book_of_abstracts.pdf
2. Vlad, R., Ștefan, G., Ștefan, A., Costandache, C., Tudor, C., **Pei, G.**, 2021: Experimental and analytical models in Norway spruce stands from risk areas to the action of disturbing factors. În: 5th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, Forestry Faculty, "Ștefan cel Mare" University, 29 October, 2021, Book of abstracts: 67.
http://www.silvic.usv.ro/imer2021/IMER_2021_book_of_abstracts.pdf
3. **Pei, G.**, Vlad, R., Ciubotaru, A., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2020: Particularities Regarding Wood Volume with Stem Decay in Norway Spruce Stands from Eastern Carpathians. Book of abstracts, 9th

International Symposium Forest and Sustainable Development, 16 october 2020, Transilvania University of Braşov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering: 64

https://silvic.unitbv.ro/images/conferinte/fsd2020/Book_of_abstracts_FSD_2020_-_12.10.2020_-_2.pdf

https://silvic.unitbv.ro/ro/component/jce/?view=popup&tmpl=component&img=images/conferinte/fsd2020/posters/2_5.jpg&title=

4. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2020: Root Rot Detection in Norway Spruce Standing Trees Using Rotfinder® Device. Book of abstracts, 9th International Symposium Forest and Sustainable Development, 16 october 2020, Transilvania University of Braşov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering: 65

https://silvic.unitbv.ro/images/conferinte/fsd2020/Book_of_abstracts_FSD_2020_-_12.10.2020_-_2.pdf

https://silvic.unitbv.ro/ro/component/jce/?view=popup&tmpl=component&img=images/conferinte/fsd2020/posters/2_4.jpg&title

5. **Pei, G.**, Ciubotaru, A., Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018: Nondestructive methods and equipment's used for standing trees quality evaluation. În: 85th Anniversary of of State Agrarian University of Moldova, Chişinău, October 4-6, 2018, Poster presentation.

6. Vlad, R., **Pei, G.**, Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018: Nondestructive Evaluation of Norway Spruce Standing Quality. În: Book of abstracts, 8th Edition of the International Symposium "Forest and Sustainable Development", Braşov, România, 25-27 October 2018: 92

Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe naționale

1. Pei, G., Ciubotaru, A., 2021: Evaluarea calității arborilor de molid pe picior prin metoda rezistenței la micro-foraj. În: AFCO – Absolvenți în fața companiilor, 18 mai 2021, Secțiunea XI – Doctorat, https://afco2021.unitbv.ro/images/Documente/Lucrari_inscrise_AFCO_2021.pdf

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ:

1. Albu, C., T., 2010: Cercetări privind caracteristicile lemnului de molid de rezonanță din bazinul râului Ghurghiu, în corelație cu exigențele industriei instrumentelor muzicale – Rezumatul tezei de doctorat. Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 116 p.
2. Baietto, M., Wilson, A. D., Bassi, D., Ferrini, F., 2010: Evaluation of three electronic noses for detecting incipient wood decay. *Sensors*, 10(2): 1062–1092.
3. Barbu, I., Cenușă, R., 1984: Asigurarea protecției arboretelor de molid împotriva doborâturilor de vânt și rupturilor de zăpadă prin aplicarea blocurilor și succesiunilor de tăieri și a tăierilor de îngrijire. Manuscris I.C.A.S. București, 80 p.
4. Bârnoaia, I., 2004: Aspecte privind auxologia arboretelor de molid afectate de putregaiul roșu. *Analele Universității Ștefan cel Mare - Suceava, Secțiunea Silvicultură, Serie nouă – Nr. 1/2004*: 117-126.
5. Beldeanu, E., C., 2001: Produse forestiere și studiul lemnului, Editura Universității „Transilvania”, Brașov: 324-340.
6. Brandstetter, M., Zeleniuc, O., Pei, G., Câmpean, M., 2020: Conversion efficiency of fir roundwood into sawlogs, *BioResources*, 15(3): 5653-5665, DOI: 10.15376/biores.15.3.5653-5665.
7. Bucur, V., 2003: *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 354 p.
8. Câmpu, V., R., 2018: Calitatea lemnului, nivelul prejudiciilor, productivitatea muncii și măsurarea sortimentelor de lemn în exploatarea pădurilor. Teză de abilitare. Universitatea Transilvania din Brașov, 145 p.
9. Câmpu, V., R., Ciubotaru, A., 2013: Apparent volumic mass models for pulpwood Norway spruce logs. *Proceedings of Rural Development 2013, Aleksandras Stulginskis University, Lithuania, Vol. 6*: 215 – 220.
10. Ceraldi, C., Mormone, V., Ermolli, E., R., 2001: Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics. *Mater. Struct.* 34: 59–64.
11. Ciubotaru, A., Stroescu, M., Câmpu, R., 2006: Cercetări privind corelația dintre tehnologiile de exploatare și nivelul prejudiciilor produse arborilor pe picior. În: *Pădurea și dezvoltarea durabilă*, Editura Universității Transilvania din Brașov: 421-426.
12. Ciubotaru, A., 1995: Cercetări privind aprecierea nivelului prejudiciilor la exploatarea lemnului. În *Buletinul sesiunii științifice „Pădurea și protecția mediului”*, Brașov: 335-340.
13. Ciubotaru, A., 1998: *Exploatarea pădurilor*. Editura Lux Libris, Brașov, 351 p.
14. Ciubotaru, A., Păun, M., 2014: *Structura arboretelor*. Editura Universității “Transilvania” din Brașov, ISBN 978-606-19-0417-4, 169 p.
15. David, E., C., 2011: Cercetări privind calitatea arborilor pe picior situați în localități, parcuri și aliniamente stradale. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 360 p.

16. Dinulică, F., 2020: Descriptori morfologici și structurali ai calității acustice a lemnului arborilor de molid pe picior - Teză de abilitare. Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov, 133 p.
17. Dumitriu-Tătăranu, I., Ghelmeziu, N., Florescu, I., Milea, I., Tocan, M., 1983: Estimarea calității lemnului prin metoda carotelor de sondaj. Editura Tehnică, București, 348 p.
18. Florescu, I., Nicolescu, N., V., 1998: Silvicultură, vol. II, Silvotehnică, Editura Universității, Brașov
19. Giurgiu, V., 1979: Dendrometrie și auxologie forestieră. Editura Ceres, București, 693 p.
20. Ichim, R., 1980: Cercetări privind măsurile de gospodărire a pădurilor de molid din nordul țării (cu fenomene de rupturi de zăpadă și doborâturi de vânt) în vederea protecției mediului înconjurător și creșterii productivității pădurilor. Manuscris I.C.A.S. București. 46 p.
21. Ichim, R., 1993: Putregaiul roșu la molid. Măsuri de prevenire și combatere, Editura Ceres București, 186 p.
22. Ispravnic, A., Vlad, R., Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2018: Specific structural elements in mixed stands of Norway spruce, Silver fir and European beech in the northern part of Eastern Carpathians. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIII, Nr. 43: 18-27.
23. Kahl, T., Wirth, C., Mund, M., Böhnisch, G., Schulze, E., D., 2009: Using drill resistance to quantify the density in coarse woody debris of Norway spruce. European Journal of Forest Research, 128(5): 467-473.
24. Palaghianu, C., 2009: Cercetări privind evaluarea regenerării arboretelor prin mijloace informatice. Teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare Suceava, Facultatea de Silvicultură, 362 p.
25. **Pei, G.**, Ciubotaru, A., 2021: Evaluarea calității arborilor de molid pe picior prin metoda rezistenței la micro-foraj. În: AFCO – Absolvenți în fața companiilor, 18 mai 2021, Secțiunea XI – Doctorat.
26. **Pei, G.**, Ciubotaru, A., Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018a: Nondestructive methods and equipment's used for standing trees quality evaluation. În: 85th Anniversary of of State Agrarian University of Moldova, Chișinău, 2018 October 4-6, Poster presentation.
27. **Pei, G.**, Vlad, R., Ciubotaru, A., Ispravnic, A., Ștefan, G., 2021a: Analysing the sound speed through the wood of Norway spruce trees affected by root rot. În: 5th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, Forestry Faculty, "Ștefan cel Mare" University, 29 October, 2021, Book of abstracts: 66.
28. **Pei, G.**, Vlad, R., Ciubotaru, A., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2020a: Particularities Regarding Wood Volume with Stem Decay in Norway Spruce Stands from Eastern Carpathians. În: 9th International Symposium Forest and Sustainable Development, 16 october 2020, Transilvania University of Brașov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Book of abstracts: 64.
29. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018b: Quality assessment of Norway spruce standing trees through non-destructive methods and techniques. Revista de Silvicultură și Cinegetică, Anul XXIII, Nr. 43: 28-33.

30. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2020b: Root Rot Detection in Norway Spruce Standing Trees Using Rotfinder® Device. În: 9th International Symposium Forest and Sustainable Development, 16 october 2020, Transilvania University of Braşov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Book of abstracts: 65.
31. **Pei, G.**, Vlad, R., Sidor, C., G., Ştefan, A., 2021b: Evaluarea calităţii lemnului arborilor de molid afectaţi de putregai prin metoda măsurării rezistenţelor electrice. Ştiinţa Agricolă, Nr. 2: 54-58, DOI: 10.5281/zenodo.5834537, CZU: 630*81
32. Vlad, I., Petrescu, L., 1977: Cultura molidului în România. Editura Ceres, Bucureşti. 359 p.
33. Vlad, R., 2002a: Fundamente ştiinţifice auxologice şi amenajistice privind gestionarea pădurilor de molid din nordul ţării vătămate de cervide. Teză de doctorat. Universitatea Ştefan cel Mare Suceava, Facultatea de Silvicultură, 267 p.
34. Vlad, R., 2007: Caracteristici dendrometrice şi auxologice ale arboretelor de molid vătămate de cervide. Editura Silvică, 182 p.
35. Vlad, R., A., Ispravnic, Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2018a: Stabilitatea arborilor de molid pe picior afectaţi de putregai de trunchi. Revista de Silvicultură şi Cinegetică, Anul XXV, Nr. 47: 32-37.
36. Vlad, R., Ispravnic, A., Sidor, C., G., **Pei, G.**, 2019a: Rezistenţa la micro-foraj a lemnului cu putregai la arborii de molid pe picior. Revista de Silvicultură şi Cinegetică, Anul XXIV, Nr. 45: 37-42.
37. Vlad, R., **Pei, G.**, Sidor, C., G., Ispravnic, A., 2018b: Nondestructive Evaluation of Norway Spruce Standing Quality. În: 8th Edition of the International Symposium "Forest and Sustainable Development", Braşov, România, 25-27 October 2018, Book of abstracts: 92.
38. Vlad, R., Sidor, C., G., Dincă, L., Constandache, C., Grigoroaea, D., Ispravnic, A., **Pei, G.**, 2019b: Dead wood diversity in a Norway spruce forest from the Calimani National Park (Eastern Carpathians). Baltic Forestry, Vol. 25, No. 2(50): 238-248, DOI: <https://doi.org/10.46490/vol25iss2pp238>.
39. Vlad, R., Ştefan, G., Ştefan, A., Costandache, C., Tudor, C., **Pei, G.**, 2021: Experimental and analytical models in Norway spruce stands from risk areas to the action of disturbing factors. În: 5th Edition of the Integrated Management of Environmental Resources Conference Suceava – Romania, Forestry Faculty, "Ştefan cel Mare" University, 29 October, 2021, Book of abstracts: 67.
40. Vlad, R., Zhiyanski, M., Dincă, L., Sidor, C., G., Constandache, C., **Pei, G.**, Ispravnic, A., Blaga, T., 2018d: „Assessment of the density of wood with stem decay of Norway spruce trees using drill resistance”. Comptes rendus de l’Academie bulgare des Sciences, Tome 71, No 11: 1502-1510. DOI:10.7546/CRABS.2018.11.09.
41. Zobel, B., 1984: The changing quality of the world wood supply. Wood Science and Technology, 18: 1-17.
42. *******, 2000: Normele tehnice pentru evaluarea volumului de lemn destinat comercializării – 4. Ministerul Apelor, Pădurilor şi Protecţiei Mediului, 194 p.

REZUMAT

Molidul este una dintre speciile forestiere cele mai importante din punct de vedere ecologic și economic din România, calitatea arborilor și arboretelor având o influență directă asupra efectelor ecologice, stabilității și polifuncționalității acestora. Prin lucrarea de față s-a dorit a fi aduse o serie de noi informații științifice legate de cunoașterea unor elemente structurale și calitative specifice acestei categorii de arborete din zona de risc la acțiunea putregaiului (de rădăcină și de trunchi), de utilizare a unor instrumente moderne ce permit evaluări calitative nedistructive sau minim invazive ale lemnului arborilor, de necesitatea utilizării unor metodologii moderne de estimare a volumului utilizabil, adaptate acestora. Cercetările au fost desfășurate în arborete de molid din nordul Carpaților Orientali, în bazinul superior al râului Moldova, în cadrul a șase suprafețe experimentale. Pe baza valorilor indicate de aparatul Rotfinder® a fost obținută o relație de calcul ce permite estimarea proporției ocupate de putregaiul de rădăcină din suprafața secțiunii transversale a arborelui analizat. Au fost stabilite o serie de particularități cu privire la caracteristicile fizico-mecanice specifice ale lemnului arborilor de molid afectați de putregai (densitate; rezistență la micro-foraj; viteza sunetului; stabilitatea arborilor) fiind evidențiată legătura corelativă a acestora cu proporția putregaiului în suprafața secțiunii transversale analizate. Relațiile obținute, calculate și validate pentru anumite zone și specii, pot fi utilizate pentru a face estimări expeditiv, în situ, ale calității lemnului în funcție de valoarea caracteristicii luată în considerare. A fost cuantificată influența prezenței arborilor cu putregai de trunchi asupra volumului lemnului de lucru ce rezultă din astfel de arborete, prin utilizarea a două metode de calcul conceptual diferite, fiind evidențiată influența pe care o are asupra prețului unitar al masei lemnoase pe picior.

ABSTRACT

Norway spruce is one of the most important forest species in Romania from an ecological and economic point of view, the quality of trees and stands having a direct influence on their ecological effects, stability and multifunctionality. The aim of this study was to bring new scientific information related to the knowledge of structural and qualitative elements specific to this category of stands from the area at risk of rot (root rot and trunk rot), the use of the modern tools that allow non-destructive qualitative assessments of trees wood, the need to use modern methodologies for estimating the usable wood volume, adapted to them. The research was conducted in spruce stands in the north of the Eastern Carpathians, the upper hydrological basin of the Moldova River, in six experimental plots. Based on the values indicated by the Rotfinder® device, a mathematical relation was obtained that allows the estimation of the proportion occupied by the root rot in the surface of the cross section of the analyzed tree. A series of particularities were established regarding the specific physical-mechanical characteristics of the wood of spruce trees affected by rot (density; resistance to micro-drilling; sound speed; stability of trees) their correlative connection with the proportion of rot in the surface of the analyzed cross section was highlighted. The mathematical relations obtained, calculated and validated for certain areas and species, can be used to make quick and in situ estimations of wood quality, based on the value of the considered characteristic. The influence of the presence of trees with trunk rot on the volume of usable wood resulting from such stands was quantified by using two different calculation methods, the influence on the unit price of standing wood was highlighted.